

TIAC'88. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros
Almuñécar (Granada, España). 1988

SINTESIS HIDROGEOLOGICA DEL CAMPO DE DALIAS Y SU ENTORNO

Patricia Domínguez Prats

Pedro Franqueza Montes

Angel González Asensio

Instituto Geológico y Minero de España (Almería)

I. INTRODUCCION

Esta síntesis trata de resumir el conocimiento alcanzado hasta la fecha por el Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E.), sobre el Campo de Dalías y su entorno, mediante el Estudio Hidrogeológico que se está realizando en la Comarca, desde 1970, de forma ininterrumpida. Con el desarrollo de este trabajo, del que se han publicado resultados en dos ocasiones (1977 y 1982) y está en preparación una tercera edición actualizada, se pretenden cumplir las misiones propias del Organismo, de investigación y divulgación, en este caso de las características hidrogeológicas de unos acuíferos con tanta importancia socioeconómica para Andalucía como los de este Campo, así como las de asesoramiento técnico a los departamentos de las administraciones públicas que se hallen interesados en la problemática de las aguas subterráneas del mismo. En esta labor ha colaborado principalmente la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A.

Como referencia orientadora del alcance de esta investigación, conviene citar el orden de magnitud de los trabajos con ella desarrollados hasta ahora que, junto a otros generados fuera de su contexto, constituyen las bases de la misma. Para la ejecución de estos trabajos, tratamiento de los datos obtenidos e interpretación de los resultados, se ha mantenido, desde hace más de 17 años, un equipo medio de 4-5 técnicos que, en su momento, ha sido asistido por otros técnicos o equipos de especialistas en áreas concretas del Estudio. De esta especial dedicación, que se continúa prestando con los proyectos en marcha, dan idea los siguientes trabajos de campo realizados:

- Cartografía hidrogeológica del Campo y entorno, y estudio de muestras de perforación, terreras de sondeo, partes de sondistas, etc., para levantamiento de columnas de unos 300 sondeos.

- Inventario de puntos de agua existentes (1.200) revisado y actualizado.
- Perforación de 45 sondeos de investigación, con un total de 9.142 m., de los que seis llegaron a profundidades entre 500 y 800 m. (Cuatro de estas obras fueron financiadas por el IRYDA y dos por la Consejería de Fomento y Trabajo de la Junta de Andalucía).
- 110 diagra^fías de rayos γ en sondeos.
- 236 S.E.V., con AB medios de 1.100 a 5.000 m., repartidos en tres campañas.
- 16.000 medidas del nivel piezométrico, tanto en seguimiento periódico de las redes de control (mensual o bimestral) como en campañas flash generales o parciales.
- Más de 1.000 nivelaciones de puntos de agua (repetidas en algunos casos).
- 120 bombes de ensayo de larga duración y 50 de desarrollo.
- 800 aforos (volumétricos o mediante micromolinetes) y más de 200 revisiones de contadores y lecturas de consumo eléctrico.
- Unos 23.000 controles de horas de bombeo mensual durante los últimos 8 años- en las 320 captaciones con extracción significativa.
- 13 series de diagra^fías eléctricas en sondeos sin entubar.
- Más de 4.500 muestreos de agua, en bombeo y en profundidad (con botella Runner) en seguimiento de redes de control y campañas flash, con determinación en todos ellos de conductividad eléctrica y temperatura, así como ejecución de análisis normales, en más de 1.100 muestras y de cloruros en unas 1.200.
- Otras actividades como la colocación y seguimiento de limnógrafos, ejecución de registros de conductividad en sondeos, mediante sonda conductivímetro, ensayos de recarga artificial, etc., aunque de manera aún poco sistematizada.

El tratamiento y revisión de los miles de datos que se van acumulando está permitiendo la aproximación progresiva -aun que aún insuficiente- al conocimiento de la compleja realidad de este ámbito hidrogeológico, del que tanto depende la economía almeriense.

La especial atención dada por el IGME al estudio y seguimiento de estos acuíferos, ha obedecido a la consideración de los siguientes hechos:

- Como consecuencia de la alta rentabilidad de los cultivos de regadío desarrollados en esta comarca, con suelos enarenados y bajo invernaderos de plástico, ha ce unos 25 años se desencadenó un crecimiento espectacular de la superficie cultivada y de la población y con ello un incremento constante y fuera de control de la demanda de agua que, hoy día, con un valor superior a los 100 hm³/año, rebasa ya el 25% del total provincial. Correlativamente, el Campo de Dalías - fué convirtiéndose debido a su producción agrícola, en la base de la economía almeriense.
- Hasta hace unos meses toda esta demanda era abastecida con aguas subterráneas, correspondiendo el 95% de las mismas a bombeos de los acuíferos del propio Campo que, además, han venido soportando la extracción - de unos 11-12 hm³/año para el abastecimiento de Almería capital.
- La relación de estos acuíferos con el mar y el carácter limitado de sus recursos, indujeron a pensar, a finales de los sesenta, que el uso irracional de los mismos podía conducirles a un deterioro irreparable - por salinización, proceso que se inició hace unos años en algunas áreas de los extremos occidental y oriental del Campo.

Pareció evidente que la supervivencia de este importantísimo pilar de la economía de esta provincia dependería, en gran medida, del grado de racionalidad que condujera el uso de los acuíferos que lo sustentan y, como es obvio, la racionalidad implicaba el adecuado conocimiento de dichos acuíferos.

Hasta hace cuatro años la explotación se llevó a cabo sin restricción ni ordenamiento alguno. Desde entonces se han promulgado normativas legales que constituyen el primer paso hacia la necesaria planificación y control del uso de estos recursos. - Por otra parte, desde hace unos meses han comenzado a entrar en este ámbito dotaciones procedentes del embalse de Beninar, situado en la vecina cuenca del Adra, lo cual constituye un segundo paso de gran importancia para esta comarca porque, coordinando adecuadamente la utilización de estos recursos importados con los provenientes de los acuíferos del Campo, se podrá llegar a corregir en gran medida el desequilibrio que se ha producido en la mayor parte de éstos, por exceso de bombeo, y con ello frenar el deterioro por intrusión marina que afecta ya a las áreas antes mencionadas.

AGRADECIMIENTOS

Sería demasiado extensa la relación de personas y entidades que, de muy diversas formas, han colaborado en los casi 20 años de investigación continua dentro del Estudio Hidrogeológico del Campo de Dalías, en el cual se basa esta Síntesis. La omisión de nombres propios nunca puede restar peso al debido reconocimiento por su participación en el mismo.

Por recoger algunas de estas aportaciones durante los últimos años de trabajo o en la misma redacción de este área de la Guía, y con el deseo de que sean depositarios simbólicos de la gratitud que todos aquellos también merecen, se destacan aquí las contribuciones prestadas por:

- El Ilmo. Sr. D. Tomás Azorín Muñoz, por la enorme inyección de estímulo que proporcionó al equipo técnico del Estudio, al reconocer la utilidad del trabajo realizado en el mismo: en su etapa de Gobernador Civil de la Provincia comprendió rápidamente la problemática hidrogeológica de los acuíferos del Campo y la trascendencia de la repercusión socioeconómica que podría derivarse de la misma, lo que le convirtió en el más firme defensor de la importancia y del buen uso de las aguas subterráneas de este ámbito y en el principal impulsor de la legislación especial promulgada sobre el mismo.
- La Consejería de Fomento y Trabajo de la Junta de Andalucía que, a través de su Servicio de Minas, participó en la investigación realizada financiando sondeos y otras actuaciones, lo que representa una forma deseable de colaboración entre órganos de la administración autonómica y central que persiguen un fin común.
- D. Bernabé Aguilar Luque, Jefe Provincial del IRYDA, que siempre aportó documentos y orientaciones valiosas relativas a la calidad y uso del agua en el Campo.
- D. Aurelio Domínguez Martín, por sus asesoramientos en relación con el tratamiento de datos para el estudio específico de la intrusión marina.
- Al Ayuntamiento de Roquetas de Mar, que ha prestado su apoyo y terrenos para la realización de uno de los sondeos de investigación en Aguadulce.
- A los titulares y encargados de las captaciones, en general y, de manera muy especial, a la Comunidad de Regantes "Sol y Arena", que se ha destacado siempre por la prestación de valiosísimas ayudas a esta investigación.
- Dentro ya del equipo de trabajo del Estudio, por parte de la empresa operadora, cabe destacar las aportaciones técnicas de Jean Pierre Thauvin Helis, Luís Dichtl Subias, Manuel Ruíz-Tagle Morales, Gonzalo López Arechavala, Antonio Carrasco Cantos, Miguel Arenas Cuevas, José Juárez García, Luís Angel González Fernández, José Frias Redondo, Juan López Pérez, José Redondo, Manuel Juárez, etc.etc., destacando muy especialmente a dos técnicos de campo (Deogracias Gómez López y Diego Ruíz Sánchez) por su valiosísima contribución al Estudio, sustentada en dos pilares fundamentales: su capacidad de trabajo y su gran conocimiento tanto del propio Campo y sus acuíferos como de las personas o entidades titulares de la infraestructura de captaciones, redes de distribución, etc., etc., imprescindible bagaje para adentrarse en ese laberinto de plástico que hoy día es este territorio.

- Dentro del propio IGME, por otra parte, a todos los equipos técnicos y personas que, de alguna manera, han prestado servicios, colaboraciones y apoyos diversos al equipo técnico del organismo destinado a esta cuenca, entre las que se señala a Pedro Nieto López, por su especial tarea de orientador en los trabajos sobre calidad y contaminación del agua.
- Finalmente, como reconocimiento y recuerdo, a Jorge Porras Martín, Director de Aguas Subterráneas y Geotecnia del IGME en los últimos años, hasta su fallecimiento hace unos meses, porque siempre apreció el valor y la complejidad de los acuíferos del Campo de Dalías y se esforzó en la medida de sus posibilidades por acopiar fondos para la investigación de los mismos. Como hizo su antecesor en el cargo, Jerónimo Abad Fernández, buen conocedor del valor del agua en esta tierra.

II. AMBITO GEOGRAFICO

1. LOCALIZACION

El llamado Campo de Dalías, junto a su entorno septentrional con el que hidrogeológicamente está íntimamente relacionado, comprende a grandes rasgos la cuenca situada entre las de los ríos Adra y Andarax, en el suroeste de la provincia de Almería; queda integrado este conjunto por los 330 km² de llanura costera que se extiende entre las albuferas de Adra y el acantilado existente al Oeste de Almería capital, así como por la parte de vertiente a dicha llanura (unos 320 km²) del macizo alpujárrico de Sierra de Gádor. Coincide aproximadamente con la llamada "Comarca de Poniente-Sierra de Gádor", si de ésta se excluye la parte correspondiente a la cuenca del Adra.

2. CLIMATOLOGIA E HIDROGRAFIA

Como rasgo climático más destacable de esta comarca puede citarse la benignidad del régimen de temperaturas en la llanura, debido a la protección de los vientos fríos del Norte y Noroeste que dan a la misma los importantes relieves de Sierra Nevada y Sierra de Gádor. Asimismo, su situación abierta al mar, que la rodea por el Oeste, Sur y Este, le proporciona una regulación térmica y una humedad atmosférica notables. La temperatura media del Campo es de 18°C y la oscilación térmica anual de unos 16°C; prácticamente se desconocen las heladas; los máximos de temperatura se producen en Julio y Agosto y los mínimos en Enero y Febrero.

Hay que destacar también la escasez de precipitaciones, la variación espacial de éstas y su régimen; en el Campo propiamente dicho se pasa de una media que supera los 300 mm al Noroeste de El Ejido, a menos de 200 mm al Sureste de La Mojenera; en la vertiente meridional de Sierra de Gádor sólo se pasa de un valor medio de 500 mm en las cumbres. En ambas zonas se aprecia una gran variabilidad interanual y mensual en el régimen de lluvias;

existe un periodo seco en junio-septiembre y otro húmedo con dos máximos, en diciembre-enero y marzo-abril. Sólo llueve una media del 8% de los días, tanto en el Campo como en la Sierra, pasando de 3.000 las horas de sol anuales. Puede destacarse finalmente un predominio de los vientos de poniente y levante.

Desde el punto de vista hidrográfico la comarca se caracteriza por la ausencia de cursos de agua continuos, existiendo una red de ramblas que, en la mayor parte de los casos, al entrar en la llanura, quedan cada vez peor definidas, hasta su desaparición: sus avenidas esporádicas y de carácter torrencial casi nunca llegan al mar, ocurriendo ésto sólo en las situadas en los extremos del Campo.

La costa en la zona de llanura alcanza una longitud de playa de unos 47 km, prolongándose hacia el Este mediante acantilado desde Aguadulce.

3. GEOGRAFIA HUMANA

Debido al importante desarrollo agrícola del Campo, que afecta a los cinco términos municipales con territorio en el mismo, su población estable ha superado ya los 75.000 habitantes, a la que se suma una población turística próxima a las 40.000 personas en los meses veraniegos. Hace unos 25 ó 30 años, al comienzo de la expansión de los regadíos y de las instalaciones hoteleras, la población estable rondaría la tercera parte de la actual, siendo entonces la flotante prácticamente inexistente.

La principal actividad económica es la agricultura de carácter intensivo -unas 9.000 explotaciones que totalizan unas 12.000 ha- en torno a la cual se ha desarrollado una importante representación del sector servicios e industrias auxiliares, con más de 250 empresas. Además del espectacular crecimiento de los núcleos de población preexistentes (como el de El Ejido, que pasó de ser una aldea de Dalías a una población con más de 15.000 habitantes) se han construido 8 pueblos nuevos para colonos, urbanizaciones y viviendas dispersas. Se han realizado en este periodo cientos de sondeos para captación de agua subterránea, centenares de kilómetros de canales y miles de balsas de regulación, carreteras locales, etc. En tan poco tiempo, un erial improductivo se ha transformado en un foco de riqueza agrícola con una producción bruta superior a los 50.000 millones de pesetas, cambio espectacular cuyo catalizador fué el antiguo Instituto Nacional de Colonización (después de Reforma y Desarrollo Agrario) y que tuvo como principal elemento de motivación la alta rentabilidad del sistema de regadíos en enarenado y bajo invernadero de plástico -implantado en la zona.

III. AMBITO GEOLOGICO

Pertenece a la zona interna del dominio bético y, dentro de ella, al complejo Alpujárride, del que se encuentran dos mantos de corrimiento: uno ampliamente representado, el manto de Gádor o de Lújar, que ocupa la mayor parte de los materiales aflorantes en Sierra de Gádor y, otro, del que sólo quedan restos inconexos, el manto de Felix o de Murtas. Sobre estos materiales alpujárrides y casi exclusivamente al Sur de la Sierra, se encuentra una cobertera reciente que rellena la cuenca neógena marginal a la misma.

Desde el punto de vista estratigráfico, en los materiales alpujárrides hay que distinguir una formación permotriásica, con filitas y cuarcitas, de tonos azulados, violáceos, morados, etc. y, a su techo, una formación carbonatada, con un tramo basal de calcoesquistos y calizas margosas amarillentas y parduzcas, a veces con algunas intercalaciones dolomíticas, seguido de un tramo medio dolomítico con intercalaciones de calizas y de margas, con tonalidades grises a negruzcos, y de un tramo superior, calcáreo con intercalaciones dolomíticas y de margocalizas tableadas amarillentas, incluso esporádicamente de filitas, en general bien estratificado y con tonalidades más claras. Este último se ha datado como carniense. Ambas formaciones son comunes a los dos mantos, aunque la representación de las mismas sea diferente en cada caso; el espesor de la formación filítica es desconocido en este ámbito y el de la formación carbonatada puede ser del orden de 600 a 1.000 m, en el manto de Gádor, y de unos 60-200 m en el de Delix.

En la cobertera reciente se encuentra un mioceno superior (Tortonense-Andalucense) representado por conglomerados, calizas detríticoorganógenas, micas, etc., presentes en el borde de la Sierra especialmente. En la parte noreste del Campo existe un vulcanismo intramioceno, similar al de Cabo de Gata-Carboneras, del que aparecen coladas intercaladas en calizas o calcarenitas, aglomerados volcánicos, etc. En las áreas más profundas de la cuenca neógena, aquellos materiales de borde pasan a conglomerados, margas y yesos.

Sobre el mioceno superior existe un plioceno constituido por margas, que pueden alcanzar potencias superiores a 700 m. Las precede un conglomerado basal, poco potente, que se desarrolla más en la franja litoral de la cuenca, próxima a la sierra. A techo de las margas se pasa a margas arenosas, arenas y calcarenitas, con un espesor conjunto de 100-150 metros.

En cuanto a los muy variados depósitos cuaternarios se destaca, en primer lugar, la existencia de un pleistoceno marino que incluye cuatro episodios de terrazas (con arenas y conglomerados bien rodados) de varios metros de potencia cada uno, y de un pleistoceno continental, constituido en primer lugar por limos arcillosos rojos que rellenan depresiones locales de carácter tectónico o cárstico y presentan un espesor variable. Por su desarrollo adquieren mayor importancia los abanicos aluviales localizados en todo el borde de la sierra, que alcanzan potencias de hasta

150 m; con frecuencia se apoyan sobre el tramo de limos rojos y están formados por conglomerados muy heterométricos con matriz arenoso arcillosa y cantos predominantemente calizos y dolomíticos. Hay otros depósitos cuaternarios más recientes, como las playas y dunas de la franja litoral, donde también se depositan localmente limos y fangos en lagunas o marismas, así como los aluviales de ramblas, los derrubios de ladera, etc.

Desde el punto de vista estructural, cabe reseñar aquí el estilo de tectónica de corrimiento en el substrato bético, en el que se encuentran, por otra parte, varias fases de deformación, vergencia hacia el Norte, etc., aunque, lo más destacable, en relación con la estructura actual, son los efectos producidos por la neotectónica. A finales del Mioceno Superior este dominio constituía un alto fondo en el que se produjo un último plegamiento O-E, seguido de una etapa distensiva que originó un conjunto de fracturas normales de hasta 700 m de salto, con direcciones dominantes O-E, ENE y ONO, las cuales dieron como resultado una serie de levantamientos y hundimientos que configuraron el actual antiforame de Sierra de Gádor y sus cuencas marginales, el "horst" de Guardias Viejas y el de Roquetas, etc., según atestiguan los más de 2.000 m de desnivel encontrados en los depósitos miocenos más altos de la Sierra y más profundos bajo el Campo. A las etapas iniciales de esta etapa distensiva pertenece el vulcanismo de tectado entre Aguadulce y el suroeste de Vácar, intercalado entre sedimentos del Mioceno Superior.

Como consecuencia de la estructuración precedente se produjo la transgresión pliocena que colmató la cuenca meridional de la sierra, hasta lo que en la actualidad viene a ser el límite del macizo con el Campo, desarrollándose después, sobre la superficie regresiva en que culminó el plioceno, una secuencia de plataformas de abrasión y depósitos de terrazas marinas, abanicos aluviales en el borde de la sierra, etc., conjunto que finalmente se vio afectado por una reactivación tectónica que movilizó fracturas anteriores y produjo una serie de fallas normales, de pequeño salto, con direcciones más frecuentes N20-25°E, N-S, E-O, N160°E y N120°E, las cuales remodelaron el relieve, en detalle, prácticamente con su configuración actual.

Hoy la llanura presenta una morfología suave, entre los cerca de 50 km de playas y la cota 100-300 m del cambio de pendiente brusco de las laderas de la sierra. En todo este borde norte del Campo, una suave cuesta, de pocos grados de inclinación hacia el mar, viene impuesta por el depósito de los conos de deyección encostrados. Por otra parte, una imperceptible división de aguas, que no llega a alcanzar los 100 m de altitud, orientada aproximadamente O-E cruza la mitad meridional de la llanura en el dominio de las calcarenitas pliocenas subhorizontales, lo cual produce, por una parte, una suave pendiente topográfica hacia el Norte y un drenaje de las pocas escorrentías superficiales que no se infiltran, correspondientes a buena parte del Campo, hacia Roquetas de Mar. La vertiente meridional de dicha divisoria se resuelve en cuestas y escarpes o alcores que alcanzan las franjas costera de arenales, dunas y playas, con algunas lagunas salobres. Pequeños resaltes y hondonadas interiores completan los retoques del relieve producidos por los últimos reajustes neotectónicos, que llegan a afectar hasta los abanicos aluviales más recientes.

En el antiforame de Sierra de Gádor, cuyas cumbres en esta zona de la divisoria se sitúan entre los 1.000 y 2.200 m, se aprecian frecuentes rasgos morfológicos impuestos por los sistemas de fracturas de origen neotectónico; entre ellos, muchos tramos de los cauces principales de las ramblas, tallados en el potente y descarnado paquete calizodolomítico alpujárride, así como el límite entre sierra y llanura, el acantilado de Aguadulce-Almería, el farallón Aguadulce-Enix, etc., etc.

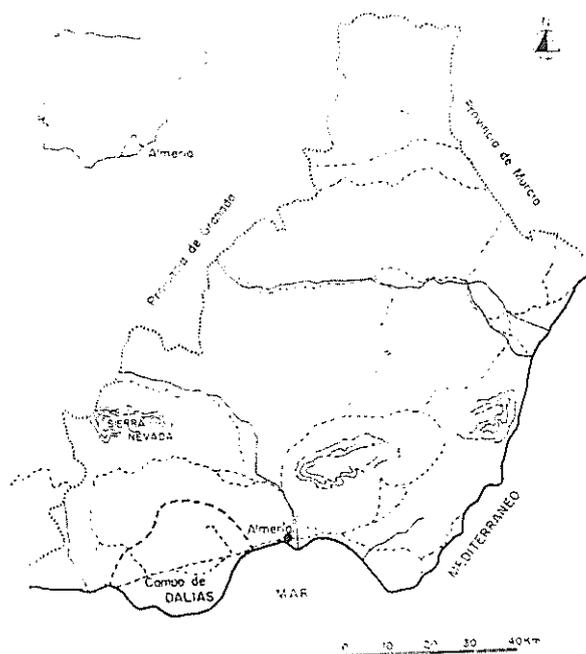


Figura 1. Plano de situación.

IV. AMBITO HIDROGEOLOGICO

1. ACUIFEROS

En sentido amplio y con un criterio más hidrogeológico que geográfico, se considera como "Campo de Dalías" al conjunto de acuíferos existentes en la zona de llanura y en el flanco meridional de la Sierra de Gádor vertiente a la misma. Estos acuíferos constituyen así una parte del gran sistema hidrogeológico integrado por este macizo carbonatado y sus cuencas marginales, con mucho el principal dispositivo hidráulico de la provincia por el volumen de sus aportaciones subterráneas. A ello contribuye, ade

más del carácter permeable de la mayor parte de los materiales - aflorantes de dicho sistema, una cierta exposición aún al régimen de frentes atlánticos en la zona occidental del mismo, lo cual le proporciona un aumento de la pluviosidad con relación al resto - del territorio almeriense.

A continuación se hace un resumen de las características principales de los cinco acuíferos más importantes de esta comarca (Figs.2-7) y de la evolución conocida de los mismos. Se hará mención a otras unidades de menor entidad sólo en aquellos casos en que representen algún interés particular.

