



Agencia de Medio Ambiente y Agua  
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO



# **INFORME FINAL DEL PROYECTO “CONSULTORÍA Y ASISTENCIA PARA EL DESARROLLO DEL PLAN ESTRATÉGICO DE ACTIVIDADES DE APOYO A LOS ACUÍFEROS DEL PONIENTE ALMERIENSE (NET965081)”**

## **Documento 4**

**Informe Final de la Partida 3 del Contrato: “Actualización del estado de conocimiento de la calidad general del agua en los principales acuíferos (procesos de intrusión marina y otras tendencias negativas) con orientación sobre su evolución espacial y temporal”.**

**Octubre de 2014**



## **ÍNDICE DEL DOCUMENTO 4: INFORME FINAL DE LA PARTIDA 3 DEL CONTRATO**

### **4.1.- DEFINICIÓN DE LA ACTIVIDAD 3 DEL CONTRATO Y SUS TAREAS**

### **4.2.- RELACIÓN DE LA ACTIVIDAD 3 DEL CONTRATO CON LOS OBJETIVOS Y TRABAJOS DE LA FASE I DEL PROGRAMA**

### **4.3.- REPARTO DEL PESO DEL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 3 DEL CONTRATO**

### **4.4.- INFORMES PARCIALES y FINALES REALIZADOS DEL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 3**

#### **4.4.1.- Sobre los informes anuales, parciales y finales del desarrollo de las tareas de la Partida 3**

a) TAREA 1: ANÁLISIS GENERAL PREVIO DE LOS DATOS PREEXISTENTES MÁS ACTUALIZADOS SOBRE LA PIEZOMETRÍA Y LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS PRINCIPALES ACUÍFEROS DEL SUBSISTEMA, PARA CONTRASTE INICIAL DEL MODELO DE FLUJOS ENTRE LOS MISMOS, Y ENTRE LOS ACUÍFEROS Y EL MAR, Y DE LAS TENDENCIAS GENERALES EXISTENTES.

##### a. 1) Año 2008 (del Documento 111):

a.1.1) Descripción del modelo conceptual de los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías, y de la valoración de su grado de contraste e incertidumbres principales.

a.1.2) Síntesis de la actualización inicial de la piezometría de la Fase I (datos de 2007).

a.1.3) Contraste de tendencias negativas principales en los acuíferos, que afectan a su calidad del agua (hasta 2007). Síntesis del contraste inicial del modelo de funcionamiento de los acuíferos.

b) TAREA 2: SELECCIÓN DE PUNTOS REPRESENTATIVOS DE CADA UNO DE LOS ACUÍFEROS, Y ESTUDIO DE SUS CARACTERÍSTICAS Y TENDENCIAS. INCLUYE DEFINICIÓN DE INCERTIDUMBRES PRINCIPALES POR ACUÍFEROS Y PLANTEAMIENTO DE NUEVAS ACTIVIDADES Y DE PUNTOS DE OBSERVACIÓN COMPLEMENTARIOS PARA MEJORAR SU CONOCIMIENTO A LO LARGO DE ESTA FASE DEL PROGRAMA.

##### b.1) Nuevas informaciones de interés para el objetivo de esta tarea: campaña de testificación geofísica de marzo – abril de 2009 (del Documento 112).

c) TAREA 3: ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN ESPACIAL GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS PRINCIPALES ACUÍFEROS. RESULTADOS E INCERTIDUMBRES.

##### c.1) Nuevas informaciones de interés para conocer la influencia de la recarga excepcional ocurrida en 2009/10 en la distribución espacial de la calidad de los acuíferos inferiores (del Documento 113, de diciembre de 2010).

d) TAREA 4: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE LA ENTRADA DE AGUA DE MAR Y SU EVOLUCIÓN EN LOS ACUÍFEROS AFECTADOS. RESULTADOS E INCERTIDUMBRES.

e) TAREA 5: ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE EMPEORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA POR MEZCLAS DE AGUAS DE ACUÍFEROS (DE DISTINTO ORIGEN Y POR DIFERENTES PROCESOS), Y COMO CONSECUENCIA DE OTRAS CAUSAS. RESULTADOS E INCERTIDUMBRES.

f) TAREA 6: DOCUMENTO DE SÍNTESIS DE TODAS LAS TAREAS ANTERIORES. INCLUYE ESTABLECIMIENTO DE LA IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS PROCESOS Y DE SUS INCERTIDUMBRES PRINCIPALES, ASÍ COMO UN PLANTEAMIENTO DE ACTIVIDADES TÉCNICO- CIENTÍFICAS PARA MEJORAR EL CONOCIMIENTO DE AQUELLAS EN LA SIGUIENTE FASE.

f.1) Contenidos de la comunicación de 2012: “Investigación para la actualización del conocimiento de la pérdida de reservas dulces en los acuíferos principales del Campo de Dalías (Almería)”, Documento 191

f.2) Resumen del desarrollo de los procesos de intrusión marina: el principal problema para la sostenibilidad del uso de estos acuíferos (del Documento 242, de 2014).

**f.2.1) Sector Centro – Occidental del Campo**

**f.2.2) Sector Noreste del Campo**

**Informe Final de la Partida 3 del Contrato: “Actualización del estado de conocimiento de la calidad general del agua en los principales acuíferos (procesos de intrusión marina y otras tendencias negativas) con orientación sobre su evolución espacial y temporal”.**

**Documento 4**

**4. 1.- DEFINICIÓN DE LA ACTIVIDAD 3 DEL CONTRATO Y SUS TAREAS**

Se definió esta tercera Partida del Contrato como: “Actualización del estado de conocimiento de la calidad general del agua en los principales acuíferos (procesos de intrusión marina y otras tendencias negativas) con orientación sobre su evolución espacial y temporal”.

Considerando la evolución y estado más actualizado del funcionamiento hidrogeológico del conjunto de acuíferos, cuyos procesos en marcha, además de a la cantidad, están afectando seriamente a la calidad del agua de los mismos, se trata de analizar estos procesos. Entre ellos se encuentran: la presencia de mezclas de aguas de acuíferos, la entrada de agua de mar directa o indirectamente, el incremento en las concentraciones de determinadas sustancias, etc..

