

# LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA PROVINCIA DE ALMERÍA

ANTONIO PULIDO BOSCH  
*Universidad de Granada*

## INTRODUCCIÓN

La provincia de Almería se considera una de las más áridas de España, en donde la escasez de agua constituye -en muchos casos- el principal factor limitante del desarrollo. Desde mi formación de hidrogeólogo trataré de dar una visión general sobre los recursos hídricos de la provincia y, dado que las aguas son únicas, me referiré al agua en cualquiera de sus estados y de sus posibles situaciones espaciales y/o temporales.

Comenzaré por un concepto tan elemental como es el **ciclo hidrológico**. El agua que se evapora en los ríos, mares, lagos y transpiran las plantas asciende a la atmósfera dando lugar a las nubes; estas nubes generan precipitaciones; las precipitaciones generan escorrentía superficial, hipodérmica y subterránea, al tiempo que restituyen el déficit de humedad del suelo; una parte importante de la precipitación vuelve a la atmósfera merced a los procesos de evapotranspiración. A la fracción de la precipitación que escurre superficial o subterráneamente se denomina **lluvia útil**.

Así expuesto el ciclo hidrológico, pasaré revista a cada uno de sus componentes, en el caso concreto de la provincia de Almería, aunque haré especial énfasis en las aguas subterráneas.

## LAS PRECIPITACIONES

No es ninguna novedad decir que en Almería llueve poco; es un hecho suficientemente conocido por todos. Si se observa un mapa de curvas isoyetas de la Península Ibérica se constata que en la mayor parte de la provincia de Almería no se superan los 300 mm/año (335 mm de valor medio anual según IGME, 1977 a). Frente a ello se tienen los más de 2.000 mm de Galicia y más de 1.000 mm en toda la Cornisa Cantábrica.

La distribución espacial de las precipitaciones medias es también muy irregular. Los máximos corresponden a las partes altas de la cuenca del río Adra (Sierra Nevada), en donde se llegan a superar los 700 mm de media (Pulido Bosch et al., 1986 a y b), y los mínimos, inferiores a 300 mm en la franja costera, Campo de Níjar y sector Sorbas-Vera (Calaforra, 1987; Calaforra y Pulido Bosch, 1987; Pulido Bosch et al., 1992).

Estación	Período	N/año	Extremos	30 mm/día	Max. abs.
Adra	30 años	34	45 - 23	3	-
Albox	31 años	41.4	68 - 26	2	140
Almería	32 años	44.9	59 - 32	0.6	98
Berja	30 años	40	60 - 24	2	105
Cerecillo	30 años	45	81 - 26	6	-
Mecina-Bombarón	30 años	54	90 - 35	5	-
Sorbas	26 años	29.4	- -	0.9	-
Ugíjar	30 años	34	57 - 21	2	-
Vélez-Rubio	24 años	56.2	89 - 35	1.1	151.5

*Cuadro 1.- Número medio de días que registran precipitación en algunas estaciones, con indicación de las que superan los 30 mm y del máximo absoluto medido (Tomado de Moreno, 1980; Calaforra, 1987; Pulido Bosch et al., 1986 b).*

Estación	Años	Precipitación anual (mm)		
		Seco	Medio	Húmedo
Adra	23	278	366	422
Balerna	31	150	273	352
Aguadulce	25	133	171	323
Almería	30	139	206	350
Berja	40	202	342	440
Felix	19	176	378	541
Castala	42	216	403	511
La Zarba	26	210	386	764
Garrucha	25	124	224	339
Vera	25	160	244	347
Cuevas Almanzora	21	77	224	431
Alcontar (L.S.)	22	184	301	450
Bacares	17	145	337	615
Zurgena	22	85	222	428
Tíjola	25	167	301	506
Oria	25	197	381	474
Huércal Overa	25	106	245	428
Albox	25	228	291	519
Vélez Blanco	21	255	410	605

*Cuadro 2.- Precipitaciones medias anuales y extremas de la serie de años reseñada en cada caso. Tomado de datos elaborados por Moreno (1980), Moraco et al. (1982 y 1983), Pulido Bosch et al. (1986 a y b) y Vallejos (1991).*

Pero la variación no es sólo espacial, sino temporal, dato este clave para comprender toda la problemática del agua en Almería. En el cuadro 1 se indican algunos valores de estaciones representativas, en donde se especifica el período analizado, el número de días con lluvia al año,

cuantos de ellos con más de 30 mm y la máxima absoluta del período. En el cuadro 2 se recogen los valores de las precipitaciones de los años más húmedo, más seco y medio, con indicación del número de años a los que están referidos los valores.

El número medio de días con precipitación en el área es máximo en los bordes occidental y septentrional, y disminuye hacia el Este, siendo muy numerosos los observatorios almerienses que registran menos de 30 días al año de media e incluso menos de 20 días, como sucede en Cabo de Gata (Castillo, 1989). En cuanto a la distribución media mensual, el 85 % de la precipitación se registra en los primeros 7-8 meses del año hidrológico, y el 15 % restante entre Mayo-Junio a Septiembre. El valor máximo absoluto se mide en Octubre en la mitad oriental, mientras que en la mitad meridional suele ser Noviembre; también son máximos relativos Enero (mitad meridional) y Noviembre y Abril en el sector oriental. Los meses de Julio y Agosto registran los valores mínimos absolutos.

### LLUVIA ÚTIL Y ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

La figura 1 recoge un mapa esquemático del valor de este parámetro; se puede ver que gran parte de la provincia de Almería tiene valores inferiores a 30 mm; los máximos corresponden con los sectores de mayor precipitación (Sierra Nevada y Sierra de Gádor) y con temperaturas medias más bajas.



**Figura 1.** Valores orientativos de la lluvia útil media anual (mm). Trazado teniendo en cuenta a Moreno (1980), Moreno et al. (1982 y 1983), Pulido Bosch et al. (1986 y 1992), Vallejos (1991).



En la figura 2 se muestra la red hidrográfica simplificada de la provincia de Almería; la cuenca más grande es la del Almanzora, con 2611 km<sup>2</sup> de superficie vertiente. Las características de las principales cuencas se indican en el cuadro 3; se puede observar cuál es la escorrentía total y sus márgenes de variación, estimación hecha para el régimen natural, es decir restituyendo lo que se deriva para regadío. En esas cifras se incluye tanto la escorrentía superficial de la cuenca como la aportación de los acuíferos al caudal de los ríos.



**Figura 3.** Esquema hidrogeológico de la cuenca del río Adra, con indicación de las subcuencas consideradas (la cuenca baja incluye las subcuencas media-baja y la del río Chico). Tomado de Pulido Bosch et al. (1986 a).

Se constata la existencia de una gran variación entre las aportaciones mínimas y máximas; para ilustrar este aspecto se incluye el cuadro 4, relativo a la estación de Santa Bárbara en el río Almanzora, de 1850 km<sup>2</sup> de cuenca vertiente. Hay que precisar que, a pesar de existir una cierta infraestructura de medida, los datos están sometidos a notables errores, derivados esencialmente

de la gran variación de la sección de aforo como consecuencia del régimen torrencial de gran parte de las cuencas.

AÑO	Caudal Medio (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Específico (l/s/km <sup>2</sup> )	Caudal Máximo de Medias Diarias (m <sup>3</sup> /s)	Lámina de Agua Escurrida (mm/año)	Caudal Máximo Instantáneo (m <sup>3</sup> /s)
1968/69	0,000	0,0	0,00	0	*
1969/70	1,036	0,6	45,00	19	*
1970/71	0,038	0,0	1,12	1	*
1971/72	1,085	0,6	10,00	18	*
1972/73	2,692	1,5	160,00	46	*
1973/74	4,840	2,6	756,00	83	5.600
1974/75	0,402	0,0	3,00	7	*
1975/76	0,840	0,5	53,92	16	*
1976/77	0,971	0,5	64,25	17	*
1977/78	1,180	0,6	289,30	20	*
1978/79	0,000	0,00	1,52	0	*
1979/80	0,010	0,0	1,52	0	49,18
1980/81	0,000	0,0	0,00	0	*
1981/82	0,230	0,1	80,00	4	330,00
1982/83	0,122	0,1	18,82	2	138,90
1983/84	0,000	0,0	0,00	0	*
1984/85	0,001	0,0	0,35	0	*
1985/86	0,001	0,0	0,24	0	*
1986/87	0,068	0,0	16,98	1	41,84
1987/88	0,053	0,0	10,14	1	133,31
1988/89	0,527	0,3	107,99	9	289,67

*Cuadro 4.- Caudales significativos medidos en la estación de Santa Bárbara; tomado de Vallejos (1991).*

Otro ejemplo interesante corresponde al río Adra en el que existen tres estaciones de aforo (figura 3); el régimen en la cabecera de este río es nival, dada la proximidad de Sierra Nevada. En el cuadro 5 se muestran varios parámetros de interés hidrológico para las tres cuencas diferenciadas y para el total, con indicación de las aportaciones extremas y medias en este último caso. Aunque la diferencia entre año húmedo y seco es notable, es menos acusada que en el río Almanzora. En la cuenca del Adra la aridez es, también, mucho menos marcada.