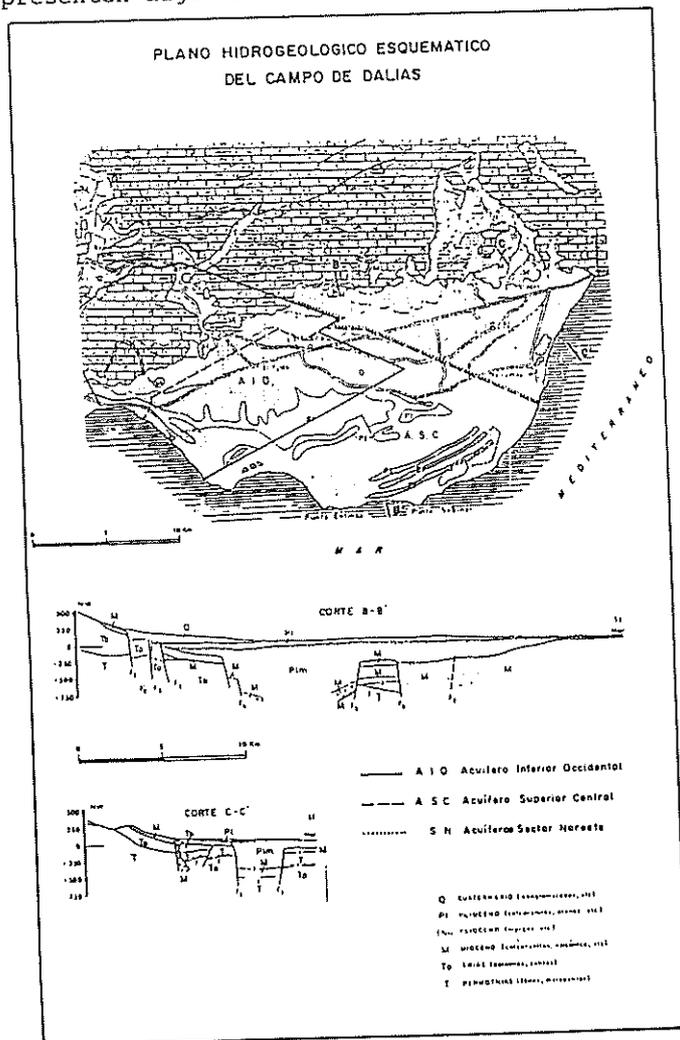


Figura 2. Plano hidrogeológico esquemático del campo de Dalías.

1.1. EL ACUIFERO SUPERIOR CENTRAL (A.S.C.)

Por la cuantía de sus recursos procedentes de la lluvia (21%), este acuífero ocupa el 2º lugar en importancia dentro del conjunto del Campo, aunque, debido a la mediocre calidad de sus aguas sólo se bombea de él un 13% del total extraído en este ámbito.

Constituye un manto de carácter libre que ocupa una extensión de 225 km² en la zona centro-sur del Campo. Sus límites y el carácter de los mismos se reflejan en las Figs. 3 y 4. Está formado por 100-150 m de calcarenitas y arenas pliocenas (localmente también por depósitos cuaternarios, en la orla litoral) las cuales se apoyan en las margas también pliocenas que le sirven de substrato impermeable, con una potencia que puede alcanzar los 600-1.000 m. Presenta cotas piezométricas en su mayor parte comprendidas entre el nivel del mar y unos 25-30 m sobre el mismo, aunque, debido al efecto de la fracturación de la calcarenita, que produce cierta compartimentación en el acuífero, al grado de explotación, etc., existe alguna zona con valores de 35-40 m y también algún caso (Onáyar) con cotas negativas inferiores a -5 m.

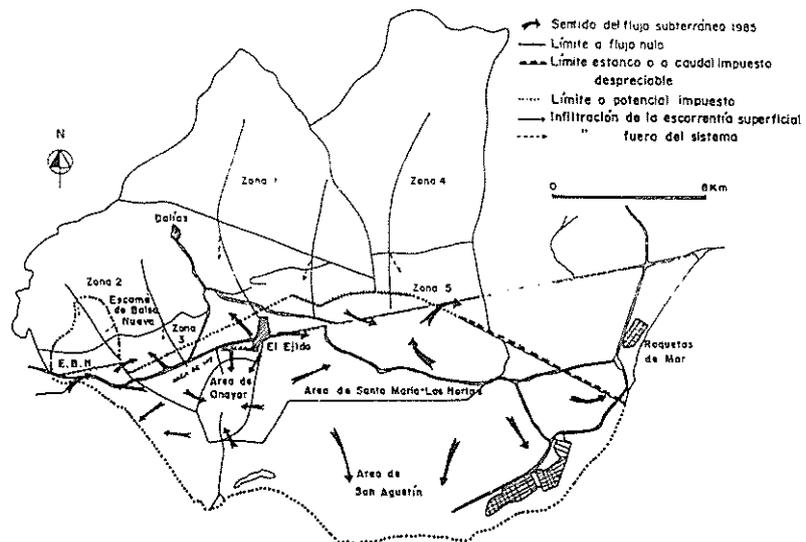


Figura 3. Esquema del flujo subterráneo en el acuífero superior central

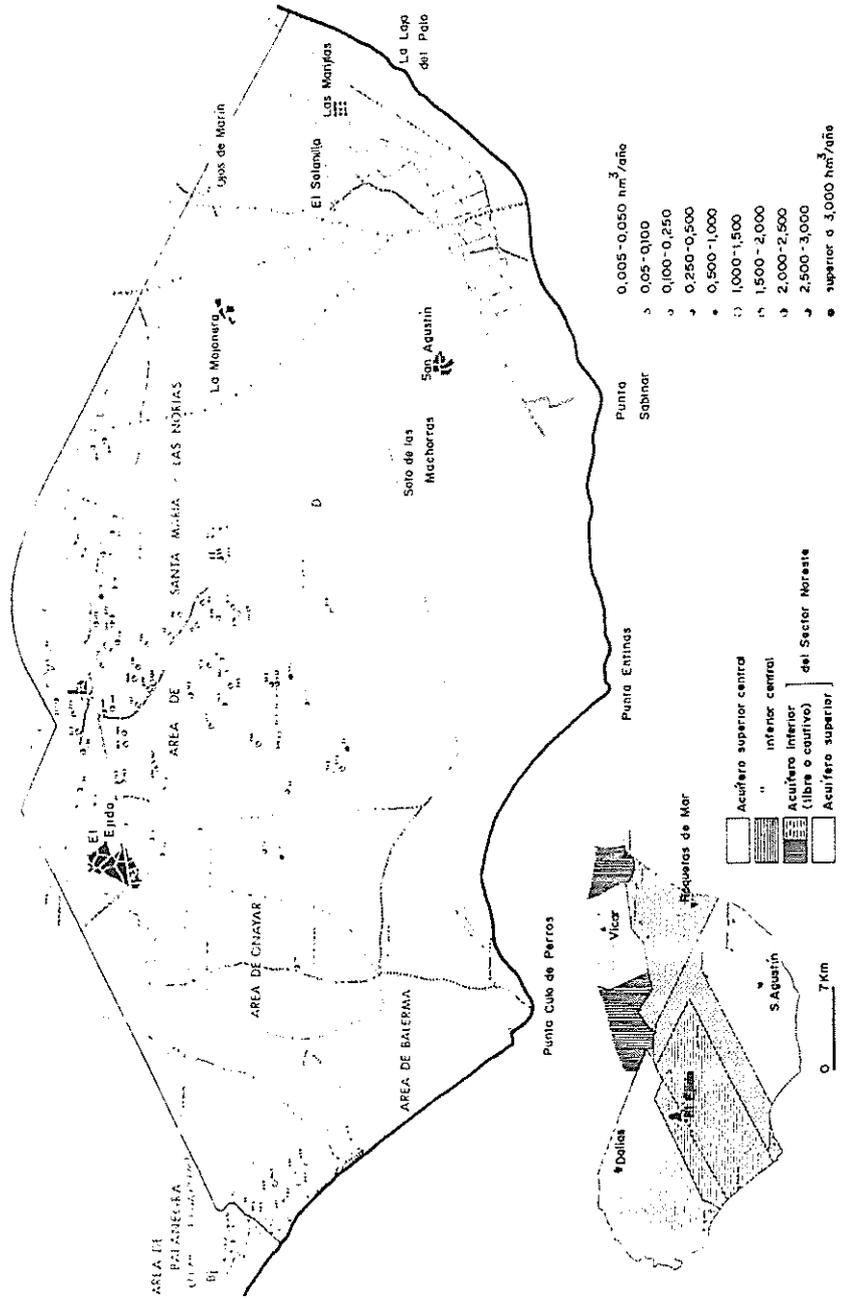


Figura 4. Explotación del acuífero superior central del campo de

Daliás 1986/87.

Por las variaciones de potencia y saturación de este acuífero poroso, y las diferencias de permeabilidad existentes en el seno del mismo, especialmente entre los tramos calcareníticos superiores, más permeables, y los arenosos y arenoso-margosos de su base, la transmisividad varía entre 0 y 20-30 m²/h, observándose un crecimiento general de la misma de Sur a Norte, consecuente con el mayor hundimiento y espesor del tramo calcarenítico en este sentido. Para la porosidad eficaz se han estimado valores del 10-20%.

El esquema de funcionamiento de este acuífero es sencillo (Figs. 3 y 9). Las entradas proceden de la infiltración de parte del agua caída directamente sobre el mismo o de la que le llega en forma de escorrentía superficial procedente de la Sierra (desde más allá de sus límites) y de los retornos de riego y urbanos. La descarga se produce por bombeo y lateralmente hacia los acuíferos de Balsa Nueva, Inferior Occidental, Superior Noreste y hacia el mar y lagunas salobres del litoral.

Globalmente este acuífero se ha mantenido en situaciones de balance próximas a las de equilibrio, según se deduce del seguimiento de su evolución piezométrica; incluso es ligeramente excedentario últimamente. Si se analiza esta evolución por áreas, el comportamiento no es homogéneo; desde 1981/82 a la actualidad puede destacarse el descenso continuo de niveles en Los Alacranes (del orden de 1 m) y en Las Norias (unos 2 m) y, por el contrario, el ascenso piezométrico en La Mojonera (mayor de 2 m) y El Ejido (del orden de 2 m), habiendo sido más importante la recuperación de niveles en el área de Onáyar (más de 8 m). Los descensos se deben a la concentración de bombeos o, en el caso del área de Los Alacranes, a la influencia del descenso de niveles en los acuíferos de Balsa Nueva e Inferior Occidental en los que este área se descarga. Los ascensos de nivel obedecen a una disminución de bombeos y, especialmente, a los retornos de riego y urbano (en parte con aguas importadas de otros acuíferos).

El balance hídrico de este acuífero que se considera de mayor interés consiste en la comparación de las entradas actuales, para un año de humedad media y de idénticas situaciones de riego y usos urbanos, con las salidas laterales determinadas por situaciones piezométricas similares a las actuales, tanto en el propio acuífero como en los acuíferos receptores del flujo de descarga, y con un bombeo equivalente al que ahora existiera en un año de humedad media. De acuerdo con estas premisas, los valores estimados (Fig. 9) son los siguientes:

<u>Entradas</u> (hm ³ /año)	
- Infiltración de la precipitación	16,0
- Retornos de riego y urbanos	11,5

Total entradas	27,5
	=====
<u>Salidas</u> (hm ³ /año)	
- Bombeos	14,0
- Descarga lateral subterránea hacia el Acuífero Inferior Occidental	5,5

- Idem, hacia el Acuífero de Balsa Nueva	0,5
- Idem, hacia el Acuífero Superior Noroeste.....	2,0
- Descarga hacia el mar y lagunas costeras	4,0
Total salidas	26,0
=====	

Constitución neta de reservas (hm³/año) 1,5
=====

Para las condiciones citadas, el balance estimado para el Acuífero Superior Central sería, en hm³/año, el siguiente:

$$\text{Entradas (27,5)} = \text{Salidas (26,0)} + \text{Constitución neta de reservas (1,5)}$$

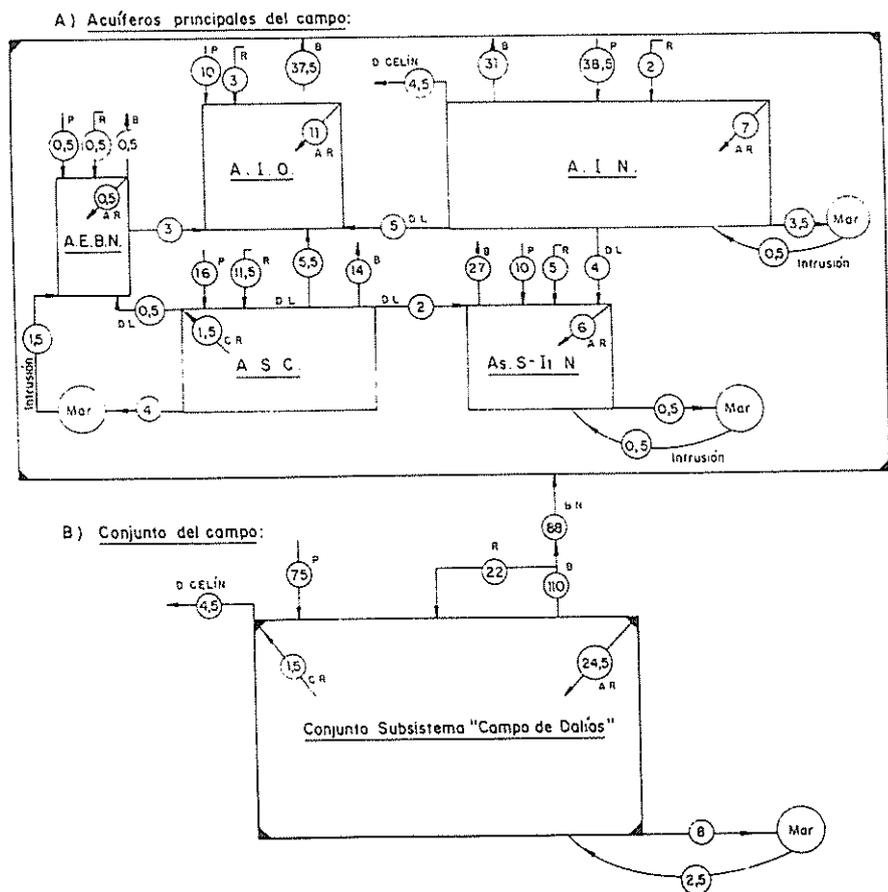


Figura 9. Exquema de balances hídricos.

LEYENDA

AEBN	- Acuífero de la Escama de Balsa Nueva	P	- Entradas por precipitación en un año medio
AIO	- " Inferior Occidental	R	- Retornos en la situación de uso actual del agua para un año medio
ASC	- " Superior Centro	B	- Bombeo bruto de un año medio en la situación actual de demanda
AIN	- " Inferior Noreste	BN	- Bombeo neto " " " " " " " "
As S-H N	- Acuíferos Superior e Intermedio Noreste	DL	- Descarga lateral subterránea para la situación piezométrica actual
⊕	- Valor medio del intervalo estimado para cada concepto de las entradas o las salidas	o cELIN	- Descarga por manantiales/galerías en Calín
		AA o cR	- Aportación o constitución de reservas

Las reservas útiles del acuífero pueden cifrarse en varios centenares de hectómetros cúbicos, aunque las variaciones de porosidad eficaz y de calidad impiden, de momento, dar mayor precisión.

En relación con el balance dado del acuífero en Diciembre de 1982, no del todo equivalente al que ahora se presenta cabe señalar algunas diferencias ostensibles, entre las que cabe destacar un fuerte aumento en la estimación de entradas por retornos -contrastado por la respuesta piezométrica observada y mediante el modelo matemático elaborado en una fase posterior del Estudio- y un notable aumento en las descargas subterráneas hacia los acuíferos de Balsa Nueva, Inferior Occidental y Superior Noreste (incluso al mar y lagunas costeras) debido al incremento de las diferencias de potencial entre el acuífero ahora descrito, hoy ligeramente excedentario, y las áreas receptoras de las descargas del mismo en los otros acuíferos citados, afectadas por la sobreexplotación y, por tanto, con niveles piezométricos descendentes. En la situación actual este acuífero no presenta problemas de intrusión marina, por lo que no se mencionará en el apartado correspondiente.

1.2. EL ACUIFERO INFERIOR OCCIDENTAL (A.I.O.)

Recibe sólo un 13% de los recursos totales por precipitación del conjunto de unidades hidrogeológicas presentes en la zona, pero ocupa el primer lugar, entre ellas, por la magnitud de sus bombeos (34% del total del Campo).

Se trata de un acuífero fisurado constituido por las dolomías y calizas alpujárrides del "manto de Gádor", correspondientes a una parte del flanco suroeste de esta sierra y a su prolongación bajo el Campo a profundidades progresivamente crecientes. Los límites -en buena parte supuestos bajo el recubrimiento- y el carácter de los mismos, vienen indicados en la Fig. 5. Cuando no existen filitas triásicas superpuestas a este tramo carbonatado, a techo del acuífero puede encontrarse un tramo poroso o poroso fisurado de hasta 100 m de espesor, de calizas detrítico-orgánógenas, calcarenitas, etc., del Mioceno Superior, conjunto que se añade a los 600-1.000 m de potencia de las citadas dolomías y calizas.

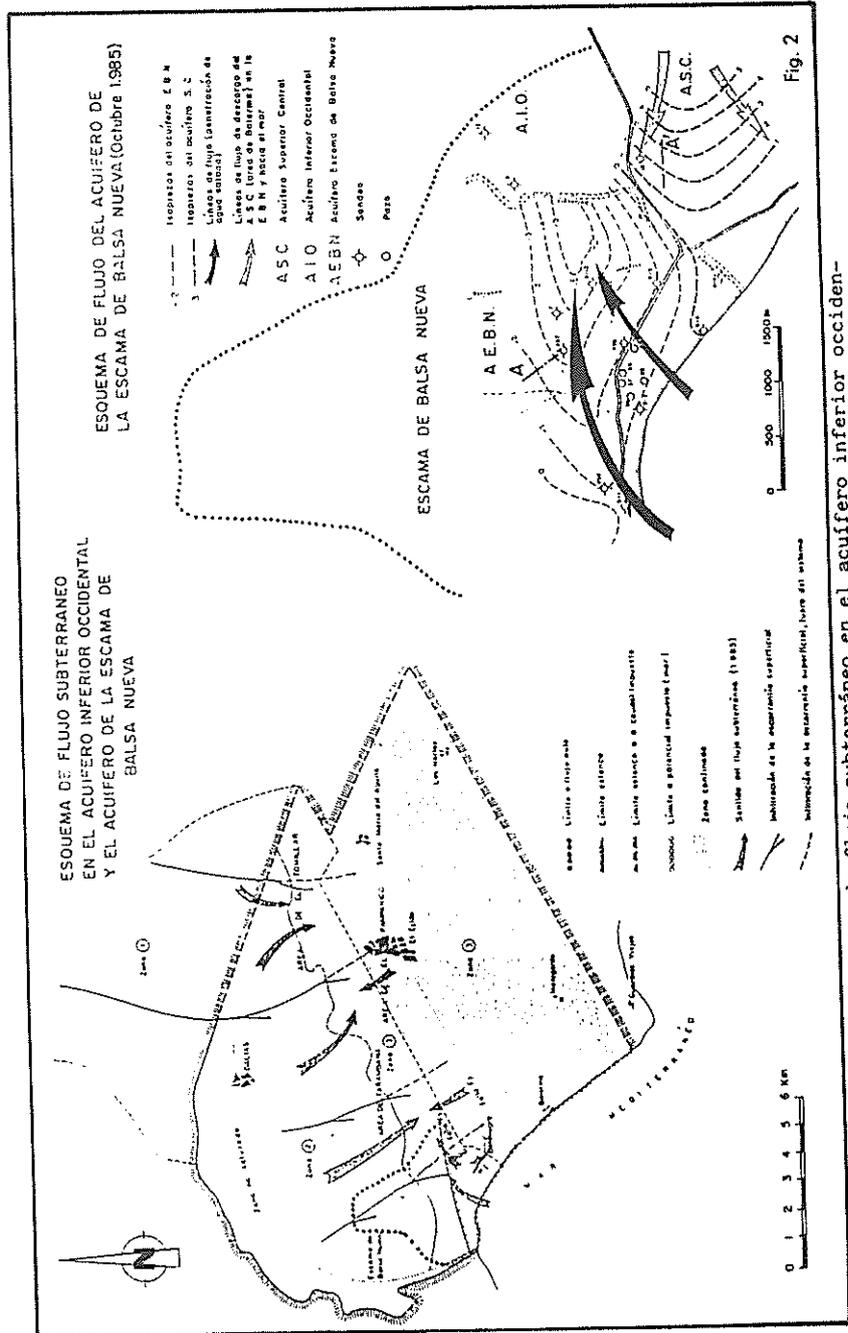


Figura 5. Esquema de flujo subterráneo en el acuífero inferior occidental y el acuífero de la escama de Balsa Nueva.

En general constituye un manto de carácter libre en la sierra y en la parte del Campo próxima al borde de ésta. Más al SE, a partir de la llamada falla F₂ (IGME, 1982) queda confinado por materiales impermeables de la Cobertura neógena (margas pliocenas o miocenas y pliocenas). En algunos casos, las filitas permotriásicas de los restos de una unidad tectónica superior muy erosionada, probablemente del "manto de Felix", que esporádicamente aparecen sobre las dolomías de Gádor en el borde de la sierra o en el fondo de la cuenca neógena, bajo la cobertura, pueden ejercer igualmente el papel de confinante, como ocurre en la zona de Balanegra con la llamada "Escama de Balsa Nueva".

La extensión superficial del A.I.O. alcanza unos 190 km² con la adopción de los límites indicados, aunque no se descarta un mayor desarrollo del acuífero a profundidades incontroladas bajo su cobertura confinante, más allá de los bordes suroeste, sur y sureste en que convencionalmente se ha limitado. En su área de cabecera, por el borde norte, existen más de 30 km² del acuífero sin saturar.

La transmisividad del conjunto de materiales fisurados y detríticos de este acuífero se ha estimado en 600-900 m²/h y la porosidad eficaz (zona libre) en un 5% para las dolomías y un 12-13% para las calcarenitas, cifrándose entre $2,5 \times 10^{-4}$ y $1,5 \times 10^{-3}$ los valores del coeficiente de almacenamiento en la zona cautiva.

En la situación actual este acuífero se encuentra claramente sobreexplotado, con niveles piezométricos muy por debajo del nivel del mar, habiéndose producido algunos cambios en su funcionamiento. Antes de iniciarse la explotación intensiva a la que está sometido (hace unos 23-25 años) a lo largo de toda su extensión el acuífero presentaba una carga hidráulica de +10 a +11 m, con una superficie piezométrica muy plana debido a su gran transmisividad; su esquema de funcionamiento podía resumirse así: se recargaba por infiltración de una parte del agua de lluvia caída directamente sobre su zona libre, y de la escorrentía superficial procedente de la sierra, aguas arriba de sus límites, al atravesar dicha zona. Sobre ésta también se producía una cierta infiltración por retornos de riego y urbanos. Otras entradas se debían a la descarga lateral subterránea procedente del área del Aguila (Acuífero Inferior Noreste) y del Acuífero Superior Central, siempre con mayor carga hidráulica que el que ahora se comenta. Las salidas se producían por bombeo y, lateralmente, hacia el mar, pero no directamente, sino a través del pequeño acuífero poroso de la "Escama de Balsa Nueva" existente en la zona de Balsa negra.

Con el crecimiento de la explotación, el acuífero y su entorno fueron reaccionando haciéndose más potente el descenso continuo de sus niveles, que ya hacia 1974-75 se situaban alrededor de la cota +5 y en 1981 se sobrepasaba el nivel del mar en todo su ámbito conocido. Entre 1981-82 y 1986-87, el incremento de explotaciones (véase Cuadro 1) ha continuado provocando descensos piezométricos entre 1 y 2 m/año, con lo que se ha llegado a niveles de -9 a -16 m al término del periodo. Se puede apreciar

una buena correlación entre las variaciones mensuales y anuales - del nivel y la distribución de explotaciones, reflejándose también en la evolución de aquel el grado de pluviosidad del año: los máximos piezométricos se dan entre Noviembre y Febrero (mínimos bombeos, mayores lluvias) y los mínimos en Agosto y Septiembre, época de máximo bombeo y estiaje; en los años más secos - (1984-85) se han producido los mayores descensos -próximos a 2 m/año- y en los menos secos (1983-84) tales descensos han sido notablemente inferiores (0,5 a 1,5 m/año). Dada la buena transmisividad del acuífero, los gradientes hidráulicos son muy bajos y los efectos de bombeo se dejan sentir prácticamente en todo el campo de explotación, aunque se aprecian áreas, como la de El Tomillar, más deprimidas y con mayores variaciones anuales del nivel, coincidentes con las de mayor extracción. (Fig. 6).