Esta Partida 3 del Contrato, comprende 6 tareas:

- a) **tarea 1:** Análisis general previo de los datos preexistentes más actualizados sobre la piezometría y la calidad del agua de los principales acuíferos del subsistema, para contraste inicial del modelo de flujos entre los mismos, y entre los acuíferos y el mar, y de las tendencias generales existentes.
- b) **tarea 2:** Selección de puntos representativos de cada uno de los acuíferos, y estudio de sus características y tendencias. Incluye definición de incertidumbres principales por acuíferos y planteamiento de nuevas actividades y de puntos de observación complementarios para mejorar su conocimiento a lo largo de esta Fase del Programa.
- c) **tarea 3:** Análisis de la variación espacial general de la calidad del agua en los principales acuíferos. Resultados e incertidumbres.
- d) **tarea 4:** Análisis de la situación de la entrada de agua de mar y su evolución en los acuíferos afectados. Resultados e incertidumbres.
- e) **tarea 5:** Análisis de los procesos de empeoramiento de la calidad del agua por mezclas de aguas de acuíferos (de distinto origen y por diferentes procesos), y como consecuencia de otras causas. Resultados e incertidumbres.

- f) **tarea 6:** Documento de síntesis de todas las tareas anteriores. Incluye establecimiento de la importancia relativa de los procesos y de sus incertidumbres principales, así como un planteamiento de actividades técnico- científicas para mejorar el conocimiento de aquellas en la siguiente Fase.

#### 4. 2.- RELACIÓN DE LA ACTIVIDAD 3 DEL CONTRATO CON LOS OBJETIVOS Y TRABAJOS DE LA FASE I DEL PROGRAMA

De las Actividades Administrativas del Convenio asumidas por la AAA (de la 8 a la 12), esta Partida 3 del Contrato equivale a la **Actividad Administrativa 10** (ver **cuadro 1.2.1** en **documento 1** de este Informe). Esta Actividad Administrativa 10 (o tercera Partida del Contrato) estuvo implicada en el Objetivo 1 de la Fase I: Actualización del conocimiento del estado de partida del funcionamiento del subsistema y de su infraestructura de uso, y **quedó integrada** en el Trabajo 1E de la Fase I (cuya definición se muestra en el **cuadro 4.2.1**, junto con la del resto de los Trabajos de ésta).

##### Trabajos del Objetivo 1

- 1A Actualización de explotaciones
- 1B Actualización del conocimiento de la piezometría
- 1C Contraste / modificación del modelo geométrico del subsistema
- 1D Detección de principales focos de contaminación por su potencial influencia en los acuíferos inferiores
- 1E Actualización del conocimiento de la calidad general del agua en los principales acuíferos.**
- 1F Resultados del Objetivo 1

##### Trabajos del Objetivo 2

- 2A Selección preliminar de zonas estratégicas preferentes para la reorientación de extracciones
- 2B Mejora del conocimiento de la calidad del agua en zonas estratégicas preferentes de los acuíferos
- 2C Clasificación documental de informaciones hidrogeológicas preexistentes y generadas en relación con las zonas estratégicas y el funcionamiento general
- 2D Análisis del conocimiento hidrodinámico de las zonas estratégicas y su mejora en las preferentes
- 2E Actualización del análisis de la problemática de los acuíferos inferiores
- 2F Análisis de la conveniencia / viabilidad de recargar en el AEBN, como medida protectora del AIO.
- 2G Resultados del Objetivo 2

##### Trabajos del Objetivo 3

- 3A Investigación de multitracedores para la evaluación cualitativa de los cambios en las tendencias negativas de la calidad del agua de los acuíferos inferiores, con las operaciones que se propongan

##### Trabajos del Objetivo 4

- 4A Coordinación de los resultados del Estudio hidrogeológico con las actuaciones de ACUAMED para el manejo de los distintos tipos de recursos

##### Trabajos del Objetivo 5

- 5A Memoria Final

##### Trabajos del Objetivo 6

- 6A Dirección, gestión y coordinación de los equipos técnicos y de la información

**Cuadro 4.2.1:** los Trabajos de la Fase I del Programa, resaltando en el que intervino la Partida 3 de este Contrato. Del documento entregado en la reunión AAA – EGMASA – IGME de 25 de septiembre de 2009.

Como en el resto de las Partidas de este Contrato, esta tercera Partida corresponde con una serie de tareas desglosadas del conjunto de las correspondientes a los Trabajos que se definieron

para la Fase I del Programa, que fueron realizadas de forma coordinada con las otras tareas que asumieron las Partes para alcanzar sus objetivos (ver **cuadro 4.2.2**).

TRABAJOS DE LA FASE I	PRINCIPALES ACTIVIDADES ADMINISTRATIVAS IMPLICADAS
1A	Actividades 1, 4, 12 y 13
1B	Actividades 1, 3, 12 y 13. Entre 2012-2013 sólo IGME
1C	Actividades 4 y 13. Entre 2012-2013 sólo IGME
1D	Actividades 1, 4, 6, 8, 12 y 13
1E + 2B	Actividades 1, 2, 4, 8, 10, 11, 12, 13, 14 y 15. Entre 2012-2013 sólo IGME
2A	Actividades 9 y 13
2C	Actividades 3, 12 y 13. Entre 2012-2013 sólo IGME
2D	Actividades 1, 4, 6, 8, 12 y 13
2E	Actividades 4 y 13
2F	Actividades 1, 6, 13 y 17a
3A	Actividad 16
4A	Actividad 17b (EGMASA y Partes del Convenio)
5A	Actividades 8, 12 y 13
6A	Actividades 3, 8, 12 y 13

**Cuadro 4.2.2:** Actividades Administrativas implicadas principalmente en la ejecución los Trabajos de la Fase I, señalando en rojo la número 10 (Partida 3 del Contrato) y el Trabajos de la Fase I en que ha intervenido.

En el caso de esta Partida 3 del Contrato (como también ocurrió con su Partida 4, a la que corresponde el **documento 5** de este Informe Final) estas implicaciones con otras Actividades Administrativas del Convenio fueron muy directas e importantes. Además de la Partida 3 del Contrato también contribuyeron al Trabajo 1E las Actividades Administrativas identificadas como: 1, 2 y 4 a cargo de Acuamed, la 8 y 12 asumidas por la AAA (Partidas 1 y 5 de este Contrato) y las Actividades Administrativas 13, 14 y 15 asumidas por el IGME. Desde 2012, las tareas de este Trabajo 1E (asociadas a los controles mínimos para conocer la evolución de la salinización en los acuíferos hasta el final de la Fase I) fueron financiadas con medios económicos propios de dicho Instituto (ajenos al Convenio).