Ello no impide que los caudales máximos susceptibles de ser alcanzados, para períodos de retorno de 100 años se aproximen a los 1000 m<sup>3</sup>/s para el total de la cuenca (cuadro 6). Lógicamente, en la cuenca del Almanzora los valores susceptibles de alcanzarse son mucho más elevados; sirva de ejemplo el caudal alcanzado en Octubre de 1973, en el que se considera que se midieron 5600 m<sup>3</sup>/s, con los consiguientes efectos catastróficos aún visibles.

Subcuenca	Superficie (km <sup>2</sup> )	P. media (mm)	Aportación (hm <sup>3</sup> /año)	Coefficiente escorrentía
Ugíjar	262	559	23.1	0.16
Alcolea	199	528	17.6	0.17
Baja	185		5.5	0.05
	a	847	96.5	
Total	b	496	46.2	0.12
	c	278	34.1	

Cuadro 5.- Algunos parámetros de interés hidrológico en la cuenca del río Adra (a: año más húmedo; b: año medio; c: año más seco, del período estudiado, respectivamente). Modificado de Pulido Bosch et al. (1986 a).

Período de retorno	Caudal máximo instantáneo esperado (m <sup>3</sup> /s)		
	Alcolea	Ugíjar	Chico
25	120	270	55
50	165	390	75
100	230	540	100
500	440	1000	180

Cuadro 6.- Caudales máximos instantáneos estimados, para diversos períodos de retorno en los afluentes indicados del Adra. Modificado de Pulido Bosch et al. (1986 a).

Una fracción de la escorrentía superficial anual puede ser regulada en los embalses de superficie, los cuales, como consecuencia de los expuesto en las precipitaciones, plantean dos problemas más importantes:

- gran variabilidad de las aportaciones y, por tanto, dificultad de garantizar la demanda
- gran velocidad de colmatación, como consecuencia del régimen torrencial de muchas de las precipitaciones y de la ausencia de una cobertera vegetal que proteja el suelo de la erosión, así como de la propia naturaleza litológica (Carulla, 1977).

No obstante, y precisamente debido en gran medida a ello, son necesarios los embalses de superficie, aunque además de regular, permitirán la **laminación de avenidas**. Recuérdense al respecto las avenidas catastróficas de Octubre de 1973. En el cuadro 7 se resumen los principales embalses construidos y/o proyectados en los ríos de la provincia. Son dos los actualmente construidos, el de Benínar en el río Adra, y el de Cuevas en el río Almanzora; como aspecto curioso a señalar, se tiene el hecho de que dicho embalse se encuentre prácticamente lleno desde hace varios años, cuando las previsiones siempre fueron más modestas; de hecho, este embalse se contemplaba como una pieza clave en la infraestructura del trasvase Ebro-Júcar-Vinalopó-Sudeste, de ahí que se «sobredimensionara». Ello apoya una vez más la dificultad de llegar a establecer cifras válidas de aportaciones, incluso en áreas con estaciones de aforo.

Embalse	Capac. útil (hm <sup>3</sup> )	Aport. real estimada (hm <sup>3</sup> /a)	Vol. regul. (hm <sup>3</sup> /a)	Cuenca	Sup. Cuenca (km <sup>2</sup> )	Río
Benínar*	60.0	43.0 (68)	34.4	Adra	521.0	Adra
Ventilla	30.0	4.8 (12)	4.5	Adra	143.0	Chico
Nacimiento	25.0	7.5 (28)	6.1	Andarax	627.0	Nacimiento
Canjáyar	17.5	14.4 (20.5)	11.6	Andarax	283.0	Andarax
Turre	15.0	5.4	2.6	Antas	315.0	Antas
Cantoria	12.0	17.6 (18)	7.7	Almanzora	900.0	Almanzora
Cuevas*	160.7	25.8 (60)	20.8	Almanzora	2122.0	Almanzora
Abrucena	10.0	2.8 (3.8)	3.1	Andarax	47	Nacimiento

*Cuadro 7.- Principales embalses construidos (\*) y proyectados en los ríos almerienses, con indicación de diversos parámetros. Tomado de CHSE, 1983. Las cifras entre paréntesis se refieren a aportaciones en caudal variable con garantía del 90 %.*

A pesar de lo expuesto en el cuadro 7, es difícil conocer con seguridad la infraestructura hidráulica que se llevará a cabo. Así, por ejemplo, en el Proyecto de Directrices del Plan Hidrológico de la CHSE, versión de Junio de 1992, se contempla la construcción -para el horizonte 2002- de los embalses de Canjáyar y Nacimiento para regulación y laminación, y los de Campo de Níjar (1ª fase), Gérgal (1ª fase), Tabernas (1ª fase), como recarga artificial y laminación; Fiñana, Aguas (1ª fase), y Antas (1ª fase) para regulación; y Rambla de Belén, con ocho presas, para laminación de avenidas. Para el horizonte 2012 se contempla la realización de la 2ª fase, con fines idénticos, de los embalses de Níjar, Gérgal, Tabernas, Aguas y Antas; y los de Abrucena y Alto Almanzora, de regulación. Hay que indicar que en dicho Proyecto de Directrices se explicita que la mayoría de estas obras carecen del estudio correspondiente.

## LOS EMBALSES SUBTERRÁNEOS

Los principales embalses subterráneos se esquematizan en la figura 4; se puede observar que son tres los tipos de litologías dominantes, dos de ellas muy por encima de la tercera: las calizas y dolomías alpujárrides y, en menor cuantía, nevado-filábrides; los materiales detríticos; y los yesos, cuya importancia en el contexto provincial es anecdótica (Pulido Bosch, 1982 y 1986; Calaforra, 1987; Calaforra y Pulido Bosch, 1987). Por su extensión, el mayor embalse subterráneo es el de Sierra Gádor-Campo de Dalías, conjunto de gran complejidad en detalle, pero que encierra los mayores recursos de todo el área. Desgraciadamente existe conexión hidráulica con el mar, haciendo muy vulnerable el acuífero a la intrusión marina.

Estos acuíferos tienen unos recursos (equivalentes a la alimentación media de un largo período de años suficientemente representativo) y unas reservas (volumen almacenado por debajo de la cota de las surgencias); pues bien, se estima que los materiales acuíferos ocupan 1.746 km<sup>2</sup> los cuales tienen unos recursos cercanos a 300 Hm<sup>3</sup>/año y unas reservas próximas a 2.400 Hm<sup>3</sup>.

Cuando la explotación se hace de manera descontrolada se puede llegar a producir sobreexplotación (Pulido Bosch et al., 1989 d), lo cual puede tener graves consecuencias en el caso



## ACUÍFEROS DEL MEDIO Y BAJO ANDARAX

### Aspectos generales

La cuenca media y baja del río Andarax se sitúa en el extremo Sur de la provincia de Almería; con 250 km<sup>2</sup> de extensión, coincide con una comarca natural rodeada por las sierras de Gádor, Nevada y Alhamilla, con el Mar Mediterráneo como límite meridional. Su economía está muy ligada al desarrollo de la agricultura, actividad en la que la cantidad y calidad del agua es un factor decisivo. Este agua proviene esencialmente de los recursos subterráneos, dado que el río Andarax carece de regulación y permanece seco la mayor parte del año.

Las captaciones de agua comprenden galerías, pozos y sondeos, con un predominio de pozos de pequeña profundidad; no suelen alcanzar 20 m en el área costera al Sur de La Cañada. Aguas arriba, la mayoría de los puntos acuíferos consisten en sondeos. Los recursos del área alcanzan 22-29 Hm<sup>3</sup>/año, mientras que los bombeos oscilan entre 18-20 Hm<sup>3</sup>/año, a los que hay que sumar 1-2 Hm<sup>3</sup>/año de pérdidas de agua al mar (Pulido Bosch et al., 1991 b). En un año tipo medio, las extracciones no alcanzan el valor de las entradas, mientras que en los años secos los recursos totales no superan 7-10 Hm<sup>3</sup>/año. A su vez, en estos años secos el aprovechamiento de las aguas superficiales en el Alto Andarax es más efectivo, con lo que la alimentación en la cuenca baja se ve reducida (Sánchez Martos, 1990).