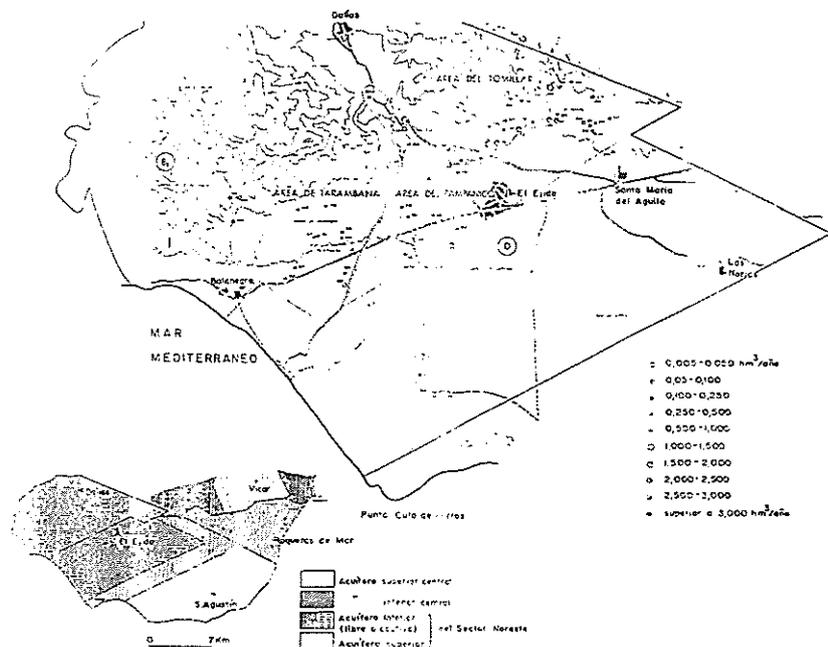


Figura 6. Explotación del acuífero inferior occidental del campo de Dalias.

Las consecuencias directas más destacables de esta evolución piezométrica en el A.I.O. han sido, por un lado la inversión del flujo en su antigua zona de descarga hacia el acuífero - de Balsa Nueva que, en el entorno del año 1980-81, cambió de sentido y pasó a ser un flujo de recarga desde este último, lo que supone -como se verá más adelante- una entrada de agua al A.I.O., en parte salada, por estar ya intruido el acuífero poroso que se interpone entre el manto sobreexplotado y el mar. Por otro lado, el aumento en la diferencia de potencial entre el A.I.O. y los otros acuíferos colindantes (A.S.C. y A.I.N.) ha producido un incremento de la recarga desde los mismos, lo cual resulta por ahora beneficioso (aunque en el primer caso influya empeorando ligeramente la calidad del agua del acuífero receptor, sin que por ello deje de ser un hecho positivo).

Como balance hídrico representativo de este acuífero, para las condiciones presentes de la demanda y usos del agua sobre el mismo, así como para las situaciones actuales de los niveles piezométricos (en éste y en los acuíferos que le alimentan lateralmente) y de los bombeos, todo ello para un año de precipitación media, se ha obtenido (Fig. 9) la siguiente estimación:

<u>Entradas</u> (hm ³ /año)	
- Infiltración de la precipitación	10,0
- Retornos de riego y urbanos	3,0
- Recarga lateral desde el Acuífero Superior C. ..	5,5
- " " " " Acuíf. Inferior Noreste	5,0
- " " " " Acuífero de la Escama de Balsa Nueva	3,0
Total entradas	26,5
=====	
<u>Salidas</u> (hm ³ /año)	
- Bombeos	37,5
Total salidas	37,5
=====	
<u>Aportación de reservas</u> (hm ³ /año)	11,0
=====	

Para las condiciones supuestas, resulta pues la siguiente estimación de balance (en hm³/año) para el Acuífero Inferior Occidental:

$$\text{Entradas (26,5) + Aportación de reservas (11,0) = Salidas (37,5)}$$

No se han considerado entradas por drenancia, desde el acuífero superior o desde el mar, a través de centenares de metros de materiales considerados prácticamente impermeables (margas, filitas, etc.) por estimarlas despreciables.

En cuanto a las reservas útiles de este acuífero parece oportuno el mantener por ahora una posición conservadora, dada la situación por la que atraviesa, y desestimar cualquier tentativa de evaluación en base al cálculo de una fracción de sus reservas brutas, que sí pueden ser importantes pero también vulnerables a la contaminación por agua del mar. Sí cabe señalar las excelentes características del acuífero para la utilización de su capacidad de almacenamiento desaturada como embalse regulador de eventuales excedentes no regulados que podrían ser recargados sin grandes problemas en algunos tramos de la traza del canal de Beninar o mediante sondeos.

El balance dado anteriormente no es del todo comparable a los establecidos para el mismo acuífero, en Diciembre de 1982, dentro del ámbito de este Estudio. No obstante, cabe hacer algunas observaciones sobre algunos de sus términos, cuya estimación, dentro de lo que cabe, parece haberse mejorado mediante el seguimiento de la respuesta del manto a la explotación y la utilización del modelo matemático realizado sobre el mismo. Entre ellas, que el volumen bombeado, único concepto para las salidas del acuífero, se compensa con menor aportación de la reserva propia y mayor participación de las entradas laterales desde los acuíferos contiguos; adquieren también mayor significación los retornos de riego y urbanos -aunque no con un peso de importancia por el confinamiento del acuífero bajo el Campo- y se mantienen prácticamente las entradas por precipitación. El bombeo continúa siendo el más importante de todo el Campo (34%) debido a la buena calidad natural de sus aguas, alto rendimiento de las captaciones, etc. Por último, se recuerda que parte del agua transferida desde la Escama de Balsa Nueva (estimada en unos 3 hm³/año actualmente y que irá aumentando a medida que desciende el nivel en el acuífero dolomítico) es agua salada, procedente de la intrusión marina en aquella unidad costera.

1.3. ACUIFEROS DEL SECTOR NORESTE

En este sector (Fig.7) existen tres acuíferos principales -Inferior, Intermedio y Superior- conocidos sólo parcialmente debido a la complejidad de su estructura y a la falta de una serie de sondeos de investigación que permitan obtener la necesaria información particularizada sobre los mismos. Esta carencia impide establecer una definición aceptable de cada uno de ellos, con sus límites y demás características geométricas, relación de flujos, calidad del agua, etc., siendo necesario avanzar en el conocimiento de este sector del Campo para su comprensión y no por que de ello se pueda derivar el hallazgo de nuevos recursos, sino por considerarlo imprescindible para racionalizar al máximo la gestión y conservación de los ya utilizados.

La superposición de los acuíferos citados se produce cuando existe entre los mismos uno de los siguientes tramos impermeables: las filitas o metapelitas de un importante resto del "manto de Felix", que desde media ladera de la sierra (donde cubre una zona del "manto de Gádor") se extienden hacia el Campo hundándose bajo la llanura con una extensión, profundidad y po-

tencia poco conocidas, dando lugar a la diferenciación de los Acuíferos Inferior e Intermedio; y/o las margas pliocenas, que originan el Acuífero Superior al separarlo del existente bajo las mismas. Otros impermeables locales dan lugar a distintas capas en los materiales miocenos y pliocenos, complicando la estructura.

Gracias a la ejecución en los últimos años de algunos sondeos profundos en este sector, por la iniciativa privada y en el marco del Estudio, se ha mejorado ligeramente el conocimiento de esta estructura en los dos primeros acuíferos citados, confirmando la necesidad de estos métodos directos para racionalizar las actuaciones sobre las tres unidades hidrogeológicas aquí presentes, cuyas características se resumen a continuación.

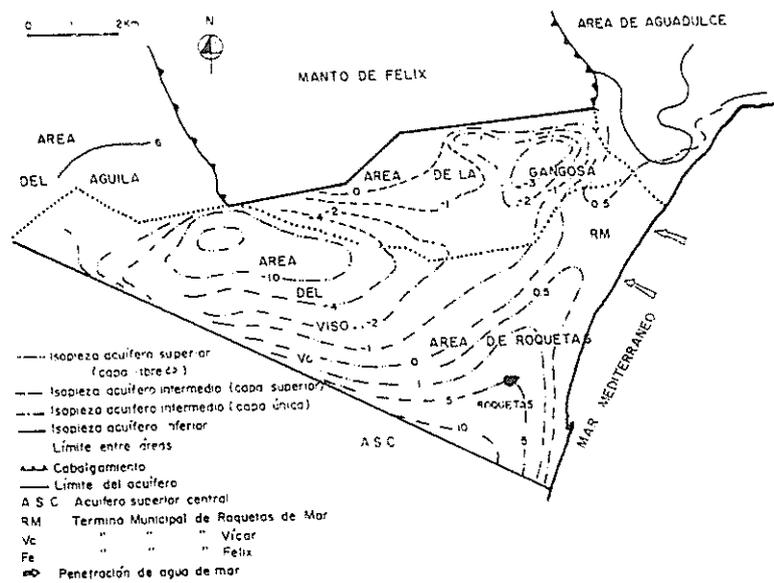


Figura 7. Esquema piezométrico de los acuíferos del sector noreste (Febrero 1987).

1.3.1. Acuífero Inferior Noreste (A.I.N.)

Por las aportaciones que recibe de las precipitaciones (estimadas en más del 50% del total para el conjunto de acuíferos de esta comarca) ocupa el primer lugar con gran diferencia, estando en segunda posición por volumen de sus bombeos (28%). Se destaca claramente como el acuífero más importante del Campo, por la cantidad y calidad de sus recursos.

Está constituido por la mayor parte del flanco calizodolomítico meridional de la sierra ("manto de Gádor") y su prolongación hacia el Sur bajo la llanura -al Este del A.I.O.- donde pronto pierde su carácter general de manto libre para confinarse bajo alguno de los impermeables antes citados y escapar, por ahora, a su control. Cuando no está recubierto por filitas de otra unidad tectónica superior y no han sido erosionados, el tramo fisurado de 600-1.000 m de calizas y dolomias triásicas puede llevar a techo un paquete de calizas detrítico-organógenas, calca renitas y conglomerados del Mioceno Superior, que localmente puede incluir materiales volcánicos (colados, aglomerados, etc.). Se trata del mismo conjunto litoestratigráfico que el que más al Oeste da lugar al A.I.O., por lo que tienen las mismas características hidráulicas, hidroquímicas, etc. El orden de magnitud de la extensión del A.I.N. es desconocido; quizás se trate de cifras entre 200 y 300 km², ya que puede trascender hacia el Norte la divisoria de la sierra, aunque es probable que existan compartimentaciones internas y, desde luego, hay zonas altas de este manto no saturadas. El desconocimiento casi general de sus límites se refiere tanto a las zonas de sierra como a las de menor cota, bajo la llanura o, eventualmente, bajo el mar. Sólo se conoce aceptablemente la frontera de este acuífero con el A.I.O. y una parte indeterminada del acantilado, al Este de Aguadulce, donde se produce un contacto directo con el mar.

Otra importante barrera para el conocimiento de esta unidad, en buena parte insoslayable, se encuentra en la imposibilidad de definir su superficie piezométrica, al contar únicamente con datos de nivel en dos pequeñas áreas de la misma, asequibles a los sondeos normales de explotación; una es el área del Aguila y otra la de Aguadulce. En esta última, por su proximidad al nivel de base y por los débiles gradientes hidráulicos del acuífero, los descensos piezométricos son menos ostensibles y están muy influenciados por la fuerte explotación local, por lo que pierden representatividad con relación a áreas más lejanas del manto. En el área del Aguila, aparentemente compartimentada, los descensos se han notado más, pero está sometida también a un fuerte drenaje por bombeo y por descarga lateral especialmente hacia el A.I.O., influenciada por el descenso de niveles en los acuíferos receptores. En definitiva, no pueden conocerse correctamente la distribución de flujos dentro del acuífero, los intercambios con otras unidades y con el mar, la evolución piezométrica y, con ella, la variación de la reserva, etc., etc.

De forma esquemática el acuífero funciona de este modo: se recarga casi exclusivamente por infiltración de lluvia útil, incluso desde más allá de la vertiente de la sierra; los retor-

nos son mínimos. La descarga se produce por bombeo -muy localizado en el área de Aguadulce, especialmente, y en la del Aguila (Fig. 8)- y, lateralmente, hacia el A.I.O. (Fig.5), hacia los otros - dos acuíferos de este sector (Fig.7) y hacia el mar. Muy localmente empiezan a producirse inversiones de flujo por el bombeo en el área de Aguadulce, con lo cual el A.S.N. pasa a recargar al A.I.N. aunque esta transferencia tiene un carácter anecdótico.

Por las mismas razones que en el A.I.O. este acuífero es muy codiciado. Pero la gran profundidad hasta el agua en la mayor parte de su extensión ha reducido su explotación al área - de Aguadulce, que reúne muy buenas condiciones de acceso, en todos sentidos, y más tardíamente a la del Aguila. Ello ha supuesto que sobre la primera de estas áreas haya repercutido a través de los últimos años un bombeo que se va acercando a la cuarta parte del global del Campo (20-24%) mientras que en la segunda alcanza sólo del 2 al 5% (Cuadro 1).

Este bombeo ha provocado el correspondiente descenso - piezométrico y, con él, una importante disminución del flujo de descarga al mar, lo cual es positivo dentro de unos límites (hacia 1981 desapareció definitivamente la surgencia de Aguadulce); además ha originado la intrusión de agua salada, como consecuencia de la progresión de la zona deprimida por el campo de bombeo hacia cotas negativas, en cuya situación permanecen cada vez más tiempo los registros de nivel en varios puntos de control del área. (Al tratar expresamente este fenómeno, más adelante, se hará una descripción más detallada de las íntimas relaciones existentes entre bombeo, nivel del agua y variación de la salinidad, todo ello a la luz del tipo de año en relación con la - precipitación).

En esta ocasión ha parecido oportuno incluir en este acuífero la "Unidad de Celín", pequeño compartimento colgado - al NE de Dalfas, drenado por manantiales y galerías que funciona en régimen natural y con independencia de los demás acuíferos del entorno, por lo cual se consideró aisladamente en trabajos anteriores.

Para el Acuífero Inferior Noreste se ha propuesto un balance hídrico equivalente al establecido anteriormente para los dos acuíferos ya descritos, es decir, con los mismos supuestos - para los distintos términos. Pero, a excepción del bombeo, controlado con bastante rigor, hay que señalar la menor fiabilidad del resultado, en este caso, debido a la carencia de un seguimiento - piezométrico en toda la extensión del acuífero a través de los años. Con estas premisas, las estimaciones realizadas son las siguientes:

Entradas (hm ³ /año)	
- Infiltración de la precipitación	38,5 (36-
- Retornos de riego y urbanos	2,0
- Aportación de agua de mar	0,5
Total entradas	41,0
=====	

<u>Salidas</u> (hm ³ /año)	
- Bombeos	31,0
- Descarga a Acuífero Superior e Intermedio de este mismo Sector	4,0
- Descarga al Acuífero Inferior Occidental	5,0
- Descarga por la "Unidad de Celín"	4,5
- Descarga al mar	3,5
Total salidas	48,0
=====	
<u>Aportación de reservas</u> (hm ³ /año)	7,0
	=====

El balance resultante para el Acuífero Inferior Noreste, en hm³/año, es por tanto:

$$\text{Entradas (41,0) + Aportación de reservas (7,0) = Salidas (48,0)}$$

Por las características y actual situación de este acuífero, no parece oportuno hacer referencia a sus reservas útiles sino, más bien, tomar medidas para preservar la calidad del agua del proceso de intrusión detectado en el mismo. Los 0,5 hm³/año - estimados como entrada de agua de mar se refieren a la proporción de agua salina en el conjunto del agua bombeada.

Como comentario a las diferencias entre términos del balance precedente y el propuesto desde este Estudio en 1982, cabe indicar que dichos componentes no son del todo equivalentes. No obstante se señala, por ejemplo que, en cuanto a entradas por precipitación se ha pasado, de entonces a hoy, de una estimación de 34,5 (30,0 + 4,5 correspondientes a Celín, ahora incluido en el A.I.N.) a 38,5 hm³/año; por retornos se consideran 2 hm³/año, sobre una cifra despreciable en aquella ocasión; los bombeos han aumentado en 7 hm³/año y las descargas a otros acuíferos se han pasado de 5 a 9 hm³/año, después de ponerse en evidencia el flujo hacia el A.I.O. desde el área del Aguila. La descarga al mar se ha considerado reducida a un orden de 3,5 hm³/año (acorde con el incremento del bombeo, el proceso de intrusión marina, etc.) y la aportación de la reserva se ha subido de 6 a 7 hm³/año. No obstante sólo se trata de dar órdenes de magnitud más probables.

CUADRO 1 EVOLUCION DE LA EXPLOTACION (mm³/a) POR ACUIFEROS Y AREAS DE LOS MISMOS

ACUIFEROS	AREA	1.980-81	1.981-82	1.982-83	1.983-84	1.984-85	1.985-86	1.986-87	OBSERVACIONES
(A.I.O.) INFERIOR OCCIDENTAL	TARAMBANA	5,39	5,59	6,54	5,39	6,41	5,94	6,31	(1) Comprendido la de Santa María Las Herrerías y El Llano del informe de Diciembre de 1982
	PAMPAHICO	7,33	7,14	8,02	8,12	9,12	8,34	8,61	
	TOMILLAR	12,92	17,19	14,06	16,29	18,01	17,15	19,61	
	PROFUNDA	1,33	3,05	4,05	3,73	4,19	4,01	4,15	
	TOTAL A.I.O.	26,97	32,97	33,67	33,53	38,55	35,44	38,72	(2) Podría considerarse independen- tente, aunque está relaciona do tanto con el A.S.C. como con el A.I.O.
(A.S.C.) SUPERIOR CENTRAL	BALEMA	1,62	1,62	1,62	1,38	1,36	1,31	1,11	(3) Este bombeo se realiza en puntos que captan conjunta- mente el A.S.C. y un pequeño acuífero profundo situado en el Horst de Guardias Viejas.
	OMAYAR	1,49	1,12	0,48	0,18	0,26	0,16	0,20	
	STA MARIA (1)	14,23	15,06	13,83	11,04	14,11	11,96	12,26	
	BALANIGRA (2) (BALSA NUEVA) HOJIST DE (3) GUARDIAS VIEJ	0,49	0,49	0,39	0,57	0,71	0,62	0,57	
	TOTAL A.S.C.	17,96	18,42	16,53	13,79	16,57	14,19	14,24	
(S.I.E.) ACUIFEROS DEL SECTOR NORESTE	ROQUETAS	0,93	0,63	0,78	0,17	0,76	0,62	0,55	
	EL VISO	11,92	11,95	16,07	14,36	15,00	14,12	14,56	
	LACANGOSA	10,16	10,15	9,56	10,38	11,46	12,22	12,41	
	AGUADULCE	18,09	19,29	25,21	22,87	25,90	24,96	26,87	
	EL AGUILA	2,11	3,46	4,21	1,19	5,68	5,95	5,80	
	TOTAL S.I.E.	43,21	45,41	55,87	51,67	58,80	57,87	60,15	
TOTAL CAMPO DE DALIAS	108,16	96,87	105,97	99,19	113,97	107,50	113,12		
PRECIPITACION ANUAL (mm)	ESTACION FELIX	150	284	275	167	156	325	256	Precipitación media: 436
	ESTACION MOUDNERA	66	121	30	192	91	300	156	Precipitación media: 225
	ESTACION BERJA	281	269	277	471	213	296	348	Precipitación media: 364

1.3.2. Acuífero Intermedio Noreste (A.It.N.)

Por el volumen anual de bombeo que soporta, este acuífero, considerado independientemente, se sitúa en un rango similar al del A.S.C. y A.S.N., siendo captado en su mayor parte en el área de La Gangosa, más asequible por su menor profundidad. Por la cuantía de las aportaciones que recibe de las precipitaciones, es decir, por sus recursos propios, debe ocupar el último lugar entre los cinco acuíferos más importantes del Campo, ya que tal vez no pasen del 5% del total para el conjunto de éstos.

El acuífero está formado en primer lugar por los restos inconexos de calizas y dolomías fisuradas del manto de Felix que, a modo de isleos, pueden encontrarse sobre las correspondientes filitas del mismo, las cuales constituyen su base impermeable y el tramo confinante del A.I.N. Más importancia adquiere el tramo poroso, eventualmente fisurado, constituido por conglomerados, calizas detríticoorganógenas, areniscas, volcanitas, etc. del Mioceno Superior que, a su vez, pueden estar recubiertas por materiales detríticos del Plioceno y/o Cuaternario sin interposición de impermeable alguno, por lo que en este caso pueden considerarse parte integrante de este acuífero.

Debido a la compleja disposición estructural del sector -que se destaca del resto por la presencia de emisiones volcánicas y depósitos derivados de ellas, con su característica heterogeneidad litológica, de permeabilidad, etc.- este acuífero se desarrolla sólo en un área indeterminada de la llanura, correspondiente a la extensión de las filitas de Felix en continuidad con las existentes bajo La Gangosa, al Sur del afloramiento del entorno de Vúcar. (En este último, los materiales citados por encima de las filitas quedan colgados y sólo constituyen pequeños acuíferos de muy escasa entidad). Por un sistema intrincado de fallas de distintas direcciones, hacia el Suroeste y Sureste del área de la Gangosa el acuífero se confina totalmente al quedar recubierto por margas del Plioceno, las cuales rellenan fosas con centenares de metros de profundidad. Sólo en la zona costera de Roquetas, después de una fosa intermedia como ocurre en la zona central del Campo con el "horst de Guardias Viejas", vuelve a ser localizado parcialmente ("horst de Roquetas"), aunque por ahora faltan datos indicadores del tipo de relación hidráulica entre ambas estructuras y entre éstas y la parte conocida del Acuífero Intermedio Noreste. Dentro del área de La Gangosa, al menos, por el efecto confinante ejercido por una colada de volcanitas intramiocenas el acuífero ya deja el carácter libre de su zona noreste y se convierte en bicapa hacia el sureste. La mayor parte de los datos conocidos pertenecen a la capa libre más superficial.

Las características hidráulicas de este acuífero son muy heterogéneas, aunque, en general, en la zona explotada del mismo, las captaciones tienen buenos rendimientos. Muy localmente la transmisividad responde a la de un medio con importante grado de fisuración (isleos dolomíticos) pero, considerando ámbitos más extensos, este manto se comporta como un medio poroso, con transmisividades del orden de 30-60 m²/h cuando el tramo mioceno presenta facies con escasa matriz y espesores saturados importantes (del orden de 100 m).

Es muy incompleto el conocimiento piezométrico sobre esta unidad hidrogeológica; en trabajos anteriores se ha tratado - este aspecto conjuntamente con el Acuífero Superior, por falta de referencias de carga hidráulica, individualizada en toda la extensión de cada uno de estos mantos, lo cual es evidentemente erróneo. Se aporta aquí (Fig. 7) un esquema de mapa piezométrico (para febrero de 1987) en el que se presenta un intento de individualización de acuíferos implicados en este sector del Campo a nivel de capas libres, aproximación que deja en la ignorancia sobre la piezometría de las capas confinadas, tanto del Acuífero Superior como del Intermedio y, por supuesto la del Acuífero Inferior en casi toda su extensión.