Los Trabajos 1E y 2B de la Fase I estuvieron considerados de forma conjunta. Para alcanzar sus objetivos fue necesaria la ejecución de otras Actividades Administrativas del Convenio. Los datos aportados procedieron de muestreos de agua, registros geofísicos, etc. que se recogieron, básicamente, de las Actividades Administrativas 1, 2 y 4 (asumidas por Acuamed); sus analíticas fueron obtenidas de la Actividades Administrativa 14 y 15 (ambas financiadas por el IGME); la coordinación necesaria con las interpretaciones derivadas de los aspectos cuantitativos del funcionamiento se llevó a cabo con la Actividad Administrativa 13, también asumida por el dicho Instituto; la dirección experta en los aspectos geofísicos se incluyó en la Actividad Administrativa 8 (Partida 1 de este Contrato) y, por otra parte, las necesarias cargas de datos, adaptaciones y gráficos de las bases de datos correspondieron a la Actividad Administrativa 12 (Partida 5 del Contrato); etc..

### 4.3.- REPARTO DEL PESO DEL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 3 DEL CONTRATO

En el **cuadro 4.3.1** se observa cuál fue el desarrollo de la ejecución de esta Partida 3 del Contrato (del global y sus tareas) en los períodos: 2008, 2009, 2010 y 2011-2014.

La primera tarea (el análisis previo de los datos más actualizados de los principales acuíferos para contrastar el modelo conceptual de funcionamiento de los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías) finalizó en 2008 (habiéndose iniciado en el segundo semestre de 2007, una vez firmado el Acuerdo de intenciones, para ir adelantando la realización de los Trabajos de la Fase I según se convino entre las Partes del Convenio), remitiéndose el correspondiente informe al final de ese año.

El año con un peso mayor en la ejecución del resto de la Partida 3 del Contrato (el 58% del global) fue **2009** (con un desarrollo muy avanzado en la ejecución de las tareas 2, 3, 4 y 5 al final del mismo, y casi la terminación de la tarea 2), estando ya a finales de 2010 prácticamente terminada toda la Partida, a falta sólo del orden del 1% (realizado entre los **años 2011 y 2013**) destinado a las incorporaciones de las interpretaciones realizadas, de los resultados obtenidos con los controles mínimos que pudieron hacerse en ese período, sobre la evolución de los procesos negativos en los acuíferos (financiados casi exclusivamente con medios del IGME ajenos al Convenio).

Además de los correspondientes informes anuales de 2008, 2009 y 2010, que incluían los finales de las tareas 1 y 2, en relación con el resto de las interpretaciones finales se fueron avanzando informaciones en 2011, 2012 y 2013, en 8 documentos (el 155, de 2011; Documentos 176, 191, 199 y 203, de 2012; y 224, 229 y 238 de 2013) previos a la emisión de la Memoria Final de la Fase I, en el año 2014. Todos estos documentos se incluyen en el Anexo 13 de dicha Memoria Final, que queda incorporada digitalmente a este Informe Final del Contrato NET965081.

PERIODOS →					2008	2009	2010	2011 2014
PARTIDA CONTRATO Y ACT. ADM.	precio (sin IVA) €	tarea		% aprox Partida	% ejecu- tado	% ejecu- tado	% ejecu- tado	% ejecu- tado
PARTIDA 3 = Act. Adm. 10	<b>199509.48</b>	análisis prev	1	30.0%	30.0%			
		selecc punt	2	20.0%	1.1%	18.9%		
		variac spac	3	4.5%		3.5%	0.5%	0.5%
		intrusion	4	26.0%		25.5%	0.3%	0.2%
		Otros	5	12.0%		10.2%	1.4%	0.4%
		Síntesis	6	7.5%			7.3%	0.2%
	<b>199509.48</b>	<b>Total</b>			<b>100%</b>	<b>31.1%</b>	<b>58.1%</b>	<b>9.5%</b>

**Cuadro 4.3.1** Desarrollo temporal de la ejecución de la Partida 3 de este Contrato (Actividad Administrativa 10 del Convenio) y de sus tareas, para los períodos: 2008, 2009, 2010 y 2011-2014.



#### **4.4.- INFORMES PARCIALES y FINALES REALIZADOS DEL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 3**

Como ya se ha dicho, se entregaron tres informes anuales al final de 2008, 2009 y 2010, y hubo emisiones de avances de los resultados desde 2009 a 2013, anteriores a la memoria Final de la Fase I.

##### **4.4.1.- Sobre los informes anuales del desarrollo de las tareas de la Partida 3**

**a) TAREA 1: ANÁLISIS GENERAL PREVIO DE LOS DATOS PREEXISTENTES MÁS ACTUALIZADOS SOBRE LA PIEZOMETRÍA Y LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS PRINCIPALES ACUÍFEROS DEL SUBSISTEMA, PARA CONTRASTE INICIAL DEL MODELO DE FLUJOS ENTRE LOS MISMOS, Y ENTRE LOS ACUÍFEROS Y EL MAR, Y DE LAS TENDENCIAS GENERALES EXISTENTES.**

Esta primera tarea se completó en 2008, por la necesidad de resultados para otros Trabajos de la Fase I, así como para el resto de las tareas de la Partida 3 del Contrato. Se explicó en el volumen 3 del Documento 111, cuyas parte gráfica viene al final del texto en orden correlativo.

Dicho documento, en primer lugar reflejó el modelo conceptual de funcionamiento de acuíferos más actualizado, cuyas tendencias principales se trataba de contrastar (a la fecha de emisión del informe) utilizando para ello las mediciones piezométricas e hidroquímicas más recientes disponibles (obtenidas en 2007).

El contraste del modelo conceptual presentado estaba limitado a las informaciones preexistentes en 2008. No se pudo disponer de datos sobre la evolución de las extracciones en la presente década del año 2000, ni de informaciones actualizadas sobre las características de la infraestructura de bombeos hasta el año 2007. Posteriormente, en 2014, en el capítulo 3 y Anexo 1 de la Memoria Final se presentó un texto mucho más extenso y completo (con información gráfica muy numerosa) de la descripción del modelo conceptual de acuíferos derivado de las “actuaciones científico – técnicas más destacables del IGME sobre la zona (1966 – 2006) que precedieron al Programa y Acuerdo de intenciones institucionales para ejecutarlo”.