Esta explotación se refleja en el continuo descenso de los niveles piezométricos, con conoides de cotas piezométricas negativas en el delta, abandono de sondeos de abastecimiento a la ciudad de Almería, desplazamiento hacia la parte septentrional del área de bombeo para abastecimiento a las poblaciones del valle, y reprofundización de los sondeos en el sector central, ya que se hace necesario extraer mayores volúmenes de agua, aunque ésta ha empeorado su calidad.

### El marco geológico

La cuenca del río Andarax coincide con una de las depresiones intramontañosas existentes en las Cordilleras Béticas. La secuencia estratigráfica es muy compleja. El núcleo de Sierra Alhamilla lo forman materiales metapelíticos correspondientes a las unidades nevado-filábrides; el conjunto de Sierra de Gádor y los bordes de Sierra Alhamilla, por el contrario, aparece ocupado por unidades alpujárrides (Manto de Gádor y Felix). Ambas unidades presentan la secuencia típica alpujárride, con un tramo basal metapelítico y otro superior carbonatado, que tiene frecuentes intercalaciones de calcoesquistos a techo. Este último aparece más desarrollado en la Sierra de Gádor. Sondeos realizados en el centro del valle han detectado materiales carbonatados con algunas intercalaciones cuarcíticas que constituyen el sustrato sobre el que se apoya la potente serie neógena de la depresión.

Los materiales neógenos presentan notables diferencias de espesor y litología, con rápidos cambios laterales de facies y numerosas discordancias internas, consecuencia de la morfología irregular de la cuenca y de la tectónica activa del área. Los depósitos de edad Mioceno superior

afloran en pequeñas superficies; están integrados por una potente serie margosa con intercalaciones arenosas y algunos niveles de yeso de 30-60 m de potencia, situados a techo. Hacia Sierra de Gádor su litología cambia hacia una formación más arenosa de carácter litoral. El máximo espesor de la serie miocena, del orden de 500 m, se alcanza en el borde de Sierra Alhamilla (Iaccarino et al., 1975). Rodeando los relieves de Sierra de Gádor afloran biomicritas arenoso-conglomeráticas y calizas arrecifales de edad Tortoniense y Messiniense.

Al Sur de Viator aflora una formación margosa-arenosa, de edad Plioceno, que alcanza 150 m de potencia máxima; se dispone de forma discordante sobre los depósitos infrayacentes. Sobre el conjunto Mioceno-Plioceno anterior se deposita una formación deltaica arenoso-limosa con niveles conglomeráticos.

Los materiales cuaternarios ocupan amplias extensiones, especialmente en los sectores de cotas bajas. Los depósitos pleistocenos están formados por niveles conglomerático-arenosos. En la vertiente suroeste de Sierra Alhamilla se distinguen 6 episodios marinos; el más antiguo, correspondiente al Pleistoceno inferior se sitúa a 150 m s.n.m. En el sector de El Alquíán se presentan superpuestos o solapados, generalmente recubiertos por glaciares, y abanicos aluviales (Goy y Zazo, 1982). La actividad neotectónica afecta a todos los niveles marinos, con fallas o flexuras; incluso la morfología actual de la costa muestra bruscas inflexiones de carácter levógiro, relacionados con el accidente de Carboneras (N 40 - 50 E; Goy Zazo, 1985). Los depósitos holocenos corresponden a materiales conglomerático-arenosos, muy heterogéneos. Aparecen ligados a conos de deyección, glaciares, abanicos aluviales y depósitos de ramblas.

La deformación tectónica del área condiciona, en gran medida, la relación entre las unidades acuíferas. La estructura del sector oriental de la Sierra de Gádor es relativamente compleja, con escamas vergentes hacia el Norte y Sur y pliegues de diverso tamaño, algunos kilométricos (Sanz de Galdeano, 1985).

Las fracturas que afectan a los materiales postorogénicos han actuado con diferente intensidad a lo largo del Neógeno y Cuaternario; su influencia sobre la disposición de las diferentes unidades es importante. Las fracturas de dirección N 140 - 160 E son un ejemplo; corresponden con deformaciones en superficie ligadas a un accidente en profundidad, conjugado del Accidente de Carboneras, N 40 - 50 E (Bousquet y Phillip, 1976). Son fallas antiguas que actuaron durante el Mioceno con un salto vertical grande, posteriormente reactivadas durante el Cuaternario si bien los nuevos saltos no excedieron los 10 m (Voermans y Baena, 1983).

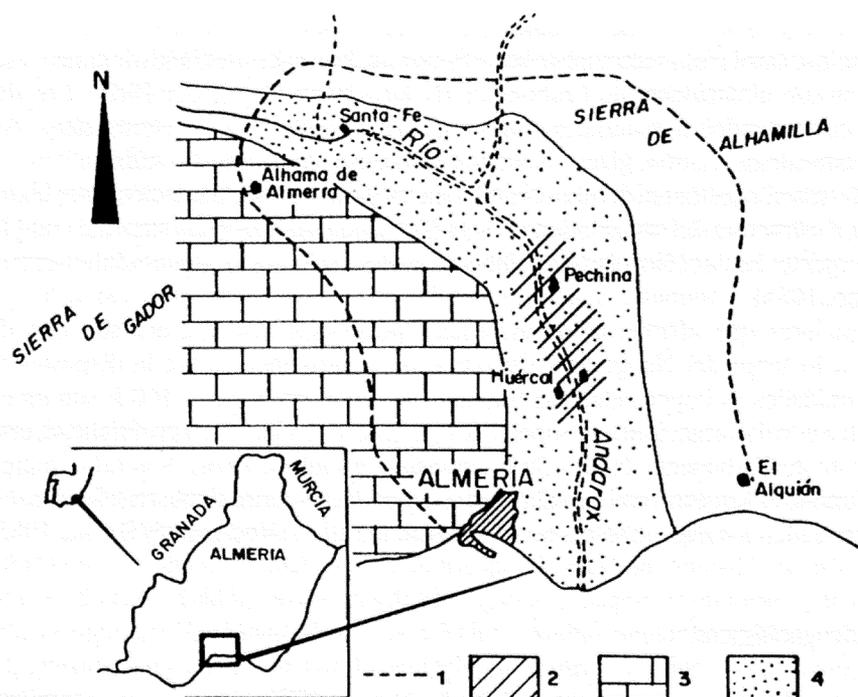
### **Rasgos hidrogeológicos**

Los materiales correspondientes a las unidades Nevado-Filábrides, básicamente micasquistos y cuarcitas, tienen un comportamiento acuícluido a acuífero pobre. En las unidades Alpujárrides existe una formación metapelítica, de carácter similar a la nevado-filábride, sobre la que se sitúa una formación carbonatada de permeabilidad debida a la fisuración y/o karstificación.

Los materiales postorogénicos, con una estratigrafía muy heterogénea, presentan grandes cambios en la permeabilidad; las formaciones margosas miocenas y pliocenas se comportan como acuícluidos; los depósitos pliocenos deltáicos y las formaciones detríticas pliocuaternarias y

cuaternarias constituyen acuíferos. De acuerdo con esta distribución de materiales se definen las siguientes unidades hidrogeológicas (Pulido Bosch et al., 1990 y 1991 b; Sánchez Martos, 1990; figura 5):

**Acuífero detrítico-** Se extiende a lo largo de todo el sector central del valle. Incluye a los materiales cuaternarios, aluviales y deltáicos junto a los conglomerados arenoso-limosos deltáicos pliocenos. Su espesor oscila entre los 200 m que alcanzan los materiales pliocenos en el área de Santa Fe, y los 20-40 m que poseen los cuaternarios en el delta. Desde 1973 el IGME realiza un seguimiento de los niveles piezométricos (IGME-IRYDA, 1977; IARA, 1988). De acuerdo con esta información, se observa que el acuífero detrítico muestra oscilaciones de nivel muy acentuadas, con claras recuperaciones estacionales, especialmente aguas arriba de Pechina. En las áreas bajas, la superficie ocupada con cotas piezométricas negativas se ha incrementado en los últimos años. Incluso han aparecido conoides negativos en los sectores donde se concentran las mayores explotaciones.



**Figura 5.** Esquema hidrogeológico del Medio y Bajo Andarax; 1: límite aproximado; 2: acuífero profundo; 3: acuífero carbonatado; 4: acuífero detrítico. Modificado de Pulido Bosch et al., 1991 b).