Según dicho esquema, continúa produciéndose un ligero descenso piezométrico en la zona libre del A.It.N., con respecto a la situación del manto seis años antes, el cual puede ser del orden de unos decímetros. (Las explotaciones en el área de La Gangosa, (Cuadro 1) a la que esencialmente se refiere esta piezometría, se han mantenido en la primera mitad de este periodo más o menos constantes, incrementándose después progresivamente hasta un 20-22%). En condiciones "más estáticas" la morfología de la superficie del manto se adopta a las circunstancias de la explotación (Fig.7), ofreciendo dos cubetas en las que se llegan a alcanzar cotas inferiores a -3 m (menores de -5 en octubre del mismo año). Se nota, por otra parte, la influencia de los flujos de descarga desde el Acuífero Inferior Noreste (por el noreste del área) y desde el Acuífero Superior Noreste, el cual le proporciona mayor protección por el extremo sureste del área que por el borde sur de la misma, debido al mayor potencial hidráulico del acuífero plioceno en el primer caso.

En situaciones "más dinámicas" -que se producen durante más del 80% de los días de la semana- las cotas señaladas en las cubetas de La Gangosa pueden alcanzar valores del orden de -10 m ó inferiores.

De manera muy esquemática puede citarse que, en esta área del A.It.N., cuando hace más de 25 años se inició la explotación intensiva de la zona (mediados de los sesenta) las cotas piezométricas eran del orden de +4 a +6 m; diez años más tarde se situaban entre +1 y -1 m y en febrero de 1981 entre 0 y -2 m.

Más adelante, al relacionar la evolución de la calidad con la explotación y la piezometría del área, se insistirá más sobre esta última.

En cuanto al esquema de funcionamiento de este acuífero, se recarga por infiltración de lluvia útil -directa sobre el mismo o de escorrentías superficiales que le alcanzan en su zona libre- y, principalmente, por descarga lateral del A.I.N., desde las áreas de Aguadulce y de El Aguila. También recibe una aportación lateral -aunque en menor escala- desde el A.S.N. y del pequeño acuífero colgado existente por el borde norte del área de La Gangosa. Por ahora es una incógnita no del todo resuelta -su más probable relación con el mar, bien directamente, a través de los propios materiales miocenos bajo la fosa interpuesta entre La Gangosa y el horst de Roquetas, y de éste último ya in-

truido por agua de mar, o indirectamente, por contacto lateral - con otro acuífero intruido. En este último caso podría tratarse del A.I.N. o del A.S.N. con los cuales se relaciona lateralmente recibiendo recarga de los mismos. Quizás sea más probable la última posibilidad, por la circunstancia de existir una aparente estructura multicapa en dicho acuífero superior. En cualquier caso es un problema que urge resolver mediante sondeos de investigación, ya que incide directamente sobre el tipo de medidas que, en su caso, habría que arbitrar.

En el epígrafe siguiente se abordará, conjuntamente con el A.S.N., el balance de ambos acuíferos, cuya importancia es mayor por el volumen de bombeo implantado en los mismos, - próximo al 25% del total del Campo.

1.3.3. Acuífero Superior Noreste (A.S.N.)

Comprende las áreas de Roquetas, El Viso, sureste de la de Aguadulce y sur de La Gangosa, es decir, una parte de la llanura del Sector Noreste del Campo. Es similar en importancia - al anterior (A.It.N.) por el valor de sus recursos propios y la magnitud del bombeo que soporta, casi en su totalidad situado - en el área de El Viso, es decir, en el tercio noroccidental de esta unidad (Fig. 8).

Constituye un manto albergado en los materiales detríticos pliocenos y cuaternarios marinos (arenas, gravas, conglomerados y calcarenitas) que se encuentran sobre las margas pliocenas que rellenan esta parte de la cuenca, y también formando - cuñas, barras o lentejones muy irregulares, intercalados en las mismas, especialmente en áreas de borde. Esto ocasiona que el acuífero, en general de carácter libre, se convierta localmente en multicapa característica detectada pero no conocida por falta de sondeos.

Dependiendo de la presencia o ausencia del A.It.N., unas veces se halla en conexión hidráulica lateral con él y otras - con el A.I.N. Por su límite occidental, cuando éste no es del todo impermeable, recibe una aportación del A.S.C. del que geológicamente es una prolongación.

Las características hidráulicas son similares a las de este último, aunque quizás presenten mayor heterogeneidad. Debido al mayor desarrollo de las facies detríticas groseras en las zonas de borde o plataforma de la cuenca pliocena, las transmisividades más importantes se localizan en dichas zonas y, por tanto, los mayores rendimientos de las captaciones, razón por la cual - se encuentran en él las mayores concentraciones de bombeos: área de El Viso y zona inmediata al Sur de la carretera Almería-Málaga en el área de Aguadulce, en algunos de cuyos sondeos se - han calculado transmisividades con valores típicos de dolomías muy fisuradas. Hacia el Sur (área de Roquetas y parte sur de las otras tres áreas del sector) las transmisividades se hacen menores, al aumentar la proporción de tramos margosos y la matriz margoso-arenosa o margoso-limosa de los paquetes más permeables, por lo que bajan los rendimientos de las captaciones en general.



Figura 8. Explotación de acuíferos del sector noreste del campo de Dalías.

La relación entre características hidráulicas y distribución de explotaciones puede extenderse igualmente a la respuesta piezométrica de este acuífero, conocida en líneas generales en lo concerniente a las capas superiores es decir, manteniendo la reserva de que puedan existir comportamientos distintos en capas más profundas de carácter confinado o semiconfinado pertenecientes al mismo y que, por falta de sondeos específicos, escapen al control deseable por este Estudio.

Se puede afirmar que, en condiciones próximas al régimen natural de funcionamiento de este acuífero, las mayores cargas hidráulicas (del orden de +12 a +14 m ó más altas) se hallan en el extremo noroeste del manto, que era el potencial de esta zona de recarga (área de El Aguila y noreste del A.S.C.). En el otro extremo del borde norte del acuífero, entre El Parador y Aguadulce (alineación de sondeos del Sector II del antiguo INC) las cotas piezométricas se situaban entre +5 y +6 m., similares a las del A.I.N. que por aquí le recargaba. Por último, en la parte suroeste del manto, hacia Cortijos de Marín, el A.S.C. influenciaba una carga del orden de +10 m. Contando con estas referencias, en la primera mitad de los años sesenta debía existir un flujo continuo de componente principal ONO-ESE, perpendicular a la costa de Roquetas-Aguadulce; en el extremo noroeste del término municipal de Roquetas de Mar las cotas piezométricas eran del orden de +5 m en 1964.

Con la explotación que fué desarrollándose intensamente en la zona (al Noroeste del canal del Sector I, en el área de Aguadulce, y del canal del Sector III, en la de El Viso, donde se encuentran los mejores rendimientos) se produjeron importantes modificaciones en el funcionamiento del acuífero: dentro del área de El Viso se originó pronto una cubeta donde aún convergen los flujos subterráneos de la mitad noroccidental del manto, destacándose también un umbral paralelo a la costa, entre Cortijos de Marín y Aguadulce, que todavía ejerce como tal (Fig.7): por el SE, hacia el mar, y por el NO, hacia la citada cubeta de El Viso y otra cubeta que va acentuándose más allá del límite centro-norte de este acuífero (área de La Gangosa) en el Acuífero Intermedio Noreste que, en este entorno, por inversión del flujo, empieza a recibir aportes laterales del acuífero que ahora se describe. La explotación intensa que se implantó en el A.I.N., dentro del área de Aguadulce, hizo que fuera descendiendo progresivamente el potencial y el flujo de descarga hacia este acuífero plioceno, lo mismo que más tarde pasaría en relación con el área del Aguila.

Este esquema de funcionamiento, instalado ya en etapas tempranas del periodo de explotación intensiva del acuífero, se fué acentuando a lo largo del tiempo. En diciembre de 1974 ya existían cotas piezométricas negativas entre las carreteras general y del Sector III del IRYDA, dentro del área de El Viso. En febrero de 1981, la cubeta se había profundizado hasta valores superiores a -10 m., y sus límites se habían ensanchado ostensiblemente: se habían verticalizado por el Norte y Oeste -debido a las barreras de transmisividad por fallas que sirven de límite al acuífero- y extendido hacia el SE, donde la cota cero ya alcanzaba el término municipal de Roquetas. En febrero de 1987:-

(Fig.7) el fondo está constituido por dos embudos, uno más occidental que sobrepasa la cota -20 m y otro que ya rebasa la cota -15 m. En cuanto a la cota cero, como referencia de borde de dicha cubeta, llega a poco más de 1 km de la costa, en su progresión hacia el mar. El umbral piezométrico paralelo a la costa está siendo sostenido, en los extremos de su traza, principalmente por las descargas laterales del A.S.C. y del A.I.N. y, en su conjunto, por las aportaciones que representan los recursos propios y los retornos de riego, además de la circunstancia, favorable de existir aquí una peor transmisividad y por ello una explotación casi nula- en esta zona del acuífero, así como un potencial impuesto por el mar en las proximidades. No obstante, y en lo concerniente a las capas superficiales del acuífero, la altura del citado umbral es cada vez más pequeña, alcanzando ya en su zona central, en condiciones estáticas, sólo unos decímetros por encima del mar (véase Fig.7) y en condiciones dinámicas ésta debe permanecer cada vez más bajo la cota cero.

Esta vía aparente de intrusión marina hacia la cubeta de El Viso -y hacia la de La Gangosa, via acuífero plioceno- resulta ser más probable por la circunstancia de existir, como ya se dijo, una estructura multicapa en el mismo, lo cual ha podido permitir ya la expansión del proceso. De hecho ya se han detectado salinizaciones progresivas en los primitivos piezómetros de control construidos en esta banda costera que fueron señaladas igualmente por medio de geofísica.

Por dificultades que ya se señalaron anteriormente -relativas a la definición de las unidades hidrogeológicas del Sector y a los intercambios de flujos entre las mismas, así como a la determinación de lo correspondiente a cada una de ellas del bombeo practicado en captaciones conjuntas- se ha propuesto (Fig. 9) un esquema de balance hídrico que se estima representativo del conjunto formado por los Acuíferos Intermedio Noreste y Superior Noreste. Los supuestos establecidos para los distintos términos que intervienen son los mismos que se convinieron para los de los balances del A.S.C. y del A.I.O., insistiendo en la mayor fiabilidad de los datos relativos a estos últimos, por haber podido ser contrastados mediante la utilización del modelo matemático existente sobre los mismos. Con tales supuestos, la estimación realizada es la siguiente:

Entradas (hm³/año)

- Infiltración de la precipitación	10,0
- Retornos de riego y urbanos	5,0
- Recarga lateral desde el Acuífero Sup. Central.	2,0
- " " " " " " " " Inf. Noreste .	4,0
- Posible recarga desde el mar	0,5
Total entradas	21,5
=====	

Salidas (hm³/año)

- Bombeos	27,0
- Descarga al mar	0,5
Total salidas	27,5
=====	

Aportación de reservas (hm³/año) 6,0
=====

En consecuencia, la formulación estimada del balance - conjunto de los Acuíferos Superior e Intermedio Noreste, expresada en hm³/año, quedaría así:

Entradas (21,5) + Aportación de reservas (6,0) = Salidas (27,5)

En ninguno de los dos casos, debido a la sobreexplotación existente, cabe hacer evaluaciones de reservas útiles. Por el contrario, hay que poner los medios para controlar y corregir el deterioro que se está produciendo en la calidad del agua - de ambos acuíferos, seguramente de origen múltiple, siendo la intrusión marina - al menos en el área de La Gangosa - el de mayor repercusión.

Las diferencias de este balance con el propuesto en diciembre de 1982 desde este Estudio (no del todo equivalentes) son poco significativas, a excepción del incremento del bombeo, que prácticamente se compensa por la mayor consideración del peso de los retornos y una entrada simbólica de agua de mar. En detalle, se ha disminuido la recarga desde el A.I.N. y se ha incrementado la descarga desde el A.S.C., en función de las respectivas variaciones en la diferencia de potenciales existentes, en las áreas de transferencia de flujos entre dichos acuíferos.

1.4. OTROS ACUIFEROS DEL CAMPO Y SU ENTORNO

Tienen escasa relevancia por el valor de sus recursos o del bombeo que les afecta. Ya se ha hecho referencia a los pequeños acuíferos "colgados" de la zona al Norte de La Gangosa, fuera del área propiamente dicha integrados por calcarenitas y conglomerados miocenos, retazos dolomíticos, triásicos, etc., los cuales se "sostienen" sobre la base impermeable de filitas del "manto de Felix" y por el efecto de pantalla que puede proporcionarles, hacia el Sur, la emisión volcánica.

También se han detectado otros acuíferos colgados de pequeña entidad en los abanicos aluviales del borde de la sierra cuando ya base impermeable puede situarse en pasadas arcillosolimosas de la propia formación, especialmente en el muro de la misma y, al NO de Aguadulce, también existe otro ínfimo acuífero o pequeña circulación de agua rica en sulfatos, sostenida por una intercalación local de calcoesquistos margosos y margas en la serie calizodolomítica triásica de Gádor.

Destacan de los anteriores, por el papel que pudieran representar o que se sabe representan en la actualidad, los acuíferos del horst de Roquetas, del horst de Guardias Viejas y de la Escama de Balsa Nueva. Los dos primeros tienen carácter confinado bajo las margas pliocenas y están constituidos por materiales po-

rosos del Mioceno (calizas arrecifales o pararrecifales, conglomerados, etc.) y, eventualmente, dolomias pertenecientes probablemente al manto de Felix; del primero de ellos sólo se sabe que está salinizado. Puede estar en continuidad lateral y, por tanto, facilitar la intrusión marina en los Acuíferos Intermedio y Superior Noreste; el segundo parece "enraizado" en el área del Aguila o noroeste de la de El Viso, de donde se recargaría del A.I.N. o A.It.N., descargándose por la zona de Guardias Viejas al mar y mediante un pequeño bombeo. Su volumen de negocio, siempre muy limitado, ha tenido que disminuir como consecuencia del descenso del nivel en la zona de recarga. No existe ningún piezómetro sobre esta pequeña unidad y algunos sondeos que le han alcanzado captan también el A.S.C. que, en situación de reposo, trasvarará un cierto caudal al horst, a través de los mismos, por diferencia de carga hidráulica de este acuífero, a pesar de la mezcla de agua, se han obtenido más de 40°C de temperatura.

El otro está constituido por isleos de dolomias de la Escama de Balsa Nueva, que da nombre al acuífero, y por un cuerpo poroso formado por calcarenitas, conglomerados y arenas del Mioceno y Plioceno, presenta un carácter libre y está en continuidad lateral con el A.I.O., mediante el tramo mioceno común, y con el A.S.C., a través de las calcarenitas pliocenas, también comunes a ambos. Antes sirvió de vehículo de descarga al mar del A.I.O. y ahora, con el descenso de niveles bajo la cota cero en este último -que ha provocado también el abatimiento en los de la propia Escama- ésta se ha salinizado y está transfiriendo la contaminación a aquel, por haberse invertido el flujo subterráneo entre los mismos. Se trata de un medio con características hidráulicas similares a los del A.S.C. o del A.It.N. Su volumen de negocio actual se ha estimado en 3-4 hm³/año de los cuales se consideran unas entradas por precipitación y retorno del orden de medio hectómetro cúbico/año más otro medio hectómetro que recibe lateralmente del A.S.C. y un volumen de agua de mar intruida del orden de 1,5 hm³/año (Fig.9). Hacia el acuífero Inferior Occidental se descargaría un volumen de unos 3 hm³/año (en parte agua salada) que irá aumentando al continuar el descenso de niveles en la zona.

1.5. EL CAMPO DE DALÍAS EN SENTIDO AMPLIO

Desde el punto de vista hidrogeológico ya se dijo anteriormente que se adopta la denominación "Campo de Dalías" para el conjunto de la llanura costera conocida como tal y, aproximadamente, la parte de Sierra de Gádor vertiente a la misma. Constituye así casi la totalidad del subsistema meridional perteneciente al gran sistema hidráulico que representa dicha sierra.

Para la comprensión del funcionamiento de dicho Subsistema se aborda por separado el estudio de cada uno de los acuíferos que lo integran, los cuales presentan peculiaridades y problemáticas específicas que deben considerarse tanto al proyectar los trabajos de investigación y control, como al aplicar medidas correctoras o de gestión. Ello implica una concepción más compleja de este dominio pero es su propia realidad física -

quien así lo impone. No obstante conviene evitar la pérdida de la idea de conjunto, razón por la que se ha planteado esta recapitulación de los acuíferos descritos formulando un balance hídrico global para todo el subsistema que representan.

El balance que se aporta en esta ocasión se ha realizado considerando al conjunto del subsistema "Campo de Dalfas" como un todo, en el que se ignoran las transferencias internas entre acuíferos, por lo que únicamente se reflejan sus relaciones de flujos con el exterior. Representa en este aspecto una síntesis de los balances pormenorizados que se hicieron para cada acuífero y, por tanto, obedece a los mismos supuestos en que se basaron dichos balances. Se insiste en recordar que el significado de cada término de los mismos no siempre coincide con el correspondiente a los balances presentados en anteriores trabajos del IGME, por lo que los resultados actuales no son del todo comparables con los precedentes.

En tales condiciones se tendría, para todo el Subsistema "Campo de Dalfas" la siguiente evaluación (Fig.9):

<u>Entradas</u> (hm ³ /año)	
- Por precipitación (incluida u.de Celín)	75,0
- Por retornos de riego y urbanos	22,0
Total entradas de agua dulce	97,0
Entradas de agua del mar	2,5
Total entradas	99,5
=====	

<u>Salidas</u> (hm ³ /año)	
- Por bombeos	110,0
- Por descarga en u. Celín	4,5
- Descarga al mar	8,0
Total salidas	122,5
=====	

Aportación neta de reservas 23,0
=====

Deduciendo del bombeo los retornos, el balance global sería (en hm³/año):

$$\frac{\text{Recursos renovab.}}{(75)} + \frac{\text{Entradas agua mar}}{(2-3)} + \frac{\text{Ap. neta reservas}}{(23)} = \frac{\text{Bombeo neto}}{(88)} + \frac{\text{Descarga al mar}}{(8)} + \frac{\text{Descarga Celín}}{(4-5)}$$

Se puede considerar la unidad de Celín independiente del conjunto "Campo de Dalfas" y eliminar del balance anterior los recursos implicados en la misma, con lo que el balance quedaría:

$$\frac{\text{Recursos renovab.}}{(70-71)} + \frac{\text{Entradas agua mar}}{(2-3)} + \frac{\text{Ap. neta reservas}}{(23)} = \frac{\text{Bombeo neto}}{(88)} + \frac{\text{Descarga al mar}}{(8)}$$

Se advierte que estas cifras, estimadas o evaluadas - con más o menos acierto - sólo los bombeos tienen un grado de fiabilidad difícilmente mejorable- pretenden únicamente aportar una idea sobre el orden de magnitud de los distintos términos del balance, con objeto de reflejar los efectos observados en los acuíferos -medidos a lo largo del tiempo mediante un plan permanente de vigilancia sobre los mismos- y su relación con las causas que pueden provocarlos (régimen de bombeo, régimen de precipitaciones, régimen de regadíos, etc.). Asimismo, dichas cifras pueden servir de orientación a los primeros planteamientos de gestión y medidas correctoras que, en último extremo, habrán de ser con- trastadas experimentalmente.

2. UTILIZACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Existen en el "Campo de Dalías" más de 1.100 captaciones de agua subterránea, de las que unas 200 están secas o enterradas, cerca de 450 están abandonadas y, el resto, más de 450 - puntos, se encuentran en servicio actualmente. De estos últimos, 262 corresponden a sondeos con una extracción significativa y el resto son pozos, en su mayor parte situados en las zonas bajas (franjas litorales del este y suroeste del Campo) con extracciones unitarias muy reducidas, así como algunos sondeos igualmente infrautilizados y algunas galerías (Celfin). Con esta infraestructura de captaciones se podría aumentar muy considerablemente el volumen anual de bombeo.

De los 262 sondeos con los que se extrae más del 97% del agua bombeada del Campo, 55 captan el Acuífero Inferior Occidental, 88 el Acuífero Superior Central, 117 los acuíferos del Sector Noreste y 2 el de la Escama de Balsa Nueva. Los mayores - rendimientos se alcanzan en los acuíferos dolomíticos (A.I.O. y A.I.N.), especialmente en área de Aguadulce de éste último, por - su menor altura de elevación, donde se encuentran caudales superiores a los 200 l/sg. con depresiones inferiores a 2 m.

En cuanto al volumen global de bombeos por áreas, acuíferos y conjunto del Campo, se remite al lector al Cuadro 1, donde se reflejan los valores obtenidos en los últimos siete años, con un seguimiento detallado de la extracción mensual en cada - uno de los puntos controlados (aproximadamente 260). Puede apreciarse, entre otras cosas, un incremento de la explotación a través de los años, debido al crecimiento de la demanda, al que se superpone una oscilación relacionada con el tipo de año, en términos de precipitación, temperaturas, ocurrencia de vientos, etc. El crecimiento suele recaer en los acuíferos inferiores (do lomías del Gádor), que proporcionan agua de mejor calidad y mejores rendimientos en las captaciones.

Del agua bombeada actualmente (año hidrológico 1986/87) se utilizan unos 20 hm³/año en consumo urbano, de los que unos 11-12 se destinan al abastecimiento de la capital. El resto, incrementado en 4-5 hm³/año importados del Adra (Canal de San Fernando) y de la unidad de Celín (Acequia de Fuente Nueva) se usan en regadíos, que llegan a emplear el 83-84% del total de la demanda actual, con una dotación unitaria media próxima a los 8.000 m³/ha . año.

En esta agricultura de primor, implantada en la zona, el sistema de goteo está siendo cada vez más empleado. También se realizan estudios de pérdidas en la distribución y almacenamiento del agua, con idea de mejorar el sistema para evitar al máximo el mal uso de este recurso tan escaso (según la propia Comunidad de regantes "Sol y Arena", que abarca unas 5.000 has de riego (más del 40% de la superficie regada) las pérdidas calculadas en su dominio son del orden de 3 hm³/año; esta Comunidad tiene una red de distribución con 84,5 km de canales principales, más de 200 km de canalillas secundarias y más de 7.000 balsas de regulación). Se pretende sustituir toda esta red por un sistema cerrado, provisto de salidas con contadores volumétricos, que mejore y fomente el ahorro de agua.

La demanda de agua en la zona está limitada por la legislación vigente, desarrollada a partir de mayo de 1984, estimándose que, desde entonces, se ha producido un incremento de su superficie regada del orden del 8%, debiéndose rondar ya las 12.000 has.

3. CALIDAD

La investigación que el I.G.M.E. está desarrollando sobre la calidad química del agua de los acuíferos del Campo de Dalías se concreta, en la actualidad, en su 2ª fase. Se ha realizado una recopilación de los datos históricos existentes (de muestreos hechos tanto por el Estudio como por el IRYDA y comunidades de regantes) y ejecutado nuevas campañas de toma de muestras. Toda esta documentación (más de 2.000 análisis químicos) están siendo depurada e interpretada, dando prioridad a los de acuíferos con problemas de contaminación por intrusión de agua de mar (área de Aguadulce, del A.I.N., A.E.B.N. y área de La Gangosa, del A.It.N.) en los que se ha podido abordar su estudio.