En el apartado segundo del volumen citado del Documento 111 se reflejó una síntesis de la actualización del conocimiento llevado a cabo sobre la piezometría en los principales acuíferos (tendencias generales en los mismos, y distribución espacial del nivel del agua para el caso de los acuíferos de cobertera en zonas de interés), con deducción de flujos de relación entre acuíferos y de relación entre acuíferos y el mar.

En el último apartado del documento de 2008 se presentó el análisis llevado a cabo (teniendo en cuenta las tareas anteriores) de la evolución de la salinidad de los acuíferos y otras tendencias negativas generales que afectan a la calidad del agua de los mismos; este apartado culminó con los resultados obtenidos sobre este contraste general del modelo conceptual, como punto de partida. Así, tanto las observaciones analizadas sobre el comportamiento de la piezometría en el tiempo y espacio, como las referidas a las tendencias observadas en la calidad del agua de los acuíferos principales del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías, pusieron de relieve que el modelo de funcionamiento de estos acuíferos coincidía con el preexistente

(desarrollado por el IGME, como se sabe) y tomado como base de estas investigaciones, en apoyo a la gestión racional de los mismos. Seguían observándose los descensos progresivos en los acuíferos inferiores y los ascensos en las coberteras (excepto en el AEBN), y los principales procesos asociados a los mismos: la entrada de agua de mar a los inferiores y la entrada de flujos potencialmente contaminantes desde los acuíferos de cobertera a los inferiores, que iban afectando a las posibilidades de aprovechamiento del agua de estos últimos, los principales acuíferos del Campo.

Las **4 líneas de investigación de mayor trascendencia que se abrieron en 2008 sobre el funcionamiento general, en relación con la calidad del agua**, con los resultados aportados por esta tarea primera de la Partida 3, se refirieron principalmente a los acuíferos inferiores y a los aumentos de salinidad observados hasta 2007. Se trataba de:

- Continuación del desarrollo de la selección de puntos representativos para la actualización del funcionamiento general de los acuíferos principales, en sus aspectos de calidad del agua, en coordinación con los resultados de los Trabajos 1A, 1B y 1C (destinados a la actualización de las explotaciones, de la piezometría y de la infraestructura de uso de estos acuíferos). Terminaría en el año 2009.
- Procesos intervinientes en la salinización del agua en puntos de la zona confinada del AIN (área de El Viso) ¿hay transferencia de flujos salados en profundidad desde el sector oriental del AIN?
- Procesos intervinientes en la salinización del agua observada según los últimos datos (2007) en puntos del sector oriental del área de El Águila del AIN ¿hay transferencia de flujos salados en profundidad? ¿Se trata de efectos de la entrada de flujos desde las coberteras?
- Procesos intervinientes en el empeoramiento progresivo de la calidad del agua del AIO, detectado en una banda paralela a la zona de contacto entre este acuífero inferior y el ASC ¿se trata del efecto de la entrada de flujos de peor calidad del agua desde el acuífero de cobertera al AIO? ¿hay efectos de la entrada de agua de mar desde el AEBN en contacto lateral con el AIO?

Los preocupantes resultados obtenidos del análisis realizado en 2008, llevaron a la dirección hidrogeológica de la Fase I (dada la importancia de los acuíferos inferiores -por el uso que se lleva a cabo de los mismos que supone más del 80% de atención a las demandas de la Comarca del Campo de Dalías, incluyendo al del abastecimiento a la ciudad de Almería- y, por tanto, la trascendencia de los problemas negativos que inciden en la posibilidad cada vez menor de uso directo de su agua) a orientar el Trabajo 1E (y por tanto el de esta Partida 3 del Contrato) principalmente hacia dichos acuíferos inferiores, dejando los aspectos de la calidad del agua de los acuíferos de las coberteras asociados a los estudios de las Zonas estratégicas preferentes definidas para ellas (Zonas a, b, c y d, ver **documento 3** de este Informe Final) englobados en el Trabajo 2B (relacionado con la Partida 4 de este Contrato), cuyas tareas que se incluyen en **documento 5** de este informe.

En los trabajos que se acometieron dentro del Contrato se desarrollarían tareas necesarias para este estudio general (Trabajo 1E de la Fase I) con el planteamiento de nuevas campañas de obtención de datos, con los que definir mejor las Zonas estratégicas preferentes para la posterior mejorara del conocimiento sobre aspectos decisivos para la clasificación de las mismas en relación con la protección – regeneración de los principales acuíferos.

#### a. 1) Año 2008 (del Documento 111):

##### **a.1.1) Descripción del modelo conceptual de los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías, y de la valoración de su grado de contraste e incertidumbres principales**

La estructura hidrogeológica del conjunto de acuíferos del Sur de Sierra de Gádor-Campo de Dalías (la parte o subsistema más importante de los tres que constituyen el Sistema hidrogeológico de Sierra de Gádor), en el modelo conceptual del IGME, se concibe formada por los siguientes acuíferos o subacuíferos, relacionados directa o indirectamente entre sí y con el mar (Fig. 1).

Los llamados acuíferos inferiores por su posición estructural dentro de la llanura que, con gran diferencia, son los más importantes del conjunto por sus recursos propios: el Inferior Occidental (AIO) y el Inferior Noreste (AIN), que se extienden al menos por la vertiente meridional de la Sierra que alcanza el Campo y continúan hacia el Sur bajo la llanura y el mar. En la práctica, en el modelo se considera una parte de la divisoria hidrográfica de la Sierra como límite norte de los mismos, y la línea Guardias Viejas-La Mojonera-Puerto de Roquetas como su límite meridional, con una extensión de unos 500 km<sup>2</sup>, parte de los cuales quedan fuera de la zona de acumulación por el levantamiento de la base impermeable permotriásica hacia el noroeste, norte y noreste de la zona.