**Acuífero carbonatado de Sierra de Gádor.** Se extiende a lo largo de todo el borde de la Sierra. Básicamente está integrado por materiales calizo-dolomíticos alpujárrides, y localmente calcarenitas miocenas. Se comporta preferentemente como libre, aunque localmente posee

intercalaciones margosas impermeables, que le confieren un carácter confinado. Su geometría es muy compleja, debido a que la disposición en mantos complica la estructura, con repeticiones de la serie en vertical y compartimentaciones del acuífero en bloques que lo hundan hacia el Este. Sus cotas piezométricas descienden con la topografía alcanzando valor negativo en algunos sondeos cercanos a la ciudad de Almería. La evolución piezométrica presenta un continuo descenso de niveles (Carrasco y Martín, 1988).

**Acuífero profundo.** Se detectó con los datos aportados por algunos sondeos ejecutados en el centro del valle. Aunque los datos hidrogeológicos son escasos, puede afirmarse que constituye un acuífero confinado, compartimentado en bloques con algunos saltos mayores de 200 m. La potencia de materiales carbonatados atravesados en los sondeos totalmente penetrantes oscila entre 80 y 120 m. Los niveles piezométricos muestran cotas bastante estables comprendidas entre 60 y 70 m b.n.m. Tanto en este acuífero como en el anteriormente descrito se detecta una anomalía geotérmica positiva (Cerón et al., 1993); el termalismo del área es bien manifiesto en los Baños de Sierra Alhamilla (Pulido Bosch et al., 1992 a).

## LOS ACUÍFEROS DEL CAMPO DE DALÍAS

### Aspectos generales

El Campo de Dalías ocupa una superficie cercana a los 330 km<sup>2</sup>. El límite septentrional está constituido por las estribaciones de la Sierra de Gádor, mientras que los bordes restantes los ocupa el mar Mediterráneo. El área presenta un relieve relativamente suave, comprendido entre la cota 300 y el nivel del mar: registra una pendiente continuada hacia el mar, rota por la existencia de algunos escarpes y por varias formas cerradas, algunas de gran envergadura, como es la existente en el entorno de Las Norias-Mojonera (Navarrete, 1992).

El despegue económico de la provincia de Almería se ha hecho, en gran medida, como consecuencia de la actividad agrícola del Campo de Dalías. A ello han contribuido las características climáticas del área que han permitido el cultivo de numerosos productos hortícolas en épocas en las que el mercado ha estado poco abastecido, gracias al gran número de horas de insolación y al esfuerzo del agricultor almeriense. Se estima que la actividad económica relacionada directa o indirectamente con la agricultura mueve actualmente más de cien mil millones de pesetas anuales.

### El marco geológico

Los terrenos aflorantes se pueden agrupar en dos grandes conjuntos: materiales preorogénicos y materiales postorogénicos. Dentro de los primeros afloran dos unidades distintas: Unidades del Manto de Gádor (o Lújar; Jacquin, 1970; Orozco, 1972); y Unidades del Manto de Felix (Murtas). En las Unidades del Manto de Gádor, de muro a techo, se diferencian un tramo de filitas y cuarcitas

sobre el que descansa una potente serie carbonática que posiblemente supere el millar de metros de espesor.

En las Unidades del Manto de Felix, al igual que en los materiales del Manto de Gádor, existe un tramo basal metapelítico y otro superior carbonático. El tramo basal está constituido por filitas, esquistos arcillosos y cuarcitas. Se intercalan algunos lechos de calcoesquistos amarillentos. El tramo carbonático superior presenta mucha menor potencia que su equivalente de Lújar (normalmente menos de 100 m). Se trata de dolomías, calizas recristalizadas y frecuentemente trituradas. Se asignan edades similares a los tramos equivalentes de Gádor (Permowerfeniense a las metapelitas y Trías medio-superior al tramo carbonático). Estos materiales afloran o subafloran en la mitad oriental del área de estudio.

No se conocen depósitos cuya edad esté comprendida entre el Triásico superior y el Mioceno. Los materiales del Mioceno superior afloran a todo lo largo del borde septentrional del Campo; localmente aparecen sobre conglomerados de cantos de lava o sobre rocas volcánicas; se trata de biodolomicritas o biomicritas con cantos de cuarzo, de rocas metamórficas y muchos restos de organismos, escasamente redondeados. La potencia del conjunto miocénico llega a sobrepasar 100 m de espesor, aunque hacia el Oeste disminuye de forma apreciable. Por datos de sondeos se conoce que hacia el Sur se produce un cambio de facies hacia margas yesosas y conglomerados, que reposan bajo una potente serie pliocena.

El Plioceno se encuentra representado por materiales que adquieren espesores notables. Por datos de sondeos se conoce la existencia de un conglomerado basal sobre el que se depositó una formación margosa marina de espesor muy variable, pero que puede superar 700 m. Estas margas afloran en algunos sectores del borde meridional del Campo. Hacia el techo comienzan a aparecer calcarenitas que culminan la formación; llegan a superar 100 m de potencia y constituyen el relieve aflorante en toda la mitad meridional del Campo. Los materiales de edad cuaternaria están ampliamente representados, con facies muy diversas. Los materiales que presentan mayor interés son los grandes conos de deyección que se desarrollan en la falda de la Sierra de Gádor; llegan a superar 150 m de espesor. Existen, además, depósitos cuaternarios más antiguos, marinos. Dentro de las facies continentales, además de los conos de deyección, afloran limos rojos arcillosos, con algunos cantos de cuarzo. Rellenan depresiones topográficas. Además de los sedimentos citados existen algunos otros, cuyo desarrollo es escaso; se trata de depósitos limosos y fangosos relacionados con las salinas, dunas más o menos estabilizadas y sedimentos de playa que bordean el litoral actual.

En cuanto a las diferentes etapas tectónicas que han afectado al área, el paroxismo más importante, en lo que a consecuencias estructurales se refiere, es el que dio lugar a la traslación de los mantos, Felix sobre Gádor. Las deformaciones «neotectónicas» son las que contribuyen a dar al área la actual disposición; se trata de etapas de fracturación, basculamientos y abombamientos; Fourniguet (1977) describe incluso pequeños pliegues cuaternarios. Después del Mioceno superior el alto fondo de Gádor se fractura según la dirección dominante N 70 E. Se trata de fallas normales de gran salto que dan lugar a una serie de compartimentos dentro de la cuenca; destaca el horst de Guardias Viejas y el graben que ocupa todo el sector central del Campo.

## Rasgos hidrogeológicos

### *Características geométricas e hidráulicas*

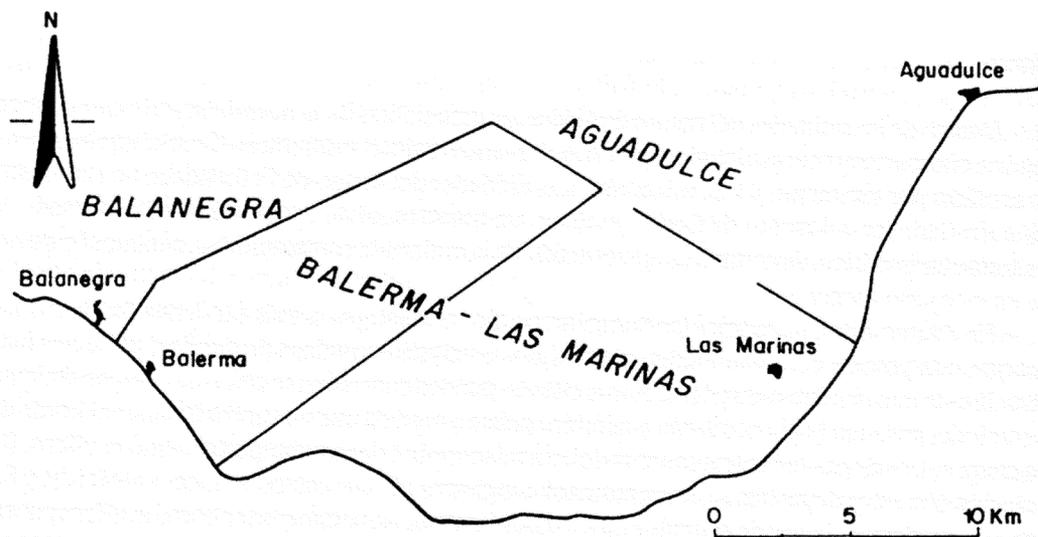
Dentro de las unidades del manto de Gádor las metapelitas de la base de la serie carbonática tendría comportamiento acuicludo; la serie carbonática -calizas y dolomías- tiene comportamiento acuífero por fisuración y karstificación. Las unidades del manto de Felix tienen una constitución similar a las del manto de Gádor, es decir, un tramo basal de comportamiento acuicludo, y un tramo carbonático, de comportamiento acuífero, con elevada permeabilidad, aunque el espesor es en este caso menor.