Los datos disponibles son análisis químicos normales (concentraciones de cloro, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, sodio, magnesio, calcio, potasio, conductividad eléctrica y pH, conociéndose en los tres últimos años otros componentes como nitratos, nitritos, amoníaco, sílice y DQO). Se está pendiente en la actualidad de los resultados de una campaña de análisis isotópicos (O₁₈, Deuterio, Tritio, C₁₄, C₁₃) y de ciertos elementos traza, para una mejor determinación de las fuentes de salinización de algunos acuíferos.

La distribución de las observaciones entre los acuífe-

ros, hasta 1984, es incompleta, por lo que en 1985 se crea una nueva red de muestreo, con la que puedan caracterizarse los distintos factores influyentes en la calidad. En general, los factores principales son: la relación de flujos entre acuíferos, la litología, la contaminación por aguas urbanas o industriales, los retornos de riego -con aguas propias del acuífero o importadas- y la explotación por bombeo. Este último factor puede traer como consecuencia otro de gran importancia: la intrusión marina.

Las muestras en que se apoya el estudio son de dos tipos, en relación con el método de muestreo, en bombeo o en profundidad. El porcentaje de muestras del primer tipo es mucho mayor ya que la toma de datos se realiza fundamentalmente en sondeos particulares (no se cuenta con una red propia de muestreo) y la disponibilidad de puntos donde poder muestrear en profundidad es muy pequeña, lamentablemente. La carencia de una red de muestreo adecuada ocasiona defectos más o menos importantes, según las zonas, en la distribución deseable de las observaciones.

La frecuencia de toma de medidas ha sido muy variable a lo largo del tiempo. No están representados todos los años desde 1972 a 1982; existe al menos un registro anual para el año 1983; en el año hidrológico 1984/85 la periodicidad es mensual, mientras que en 1985/86 es anual pasando a semestral en el siguiente año.

Este estudio se inicia, de una forma sistematizada en el año 1984/85, englobando el específico sobre intrusión marina -comenzado en 1980/81. Los objetivos marcados para el mismo, son el conocimiento de la calidad química natural de los distintos acuíferos y de su modificación por usos agrícolas -fertilizantes y pesticidas-, industriales, urbanos, procesos de intrusión marina, etc.

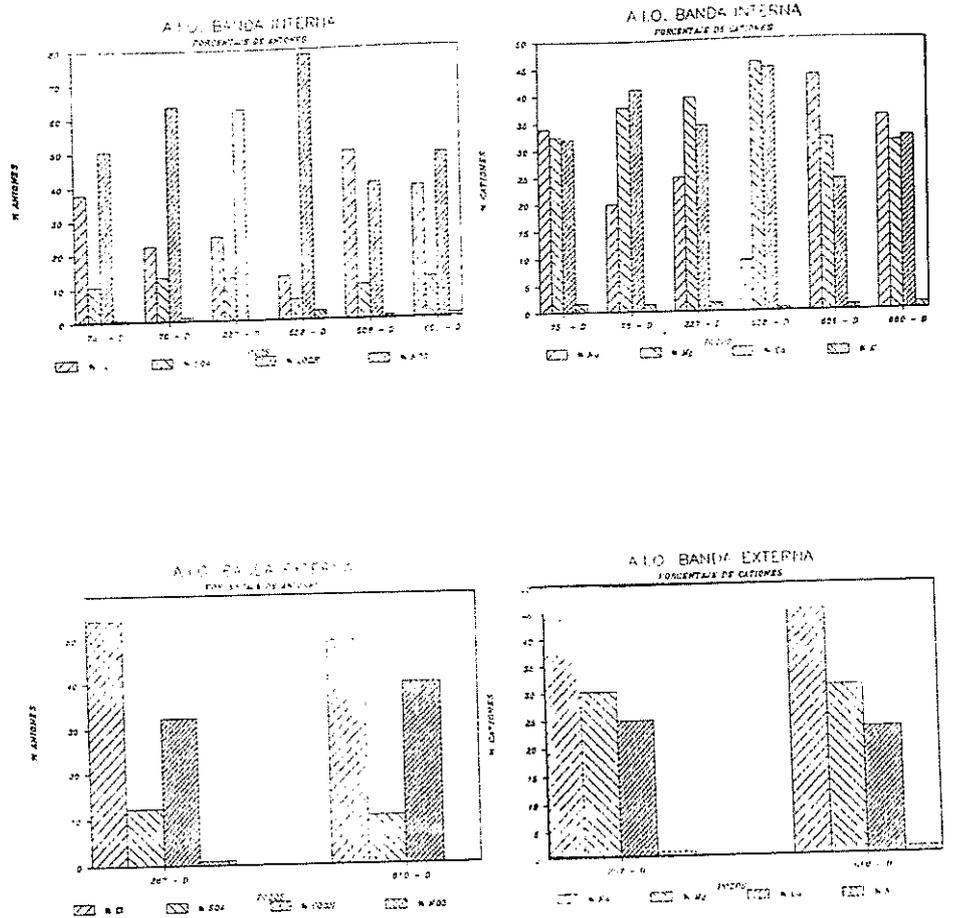
Al no estar aún este estudio finalizado, se trata aquí sólo de dar unas indicaciones sobre la calidad de los distintos acuíferos, desarrollando más ampliamente la exposición de los afectados por intrusión marina.

3.1. CALIDAD DEL AGUA EN EL ACUÍFERO INFERIOR OCCIDENTAL

Aún no ha sido estudiada la calidad del agua de este acuífero con el detalle deseable, sobre todo en cuanto a su evolución temporal, por lo que esta referencia se limita a exponer los factores que influyen en ella y el tipo de agua existente en la actualidad.

Los principales factores que influyen en la variación espacial de la calidad de este acuífero son los volúmenes de agua cedidos desde otros acuíferos (A.S.C., A.I.N. y A.E.B.N., ver Figura 5) que se manifiestan en el tipo de agua y concentración de sales. Para Mayo de 1987, en los puntos muestreados el agua es de facies hidrocarbonato-clorurada sódico-magnésico-cálcica, excepto en la zona de descarga del A.I.N. (desde el área del Aguila) en que es hidrocarbonatada magnésico-cálcica, -

(ver Figs. 10-11). Hacia el contacto lateral con el A.S.C. la mezcla con agua de este acuífero dá lugar a concentraciones más elevadas de cloro, que llegan a 220 mgr/l.



Figuras 10-11.

No está bien estudiada la modificación producida en el A.I.O. por la entrada de agua desde el A.E.B.N., por no disponer de sondeos adecuados donde muestrearla en el contacto lateral de ambos acuíferos. No parece observarse ningún aumento significativo del contenido en sales en las captaciones en explotación más próximas a esta zona, lo cual no significa que éste no se esté produciendo en profundidad.

3.2. CALIDAD DEL AGUA DEL ACUIFERO SUPERIOR CENTRAL

Al igual que para el A.I.O. , el estudio de la calidad de este acuífero aún no se ha realizado en profundidad, dándose a continuación una idea de la situación actual del tipo de agua y su contaminación por efecto de los usos agrícolas.

La facies del agua es en general clorurada sódico-magnésica, existiendo mayores proporciones de sulfatos en el área de Balerna, de bicarbonatos en Los Alacranes y en zonas próximas a El Ejido, y de cloruro sódico en la zona costera del acuífero (ver Figs. 12, 13, 14).

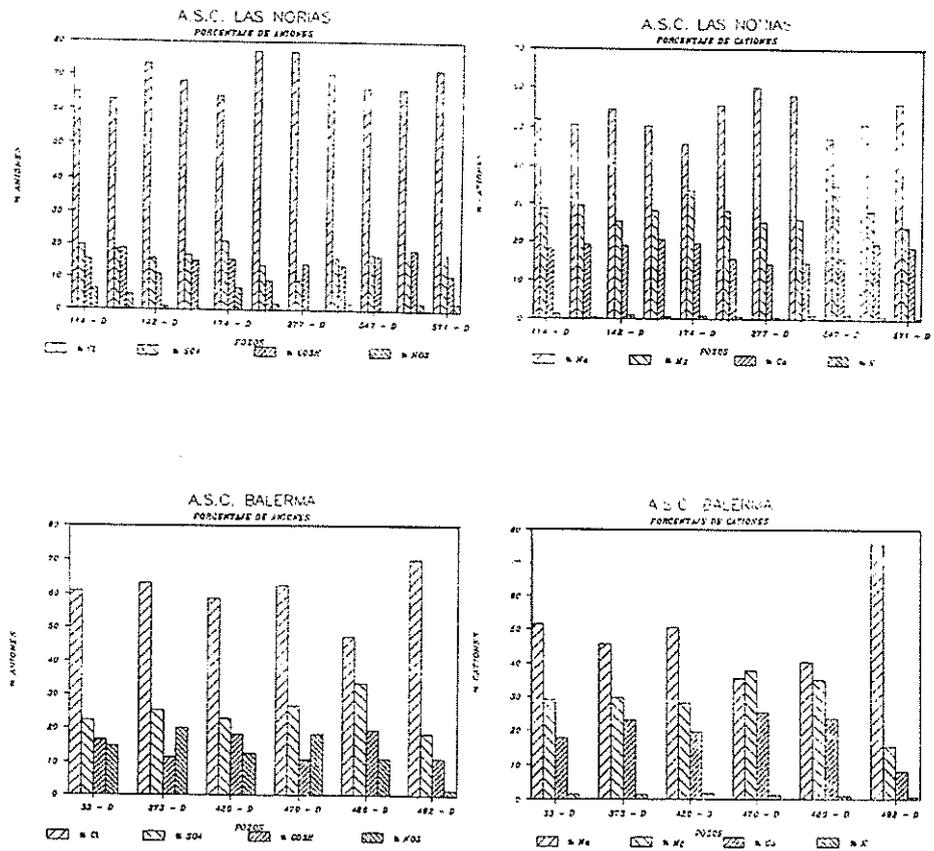


Figura 12-13.

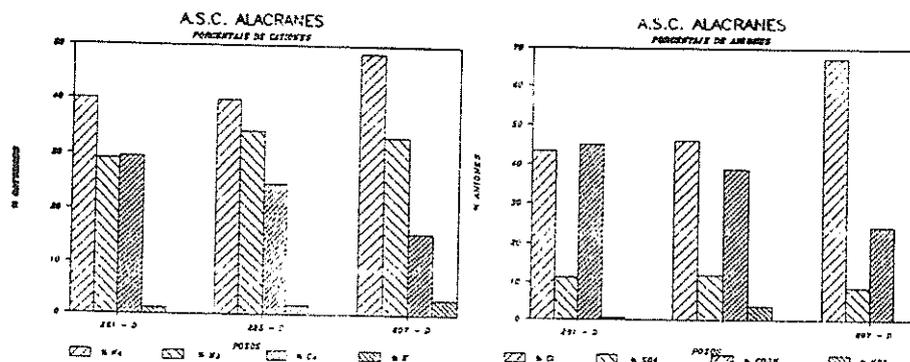


Figura 14.

La reinfiltración de aguas de riego dá lugar a una contaminación de origen agrícola detectada fundamentalmente en los alrededores de Las Norias y La Mojonera, donde existen las mayores extensiones de cultivos, llegándose en ésta última a concentraciones de nitratos superiores a 300 mgr/l.

La importación de aguas de riego desde el A.I.O. al dominio del A.S.C. se refleja en los muestreos de la zona próxima a El Ejido y área de Los Alacranes, con un aumento en la proporción de bicarbonato, calcio y magnesio, procedentes del agua de este primer acuífero. También puede atribuirse este tipo de agua a la recarga por infiltración de escorrentías superficiales (y subsuperficiales) procedentes de la sierra.

3.3. CALIDAD DEL AGUA DEL ACUIFERO INFERIOR NORESTE EN EL AREA DE AGUADULCE.

El registro de datos de análisis químicos corresponde a muestreos en condiciones de bombeo; sólo en un punto (para octubre de 1985) se cuenta con la variación en profundidad de la calidad.

El estudio de la variación espacial de la calidad química resulta especialmente complicado en este área del A.I.N. debido a diferentes factores: la anisotropía del acuífero, su heterogeneidad litológica y complejidad estructural así como por la fuerte explotación por bombeo a que está sometido.

Como resultado de las importantes extracciones de agua (unos 25 hm³/a en una superficie de 5 km², con caudales de bombeo medios de unos 100 l/s) se está produciendo una intrusión

de agua de mar que condiciona la variación temporal de la calidad. Las distintas características de las captaciones (en cuanto a cota de fondo y caudal de bombeo) dificultan la correlación entre las muestras, por lo que se ha realizado un tratamiento estadístico de los datos analíticos estudiándose la evolución temporal de la media de la población. En muchos casos el número de análisis químicos es reducido, por lo que la representatividad de la media poblacional puede ser dudosa, pero los datos de conductividades eléctricas correspondientes a la red de control de intrusión marina, más numerosos, nos apoyan los resultados obtenidos.

3.3.1. Variación espacial de la calidad

Son aguas con mineralización de notable a fuerte, no tolerables para el consumo humano (por su alto contenido en Mg y Cl), con riesgo de alcalinidad bajo y de salinidad de medio a muy alto (según las Normas Riverside de clasificación de aguas para riego). Hay variaciones espaciales importantes en el contenido en Cl^- (hasta un 72%), $\text{SO}_4^{=}$ (hasta el 38%), Na^+ (hasta el 71%), Mg^{++} (36%) y K^+ (hasta el 57%). Pueden establecerse tres zonas. Al N y NO, zona de recarga del acuífero en este área, la concentración de cloro oscila entre 100 y 200 mgr/l, las conductividades eléctricas son próximas a 1.000 $\mu\text{mho/cm}$ y la concentración de bicarbonatos cercana a 300 mgr/l; son aguas sulfato-cloruradas o hidrocarbonato-sulfatadas cálcico-magnésico-sódicas. Al SE se sitúa la zona de fuertes extracciones, con aguas de tipo clorurado sódicas, concentraciones de cloro del orden de 500 mgr/l, conductividades de hasta 3.500 $\mu\text{mho/cm}$ y relaciones cloro/bicarbonatos próximas a 5. Y al SO, en la confluencia con el A.It.N. se observan aguas de tipo clorurada-sódica, con concentraciones de cloro de 700 mgr/l, conductividades próximas a 3.000 $\mu\text{mho/cm}$ y relaciones cloro-bicarbonatos próximas a 5.

A partir del año 1985 se dispone ya de análisis de las tres zonas definidas, estando sólo representada, anteriormente, la de mayor explotación.

La Fig. 15 muestra la variación vertical del contenido en Cl^- y del índice $\text{Cl}/\text{CO}_3\text{H}^-$ en octubre de 1985, para un sondeo situado en la zona de mayores bombeos; se aprecia un aumento en la concentración de Cl^- y una disminución del índice en profundidad (probablemente causado por la disolución de carbonatos en la zona de mezcla agua dulce-agua salada).

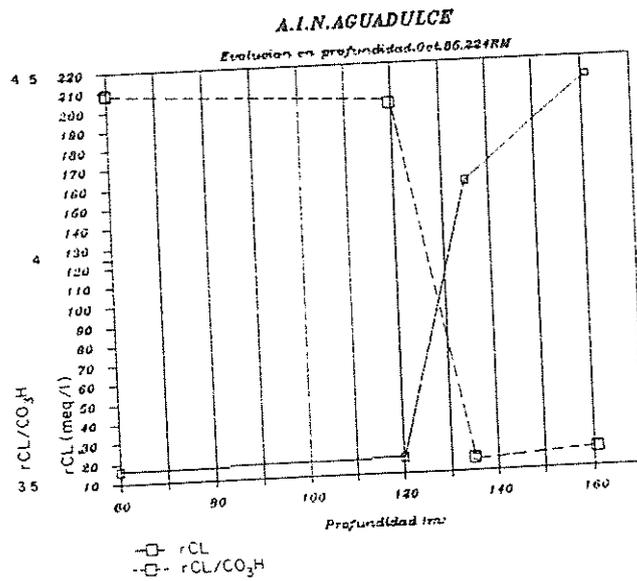


Figura 15.

3.3.2. Variación temporal de la calidad

El registro histórico de datos se inicia en el año 1982, no conociéndose la calidad del acuífero antes de que comenzara su fuerte explotación.

A pesar de las dificultades ya expuestas para la correlación de las muestras obtenidas en las distintas captaciones, se ha observado un aumento en la salinidad de la zona de explotación, como resultado de un incremento en la proporción de agua de mar de la mezcla; el índice Cl/CO_3H^- expresa esta evolución - creciendo en más de un 60% desde 1982 a 1987.

Los datos de conductividades eléctricas de la red de seguimiento de la intrusión marina determinan más detalladamente la evolución de la salinidad, como se verá en el Capítulo V.

Al tratarse de un acuífero libre, muy transmisivo, en contacto con el mar y sometido a unas fuertes extracciones, es muy susceptible de variaciones en la calidad química del agua, fundamentalmente por procesos de intrusión marina, que se detectan desde 1982/83. La reinfiltración de aguas de riego en las zonas de cultivo pudiera verse ya reflejada en la presencia de pequeñas concentraciones de nitratos, alcanzándose valores de 25 mgr/l. (La incidencia de los retornos de riego en este área

del A.I.N. es poco importante).

3.4. CALIDAD DEL AGUA DEL ACUIFERO INFERIOR NORESTE EN EL AREA DE EL AGUILA.

Tiene facies hidrocarbonatada magnésico-cálcica propia de un acuífero dolomítico; no sufre ningún proceso de contaminación en la actualidad y tiene la mejor calidad de todos los acuíferos del Campo, como corresponde a su situación, tanto en relación con el área de recarga como con el intercambio de flujos hacia los acuíferos colindantes, reciente implantación de cultivos y, especialmente, por la protección que le proporciona la cobertera cuaternaria.

3.5. CALIDAD DEL AGUA DEL ACUIFERO SUPERIOR NORESTE

Aunque aún no se ha desarrollado el estudio de la calidad en este acuífero, a continuación se exponen los factores principales de ésta y el tipo de agua que presenta actualmente.

La variación espacial de la calidad en los escasos y poco representativos muestreos realizados, está influenciada por sus relaciones laterales con el resto de los acuíferos del Sector, con el A.S.C. y con el mar. El tipo de agua es clorurada sódico-magnésica, con disminución del contenido en sales en el contacto con el A.I.N. de Aguadulce, por la recarga desde dicho acuífero. En la zona de descarga del A.I.N. de El Aguila, la facies es hidrocarbonatada clorurada cálcico magnésico sódica, dadas las características hidroquímicas de este acuífero expuestas anteriormente (ver Figs.16, 17, 18). No se observan diferencias significativas en la zona de contacto con el A.S.C. como corresponde por la continuidad litoestratigráfica entre ambos.

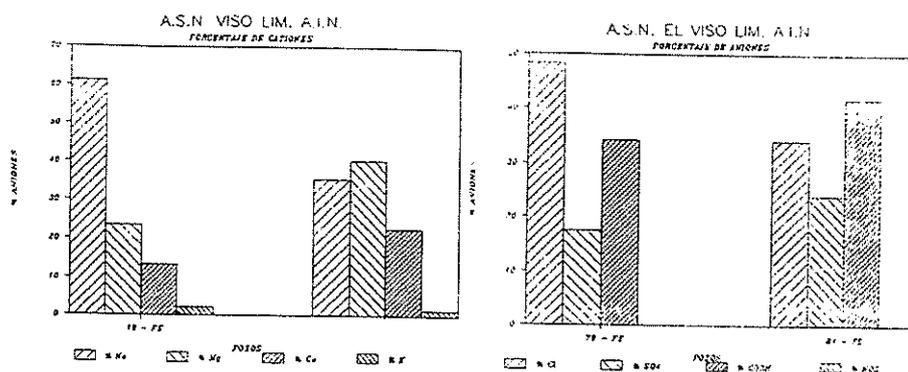


Figura 16.

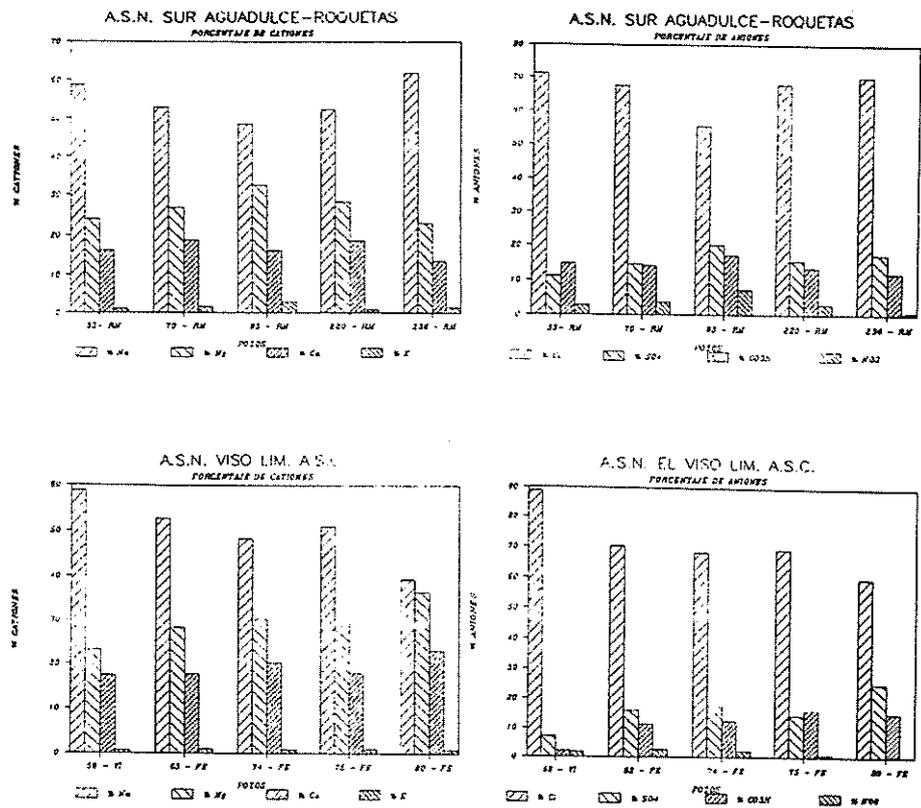


Figura 17-18.

La zona costera del área de Roquetas se ve afectada - por la entrada de agua de mar, circunstancia también posible en el área de El Viso, proceso que se expondrá más ampliamente en el Capítulo V.

Conviene recordar que estas observaciones corresponden casi siempre a las calidades del agua de las capas más superficiales, que pueden ser muy distintas a las de otras más profundas (confinadas o semiconfinadas) de las cuales se carece de referencias por falta de sondeos que las capten.

En cuanto al proceso de contaminación de origen agrícola, aún no estudiado suficientemente, cabe señalar la presencia de nitratos en todas las zonas del acuífero (capas superficiales) en concentraciones variables que llegan hasta cerca de 300 mgr/l en las más próximas al A.S.C.

3.6. CALIDAD DEL AGUA EN EL AREA DE LA GANGOSA (ACUIFERO INTERMEDIO NORESTE)

La dificultad para el conocimiento de la calidad en este área se basa en dos problemas fundamentales: por un lado, sólo se dispone de un registro discontinuo de datos analíticos en sondeos particulares (que mejorará con la ejecución de nuevas campañas de muestreo) y, por otro, que en dichas observaciones inciden varios factores simultáneamente, lo cual dificulta la discriminación de los que influyen realmente en la variación espacial y temporal de la calidad.

Las características hidroquímicas del agua del acuífero son un reflejo de su soporte físico y de sus condiciones hidrodinámicas; la variación espacial y temporal es, por tanto, consecuencia de las variaciones litológicas y piezométricas en el mismo. Las modificaciones del nivel responden, entre otros factores, a cambios en los volúmenes de agua cedidos desde otros acuíferos (A.I.N. del área de Aguadulce y El Aguila, A.S.N. del área de Roquetas y A.It.N. del Horst de Roquetas) y a variaciones en las reservas del propio acuífero. (Como ya se ha explicado en anteriores capítulos hay una tendencia al descenso de nivel).