En un 60% tienen carácter libre, en la Sierra y borde de la llanura y, al adentrarse bajo ésta, quedan confinados. Corresponden al potente conjunto carbonatado, muy fisurado y algo karstificado, del inferior de los dos mantos alpujárrides existentes en la estructura geológica de la zona, el manto de Gádor; a veces se prolongan con un tramo a techo de hasta 100-200 m de mioceno poroso. Predominan las dolomías masivas o en gruesos bancos, muy fracturadas y brechificadas, en una estructura plegada y muy fragmentada en bloques por un sistema de fallas que producen importantes saltos o desenganches, los cuales repercuten en el conjunto condicionando frecuentemente la circulación subterránea, que puede resultar desde muy potenciada hasta casi anulada; dentro de cada bloque suele predominar la permeabilidad horizontal sobre la vertical por la existencia de paquetes de calcoesquistos margosos e intercalaciones de margas, argilitas y calizas o dolomías margosas que producen un efecto reductor de la permeabilidad vertical, como a veces sucede con la horizontal por la tectonización ocasionada por fallas, lo que puede originar compartimentaciones que, en lo posible, hay que investigar. Por razones estructurales, así como por la baja permeabilidad del recubrimiento, se considera que, más al Sur, y más allá de los extremos oeste y este del Campo, estos acuíferos inferiores desaparecen en la práctica, al constituir "fondos de saco" o quedar sus prolongaciones más allá de estos límites desconectadas hidráulicamente de los mismos, hundidas bajo coberteras impermeables alpujárrides y neógenas.

Dentro del subsistema tienen cierta relevancia los dos acuíferos superiores -Superior Central (ASC) y Superior Noreste (ASN)- predominantemente porosos (Fig. 1), con extensión conjunta de unos 270 km<sup>2</sup> y 100-150 m de espesor medio de calcarenitas, gravas, arenas y conglomerados, los cuales están formados esencialmente por el plioceno terminal de la llanura. Su límite norte no llega a alcanzar el pie de la Sierra, aunque se aproxima a él, y el resto limita con el mar. Presentan carácter libre, en general, que puede cambiar a semiconfinado o confinado en capas profundas de algunos sectores restringidos de su cuenca de sedimentación; tienen una notable capacidad de almacenamiento.

En algunas zonas de la llanura se diferencia otro grupo de acuíferos o subacuíferos, denominados intermedios, que pueden estar presentes en zonas de la llanura cuando en la estructura se conserva de manera continua el impermeable permotriásico del manto de Felix o algún tramo continuo de calcoesquistos y margas intercaladas en el manto de Gádor, o cuando existe un depósito de margas o vulcanitas miocenas, o varios de estos confinantes a la vez. Sólo muy localmente son libres, pues lo general es que se hallen confinados bajo las margas pliocenas. Entre este tercer grupo de acuíferos, normalmente muy compartimentado, se encuentran (Fig. 1): el Intermedio Noreste (AltN) bajo la llanura del sector noreste; el Intermedio Central (AltC), en la fosa interior; el del Horst de Guardias Viejas (AHGV); y el de la "Escama de Balsa Nueva" (AEBN). Constan de 100 a 300 m de cobertera miocena y tienen, por sus aportes propios, una importancia generalmente muy discreta, aunque, unas veces por englobar enclaves calizo- dolomíticos, otras por su capacidad de almacenamiento y regulación, o por su papel específico en el funcionamiento hidrogeológico del subsistema, o por el potencial contaminante que en determinadas circunstancias representan, adquieren un interés que obliga a tenerlos en cuenta.

Entre las características hidráulicas de los acuíferos inferiores destacan sus transmisividades muy altas: para las dolomías, los caudales de explotación son en general de 80-90 L/s (200 L/s en zonas con alturas manométricas de 50 m), generando depresiones de bombeo normalmente inferiores a 2 m y recuperaciones prácticamente instantáneas; dentro de su baja capacidad de almacenamiento, ésta se considera de rango medio-alto para acuíferos fisurados. En los acuíferos superiores e intermedios los caudales más comunes son de 30-60 y 20-40 L/s, respectivamente, con valores medios de transmisividad y rangos muy variables de porosidad eficaz (con frecuencia media-alta), destacando los valores más altos hacia el techo y zonas marginales, en los materiales pliocenos, y en los depósitos miocenos marinos de carácter litoral o pararrecifal.

Las calidades naturales del agua en los acuíferos inferiores son buenas en general para los usos de abastecimiento y riego (concentraciones de sales menores de 0,5 g/L y con valores próximos a 0,6 mS/cm de conductividad eléctrica); tienen facies bicarbonatadas magnésico-cálcicas, que sufren modificaciones principalmente por mezclas de aguas, con frecuencia potenciadas por el uso; por ejemplo: en la zona de descarga del ASC en el AIO, aumentan los iones cloruro y sodio, cosa que sucedió siempre, aunque ahora se manifiesta más claramente. En los acuíferos de cobertera dichas características naturales están influenciadas por una mayor variabilidad en la procedencia, o en la magnitud y velocidad del flujo circulante: las menores salinidades (del orden de 0,5-1 g/L) se han situado siempre en sus zonas de recarga desde los acuíferos inferiores (cuando las relaciones piezométricas así lo imponían), o por la infiltración de escorrentías superficiales procedentes de la sierra que les alcanzan, cuyas mezclas originan aguas con predominio de facies mixtas bicarbonatado cloruradas a cloruradas cálcico-magnésico-sódicas,

mientras que las mayores concentraciones (superiores a 2,5 g/L) con facies clorurada sódica, se dan en compartimentos de escasa recarga, áreas más alejadas de la sierra y más influenciadas por el aerosol marino y en zonas menos permeables.

El esquema de funcionamiento en régimen natural, deducido para estos acuíferos, compatible con el modelo establecido, era el siguiente: los aflorantes de cobertera, de carácter libre, se recargaban por infiltración directa de la lluvia y, en buena medida, desde las escorrentías superficiales que alcanzan su superficie y, salvo la casi totalidad del ASC, con recargas subterráneas desde los acuíferos inferiores (por los frentes de contacto con los mismos, próximos al borde de la Sierra) u otros de cobertera; su descarga se producía directa o indirectamente (a través de otros neógenos contiguos) hacia el mar y humedales costeros, casi únicamente. Los inferiores se recargaban principalmente a partir de las precipitaciones sobre la correspondiente vertiente hidrogeológica de la Sierra y borde del Campo, y con aportaciones subterráneas: desde el Acuífero Superior Central (en el AIO) y, muy probablemente, desde el acuífero triásico del Alto Andarax (en el AIN); la descarga se producía hacia el mar, directamente sólo desde el AIN, e indirectamente desde ambos a través de los acuíferos de cobertera. Las variaciones piezométricas obedecían esencialmente a las fluctuaciones del régimen de precipitaciones/temperaturas de las cuencas vertientes.