En cuanto a los materiales postorogénicos, de más antiguo a más moderno, se tienen las margas con yesos y conglomerados, reconocidos en algunos sondeos profundos; las facies más distales -de mayor contenido en fracción arcillosa- pueden considerarse como de comportamiento acuicludo, pasando hacia acuitardo y acuífero pobre a medida que nos aproximamos al borde de la cuenca. Los depósitos calcareníticos de esta misma edad tienen comportamiento acuífero. En relación con estos depósitos se encuentran los conglomerados de cantos de rocas volcánicas y las propias rocas volcánicas; de acuerdo con los datos de sondeos, se comportan como acuífero pobre.

En lo relativo a los materiales pliocenos, el conglomerado basal -cuya geometría se desconoce- tendría comportamiento acuífero, mientras que la potente serie margosa marina se comporta como un acuicludo; no obstante, en los sectores de pequeño espesor, en donde además existe una cierta fracción de arenas, se puede establecer un flujo a su través (acuitardo), función de la permeabilidad vertical y de la diferencia de carga hidráulica entre las formaciones acuíferas infra y suprayacente. Las calcarenitas que culminan la serie pliocena tienen comportamiento acuífero. Las gravas cuaternarias con arenas y otros elementos más finos que constituyen los grandes conos de deyección que cubren la falda de Sierra de Gádor tienen comportamiento acuífero, altamente permeable. Los materiales correspondientes a los episodios marinos cuaternarios, debido a su escaso desarrollo, no tienen gran interés hidrogeológico.

De acuerdo con la estructura del área y la información aportada por el inventario de casi 1200 puntos acuíferos dentro del Campo se diferencian tres unidades hidrogeológicas (figura 6):

- *Balermo-Las Marinas*, que ocupa la mayor parte del área, desde Balermo hasta Las Marinas. Está esencialmente integrada por las calcarenitas pliocenas.
- *Balanegra*, que ocupa los alrededores de la localidad que le da su nombre. Está constituida esencialmente por los materiales carbonatados alpujárrides, aunque localmente incluye terrenos miocenos y pliocenos.
- *Aguadulce*, ubicada en el extremo oriental del Campo; está integrada por dolomías alpujárrides, calcarenitas y rocas volcánicas miocenas, calcarenitas con episodios de margas arenosas del plioceno y materiales cuaternarios.



**Figura 6.** Unidades hidrogeológicas diferenciadas en el Campo de Dalías. 1: Aguadulce; 2: Balerma-Las Marinas; 3: Balanegra.

#### *Unidad de Balerma-Las Marinas*

Esta unidad es la que ocupa mayor extensión en todo el Campo, con unos 225 km<sup>2</sup> de afloramiento. Se extiende a todo lo largo de la llanura litoral, quedando fuera sólo el borde nororiental y la franja de los pies de monte. Sobre este acuífero se sitúa la mayor parte de la actividad agrícola. El espesor de los materiales pliocenos, que integran esencialmente esta unidad, decrece de Norte a Sur, al tiempo que aumenta la proporción en elementos terrígenos. Los datos de numerosas pruebas de bombeo (IGME, 1982 b) ponen de manifiesto la gran variabilidad especial de la transmisividad, con valores que alcanzan 1800 m<sup>2</sup>/día en el sector central y 120 m<sup>2</sup>/día en la mitad occidental.

La característica hidrogeológica más peculiar de esta unidad se refiere a la evolución piezométrica espacial y temporal; en efecto, prácticamente todo el área se encuentra sobre el nivel del mar y las evoluciones piezométricas temporales ponen de manifiesto la existencia de una tendencia generalizada a la subida o la estabilización (Thauvin, 1986). La mala calidad natural de sus aguas (Pulido Bosch et al., 1989 a y b, y 1991) y el hecho de llevarse a cabo sobre su superficie la mayor parte de los regadíos, justificaría tal constatación. Los bombeos en esta unidad alcanzan un valor medio de 15 Hm<sup>3</sup>/año; pequeñas extracciones puntuales llegan a crear notables conoides de descenso (Pulido Bosch et al., 1989 b). Las entradas medias totales se estiman en 18-24 Hm<sup>3</sup>/año.

*Unidad de Balanegra*

Esta unidad hidrogeológica ocupa la mitad oriental del Campo y tiene parte bajo el acuífero de Balerna-Las Marinas; está separado de él por las margas pliocenas que actúan de techo confinante. El material acuífero 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. Ocupa 195 km<sup>2</sup> de los que algo menos de la mitad se encuentran confinados bajo las margas pliocenas. Los límites septentrional y occidental de la unidad, de naturaleza impermeable, están constituidos por las metapelitas basales del manto; el límite meridional debe ser el mar, aunque no a todo lo largo del litoral está el mar en contacto en el acuífero, sino sólo a través de la escama de Balsa Nueva.

En lo relativo a los parámetros hidráulicos del sistema se han obtenido valores comprendidos entre 15.000 y 22.000 m<sup>2</sup>/día. El coeficiente de almacenamiento en las calcarenitas, en condiciones de acuífero libre, puede estar comprendido entre 15 y 20 % (IGME, 1982 b). La existencia de valores del nivel piezométrico por debajo del nivel del mar en este acuífero es un hecho ya constatado en el estiaje de 1978; a partir de ese año los descensos son continuados a razón de 97,75-1 m/año, consecuencia de la existencia de un volumen de extracciones superior al de las entradas. En Mayo de 1989 existían varios conoides con el nivel piezométrico a más de 10 m bajo el nivel del mar (Macías, 1988); en el año 1992 se llegan a superar los 20 m. Mientras que las entradas medias se estiman cercanas a 15 Hm<sup>3</sup>/año, las extracciones duplican dicho caudal.

*Unidad de Aguadulce*

Esta unidad hidrogeológica es la de mayor complejidad tectónica. Junto a la existencia de la mayor parte de los materiales acuíferos presentes en el Campo, en cortes verticales se suceden varias formaciones acuíferas separadas por otras tantas formaciones de baja permeabilidad, dando lugar a un auténtico multicapa; sin embargo, lateralmente se pueden acuñar algunas de las formaciones de manera más o menos brusca (Pulido Bosch et al., 1989 a; Domínguez et al., 1988; Domínguez y Custodio, 1992 y 1994; estos últimos autores denominan a esta unidad de manera diferente).

Tanta variedad litológica dentro de las formaciones acuíferas tiene, lógicamente, su incidencia en los valores de los parámetros hidráulicos. En las dolomías de Gádor se han obtenido valores comprendidos entre 5.000 y 17.000 m<sup>2</sup>/día. En los materiales restantes se obtienen resultados muy dispares que cubren un rango que va desde 6.000 en las calcarenitas miocenas a 200 m<sup>2</sup>/día en materiales pliocuaternarios (IGME, 1982 b).

Al igual que en la unidad anterior, los niveles piezométricos en ésta han descendido continuamente desde el año 1973, registrándose valores bajo el nivel del mar a partir de 1977; los datos más recientes ponen de manifiesto que la mayor parte de la superficie piezométrica en el acuífero se encuentra bajo el nivel del mar, reflejando así el estado de sobreexplotación a que se encuentra sometido (Molina, 1989; Pulido Bosch et al., 1992 c). En efecto, mientras que las extracciones medias se aproximan a los 50 Hm<sup>3</sup>/año, las entradas son del orden de 15 Hm<sup>3</sup>/año.

## La Sierra de Gádor como área de alimentación

Es una realidad bien constatada que el principal área de alimentación de los acuíferos del Campo corresponde a la Sierra de Gádor, de ahí el interés de su estudio. La vertiente meridional de Sierra de Gádor ocupa una extensión de 320 km<sup>2</sup>; está constituida por un conjunto de 55 pequeñas subcuencas orientadas según la dirección N-S, desembocando en el Campo de Dalías (figura 7). La precipitación estimada para la vertiente Sur de Sierra de Gádor es 360 mm, y la lluvia útil un 30 % de la cifra anterior.

La superficie de las 55 cuencas vertientes oscila entre 0,2 y 54 km<sup>2</sup>. Los barrancos y ramblas más destacables son, de Este a Oeste: rambla de los Infantes (11 km<sup>2</sup>), rambla de Almocete (49 km<sup>2</sup>), rambla del Aguila (11 km<sup>2</sup>), rambla de la Maleza (13 km<sup>2</sup>), barranco de Carcáuz (54 km<sup>2</sup>), rambla del Cañuelo-Los Sauces (30 km<sup>2</sup>) y rambla de las Hortichuelas (30 km<sup>2</sup>). Estas ocho cuencas abarcan casi el 70 % de la vertiente estudiada.