Uno de los factores determinantes de la variación piezométrica del acuífero es la explotación por bombeo, la cual produce una variación estacional, interanual y espacial de nivel que se traduce en diferentes calidades químicas. De otro lado, la heterogeneidad litológica de este acuífero determina diferencias en la salinidad del agua: las variaciones laterales y verticales de las formaciones podrán reflejarse en cambios espaciales y temporales de la calidad (ya antes de la explotación intensiva de este acuífero, al perforarse la batería de sondeos del Sector III del I.N.C., se encontraron calidades muy diferentes).

En relación con la distribución espacial de calidades, pueden establecerse varias zonas (ver Fig.19): una de intensa explotación (situada en la mitad oriental del área) con aguas de tipo clorurado sódico; otra, sin explotación prácticamente (mitad O del área), de menores concentraciones de sales, y, por último, otras en que el acuífero está en relación con el A.I.N. del área de Aguadulce y del área de El Aguila. En detalle, la situación de la zona de intensa explotación (y con ello la calidad) ha variado a lo largo del tiempo, ya que se han realizado nuevas captaciones y algunas de las ya existentes han modificado sus caudales y volúmenes de explotación. Igualmente, la calidad en las zonas de recarga desde otros acuíferos también han debido modificarse, al hacerlo el volumen de agua cedido desde éstos. La mezcla de agua del A.It.N. con la del A.I.N. produce una disminución de la salinidad en el noroeste y noreste del área, mayor cuanto más elevada se hace la diferencia de nivel entre ambos acuíferos. En consecuencia, se obtienen aguas clorurado-sulfatadas cálcico-magnésico-sódicas, o cloruradas sódicas, con menores concentraciones de cloro y sodio que en la zona de bombeos intensos.

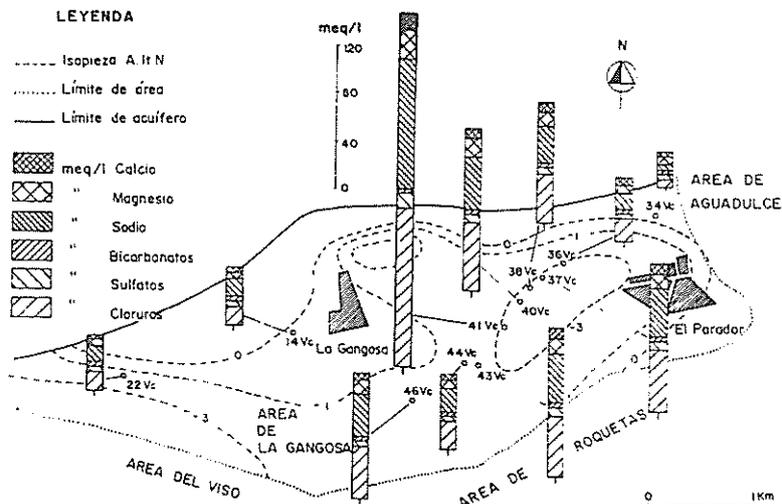


Figura 19. Variación de la calidad en el área de la Gangosa (AI_{tN})
Mayo 1987.

En cuanto a la variación vertical de la calidad en este área, sólo se tienen datos en un sondeo (Fig. 20) en el que puede observarse un aumento del contenido en cloro y sodio en profundidad para Mayo de 1987.

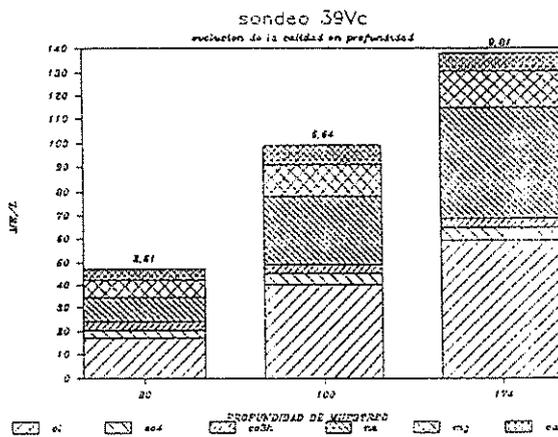


Figura 20.

La recarga del A.S.C. en el de la Escama también ejerce un papel importante en la variación de la calidad, obstaculizando la penetración de agua de mar hacia la zona suroriental.

3.7.1. Variación espacial de la calidad

Es un reflejo de la superficie piezométrica del acuífero, condicionado por sus límites con el A.I.O., A.S.C. y el mar (ver Fig.5). Ha ido variando con el tiempo, al modificarse el sentido de flujo desde el A.I.O. hasta llegar a la salinización prácticamente total del mismo. Únicamente el límite suroriental en contacto con el A.S.C. ha quedado preservado de este proceso, como consecuencia de la recarga desde dicho acuífero.

En la franja costera la facies del agua ha pasado de ser hidrocarbonato-clorurada cálcico-magnésico-sódica a clorurada -sódica, con variaciones puntuales de la salinidad por efecto del bombeo en el acuífero, pero, como media, con concentraciones de Cl del orden de 1300 mgr/l, conductividades eléctricas de 4.300 mho/cm e índice de cloro respecto a bicarbonatos próximo a 10. Cerca del límite con el A.S.C. la concentración de Cl es del orden de 200 mgr/l, la conductividad de 1.500 mho/cm y el tipo de agua hidrocarbonato-clorurada cálcico-magnésico-sódica, aunque en algunos puntos la proporción de sulfatos puede llegar a ser importante.

La Fig. 21 muestra la variación en profundidad de la calidad en un sondeo situado al Norte de las dos zonas citadas anteriormente para Mayo de 1985, de los 95 a 108 m de profundidad el contenido en cloruros aumenta un 166%, llegando a más de 1.600 mgr/l y el índice Cl/CO₃H en 2,3 unidades, observándose valores máximos cercanos a 15. En Octubre de 1987, se tienen muestras de calidad a distintas profundidades en el sondeo B-10, situado al NE del acuífero (ver Fig.5) en las que se observa un aumento en el contenido de cloruros de 81 a 3.510 mgr/l, de la conductividad de 0,7 a 11,7 ms/cm y del índice cloro-bicarbonato de 0,6 a 27,5, al pasar de 125 a 126 m de profundidad.

3.7.2. Variación temporal de la calidad

La distribución estacional está marcada por el régimen de explotaciones del A.I.O. A partir del año 1980/81 se desarrolla una salinización por intrusión marina, que alcanza los niveles máximos en la actualidad. De esta evolución se tratará más ampliamente en el capítulo de relación acuífero-mar, mediante la interpretación de los datos de conductividades eléctricas de los puntos de la red de seguimiento de la intrusión, que vienen tomándose, con periodicidad mensual, desde el año 1983.

El agua del acuífero era tolerable para el consumo humano, según sus características fisicoquímicas, en el año 1972, dejándolo de ser al menos desde el año 1984. La evolución temporal de la salinidad que ha provocado el progresivo abandono de las captaciones se pone de manifiesto con un aumento de riesgo de salinización (de alto a muy alto), según las Normas Riversi-

de de clasificación de aguas para su uso agrícola.

Al tratarse de un acuífero libre en contacto con el mar, los dos procesos principales de variación de su calidad son: la reinfiltración de agua de riego y la intrusión marina. El primero se manifiesta, al menos desde el año 1984, por la aparición de nitratos cuyas concentraciones oscilan entre 20 y 300 mgr/l y el segundo como ya se ha dicho determina su casi completa salinización desde el año 1980/81 hasta la actualidad.

V. RELACION ACUIFERO-MAR

Existen procesos de intrusión marina en todos los acuíferos en contacto en el mar, excepto en el A.S.C., dada su situación piezométrica actual (ver Fig.9).

Esta contaminación de agua salada parece transmitirse lateralmente hacia las áreas de los acuíferos superior noreste (área de El Viso) e Intermedio Noreste (área de La Gangosa) y, dado el sentido actual del flujo, tiene que hacerlo también desde el A.F.B.N. hacia el acuífero Inferior Occidental, aunque aún no se ha detectado en éste un empeoramiento significativo de la calidad de los puntos muestreados.

El fenómeno es especialmente delicado en el A.I.N. del área de Aguadulce, ya que soporta una parte importante de la demanda del Campo de Dalías.

Se expone a continuación la situación actual y la evolución de la contaminación por intrusión en la zona oriental del Campo (acuíferos del Sector Noreste) y en la Occidental (A.E.B.N.), actualizando los documentos hechos públicos con anterioridad (IGME, 1982 y 1986; DOMINGUEZ y GONZALEZ, 1987).

1. ACUIFEROS DEL SECTOR NORESTE

El descenso continuado del nivel en los acuíferos del S.N. provoca problemas de salinización por intrusión marina en sus áreas costeras (A.I.N. del área de Aguadulce, A.S.N. del área de Roquetas y A.It.N. del Horst de Roquetas). El agua salada parece transmitirse lateralmente hacia las áreas interiores del A.It.N. y A.S.N. (Gangosa y Viso), dadas las condiciones actuales de flujo entre acuíferos.

1.1. INTRUSION MARINA EN EL ACUIFERO INFERIOR NORESTE (AREA DE AGUADULCE)

La sobreexplotación del A.I.N. en este área en contacto con el mar, del que se extrae cerca del 25% del volumen global bombeado en el Campo, se manifiesta con la bajada continuada del nivel y entrada de agua de mar hacia las zonas más deprimidas, al alcanzarse cotas piezométricas bajo la del mar a partir del año 1982/83.

Por otra parte, los excedentes de aguas destinadas a la agricultura en este área son importantes en magnitud y han ido aumentando a lo largo del tiempo. La evaluación de los incrementos producidos en las concentraciones salinas del acuífero por este proceso está aún en sus fases iniciales, pudiéndose decir, por ahora, que la presencia de nitratos no supera, por lo general, los 80 mgr/l en 1987 para los puntos muestreados.

De la existencia de procesos de intrusión marina se hará referencia en el Capítulo V; se ha manifestado un aumento en el contenido en cloro, sodio, sulfatos y en el índice cloro-bicarbonatos (de 7,8 a 12,8) desde 1980 a 1987.

3.7. CALIDAD DEL ACUIFERO DE LA ESCAMA DE Balsa Nueva

Los datos de análisis químicos disponibles para la zona más superficial del acuífero, están obtenidos en condiciones de explotación por bombeo, excepto en dos puntos, para Mayo de 1985 y Octubre de 1987, en que se han tomado a distintas profundidades (Fig.21).

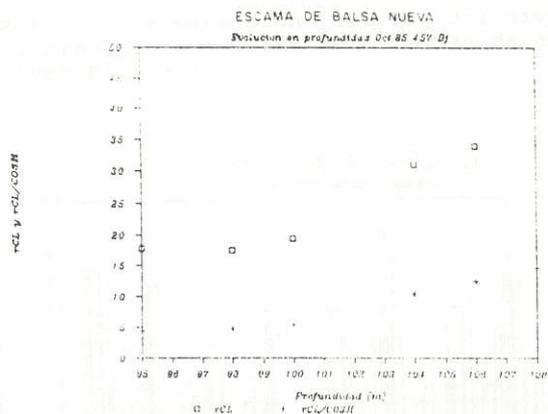


Figura 21.

Hasta dicho año no puede observarse la distribución espacial de la calidad, ya que sólo se tienen análisis de la zona más costera del acuífero

El registro temporal existente es discontinuo, pero suficiente para manifestar la salinización progresiva del agua, causada por un proceso de intrusión de agua de mar, puesto de manifiesto, por otra parte, mediante registros de conductividad en los puntos de la red de seguimiento de este proceso.

El principal factor de la variación espacial y temporal de la calidad química del acuífero es su conexión lateral con el A.I.O; la creciente explotación de este acuífero ha causado una inversión del flujo (desde el mar hacia el continente) en el A.E.B.N. a partir del año 1980/81.

El I.G.M.E. inició la investigación de este proceso en 1980/81 con la ejecución de algunos sondeos, diagrfias eléctricas en los mismos y, tanto en éstas como en otras perforaciones privadas, mediante la toma y análisis de datos de las redes de seguimiento de la piezometría, explotación y salinidad.

Desde 1982, se muestrean del orden de veinte puntos en condiciones de bombeo ó reposo (a distintas profundidades), realizándose , mensualmente, medidas de conductividad y temperatura.

La alta anisotropía y heterogeneidad del medio karstico, y la complejidad estructural y litológica de la zona dificultan el estudio y análisis de las observaciones. A ello hay que añadir el intenso bombeo y variabilidad de su régimen que no permiten que se llegue a alcanzar una situación de equilibrio en el acuífero . En estas circunstancias, solamente puede llegarse a establecerse conclusiones sobre la evolución del proceso de intrusión con una correlación detallada entre piezometría, explotación global del A.I.N. en el área y salinidad.

1.1.1. Evolución temporal del proceso

Refleja la variación temporal del nivel que tiene como factor principal la evolución del volumen de agua bombeada en el acuífero (ver Fig. 22).

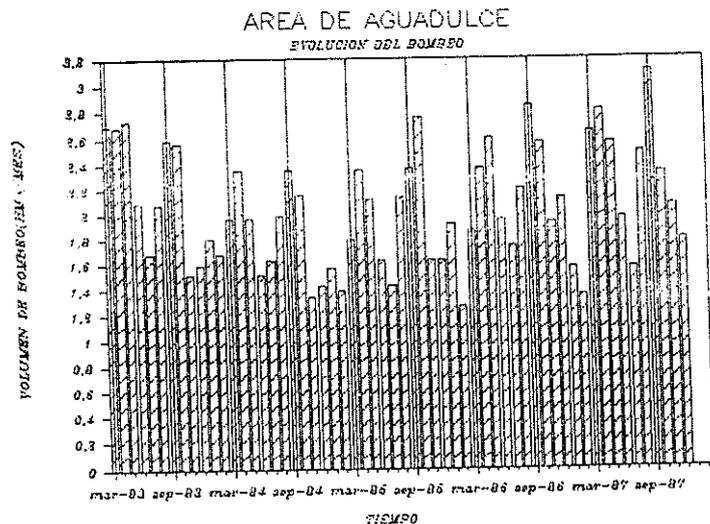


Figura 22.

La piezometría más baja alcanzada en el acuífero en el área de Aguadulce corresponde a octubre de 1987, llegándose, en condiciones de máxima explotación, a -4 m s.n.m. (ver Fig. 24), produciéndose la mayor entrada de agua de mar desde 1982/83.

El estudio de la evolución temporal de la salinidad se basa en las medidas mensuales de conductividad eléctrica y temperatura en los puntos de la red de seguimiento, para el cual se ha hecho un tratamiento distinto de los datos según sus condiciones de muestreo.

Hay tres condicionantes principales de la salinidad registrada en captaciones en explotación de este acuífero afectado por intrusión: el caudal de bombeo, la penetración del sondeo y la distancia a la zona de contacto con el mar, por lo que, para estudiar la evolución temporal de la salinidad en estos puntos, ha sido necesario separarlos por intervalos de penetración en el acuífero, conservando en ellos las mismas captaciones a lo largo de la serie histórica de datos. La penetración de la captación y el caudal de bombeo son directamente proporcionales a la salinidad, mientras que la distancia a la costa está en relación inversa. (En la Fig. 26 puede observarse la interacción entre estos tres factores: a los mayores caudales -de 160 a 210 l/s- corresponden conductividades elevadas -de 2,5 a 3,5 ms/cm- a los menores -de 30 a 60 l.s- las más bajas -de 1 a 1,7 ms/cm- y las variaciones de salinidad dentro de estos grupos se deben a distintas condiciones de penetración y distancia al contacto con el mar).

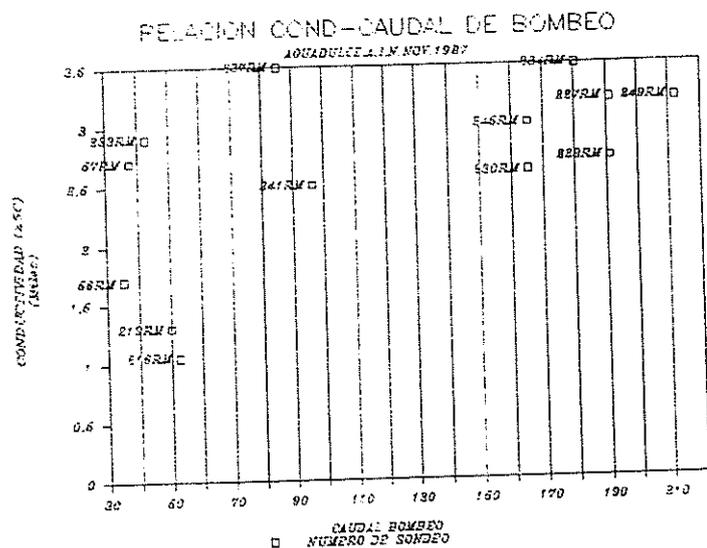


Figura 26.

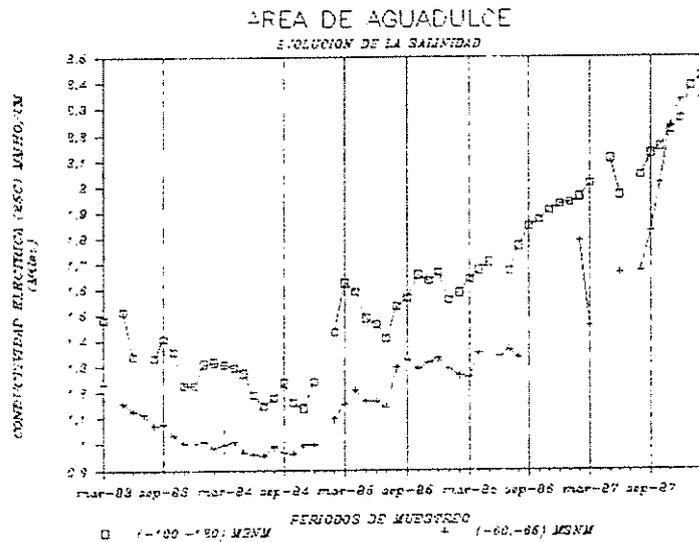


Figura 27.

La Fig. 27 muestra la evolución de la salinidad, desde 1982/83 a febrero de 1989, de los puntos en bombeo con penetración en el acuífero entre -60 y -65 m s.n.m. y entre -100 y -120 m s.n.m.; se observa un ligero descenso en 1983/84 (año en que se estabiliza el nivel piezométrico) y un aumento progresivo a partir de 1984/85, y, en relación con la distribución anual, la existencia de una clara correlación entre salinidad, piezometría y explotación (ver Fig. 25).

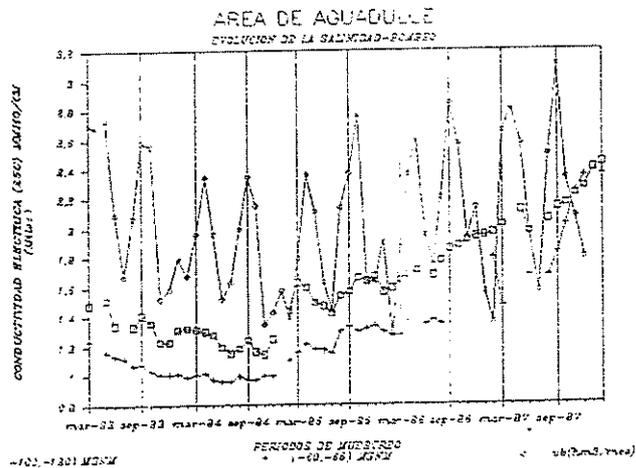


Figura 25.

El avance de la intrusión de agua de mar ha traído como consecuencia la inutilización de las captaciones en explotación más penetrantes y próximas a la costa: en junio de 1982 se saliniza el sondeo 6-Rm (con -172 m s.n.m. de cota de fondo); en septiembre de 1985 lo hace el 224-Rm (con fondo a -138 m s.n.m.); - el sondeo 240-Rm, con cota de fondo a sólo -14 m s.n.m., se salinizó también, debido en este caso a su mayor proximidad a la costa.

Actualmente la red de seguimiento de la intrusión en esta área cuenta con cinco sondeos adecuados para el muestreo en profundidad. Uno de ellos es el ya citado 224-Rm, que, tras su salinización, fué desequipado y cedido por la Comunidad de Regantes Sol y Arena con el propósito de registrar en él la evolución de la conductividad. El resto de los sondeos han sido realizados por el I.G.M.E. y la Consejería de Fomento y Trabajo, - entre 1987 y 1988, con dos finalidades: investigar la compleja estructura hidrogeológica del área y complementar la red de seguimiento de la salinidad (sondeos A-8, A-9, A-10 y A-11, ver Fig. 8); las perforaciones A-8, A-9 y A-11 se realizaron en 1987, llegando a profundidades de 400, 418 y 519 m respectivamente, - mientras que el sondeo A-10 se ha construido en 1988, con 528 m de profundidad.

En la Fig. 28 está representada la evolución temporal de la salinidad en el 224-Rm (punto con registro temporal más largo) a -68 y -78 m s.n.m. Hay una variación estacional de la conductividad que se correlaciona con la del nivel, con variaciones máximas anuales del orden de 20 ms/cm; la diferencia mayor de salinidad registrada desde 1985/86 a febrero de 1988, es de 28 ms/cm, con mínimo en abril de 1987 y máximo en noviembre del mismo año, pudiéndose apreciar, al comparar los máximos anuales, la evolución del proceso de contaminación.

1.1.2. Distribución espacial del proceso

Como consecuencia de la anisotropía del acuífero en esta área (con direcciones preferentes de entrada de agua salada según fracturaciones NO-SE y E-O) y de su utilización, mediante captaciones muy concentradas y de fuertes caudales y volúmenes de bombeo, existe una determinada distribución espacial de la salinidad. Su estudio ha de realizarse a partir del análisis de registros verticales de conductividad relacionados con la situación espacial de la piezometría y explotación del acuífero.

1.1.2.1. Distribución espacial de la piezometría y explotación del A.T.N. en el área.

Para estudiar la variación piezométrica hay que tener en cuenta que un bombeo intenso y de régimen variable sobre un acuífero muy transmisivo no permite que se alcance una recuperación total del nivel por lo que cada superficie piezométrica corresponde a una situación particular de la explotación global -

del acuífero. Este hecho dificulta la comparación entre las observaciones de las distintas campañas piezométricas realizadas, por la complejidad que supone conocer la extracción global en un momento determinado. Se ha querido resolver el problema con la obtención de registros continuos de nivel en limnigrafos distribuidos en el acuífero (ver Fig. 29).

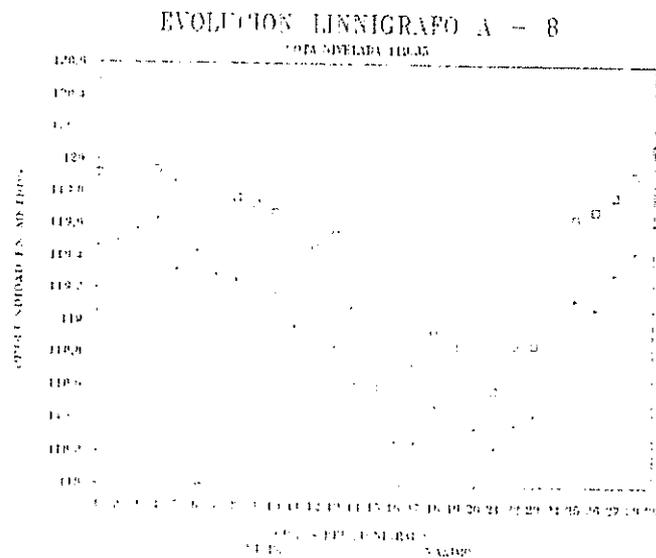


Figura 29.