La actuación del hombre ha provocado importantes cambios en el señalado funcionamiento natural. La causa más influyente ha sido el bombeo; también han contribuido notablemente a dichos cambios la implantación de regadíos y la variación en sus características por su repercusión en los retornos, así como los asentamientos urbanos, aunque en menor medida; los tipos de construcción de sondeos y redes de distribución para ambas demandas han añadido igualmente ciertas modificaciones, a veces no desdeñables. De la evolución de este proceso se dispone de información cada vez más depurada, así como de los efectos que se han venido produciendo, aunque no en todos los aspectos se ha podido llegar a su cuantificación, incluso a su detección, como ya se dijo anteriormente.

De las más de 1300 perforaciones realizadas en esta zona, la extracción significativa en los últimos años se ha obtenido de unas 200-250 captaciones. Desde mediada la década de los 60, en que se practicó un bombeo estimado entre 30 y 35 hm<sup>3</sup>/año, a la actualidad, en que esta explotación es unas cuatro veces superior (Fig. 2) se han producido muchos cambios, y no sólo en el volumen sino en el origen del agua utilizada. A falta de datos actuales se destacan los correspondientes al período 1980/81- 94/95 (Cuadro 1 en Fig. 2) que constituyen una contribución de gran interés. Del agua bombeada, la distribución en origen para el año hidrológico 1990/91, por ejemplo, fue la siguiente: de los 128 hm<sup>3</sup> servidos, se destinaron 90 a la agricultura y 38 a usos urbanos (14 en el propio Campo). Hay que destacar que la cantidad destinada a Almería capital disminuyó de 24 a 16 hm<sup>3</sup>/año, y que la dotación media en estos cultivos ha bajado de más de 7000 a unos 5500-6000 m<sup>3</sup>/ha año, tendiendo a reducirse las pérdidas por mejoras en la distribución.

La introducción y evolución del bombeo así como el crecimiento y distribución de los retornos han repercutido de distinta manera en los diferentes acuíferos y áreas de los mismos; desde los años 60 la explotación ha ocasionado en el AIO un descenso generalizado del nivel del agua que ha pasado los 50 m; ya se empezó a situar bajo el nivel del mar desde 1980/81; para el

AIN los descensos máximos en este período pasan de 25-40 m, habiéndose pasado hace tiempo a cotas negativas en todo el campo de bombeo, con un nivel dinámico casi permanente; en el área de Aguadulce, el potencial impuesto del mar ha mantenido el nivel a cotas en torno a cero.

De los acuíferos de cobertera, en el Superior Central (que es monocapa y de carácter libre) los mapas de isopiezas en distintos momentos históricos y los hidrogramas de piezómetros correspondientes reflejan muy bien las características piezométricas del manto y su evolución provocada por la del bombeo y los retornos; para los sectores occidental (entorno de Balanegra) y noreste del Campo, donde está reconocida por su estudio individualizado la existencia de dos y tres capas acuíferas, los datos del bombeo, la piezometría y las características físico-químicas han proporcionado resultados que esquematizan la influencia de la explotación, en cada caso, y la compleja relación de flujos en estas zonas.

Con el análisis del registro histórico detallado de los cambios en la explotación y usos del agua, así como de los cambios piezométricos y las modificaciones experimentadas por las características fisicoquímicas del agua, individualizado para dichas áreas y acuíferos cuando se ha dispuesto de sondeos de observación adecuados en cada caso, se han podido deducir los cambios experimentados en el funcionamiento, es decir, en las características del flujo entre acuíferos o subacuíferos y entre éstos y el mar. Así, de forma muy esquemática, se pueden destacar aquí, como modificaciones importantes, las del Acuífero Inferior Occidental, en el que por una parte se ha invertido el primitivo flujo de descarga de agua dulce hacia el mar (a través del acuífero poroso de la "Escama de Balsa Nueva" en el área de Balanegra), sustituido ahora por un flujo de recarga lateral de agua salada desde este AEBN y, por otra, han aumentado muy notablemente sus entradas desde el AIN y el ASC, frenando un mayor consumo de reservas de este AIO. En el caso del Acuífero Inferior Noreste, además del citado incremento de las descargas al AIO se han producido otros cambios: se han perdido sus salidas a los acuíferos Intermedio y Superior Noreste, así como la mayor parte de las importantes descargas al mar por el entorno de Aguadulce, provocándose el desplazamiento de agua de mar tierra adentro por este área, lo que ha obligado al abandono de captaciones y de casi todo el bombeo que se practicaba en la misma. Los acuíferos Intermedio y Superior Noreste, al disminuir sus entradas desde el AIN y soportar un bombeo que llegó a rebasar los 30 hm<sup>3</sup>/año, se han salinizado progresivamente, hasta hacerlos inutilizables en gran parte de su extensión, por la demanda, lo que ha provocado el abandono sucesivo de casi todas sus captaciones. Hay que destacar también que, en todos los acuíferos de cobertera, los retornos de riego y urbanos han supuesto nuevas entradas; no obstante, el único que globalmente ha estado manteniendo sus reservas ha sido el Acuífero Superior Central, mientras que los demás acusaron claramente la sobreexplotación y la consecuente salinización. Desde hace años, la recuperación de niveles en casi todos ellos, al bajar drásticamente su explotación, está provocando una constitución de reservas, lo que da lugar a un nuevo foco de contaminación para zonas colindantes del AIN y AIO.

La sobreexplotación de estos acuíferos, como se viene diciendo, ha empeorado notablemente la calidad del agua en extensos sectores de los mismos por inversión de sus flujos naturales de descarga al mar (directa o indirectamente), estando algunos de ellos ya muy afectados por intrusión marina, alcanzando concentraciones muy elevadas de sales que han hecho sus aguas intolerables para usos de riego o abastecimiento. La importante recarga por retornos en las capas libres de los acuíferos de cobertera está produciendo también contaminaciones en éstos,



siendo cada vez más frecuentes las concentraciones de nitratos próximas a 100 mg/L (con valores superiores a 400 mg/L localizados en pozos próximos a poblaciones). La intercomunicación que se viene practicando entre acuíferos, vía sondeos, supone también contaminaciones puntuales que tendrían que evitarse. No obstante, el principal y más apremiante de estos procesos de contaminación es, sin duda, el primero citado: la intrusión marina, que viene produciéndose por los extremos del Campo: en el occidental (área de Balanegra), el pequeño acuífero poroso de la "Escama de Balsa Nueva", ya totalmente salinizado, por fortuna evita el contacto directo del AIO con el mar; aunque transmite lateralmente su contaminación de agua salada hacia éste (Fig. 3), lo hace en menor cuantía y de manera mucho más lenta de lo que hubiera sido el proceso en ausencia de este "tapón poroso". En los tres acuíferos o subacuíferos superpuestos del noreste del Campo, con ciertas conexiones laterales entre sí, y entre ellos y el mar, han tenido lugar (caso de acuíferos de cobertera) y siguen existiendo (caso del AIN) entradas indeseables de agua de mar por determinadas zonas del litoral Aguadulce-Roquetas, que han afectado en distinta medida a varios sectores de explotación existentes. Se desconoce sin embargo el alcance real de esta salinización, especialmente en el AIN, al no existir sondeos adecuados con suficiente profundidad para contrastarla en las zonas interiores de estos acuíferos.