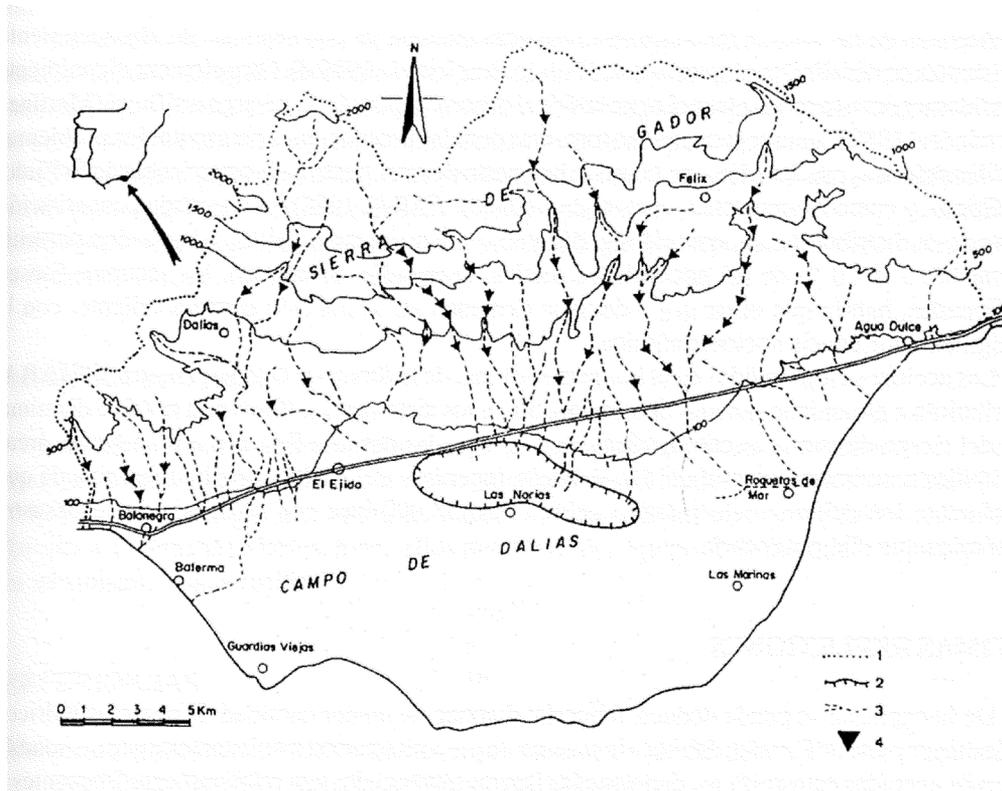
En dichas áreas se han construido por parte del IARA -sobre todo- y por la CHSE (14 diques de gaviones), un centenar de diques de los que más de la mitad son de mampostería hidráulica y el resto de mampostería gavionada y hormigón (Pulido Bosch et al., 1993 a y 1994).

La altura útil de las presas de retención inventariadas oscila entre 3 y 10 m, si bien algunas poseen 14 m, observándose cerradas que superan 45 m de longitud. La capacidad de embalse teórica del conjunto de diques es del orden de 230.000 m<sup>3</sup>, aportando el 20 % de este volumen la cuenca de Carcáuz, con 17 presas. La capacidad de retención de sedimentos sería sensiblemente mayor, debido a la pendiente de compensación que desarrollan los acarreos retenidos en condiciones de aterramiento total. La capacidad de retención podría evaluarse en unos 380.000 m<sup>3</sup>. Los sedimentos retenidos actualmente por las presas se han estimado en 40.000 m<sup>3</sup>, reduciendo sensiblemente las capacidades de embalse y de retención. Los mayores aterramientos se han detectado en las cuencas más orientales, que es donde afloran calcoesquistos y filitas del manto de Felix.

Los efectos más inmediatos que estas obras producen (Simón, 1978) son, por un lado, de retención y sedimentación, ya que al restar energía cinética a las aguas de escorrentía provocan el depósito de gran parte del material sólido transportado; por otro lado, producen un efecto de regulación, al almacenar y embalsar de forma temporal el agua superficial, drenada en parte posteriormente a través de los mechinales; producen, también, cambios morfológicos en los cauces donde se ubican. Aguas arriba de las obras predomina el fenómeno de sedimentación, mientras que aguas abajo el efecto es contrario.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la gran contribución de las presas de retenida es el aumento de la infiltración del agua de escorrentía que eventualmente queda retenida en el vaso. Si bien la sedimentación de limos y arcillas imprimiría un cierto carácter impermeable al lecho del cauce, habría que considerar la infiltración lateral a través de las paredes del embalse. Este agua puede constituir una importante aportación a los recursos hídricos subterráneos del acuífero carbonatado de Sierra de Gádor (Pulido Bosch, 1990). Ello justificaría la localización de los sectores más permeables para ubicación de los diques que, además de cumplir una función correctora del torrente, permitirían el aprovechamiento de las aguas de carácter torrencial. Los estudios en curso -financiados por el IARA- permitirán seleccionar nuevos emplazamientos para

ubicar más diques que contribuyan a aumentar la alimentación al acuífero, al tiempo que reduzcan los riesgos de avenidas catastróficas y retengan los sólidos arrastrados (Pulido Bosch et al., 1994).



**Figura 7.** Esquema fisiográfico del borde meridional de la Sierra de Gádor y su situación general. 1: divisoria hidrográfica; 2: cuenca endorreica; 3: cauce; 4: dique. Tomado de Pulido Bosch et al. (1990).

### Discusión final

El Campo de Dalías constituye uno de los múltiples ejemplos existentes a todo lo largo del mundo, en los que la escasez de agua actúa como elemento limitativo del desarrollo económico; la explotación de las aguas subterráneas ha permitido convertir un pedregal en una comarca de gran pujanza económica. Ahora bien, el precio pagado ha sido el deterioro parcial de la calidad de las aguas y un futuro incierto si no se encuentran fuentes alternativas de suministro de agua (Alonso, 1989).

Ya ha entrado en funcionamiento el canal que trae agua desde el embalse de Benívar; dicho embalse suministrará agua potable a la ciudad de Almería, actualmente abastecida con aguas del

Campo, con lo que también se reducirán las extracciones. Los intentos por parte de la Administración de llevar a cabo trasvases de aguas procedentes de otras cuencas se enfrentan a la oposición sistemática de los usuarios en dichas áreas; la aprobación por el Parlamento del Plan Hidrológico Nacional permitirá desbloquear el proceso, aunque parece que el debate será muy arduo.

Algunas de las nuevas instalaciones turísticas cuentan ya con sistemas de abastecimiento consistentes en desalinizar el agua de mar (Pulido Bosch et al., 1989 d). Otro elemento igualmente a considerar consiste en emplear el agua residual urbana depurada en recarga artificial (Martínez y Fernández, 1989), aunque será preciso tomar las debidas precauciones para evitar los problemas que tales prácticas pueden plantear, como se ha puesto de manifiesto en la experiencia de El Ejido. Por último, y como ha constatado un estudio reciente (IARA, 1988), la adecuada conservación de la red de distribución de agua de regadío y el correcto manejo del líquido pueden permitir ahorrar hasta el 20 % de las necesidades totales de regadío. Si aún así, los recursos fuesen insuficientes, habría que optar por reducir la demanda en la fracción correspondiente, con la consiguiente influencia socioeconómica.

Las acciones emprendidas en el borde meridional de la Sierra de Gádor, por parte del IARA, contribuirán a garantizar una mayor alimentación a los sistemas acuíferos con notable disminución del riesgo de avenidas catastróficas, que en décadas pasadas llegaron a inundar las áreas deprimidas (comunicación oral del Dr. Pallarés, ingeniero del IARA), con la diferencia de que actualmente los cultivos bajo plástico cubren casi 15.000 has, con el consiguiente desastre económico que ello provocaría.

## ULTIMAS REFLEXIONES

De lo expuesto se puede deducir Almería; dispone de menor cantidad de recursos hídricos que la mayor parte de España, debido a la escasez de precipitaciones; no obstante existe un notable riesgo de avenidas catastróficas, dado que las lluvias torrenciales son relativamente frecuentes y que la cobertera vegetal es escasa. Por otro lado, las posibilidades de regulación de la lluvia útil mediante embalses de superficie son restringidas, como consecuencia de la notable irregularidad de las aportaciones; ello no impide planificar una política hidráulica racional sobre la base del uso conjunto aguas superficiales-subterráneas.

Los embalses subterráneos requieren una explotación racional y gestión adecuada; de no ser así se pueden deteriorar de manera irreversible, sea por intrusión marina en los acuíferos costeros, o por vaciado del reservorio en los del interior.