La situación del nivel en condiciones óptimas de avance de la intrusión se refleja en la Fig. 24; el cono de bombeo se localiza al centro y noreste del área (llegando a cotas inferiores a -3 m s.n.m. al NE, y a -2 m s.n.m. al SO) y la zona de recarga al NO (con niveles piezométricos de +2 m s.n.m.).

Los volúmenes de agua extraídos en las captaciones del área están comprendidos entre 0,005 y 3 hm³/a para 1986/87 (ver Fig. 24). La distribución espacial es la siguiente: el 50% del volumen extraído del área se localiza en su parte central (sondeos 228, 227, 230, 244 y 245 Rm), el bombeo puntual mayor (21% del global) en su zona norte (sondeo 249 Rm) y, en el resto del área, no llega a superarse el volumen de 1 hm³/a.

1.1.2.2. Distribución espacial de la salinidad

Ya se ha comentado la necesidad de estudiar la variación vertical de la conductividad en distintas captaciones, homogéneamente repartidas dentro del área. Hasta febrero de 1988 se dispone de registros de la salinidad en profundidad en sólo tres sondeos, situados al NE, O y SE del cono de explotación (ver Fig. 24); las captaciones A-10 y A-11, recientemente cons-

truidas, suministrarán los datos necesarios para el estudio del oeste y suroeste de la zona.

En la Fig. 24 se observa la variación vertical de la salinidad en los citados tres sondeos (A-8, A-9 y 224-Rm): aumenta de O a E, dentro de la parte oriental del área, de N a S, registrándose la máxima en el 224-Rm; la figura refleja la conductividad en las circunstancias de máxima intrusión (octubre-noviembre de 1987) de la serie histórica, y la correlación existente entre la distribución de explotaciones, nivel dinámico y salinidades para dicho periodo. El acusado ascenso de la interfase al SE del cono de bombeo (con conductividades superiores a 30 ms/cm a -80 m s.n.m. en el 224 Rm, que no sobrepasan los 2 ms/cm a esa misma cota en los otros dos sondeos) es el reflejo de la entrada de agua de mar, según dirección E-O, hacia las zonas más deprimidas del acuífero, en las que se concentran más los bombeos. La variación en la posición de la interfase entre el A-8 y el A-9 también es elevada: a -100 m s.n.m. se registran salinidades superiores a 20 ms/cm en el primero e inferiores a 4 ms/cm en el segundo; este hecho es consecuencia de la existencia de direcciones preferentes de entrada de agua salada, según fracturas NO-SE, hacia la zona más deprimida del cono de bombeo.

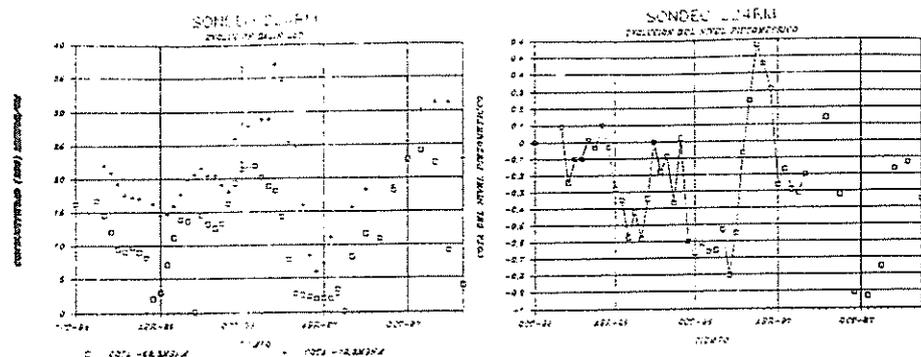


Figura 28.

1.1.3. Conclusiones

El A.I.N. en el área de Aquadulce sufre un proceso de intrusión marina, detectada desde 1982/83 por la inutilización de las captaciones más profundas cercanas a la costa, aumento en la

salinidad del agua bombeada y disminución en la profundidad de la interfase en los puntos en que pueden realizarse registros verticales de calidad.

La cuantificación de esta contaminación, alcance y evolución futura es aún difícil de determinar, por el corto registro de datos de salinidad en profundidad de que se dispone, pero las observaciones apuntan hacia que el proceso va en aumento, implicando un alto riesgo de deterioro de la calidad de las captaciones existentes en el área. Este se hace más grande en los sondeos de mayor penetración y caudal de bombeo, y menor distancia a la zona de contacto con el mar, suponiendo un grave problema, ya que el acuífero soporta actualmente la cuarta parte de la demanda del Campo. Además el empeoramiento de la calidad de este acuífero no solamente supondría la menor utilización de sus propios recursos, sino también la imposibilidad del empleo de los otros acuíferos del Campo, tanto por la transmisión de agua salada hacia ellos (caso del A.It.N. en La Gangosa) como por la pérdida de la posibilidad de mezcla con las aguas de aquellos cuya calidad no permite su utilización directamente, (caso del A.S.C., A.S.N. etc.) con el fin de mejorar la calidad, de acuerdo con las exigencias de la demanda.

1.2. RELACION ACUIFERO-MAR EN LOS ACUIFEROS SUPERIOR E INFERIOR DEL SECTOR NORESTE

El desequilibrio en el balance hídrico de estos acuíferos se manifiesta, entre otros hechos, con el consumo de parte de sus reservas y con la entrada de agua de mar hacia las áreas más deprimidas de los mismos (ver Fig. 8).

La complejidad litológica y estructural, unida a la falta de sondeos de investigación adecuados y la escasez de datos hidrogeológicos de los de explotación existentes, da lugar a incertidumbres sobre el funcionamiento de estos acuíferos y, por tanto, sobre la evolución y origen -en algunos casos- de su salinidad.

En el A.S.N. se observan procesos de intrusión marina en el área de Roquetas, en contacto con el mar, y, posiblemente, en la de El Viso, donde podría haberse transmitido lateralmente desde la de Roquetas (ver Fig. 7).

La zona costera del A.It.N (Horst de Roquetas) está ya salinizada, produciéndose también este proceso en La Gangosa a través del propio Horst -si ambas áreas están en conexión- o, lateralmente, desde el A.S.N. de Roquetas (más favorablemente a través de tramos confinados o semiconfinados) y/o el A.I.N. en Aguadulce (ver Fig. 7). Recientes registros de conductividad en un sondeo profundo (41 Vc) muestran una interfase clara (entre -70 y -85 m s.n.m.) al SE del área de La Gangosa (ver Fig.7); la alta salinidad en profundidad del nuevo sondeo de investigación A-10, situado en el A.I.N. cercano al límite SE, entre el A.It.N y A.I.N. en el área de Aguadulce, apunta a la existencia de un flujo de agua salada de dirección E-O desde dicha área hacia la

de La Gangosa.

Hay que considerar que, tanto en el A.S.N. (área de El Viso) como en el A.It.N. (área de La Gangosa) el origen de la salinidad se deba en parte a la existencia en profundidad de zonas con mayores concentraciones de sales, derivadas de la litología del acuífero o asociadas a su sedimentación: la anulación de determinados sondeos en los años sesenta, tras su perforación, por su alto contenido en sales, cuando aún no se había iniciado prácticamente la explotación intensiva en el Campo, hace pensar en este hecho, cuya investigación se está realizando en la actualidad a partir de análisis isotópicos.

El I.G.M.E. viene estudiando la evolución de salinidad del A.S.N. y A.It.N. desde 1980/81. Para ello se realizaron en dicho año una serie de sondeos de investigación (A2, A2bis, A4, A5, A7) que mostraron la existencia del Horst de Roquetas y la intrusión en éste y en el A.S.N. (área de Roquetas) en el entorno del citado Horst. En estos sondeos se realizaron series de diagramas eléctricos y, una vez acondicionado, muestreos de agua y toma de niveles.

A partir de Marzo de 1983 se tienen datos de medición de conductividad y temperatura, tomados mensualmente en puntos de agua de la red de seguimiento de la intrusión en estos acuíferos: los muestreos han sido realizados en condiciones de explotación y, sólo en los escasos puntos disponibles en reposo, a distintas profundidades. En la actualidad se controlan más de veinte sondeos, pero la falta de captaciones profundas, para el conocimiento de la estructura hidrogeológica y seguimiento en profundidad de la salinización, dificulta el estudio de la evolución temporal y distribución espacial del proceso de contaminación, ya que, como se dijo anteriormente, existen evidencias de que en ambos acuíferos hay más de una capa, al menos en determinadas zonas de las mismas.

1.2.1. Evolución temporal y distribución espacial de la salinización.

El análisis de las observaciones en puntos de la Red de Seguimiento de la Intrusión en estos acuíferos se centra, en la actualidad, principalmente, en las áreas de La Gangosa y El Viso, por su mayor utilización y posibilidad de acceso, debido a la infraestructura de sondeos particulares allí existentes. La falta de sondeos en el área de Roquetas, tanto en el Horst como en el acuífero plioceno, dificulta el conocimiento de la evolución de la salinidad en esta zona y de su transmisión hacia las áreas del A.S.N. y A.It. N.

1.2.1.1. Areas de La Gangosa-Viso

Los puntos disponibles de la Red de Seguimiento de la Intrusión son poco adecuados para el estudio de la evolución y distribución de la salinidad en estas áreas, al igual que en la de Roquetas, ya que aunque se cuenta con sondeos donde muestrear

en profundidad, éstos son muy escasos y de pequeña penetración en el acuífero y, además, no se tiene el conocimiento adecuado de las características hidrogeológicas de la mayoría de las captaciones existentes por falta de datos sobre las mismas.

La evolución de la contaminación, desde Marzo de 1983 a Diciembre de 1987, se expresa, en los sondeos en explotación, mediante la tendencia al aumento de la conductividad media, como muestra la Fig. 30; la variación mayor alcanzada ha sido de 6 ms/cm, con mínima salinidad en Agosto de 1984 (3 ms/cm) y máxima en Diciembre de 1987 (9 ms/cm). Es la consecuencia de la bajada del nivel en estos acuíferos provocada por la explotación del conjunto de los del S.N.

Las incertidumbres sobre las características hidrogeológicas de las captaciones en bombeo y sobre las vías de transmisión de agua salada hacia éstas áreas, no permiten establecer una correlación entre la explotación, el nivel y la conductividad de los puntos muestreados en funcionamiento (ver Fig. 30, 31). En consecuencia, sólo a partir de registros verticales de la salinidad, en sondeos en que se conozca el acuífero captado y las características de la perforación, podrá estudiarse la distribución espacial y evolución temporal de la contaminación; si no es así se correrá el riesgo de establecer comparaciones entre elementos de grupos distintos, pudiéndose llegar a conclusiones erróneas.

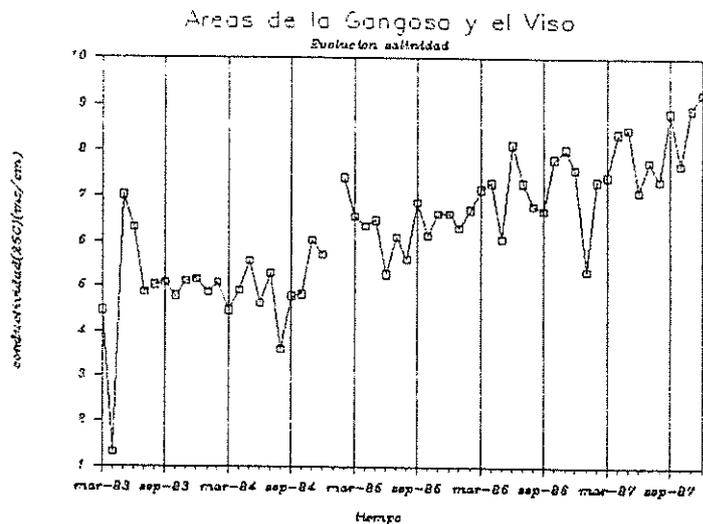


Figura 30.

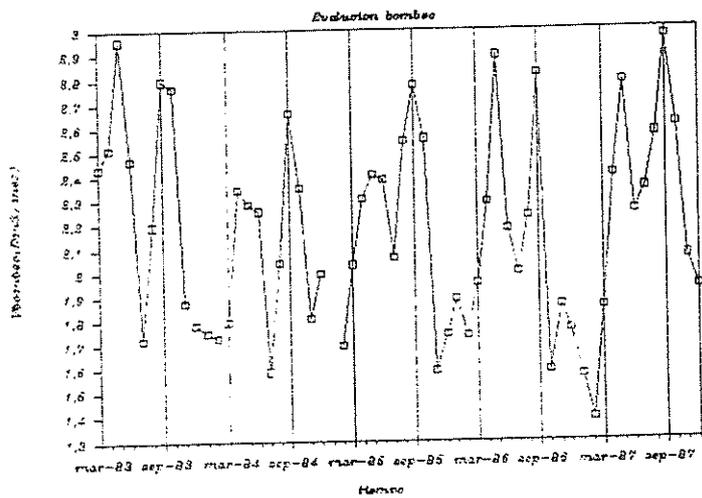


Figura 31.

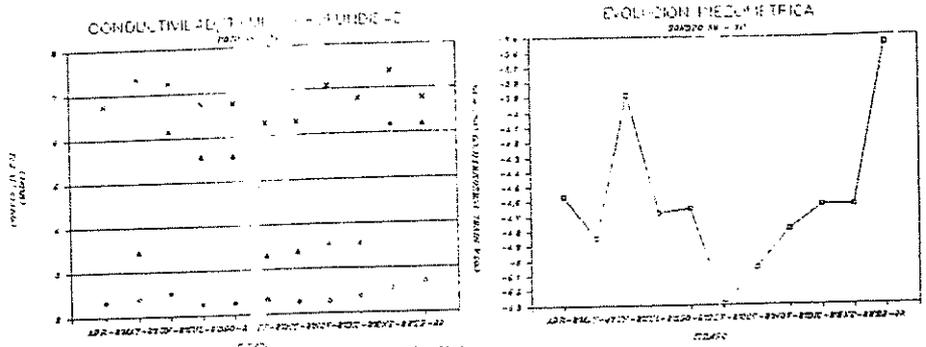


Figura 32.

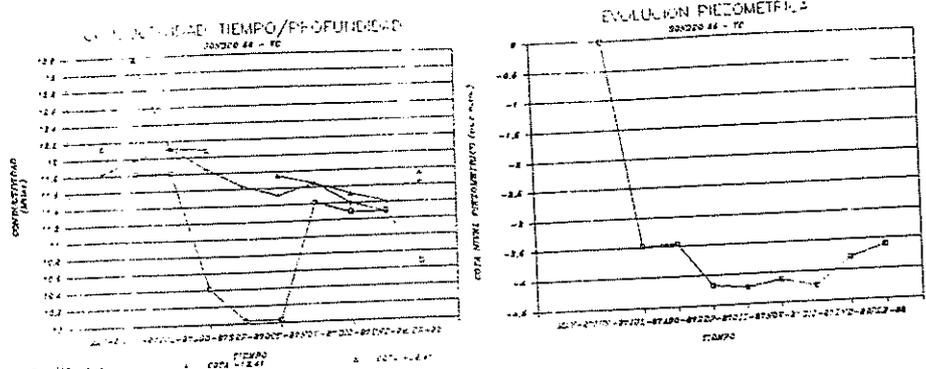


Figura 33.

Las Figs. 32 y 33 muestran la evolución de la salinidad en profundidad desde Abril de 1987 a Febrero de 1988, en los dos puntos de la red de seguimiento en los que pueden realizarse este tipo de registros (39Vc y 56Vc, correspondientes a las áreas de La Gangosa y El Viso respectivamente); se observa un incremento de la salinidad en profundidad y una variación estacional de ésta, más acusada a determinadas cotas (-22 m s.n.m. en el 39 Vc y -6 m s.n.m. en el 56 Vc) y en relación directa con el nivel piezométrico. El aumento en profundidad de la conductividad se justifica con la entrada de agua de mar, bien desde el Horst de Roquetas o desde el A.I.N. en Aquadulce, mientras que la variación estacional de la salinidad, en relación directa con el nivel, tiene que ser provocado por aportes laterales de agua dulce desde el A.I.N. que se reflejan con distinta intensidad en las diferentes capas que forman los acuíferos.

Recientemente (en Mayo de 1988), se ha podido registrar la salinidad en profundidad en un sondeo (41 Vc ver Fig.8) de mayor penetración que los citados anteriormente: en él se detecta una contaminación profunda por entrada de agua de mar, con interfase localizada entre -70 y -85 m s.n.m. y otra superficial, de menor importancia, consecuencia de la descarga lateral de agua salada desde el A.S.N. del área de Roquetas.

1.2.1.2. Area de Roquetas

Aunque existe un umbral piezométrico de descarga de agua hacia el mar en las capas más superficiales del A.S.N. (ver Fig. 7), a través de capas más profundas, confinadas y semiconfinadas o de las mismas superficiales en determinados periodos se está produciendo, al menos desde 1982, la entrada de agua de mar en este área, bien de manera directa o, lateralmente, desde el Horst de Roquetas intruido.

Como ya se ha comentado, en la actualidad no se tienen los sondeos adecuados para el seguimiento de la intrusión en este área; la red cuenta con cuatro piezómetros en los que, semestralmente, desde 1984 a 1985, y, mensualmente, desde 1986, se toman medidas de conductividad y temperatura. Las Figs. 35 y 36 muestran el aumento, temporal y espacial, de la salinidad en estos puntos. Tampoco se ha investigado aún la repercusión que pueda producir en la salinidad del acuífero (en el entorno de Roquetas) la existencia de las salinas, como consecuencia de la eventual inversión del flujo subterráneo en la zona.

2. INTRUSION MARINA EN LA ZONA OCCIDENTAL DEL CAMPO

En la evolución piezométrica observada en el A.I.O. y la escama de Balsa Nueva se destaca el año 1980-81 como la fecha en que los niveles piezométricos, en descenso continuo, rebasan la cota cero, lo que habría de significar la inversión del flujo subterráneo en la zona, es decir, la penetración de agua salada hacia el continente. Se sabía que por este área se había produci

do la descarga del A.I.O. hacia el mar, pero no se conocía suficientemente si había sido a través del conjunto dolomías de Gádor-sobertera o sólo por la cobertera. En el primer caso, la penetración de agua salada, a partir de la fecha indicada, podía ser mucho más rápida que en el segundo, al limitarse en éste a un medio poroso, mucho menos transitorio, hipótesis bastante probable que había que confirmar. Para verificar este supuesto, de gran interés, se hizo necesario intensificar el estudio y el seguimiento piezométrico de esta zona (medidas periódicas, campaña extensiva de febrero 1984), de la calidad química (controles periódicos en puntos de la red de seguimiento de la intrusión, etc. y, especialmente, la ejecución de sondeos para conocer la estructura hidrogeológica, y las calidades y evolución de las mismas, tanto en la cobertera como en las dolomías del A.I.O. bajo la E.B.N.

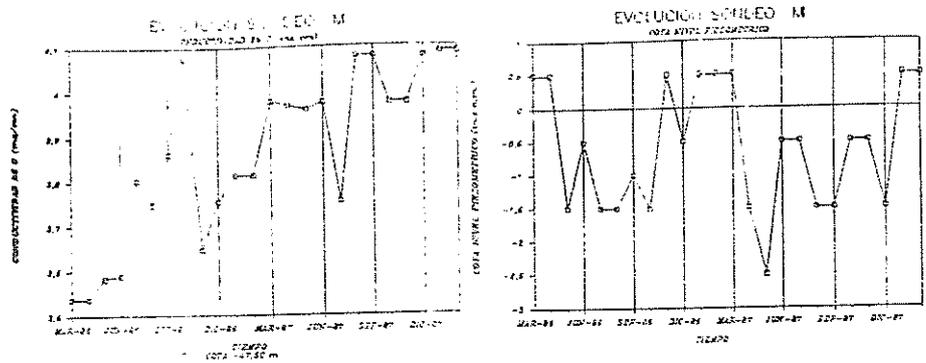


Figura 35.

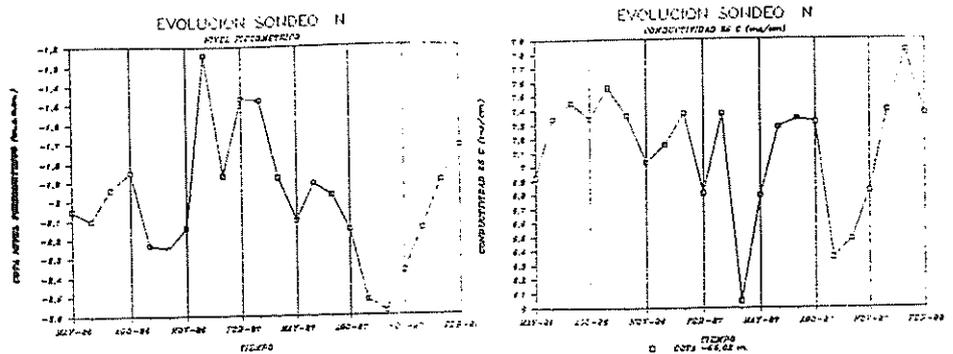


Figura 36.

En 1985 se realiza el sondeo B 9 (Fig. 5) de 632 m de profundidad, con el que se demuestra la existencia del acuífero poroso de cobertera independizado del A.I.O. por las metapelitas impermeables que constituyen la base de la escama. En el primero se observan calidades químicas propias de un proceso de salinización, hecho que por otra parte se manifiesta con el abandono de dos captaciones de este acuífero. En el acuífero más profundo las medidas de conductividad eléctrica realizadas demuestran la ausencia de contaminación y por tanto su desconexión directa con el mar. Para el seguimiento de la intrusión en el A.E.B.N., en 1986 se realiza el sondeo B 10 (Fig. 5) que con 250 m de profundidad llega hasta la base de este acuífero.

Puesto que existe una conexión lateral hacia el E entre el A.E.B. N. y el A.I.O. tiene que producirse necesariamente una contaminación de este último acuífero, dado el sentido actual del flujo. Para el conocimiento de este proceso y el estudio de medidas correctoras del mismo, se intensifica la red de seguimiento de la calidad química y piezometría. Por el momento se cuenta con trece puntos de vigilancia de la salinidad, distribuidos en ambos acuíferos, en los que mensualmente se realizan medidas de conductividad eléctrica. La mayoría son puntos de explotación, pudiéndose tomar únicamente registros a distintas profundidades en el A.E.B.N. Para el seguimiento de la contaminación en el A.I.O., habría que disponer de algún sondeo en el que pudieran tenerse registros verticales de la salinidad. El hecho de que hasta ahora no se haya detectado un empeoramiento de la calidad de este acuífero puede deberse a la poca representatividad de los puntos disponibles de la red en relación con el foco contaminante.

La Fig. 5 muestra un esquema de la situación de la superficie piezométrica en el A.E.B.N. para octubre de 1985. Aparecen representadas las isopiezas esquemáticas de dicho acuífero (con cotas piezométricas negativas) y del A.S.C. en la zona de conexión hidráulica entre ambos (con cotas piezométricas positivas). Queda patente un flujo de dirección SO-NE, desde el mar hacia los puntos de menor carga piezométrica de la escama, que provoca el proceso de contaminación marina, flujo que continúa hacia el A.I.O. produciendo la contaminación de éste. Es de destacar la recarga de dirección aproximada E-O, que procedente del A.S.C. llega hasta la escama, provocando una retención del avance de la intrusión hacia el límite SE de la misma y con ello reduciendo el volumen de entrada de agua de mar hacia el continente.