El conocimiento de las respuestas dadas por estos acuíferos a las causas modificadoras de su funcionamiento, a través del tiempo -expresadas en cambios piezométricos, en modificaciones de la circulación subterránea, y en variaciones de las características fisicoquímicas del agua que contienen- se ha ido obteniendo como consecuencia de la mejora en la identificación de los acuíferos captados por los sondeos seleccionados para la toma de los datos. El tratamiento cada vez más detallado que el IGME ha venido dando a estos datos tras la etapa PIAS, con especial atención a la representatividad de los puntos (en cuanto al acuífero, subacuífero o capa que se ha pretendido controlar) y de las medidas (por las condiciones del entorno, el estado de los aparatos de medida, etc.) ha aportado resultados bastante fiables sobre la relación de flujos y su evolución temporal, entre acuíferos y subacuíferos, pieza clave para cualquier interpretación que se haga sobre los mismos; por ello, la obtención del conocimiento de estas respuestas ha sido considerada, cada vez más, entre los objetivos más prioritarios y cuidados dentro de los medios disponibles. Quizás haya que recordar que al no disponer de unas redes específicas de puntos de captación de datos, con columnas y acondicionamientos controlados, sino una serie de puntos, en su mayoría privados, con características en muchos casos mal conocidas, el proceso de estudio de la representatividad de éstos y de selección de captaciones para integrar dichas redes ha entrañado grandes dificultades. También hay que añadir que, a pesar de ellas, se han podido identificar gran parte de las respuestas generales en la piezometría y en las características físico-químicas individualizadas por acuíferos, que constituían este objetivo del estudio, aunque sin llegar al detalle ni a la distribución espacial deseables.

En cuanto a las características físico-químicas de los acuíferos existentes, por los análisis químicos que realizó sistemáticamente el INC/IRYDA en sus pozos (al término de su construcción y durante su explotación) y por las campañas que realizó el IGME desde la fase PIAS (años 70 y siguientes), se conocen estas características naturales de los mismos, en términos generales -después de identificar los acuíferos captados por los sondeos muestreados- así como algunos rasgos de la variación espacial existente, aún entonces, prácticamente, en condiciones de régimen natural de funcionamiento, los cuales han ido modificándose con el tiempo por los cambios producidos con el régimen de bombeo.

Aparte del esfuerzo realizado para profundizar en aspectos concretos de este estudio - como en la intrusión marina y en el seguimiento de la interacción de facies hidroquímicas observable al modificarse las transferencias de flujos entre acuíferos- no se ha avanzado mucho más en dicho conocimiento general debido a diversos problemas que lo complican, exigiendo un tratamiento muy específico; éstos se derivan en gran parte de la baja representatividad de los datos, con frecuencia muy afectados por diferentes mezclas en los sondeos muestreados, dependientes de las variaciones estructurales, de la penetración de los distintos puntos de muestreo, del tiempo de bombeo previo al muestreo de éstos o su entorno de influencia, etc.. Por razones ya aludidas de falta de una red específica adecuada de puntos de muestreo para conocer con más detalle y garantía la distribución horizontal y vertical de las características físico-químicas y su evolución, incluyendo la zona no saturada y los materiales de baja permeabilidad involucrados, no se han abordado estudios más pormenorizados de este tipo.

Dentro del problema general de la contaminación hay que destacar, por constituir la laguna de conocimiento que en nuestra opinión genera mayor incertidumbre, la imposibilidad actual de conocer, con la antelación y fiabilidad suficientes, la evolución de la intrusión marina en estos acuíferos, especialmente en los inferiores, que han llegado desde hace más de una década a soportar un 85% del bombeo total del Campo.

Como apoyo al modelo conceptual elaborado de estructura y funcionamiento de los acuíferos, se ha venido realizando un seguimiento de estas características físico-químicas con los puntos disponibles, mediante la realización de campañas extensivas de muestreo y el seguimiento de los datos procedentes de los sondeos disponibles. Las Figuras 4, 5, 6 y 7 muestran parte de los datos y resultados que se fueron obteniendo en relación con este estudio de contraste del modelo conceptual de acuíferos y de los principales procesos de contaminación existentes en los mismos. En relación con los cambios en las características hidroquímicas de los acuíferos, cabe destacar, por una parte, la ya citada tendencia a la evolución de la concentración de nitratos en los acuíferos de cobertera, procedentes de las actividades agrícolas y vertidos urbanos, aunque los valores obtenidos en los análisis químicos históricos no resultan totalmente comparables en el tiempo (por problemas de representatividad de los mismos). Por otra parte, tiene interés por su impacto espectacular en la salinización del agua de captaciones, la salinización del agua captada por perforaciones que penetraban tramos miocenos evaporíticos intermedios del sector central del Campo, hasta alcanzar TDS entre 80 y 90 g/L y valores de concentración de cloruros de más de 40 g/L, no debidos a intrusión marina sino motivados por movilización de salmueras miocenas (Fig. 4). Las descripciones hasta ahora realizadas sobre los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías obedecen al modelo conceptual que con la larga investigación realizada se ha llevado a cabo sobre su estructura, y sobre los cambios de funcionamiento que se han forzado en los mismos.

Cabe hacer una valoración del grado de confianza que merece el conocimiento general de los diferentes aspectos hidrogeológicos que comprende este modelo, desde el punto de vista del interés de la planificación y gestión de dichos acuíferos. Conviene advertir que la referencia a un grado aceptable de conocimiento, para este fin concreto, de los distintos aspectos hidrogeológicos contemplados, no implica que también lo sea para otros fines específicos que requieran mayor detalle y necesiten otros estudios complementarios más pormenorizados. Tampoco el modelo geométrico en sus sectores "validados" alcanza a reproducir al detalle la estructura hidrogeológica



en los mismos, especialmente a nivel de substrato alpujárride; tal pretensión supondría un objetivo desmesurado, por imposible de obtener, al menos de forma rentable.