En consecuencia con las consideraciones expuestas, una medida prioritaria es revegetar grandes áreas para reducir la erosionabilidad de los terrenos (Simón, 1982). Los trabajos tendentes a disminuir la pendiente en los cauces mediante diques tendrán también un efecto muy positivo en el medio. En esta misma línea, la construcción de embalses de laminación de avenidas con aprovechamiento posterior para recarga artificial de acuíferos debiera dar resultados muy favorables. En este sentido es muy loable el estudio iniciado en el borde Sur de Gádor y debe profundizarse en la investigación de la eficiencia de tales obras.

La gran complejidad de la gestión de los recursos hídricos en un área como es la provincia de Almería requiere contar con una infraestructura hidráulica a todos los niveles -precipitaciones,

temperaturas, lluvia útil, caudales, niveles piezométricos, redes de calidad, etc- para conocer en cada momento la situación y permitir hacer prospectiva. Los modelos matemáticos de simulación del flujo, los de calidad y los de gestión, deben constituir herramientas de uso común en la política hidráulica en el área.

La necesidad de satisfacer la creciente demanda de agua hace preciso tener en cuenta la reutilización de las aguas residuales previamente depuradas, así como la investigación de otras fuentes alternativas de recursos; en esta línea, la desalinización de agua de mar y/o aguas salobres, es una solución cada vez más abordable técnica y económicamente.

Por último, parece necesario tomar conciencia de la necesidad de profundizar en la investigación de los procesos hidráulicos -cantidad y calidad- en un área de tantas peculiaridades hidrológicas como es Almería; el potencial humano de las Universidades, y concretamente el de la recientemente creada de Almería, puede ser empleado con tal fin.

## AGRADECIMIENTOS

ALIARA, organismo cofinanciador de parte de la investigación cuyos resultados se sintetizan aquí; los trabajos se han llevado a cabo, asimismo, en el marco del proyecto AMB92-0211 (CICYT). A los colegas J.L. Martínez Vidal, F. Navarrete, L. Molina, A. Vallejos, W. Martín Rosales y F. Sánchez Martos, todos ellos miembros del equipo realizador de los proyectos, por su inestimable colaboración.

## REFERENCIAS

- Aldaya, F. y Ewert, K. (1979). El manto de Murtas al sur de Sierra Nevada (Alpujárrides, Cordilleras Béticas). Bol. Geol. Min. nº 90: 124-131.
- Alonso, C. (1989). Soluciones para los acuíferos del Campo de Dalías. In *La Sobreexplotación de acuíferos*. Temas Geol.-Min., 10: 147-156.
- Balanyá, J.C. y García-Dueñas, V. (1987). Les directions structurales du Domaine d'Alboran de part et d'autre du Déroit de Gibraltar. C.R. Ac. Sc., 304, Série II: 929-934.
- Bousquet, J.C. y Philip, H. (1976). Observations tectoniques et microtectoniques sur la distension Plio-Pléistocène ancienne à l'Est des Cordillères Bétiques (Espagne Méridionale). Cuad. Geol. Univ. Granada. 7: 57-67. Granada.
- Carrasco, F. (1986). Contribución al conocimiento de la cuenca alta del río Guadalhorce: el medio físico. Hidrogeoquímica. Tesis Doctoral Univ. de Granada, 435 p.
- Carrasco, A. (1988). Hidrogeología del Campo de Níjar y acuíferos «marginales» (Almería). TIAC'88, II: 1-36.
- Carrasco, A., Frías, J. y Ruíz-Tagle, M. (1981). Diferenciación de unidades hidrogeológicas en la Sierra de Las Estancias. Estimación de sus recursos y reservas. I SIAGA. Granada, II: 615-626.
- Carrasco, A. y Martín G. (1988). Hidrogeología de los acuíferos del valle del Andarax (Almería). TIAC'88, II: 37-67.

- Carulla, N. (1978). Contribución al conocimiento de la dinámica hidrogeológica en clima semiárido (Depresión de Vera, Almería). Tesis Doctoral Univ. Autónoma de Barcelona. 2 tomos.
- Castillo, J.M. (1989). El clima de Andalucía. Tesis Doct. Univ. Granada. Col. Invest. nº 13 del IEA. 266 p. y apéndices.
- Castillo, E., Hidalgo, J. y Lupiani, E. (1986). Características hidrogeológicas del sistema acuífero Sierra de Las Estancias - sector meridional (Almería). II SIAGA, Granada. II: 231-243.
- Castillo, E., Lupiani, E., Hidalgo, J., González, A. y Aranda, J.A. (1989). Sobreexplotación de acuíferos en la cuenca del Almanzora. Almería. In *La Sobreexplotación de Acuíferos*. Temas Geol.-Min., 10: 35-41.
- Cerón, J.C. (1991). Estudio hidrogeoquímico de la Cubeta de Pulpí (Almería y Murcia). Tesis Lic. Univ. Granada. 195 p.
- Cerón, J.C. y Pulido Bosch, A. (1991). Consideraciones sobre la geometría de un sector del acuífero de la Cubeta de Pulpí (Almería). III SIAGA, Córdoba. I: 325-337.
- Cerón, J.C., Pulido-Bosch, A. y Sánchez Martos, F. (1993). Thermodynamic equilibria and base temperatures of the karstic waters in the middle and lower Andarax (Almería, Spain). In *Some Spanish Karstic Aquifers*, pp: 225-241.
- CHSE (1983). Estudios básicos para la redacción del Plan Hidrológico de la Cuenca Hidrográfica del Sur de España. 1ª Fase. 15 volúmenes (inédito).
- CHSE (1992). Proyecto de Directrices. Plan Hidrológico. MOPT. 99 p.
- Custodio, E. y Díaz, E. (1986). Calidad del agua subterránea. In *Hidrología Subterránea*. Edit. Omega. Barcelona. 2347 p.
- Domínguez, P. y Custodio, E. (1993). Sea water intrusion in the Lower North-Eastern aquifer of the «Campo de Dalías» (Almería, southeastern Spain): preliminary study of monitoring data. 12th SWIM. pp: 631-659. CIMNE.
- Domínguez, P. y Custodio, E. (1994). Aplicación de técnicas de isótopos ambientales estables del agua como apoyo al estudio de los acuíferos del sector noreste del Campo de Dalías (Almería), afectados por intrusión marina. Anal. Evol. Cont. Aguas Subt. I: 73-90. Alcalá.
- Domínguez, P. et al. (1988). Síntesis hidrogeológica del Campo de Dalías y su entorno. TIAC'88. II: 69-144.
- Fourniguet, J. (1977). Sur le Quaternaire marin et la néotectonique du Campo de Dalías (Andalousie, Espagne). Acta Geológica Hispánica. XII, 4-6: 90-97.
- García, M. y Vives, R.M. (1987). Estudio hidrogeológico del sector oriental de la sierra de Las Estancias (Prov. de Almería). Hidrogeol. y Rec. Hidrául. XI: 141-154.
- Goy, J.L. y Zazo, C. (1982). Niveles marinos cuaternarios y su relación con la neotectónica en el litoral de Almería (España). Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol.), 80: 171-184.
- Goy, J.L. y Zazo, C. (1985). Synthesis of the Quaternary in the Almería Littoral neotectonic activity and its morphologic features, Western Betic. Spain. Tectonophysics, (130): 259-270. Amsterdam.
- Iaccarino, S., Morlotti, E., Papani, G., Pelosio, G. y Raffi, S. (1975). Litoestratigrafía y bioestratigrafía di alcune serie Neogeniche della Provincia di Almería (Andalusia Orientale, Espagne). Ateneo Parmense. Acta Naturalia, V. II, 2.