Las Figs. 37 y 38 muestran el ascenso en profundidad de la salinidad en el sondeo de la red de seguimiento 458 Bj, situado al SO del acuífero a menos de 500 m de la costa, para el periodo de registro (septiembre de 1983 a febrero de 1988). Esta evolución observada en todos los puntos de la red de intrusión del A.E.B.N., provoca la reducción progresiva de la lámina de dulce del acuífero, que ya no supera el metro en el citado sondeo y sólo alcanza 25 m a la altura del punto B 10, situado al NO del anterior, a mayor distancia de la costa, cerca de la zona de conexión con el A.I.O. (Fig. 5).

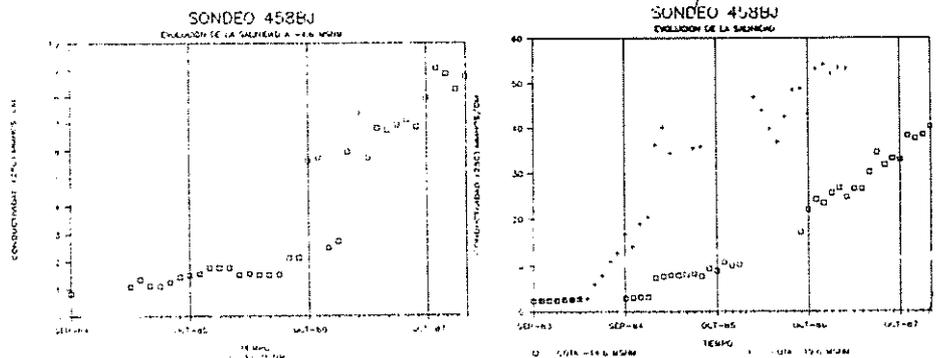


Figura 37.

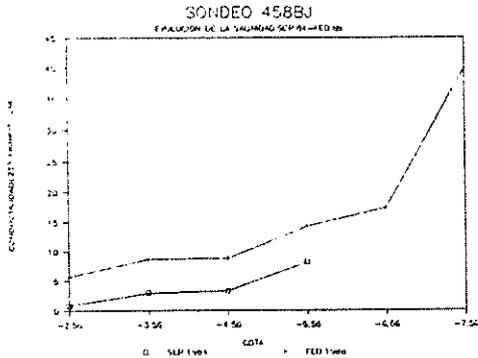


Figura 38.

Con los datos de las redes de vigilancia y los avances en el conocimiento de la estructura hidrogeológica obtenidos a partir de los sondeos de investigación B.9 y B.10, se realizaron una serie de perfiles hidrogeológicos paralelos y transversales a la estructura. Las Figs. 39 y 40 corresponden a un corte transversal, en el que se ha representado la posición de la interfase para dos situaciones históricas distintas: noviembre de 1981 una, y otra mayo de 1987. La calidad del agua del A.I.O. no varía en las dos situaciones, considerándose como agua dulce; sin embargo, la salinización del A.E.B.N. va en aumento, aunque retenida hacia el E y S por el flujo procedente del A.S.C. Se observa, por tanto, una disminución progresiva de la profundidad de la interfase desde 1981 a 1987 al avanzar el proceso de contaminación por intrusión marina, que sigue progresando en la actualidad.

Además de la ya aludida necesidad de disponer de algunos

VI. PROPUESTAS DE GESTION

Dado el carácter excedentario de la cuenca del Adra, la situación deficitaria de la del Campo de Dalías y, como un hecho ya real, la posibilidad de trasvasar volúmenes de agua de la primera a la segunda a través del canal de Beninar-Campo, parece obligado considerar todo este conjunto como una unidad de gestión de todos sus recursos, superficiales y subterráneos, incluso eventualmente de los que pudieran importarse a la misma de otras cuencas excedentarias. Ello implica que para las siguientes propuestas se haga referencia a todo el ámbito señalado anteriormente, que coincide con la llamada Comarca de Poniente - Sierra de Gádor, y no al dominio más restringido del denominado "Subsistema Campo de Dalías" que se acaba de describir.

Para el desarrollo de este capítulo se ha planteado el siguiente esquema: la primera cuestión a considerar cuando hay algo que gestionar es conocer los elementos que entran en juego. En este caso podrían concretarse los recursos, las demandas y los sistemas de captación, regulación y distribución de los recursos para adecuarlos a las demandas.

El conocimiento de los elementos a gestionar es pues obviamente básico para racionalizar al máximo esta actividad, es decir, hay que plantear una actuación investigadora permanente sobre aquellos, para perseguir el mejor conocimiento posible en cada momento, dado que son realidades que cambian con el tiempo, además de tratarse en bastantes casos de parámetros naturales de difícil evaluación.

Para la citada investigación es preciso realizar importantes inversiones, lo mismo que para el correspondiente planteamiento de obras de creación y mantenimiento de infraestructuras relacionadas con los elementos de gestión. Y habrá que olvidar, de una vez, la costumbre de invertir, cuando de recursos se trata, solamente cuando son superficiales porque, aunque no se vean, los subterráneos constituyen realidades tangibles: en el caso que nos ocupa, solamente los del Subsistema Campo de Dalías son tan importantes o más que los que pueda regular el embalse de Beninar.

Seguidamente se hará un breve resumen de la situación actual de los acuíferos en el Subsistema Campo de Dalías, con objeto de sintetizar el conocimiento de algunos aspectos -ya referidos en páginas anteriores- en los que se fundamentan las recomendaciones sobre acciones inmediatas a realizar en dicho ámbito, que se citarán a continuación. Finalmente, y como una forma de sistematizar lo que podrían ser las líneas de actuación de un programa de gestión para el conjunto de las Cuencas del Adra y Campo de Dalías, se presenta un resumen del planteado en otra ocasión, dentro de un documento interno del Estudio.

1. ESQUEMA DE LINEAS GENERALES DE ACTUACION A TENER EN CUENTA PARA LA GESTION DE LAS CUENCAS DEL ADRA Y CAMPO DE DALIAS

Se diferencian en este esquema tres grupos principales - de actividades para la gestión, en sentido amplio, de estas cuencas: la investigación, la gestión propiamente dicha y la coordinación de las actividades a realizar.

La investigación debe de encaminarse hacia una mejora - del conocimiento de los recursos (subterráneos y superficiales), demandas, redes de distribución de recursos, y de las comunidades de usuarios. También se hace necesaria la racionalización de los sistema de control de recursos, de ambos tipos, en cuanto a su cantidad y calidad, y de las demandas (agrícola, urbana e industrial), además de otras investigaciones de tipo agrícola, sociológico, de mercado, etc.

Con respecto a los órganos de investigación, la actividad debe estar abierta a cualquier estamento de la administración en general, con competencia en los temas específicos de estudio.

La gestión propiamente dicha deberá incluir la adecuación de recursos y demandas -planificación- mediante el análisis y reordenación de éstos y de las redes de distribución de recursos, captaciones y embalses de regulación, así como el control y mantenimiento de los elementos de gestión (recursos, demandas e infraestructura) y de los aspectos económicos y administrativos de la misma.

Los órganos de gestión deberán depender del Organismo - de cuenca, que habría de contar con los medios suficientes para llevar a cabo esta labor, entre ellos un equipo técnico con unidades fijas de apoyo en campo. Estarán integrados dichos órganos por el equipo de gestión y las comunidades de usuarios, habrá - que fomentar la formación de éstas y proporcionarles asesoramiento (técnico, jurídico y administrativo) mientras les sea necesario.

Las misiones de equipo de gestión deberán ser principalmente : la materialización del Plan de Explotaciones y el control de su cumplimiento, la administración del Patrimonio y el control general de operaciones.

Se deberá disponer de un Organismo de Coordinación en el - que estén representadas las distintas administraciones y estamentos que intervienen en la gestión, en sentido amplio, para - que se aúnen todas las actuaciones .

A continuación se desglosan las líneas de actuación fundamentales en relación con la mejora del conocimiento, racionalización de los sistemas de control, planificación y mantenimiento de los elementos de gestión.

1.1. MEJORA DEL CONOCIMIENTO DE:

1.1.1. Los Recursos Subterráneos

a) Cantidad

- Estructura y características Hidrodinámicas de los acuíferos - (realización de sondeos de investigación, actualización permanente de datos estructurales, etc.).
- Evaluación del volumen y régimen de dotaciones excedentes en la Cuenca del Adram y estudio de viabilidad de su transporte al Campo de Dalías. Regulación de recursos de la Unidad Fuente Marbella, Unidades de la cabecera de río Chico y Delta del Adra).
- Revisión periódica del funcionamiento de los acuíferos.
- Evaluación de reservas utilizables y almacenamientos subterráneos disponibles.
- Estudio de mejora de las condiciones de recarga natural de los acuíferos.
- Viabilidad de recarga artificial de acuíferos.

b) Calidad

- Complementación del estudio de la distribución espacial y temporal de la calidad natural de los acuíferos.
- Complementación del estudio de la contaminación por intrusión marina .
- Estudio de la contaminación agrícola, urbana e industrial.
- Estudio de viabilidad y coste de mezcla de aguas de distintas calidades para su utilización en función de la demanda.
- Estudio de la viabilidad y coste de desalinización de aguas de distintas calidades.
- Estudio de viabilidad de utilización de aguas residuales.

1.1.2. Los Recursos Superficiales

a) Cantidad

- Evaluación del volumen y régimen de dotaciones reguladas y no reguladas por Benínar, destinadas al Campo.

1.1.3. Formación de Inventario de Recursos

1.1.4. La Demanda Agrícola

- Cuantificación real y teórica.
- Situación de los regadíos.
- Calidad del agua en función del tipo de cultivo.
- Régimen.
- Origen del suministro actual.
- Red de distribución del recurso .
- Técnicas de aplicación del recurso.
- Formación de grupos de demanda.

1.1.5. La Demanda Urban e Industrial

- Actualización y reconsideración de conclusiones al Estudio IGME-Diputación de demanda urbana (1985), de acuerdo con la situación actual de recursos.
- Cuantificación real y teórica de la demanda industrial.
- Situación de las industrias.
- Calidad del agua exigida por el tipo de industria.
- Régimen de demanda industrial.
- Formación de grupos de demanda urbana e industrial.

1.1.6. Formación de Inventario de Demandas

- Formación del inventario de demanda agrícola (para cada parcela).
- Actualización del inventario de demanda urbana del Estudio IGME-Diputación (1985).
- Formación del inventario de demanda industrial (para cada industria).

1.1.7. Mejora del conocimiento de distribución de recursos, captaciones, embalses de regulación y comunidades de usuarios: formación de inventarios.

1.2. RACIONALIZACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE:

1.2.1. Los Recursos Subterráneos

a) Cantidad

- Racionalización del control de explotaciones (elección de sistemas de lectura directa).
- Racionalización del control piezométrico (creación, optimización de la red de control).

b) Calidad

- Racionalización del control de calidad natural, contaminación por intrusión marina, urbana, industrial y agrícola (creación, optimización de las redes de control).

1.3. ADECUACION DE RECURSOS Y DEMANDAS (PLANIFICACION) DE:

1.3.1. Los Recursos

- Actualización permanente del inventario de recursos.
- Mejora de la regulación y garantía de las aportaciones (uso conjunto aguas superficiales y subterráneas, recursos propios y ajenos, uso de la capacidad de embalse de los acuíferos).
- Mejora de la calidad de los recursos disponibles no utilizables directamente, para hacerles útiles en función de la demanda - (utilización de mezclas de agua de distintas calidades, de técnicas de desalinización y depuración de aguas -reutilización de aguas residuales-).
- Reordenación de las captaciones en función de la situación de la demanda y mejor utilización de los acuíferos.
- Prevención de contaminación de recursos.
- Aplicación de técnicas correctoras de la contaminación de recursos.

1.3.2. Demandas

- Actualización permanente del inventario de demandas.
- Mejora de la demanda real.

1.3.3. Las Redes de Distribución de Recursos

- Actualización permanente del inventario de redes de distribución y regulación de recursos.
- Análisis y reordenación de las redes existentes en función de recursos y demandas.

1.4. CONTROL Y MANTENIMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE GESTION

1.4.1. Recursos

- Control de volúmenes embalsados y desembalses.
- Control de bombeos y manantiales.
- Control de Calidad (natural y contaminaciones).
- Control piezométrico.

1.4.2. Demandas

- Control de superficies regadas.
- Control de dotaciones utilizadas.
- Control del uso (tipo de cultivo, técnicas de aplicación, etc.)

1.4.3. Mantenimiento de la infraestructura

- De Embalses.
- De Captaciones.
- De Instalaciones.
- De Redes de Distribución.
- De piezómetros, limnígrafos.

2. RESUMEN DE LA SITUACION ACTUAL DE LOS ACUIFEROS PRINCIPALES Y RECOMENDACIONES SOBRE ACCIONES MAS URGENTES A REALIZAR

Si se toman como referencia los balances establecidos - en la Fig. 9, en particular el correspondiente al conjunto del Campo, el déficit evaluado llega a ser de unos 25-26 hm³/a, es decir, dentro de la incertidumbre de estas cifras, del mismo rango que el valor entre 25 y 30 hm³/año en que se evaluó en Diciembre de 1982 también por parte del Estudio.

Cuando el embalse de Benínar entre en servicio plenamente, según las previsiones, aportará unos 25 hm³/a destinados al abastecimiento de Almería capital y al Campo de Dalías. En principio la operación supondrá una dotación anual de unos 24 hm³ para este último, que irá disminuyendo a medida que crezca la demanda urbana en un supuesto aumento de población en la capital.

Considerando el problema globalmente, en los primeros años del servicio pleno del citado embalse se podría llegar ca-

si al equilibrio de entradas y salidas para el Campo -con todas las reservas debidas a la imprecisión de estos cálculos- si es que queda congelada la demanda dentro del mismo a los niveles actuales. Más adelante se irían generando déficit nuevamente.

Pero el asunto se complica por la necesidad de abordarlo de manera particularizada para los distintos acuíferos existentes, cada uno de ellos con su problemática específica, y la falta de una infraestructura suficiente para aplicar las acciones correctoras en su momento y espacio adecuados. Sequidamente se van a resumir los problemas más acuciantes de la situación de cada uno de los acuíferos principales -según la interpretación llevada a cabo de la evolución observada en los mismos- y las actuaciones más urgentes a realizar para corregir o paliar dichos problemas. Se ha seguido el criterio de señalar actuaciones que se consideran viables a corto plazo, abandonando planteamientos más idóneos, tal vez, pero de dudosa consecución.

Conviene hacer una advertencia en relación con los cambios de orientación que pueden observarse en las distintas recomendaciones hechas desde el marco de este Estudio, a través del tiempo, y que el equipo de trabajo del mismo asume plenamente. Están basadas tanto en el carácter cambiante de muchos de los parámetros que entran en juego, como en las dificultades obvias para el adecuado control de los mismos.

2.1. ACUIFERO INFERIOR NORESTE

Tiene un déficit de 7 a 8 hm³/a, su problema principal es la salinización existente en el área de Aquadulce. Esta, se considera muy grave, por la repercusión, tanto directa, sobre el 25% del bombeo del Campo que soporta el acuífero, como indirecta, a través de la transmisión lateral de agua salada al A. S.N. y A.It. N., así como, por la pérdida de la posibilidad de aprovechamiento de otras aguas del Campo, no utilizables directamente.

En consecuencia, se debe tratar de corregir el problema, manteniendo la interfase a las cotas que permitan bombear un agua con la calidad suficiente para la demanda sin que se produzcan descargas innecesarias de agua dulce al mar. No sólo se debe evitar la progresión del proceso sino corregirlo.

Con estos objetivos, las actividades que se consideran más adecuadas y de carácter urgente, con prioridad sobre las de otros acuíferos, son las siguientes:

- Disminuir el volumen global de bombeo, actuando, de forma experimental, sobre el caudal y régimen de explotación, y sobre la distribución espacial de las captaciones, y limitar la profundidad de las mismas en relación con su distancia a la costa. (El análisis de los datos existentes pone de manifiesto un empeoramiento del problema en los sondeos de mayor caudal o zonas de concentración de bombeo y en los momentos de máxima -

extracción del área, así como en los situados más cerca del mar).

Esta acción experimental podría iniciarse, por razones prácticas, con una disminución de 8-10 hm³/a, eliminación de caudales superiores a 80-100 l/s y cementación de los tramos de sondeo con profundidades indeseables. La procedencia del agua de sustitución de este volumen debería recaer, por este orden, sobre: recursos de Beninar, nuevos bombeos en la parte oriental del área de El Águila y zona noreste del A.S. C.

- Redistribución de las captaciones del área en la medida de lo posible, aprovechando algunas existentes en la misma, más distanciadas del mar, que no se han llegado a instalar.
- Ampliación de la red específica de seguimiento de la salinización, mediante la creación de sondeos de investigación y control.

2.2. ACUIFEROS SUPERIOR E INTERMEDIO NORESTE

El déficit de estos acuíferos, considerando sus recursos propios y retornos de riego, es de 13 hm³/a, siendo de 6-7 hm³/a al tener en cuenta las aportaciones laterales actuales de agua desde los colindantes.

El principal problema que les afecta es su salinización. Es un proceso grave, teniendo en cuenta que incide en el 25% de los bombeos del Campo, y muy mal conocido, por lo que se hace aconsejable un mínimo de 8 a 10 sondeos de investigación, tanto para la ampliación y en algunos casos creación de la red de seguimiento de la intrusión como para alcanzar un mejor conocimiento de la estructura hidrogeológica de los acuíferos.

Se debe evitar de momento la intensificación de esta salinización, y, más tarde, procurar que se produzca la restitución de la calidad perdida en ellos. Para ello tendría que producirse una inversión o anulación del flujo de agua salada cuya vía de transmisión aún no se conoce lo suficientemente.

La única actuación correctora del problema es la restitución de las reservas de ambos acuíferos hasta alcanzar cotas positivas, pero por el momento, esto no es viable, aunque sí se podría paliar el proceso con la sustitución de volúmenes de bombeos, en la mayor medida de lo posible, en las captaciones de estos acuíferos. Podrían iniciarse estas actuaciones con una disminución experimental del bombeo en 8-9 hm³/año, repartida entre ambos acuíferos, pero dando mayor peso al A.It.N. del área de La Gangosa, ya que en ella el proceso está más definido y es mayor su proximidad al mar. Por sentido práctico, habría que actuar sobre los bombeos de la Comunidad de Regantes Sol y Arena quemuestran una mayor salinización. Para la procedencia del agua de sustitución del citado volumen habría que

seguir las mismas orientaciones que en el caso del A.I.N. del -
área de Aguadulce, ya que otras soluciones, como la captación en
el mismo área del A.I.N., precisaría de una investigación pre-
via y, lo que es más importante, incidiría negativamente en la
vecina área de Aguadulce.

2.3. ACUIFERO INFERIOR OCCIDENTAL Y DE LA ESCAMA DE Balsa NUEVA.

El déficit soportado por el A.I.O., según sus recursos
propios y retornos de riego, es de 25-24 hm³/a, llegando a 12-13
hm³/a teniendo en cuenta sus aportaciones totales actuales. El
problema principal que acusa es su salinización a través del flujo
procedente del acuífero de la Escama de Balsa Nueva intruido
de agua de mar.

Se ha evaluado el proceso como aparentemente discreto,
a partir de las observaciones de los puntos en explotación, que
no acusan salinización, teniendo en cuenta la protección que
le confiere la recarga desde el Acuífero Superior Central.

Para mejorar el conocimiento y seguimiento de este pro-
ceso se precisan algunos sondeos profundos, en el contacto entre
el A.I.O. y el A.E.B.N., donde realizar registros verticales -
de la salinidad.

El objetivo final de las actuaciones futuras para la
corrección del problema es la restitución de reservas del A.I.O.
hasta llegar a cotas piezométricas positivas, pero, mientras -
éste no pueda alcanzarse, se propone una serie de medidas tran-
sitorias con las que contener o paliar el problema:

- Procurar la inversión o anulación del flujo de agua salda, me-
diante la creación de barreras trasversales al sentido de flujo
en la Escama (impermeabilización, recarga artificial, etc.), pa-
ra lo cual habrán de realizarse estudios de viabilidad, como -
la utilización de aguas residuales previamente depuradas.

Por otra parte, como evitar el consumo de reservas del
A.I.O. es inviable, mientras no haya mayores aportaciones de
recursos del exterior, se plantea la necesidad de evitar la pér-
dida decarga en el A.S.C. (áreas de Los Alacranes y Balerna) -
para no disminuir la protección que este acuífero presta tanto
al A.I.O. como al de la Escama, al reducir en ésta el volumen
de entrada de agua de mar.

2.4. ACUIFERO SUPERIOR CENTRAL

Ligeramente excedentario en la actualidad, no tiene -
ningún problema que pueda clasificarse como grave. Se cita uni-
camente la necesidad de evitar los bombeos en el borde de des-
carga hacia el A.I.O. y A.E.B.N. (área de Los Alacranes y Ba-

lerma) para no perder el efecto protector de esta transferencia de flujos.

2.5. OTRAS RECOMENDACIONES

Desde el punto de vista del acopio urgente de más recursos al Campo, para evitar la progresión de los problemas planteados en la mayor parte de sus acuíferos principales, así como para la corrección de los mismos en lo posible, se necesitaría:

- Realizar urgentemente el estudio de viabilidad y la ejecución de sondeos de explotación correspondientes, para la regulación del manantial de Fuente Marbella, bombeando de esta unidad los excedentes no utilizados del mismo y, aprovechando el propio canal de Benínar-Campo, trasladarlos a esta zona de ficitaria. Esta actuación restaría trascendencia al problema existente por las infiltraciones detectadas en el embalse de Benínar.
- Con el mismo criterio de aprovechar el máximo de recursos de esta unidad de Fuente Marbella, cabría plantearse la conveniencia de evitar la ampliación indiscriminada de captaciones en las unidades del alto río Chico, cuyos excedentes recargan en parte a la primera citada, ya que disminuiría la potencialidad de trasvase de recursos desde éstahacia el Campo.
- Para posibilitar los trasvases de agua al Campo, desde el canal de Benínar, puede ser necesaria la ampliación de su enlace actual con el Canal del Sector IV del I.A.R.A., u otras derivaciones viables, en cuyo caso deben acometerse con urgencia.
- Por supuesto se mantienen las lógicas recomendaciones sobre la necesidad de congelar la demanda en el Campo, incluso reducirla con el ahorro de agua en los sectores de consumo, almacenamiento y distribución, así como con el fomento de las mezclas de agua, al menos en lo referente a las controladas por el sector público, aprovechando la buena calidad de estas últimas (por encima de las exigencias de la demanda).
- Igualmente debe procurarse la reutilización de aguas residuales, previamente tratadas, así como todas aquellas actuaciones conducentes al buen uso de los recursos propios y al acopio de excedente ajenos para compensar las deficiencias de los primeros en la zona.

VII. BIBLIOGRAFIA

- I.G.M.E. Diciembre 1982. Estudio Hidrogeológico del -
Campo de Dalías (Almería).
- I.G.M.E. Diciembre 1986. Intrusión marina en el Cam-
po de Dalías (Almería). Sem. Interfase agua dulce-agua salada -
en Andalucía I.A.R.A.-I.G.M.E. Granada.
- DOMINGUEZ, P. y GONZALEZ, A. Octubre 1987. Intrusión
marina en el Campo de Dalías (Almería). Hidr. y Rec. Hid. IV -
Simposio de Hidrogeología. Palma de Mallorca.
- I.G.M.E. - Consejería de Fomento y Trabajo de la Jun-
ta de Andalucía. Modelización matemática de los acuíferos Infe-
rior Occidental y Superior Central del Campo de Dalías (Almería)
(en revisión).
- I.G.M.E. - Síntesis del estado del conocimiento de -
los acuíferos de la provincia de Almería. (en preparación de la
edición).
- I.G.M.E. Abril 1988. Control de la explotación del -
Campo de Dalías(Almería).