- IARA (1988). Estudio de las pérdidas de agua en el Campo de Dalías. (inédito).
- IARA (1988). Estudio para la localización de puntos para la ejecución de sondeos en el bajo Andarax. 43 p. Inédito.
- 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 (1977 a). Estudio hidrogeológico de la cuenca Sur (Almería). Memoria-Resumen. 145 p. Serv. Publ. Min. Ind. Madrid.
- IGME (1977 b). Estudio hidrogeológico de la Cuenca Sur (Almería). X volúmenes (dif. restringida). Madrid.
- IGME (1980). Estudio hidrogeológico de las unidades carbonatadas del alto Almanzora (Almería). 85 p.
- IGME (1982 a). Estudio hidrogeológico de la comarca del Campo de Níjar (Almería). Inf. inédito.
- IGME (1982 b). Estudio hidrogeológico del Campo de Dalías. 12 vol. (inédito).
- IGME (1987). Síntesis hidrogeológica de la provincia de Almería. Informe inédito.
- Jacquín, J.P. (1970). Contribution à l'étude géologique et minière de la Sierra de Gador (Almería, Espagne). Thèse Univ. Nantes, 501 p.
- Macías, A. (1988). Contribución al conocimiento hidrogeoquímico del sector occidental del Campo de Dalías (Almería). Tesis Lic. Univ. Granada. 194 p. (Mem. inédita).
- Martínez, D. y Fernández, G. (1989). Plan experimental de recarga con aguas residuales urbanas tratadas en el municipio de El Ejido (Almería). In *La Sobreexplotación de acuíferos*. Temas Geol.-Min. 10: 277-286.
- Molina, L. (1989). Contribución al conocimiento hidroquímico del sector oriental del Campo de Dalías (Almería). Tesis Lic. Univ. Granada. 187 p. Anexos y planos (Mem. inédita).
- Moreno, I. (1980). Contribución al conocimiento hidrogeológico de las Sierras de María y del Maimón (provincia de Almería). Tesis Lic. Univ. Granada. 194 p. y planos.
- Moreno, I., Pulido Bosch, A. y Fernández-Rubio, R. (1982). Estudio hidrogeológico del término municipal de Albox (provincia de Almería). Diput. Almería. 98 p. (Mem. inédita).
- Moreno, I., Pulido Bosch, A. y Fernández-Rubio, R. (1983). Hidrogeología de las sierras de María y del Maimón (provincia de Almería). Bol. Geol. Min. XCIV-(IV): 321-338.
- Moreno, F. (1983). Consideraciones hidrogeológicas en el Subbético, el Maláguide, el Alpujárride y el Nevado-Filábride, al Norte de la provincia de Almería. III Simposio de Hidrogeología. pp: 685-694.
- Navarrete, F. (1992). Contribución al conocimiento hidrogeoquímico del Campo de Dalías. Tesis Doctoral Univ. Granada. 435 p.
- Orozco, M. (1972). Los Alpujárrides en Sierra de Gádor Occidental. Tesis Doctoral Univ. Granada. 379 p.
- Pulido Bosch, A. (1982). Consideraciones hidrogeológicas sobre los yesos de Sorbas. Reun. Mon. Karst Larra. I: 257-274.
- Pulido Bosch, A. (1986). Le karst dans les gypses de Sorbas (Almería): aspects morphologiques et hydrogéologiques. Karstologia Mem. 1: 27-35.
- Pulido Bosch, A. (1988). Síntesis hidrogeológica del Delta del río Adra (Almería). TIAC'88, II: 145-169.

- Pulido Bosch, A. (1990). The employment of flood waters in the recharge of aquifers in semiarid zones. The example of El Campo de Dalías (Almería, Spain). Libro Homenaje a Carlos Romariz. Univ. Lisboa. pp: 257-277.
- Pulido Bosch, A. et al. (1986 a). Estudio hidrogeológico de la cuenca del Río Adra. 66 p. Proyecto LUCDEME. ICONA-Univ. Granada (Mem. inédita).
- Pulido Bosch, A., Calaforra, J.M. y Padilla, A. (1986 b). Rasgos climatológicas de la cuenca del río Adra (Almería). II SIAGA, II: 637-649.
- Pulido Bosch, A. et al. (1988 a). Hidrogeología del delta del río Adra. Est. Geol. 44: 429-443.
- Pulido Bosch, A. et al. (1988 b). Metodología del estudio de intrusión marina del Campo de Dalías (Almería). TIAC'88. Almuñécar. III: 295-309.
- Pulido Bosch, A. et al. (1989 a). Caracterización hidrogeoquímica del Campo de Dalías (Almería). Serv. Estudios IARA. 265 p. Granada.
- Pulido Bosch, A., Navarrete, F., Molina, L. y Macías, A. (1989 b). Consideraciones sobre algunas anomalías hidrogeoquímicas existentes en la Unidad Balerma-Las Marinas (Campo de Dalías, Almería). Geogaceta, 6: 14-16.
- Pulido Bosch, A., Castillo, A. y Padilla, A. (1989 c). La sobreexplotación de acuíferos. Congreso Nac. Temas Geológico-Mineros. 2 volúmenes.
- Pulido Bosch, A. et al. (1989 d). La sobreexplotación del acuífero de Aguadulce (Campo de Dalías, Almería). Esbozo de soluciones. In *La sobreexplotación de acuíferos*. I: 287-300.
- Pulido Bosch, A. et al. (1990). Evaluación de la calidad del agua subterránea en el Bajo Andarax (Almería). IARA-Univ. Granada (Mem. inédita).
- Pulido Bosch, A. et al. (1991 a). Quantity and quality of groundwater in the Campo de Dalías (Almería, SE Spain). Wat. Sci. Tech. 24(11): 87-96.
- Pulido Bosch, A. et al. (1991 b). Characterization of the overexploitation in the Middle and Lower basins of the river Andarax (Almería). XXIII IAH Congress, I: 563-569.
- Pulido Bosch, A. et al. (1992 a). Considérations hydrochimiques sur le thermalisme dans les matériaux carbonatés du Bas et Moyen Andarax (Almería, Espagne). Annales Sci. Univ. Besançon, 11: 215-232.
- Pulido Bosch, A. et al. (1992 b). Seguimiento y densificación de los diques de retención del borde meridional de la Sierra de Gádor y análisis de su influencia sobre el medio. Memoria semestral. IARA-Univ. Granada. 113 p.
- Pulido Bosch, A. et al. (1992 c). L'intrusion marine dans l'aquifère carbonaté d'Aguadulce (Almería, Espagne). Congreso Hidrogeol. Trias. Luxembourg
- Pulido Bosch, A., Simón, E. de, Martín Rosales, W., Vallejos, A., Padilla, A. y Navarrete, F. (1993 a). Efectos sobre el medio de los diques de retención en la vertiente Sur de la Sierra de Gádor (Almería). *Problemática Geoambiental y Desarrollo*. II: 119-128.
- Pulido Bosch, A., Martín Rosales, W., Vallejos, A. et al. (1993 b). The southern catchment area of the Sierra de Gador and its impact on the Campo de Dalías (Almería). In *Some Spanish Karstic Aquifers*. pp: 159-181.
- Pulido Bosch, A. et al. (1994). Seguimiento y densificación de los diques de retención del borde meridional de la Sierra de Gádor y análisis de su influencia sobre el medio. Informe final (en elaboración). IARA-Univ. Granada.

- Ruíz-Tagle, M., González, A. y Frías, J. (1989). Evolución de la sobreexplotación en la cubeta de El Saltador. Almería. In *La sobreexplotación de acuíferos*. Temas Geol.-Min., 10: 301-310.
- Sánchez Martos, F. (1990). Contribución al conocimiento hidrogeoquímico del Bajo Andarax (Almería). Tesis de Licenciatura, Univ. Granada.
- Sanz de Galdeano, C. (1985). Estructura del borde oriental de la Sierra de Gádor (Zona Alpujárride, Cordilleras Béticas). *Acta Geológica Hispánica*, 20 (2): 145-154.
- SGOP (1982). Estudio de viabilidad de recarga artificial en los acuíferos de la cubeta de El Saltador (Almería). MOPU. 75 p. (inédito).
- Simón, E. (1978). Proyecto de restauración hidrológico-forestal de la vertiente Sur de la Sierra de Gádor para la defensa del Campo de Dalías. Provincia de Almería. ICONA. Madrid. 11 tomos. (Difusión restringida).
- Simón, E. (1982). La repoblación forestal en la lucha contra la erosión. Seminario sobre zonas áridas. Instituto de Estudios Almerienses. Diput. Almería, pp. 117-132.
- Thauvin, J.P. (1981). Riesgos de intrusión marina en el Campo de Dalías (Almería). *SIAGA*, I: 387-396. Granada.
- Thauvin, J.P. (1986). Etude hydrogéologique, modélisation et gestion des aquifères du Campo de Dalías (Province d'Almeria, Espagne). Tesis Doctoral. Univ. Nice. 3 t, 525 p.
- Vallejos, A. (1991). Contribución al conocimiento hidrogeológico de la cuenca del río Almanzora (Almería). Tesis de Licenciatura. Univ. de Granada. Inédito. 160 p.
- Vallejos, A., Pulido Bosch, A. y Castillo, A. (1994). Consideraciones sobre la hidrogeología de la cuenca del río Almanzora (SE peninsular). *Est. Geol.* (en prensa).
- Voermans, F. y Baena, J. (1983). Memoria y Hoja Geológica de Almería. (1/50.000). MAGNA (1045). IGME. Madrid. 53 p.