- Con respecto a la geometría general de este conjunto de acuíferos, y siempre de manera esquemática, se puede considerar aceptablemente contrastada casi toda la extensión de los superiores ASC y ASN (Fig. 1), con la excepción de la estructura multicapa en el sector Aguadulce-Las Marinas-La Mojonera (unos 50 Km<sup>2</sup> de extensión); para operaciones que requieran mayor precisión (inyecciones, bombeos importantes, etc.) haría falta reconocer con más detalle la distribución geométrica de tramos de distintas características litológicas, hidrodinámicas, etc., de los mismos. Para los acuíferos intermedios, está validada su geometría en la llamada "Escama de Balsa Nueva"; en el resto, su grado de contraste puede estimarse en un 25% de lo que sería deseable conocer, aunque no sea un objetivo realista y por tanto tenga que abandonarse para gran parte de su extensión (unos 150 Km<sup>2</sup> de superficie correspondientes a la Fosa interior, Horst de Guardias Viejas y sector noreste de la llanura, Fig. 1). En cuanto a los acuíferos inferiores (a nivel de estructura general), para el AIO puede considerarse validada su existencia al Norte de la falla F3, y, para el AIN, en las áreas de El Águila, El Viso, norte de Aguadulce y Vícar; faltaría mejorar (aunque el coste de esta mejora y las prioridades actuales de gestión hagan prescindir de la misma) la información geométrica en profundidad y entre compartimentos de las mismas; también falta determinar, con el suficiente contraste, la estructura del AIO en la Fosa interior y Horst de Guardias Viejas, y la del AIN, dentro del sector noreste, en las áreas sur y oriental de Aguadulce, La Gangosa y Roquetas de Mar, así como las relaciones geométricas de todas estas zonas entre sí y con las ya validadas de ambos acuíferos inferiores (unos 150 Km<sup>2</sup> de superficie). Se considera aceptable, a estos efectos, el conocimiento de estos acuíferos inferiores en la zona de sierra, ya que las incertidumbres que aún plantean en la misma no parecen representar ningún problema determinante para su gestión como, por el contrario, sí ocurre con las importantes dudas correspondientes a las zonas pendientes de validación antes citadas, por su repercusión en el problema de la intrusión marina en los mismos.

- En relación con el conocimiento de la distribución de valores de parámetros hidráulicos, dada la gran variabilidad de los mismos en el seno de cada uno de los acuíferos, y la falta de sondeos adecuados para realizar ensayos representativos de los distintos sectores de éstos, puede decirse que se ha alcanzado un nivel medio; con los ensayos de bombeo realizados en la fase PIAS, la revisión y ampliación de éstos llevada a cabo en años posteriores y el comportamiento conocido por los bombeos de explotación (caudales específicos), trazado de isopiezas, etc., se dispone de un orden de variación de la transmisividad válido a grandes rasgos, así como de estimaciones siempre dudosas de porosidad eficaz a largo plazo y de coeficientes de almacenamiento. Para entrar en estudios de detalle o modelaciones a escala más fina, habrá que ampliar la información.

- Con respecto al funcionamiento general de flujos subterráneos de este conjunto de acuíferos, cabe señalar que están contrastadas, cualitativamente, todas las relaciones entre acuíferos y subacuíferos en las que se ha dispuesto de captaciones representativas a cada lado de los frentes de contacto, utilizando como medio de comparación, en el tiempo, los valores piezométricos, las características físico-químicas y, en algún caso, el estudio de isótopos ambientales. Por la limitación señalada, puede resumirse que se considera validado, para este objetivo general, el funcionamiento de los acuíferos superiores (ASC y ASN), con la excepción de las características del mismo en zonas restringidas de la geometría del último de ellos (Fig. 1) donde

tiene carácter multicapa. Para los acuíferos intermedios el nivel de contraste del funcionamiento es bajo, siguiendo éste las mismas pautas que se daban al hablar de su geometría: muy aceptable en general para la "Escama de Balsa Nueva", sólo parcialmente comprobado en La Gangosa y El Viso, y escasamente validado en el resto. En el caso de los acuíferos inferiores, se estima aceptablemente comprobado el funcionamiento general de flujos en las zonas de su geometría que se han contrastado a este nivel de presencia, considerados como una capa única, muy potente y poco penetrada, en general, por lo que hace falta investigar el comportamiento en las capas más profundas de estos acuíferos; en el resto de los sectores aún sin reconocer con sondeos, el funcionamiento permanece sin confirmar, es decir, sólo como hipótesis apoyada en datos indirectos. Sobre la cuantificación de estos flujos, considerados aquí sólo globalmente, se puede decir que:

- Las entradas por precipitación fueron estimadas entre 45 y 65 hm<sup>3</sup>/año, aunque la evaluación de este parámetro (como el de aportaciones a un embalse de superficie) presenta tan baja confianza, en estos medios, que se prefiere recurrir a los datos que proporcione la respuesta real de los acuíferos con el correspondiente apoyo de las herramientas numéricas que sean más adecuadas.

- Los datos de descargas por bombeo han venido obteniéndose (excepto en los últimos años) con un aceptable detalle que, a nivel de acuíferos, ofrecen suficiente garantía; ésta, además, aumentó con la creciente implantación de contadores volumétricos en las captaciones; sin embargo, en la actualidad se carece de esta información detallada desde el año 2000, por lo que, su actualización, constituirá una de las actividades de mayor interés de la Fase I del Programa. La evaluación de las salidas al mar -como las entradas de agua salada a los acuíferos en proceso de intrusión marina o como las entradas por precipitación a los acuíferos- presentan diferentes grados de dificultad lo que no puede ser un freno para abordar su gestión, cuya orientación tenderá a conocer mejor sus procesos para contrarrestarlos.

Entre todas las existentes, las incertidumbres más importantes son las relacionadas con la intrusión marina en los acuíferos inferiores, por la problemática que conlleva este proceso en los mismos, si se tiene en cuenta que la extracción en estos acuíferos (CUADRO 1) supone un 85% del bombeo global del Campo, que el AIO tiene el nivel del agua a cotas que pasan los 40 m por debajo de la del mar, y que el AIN mantiene situaciones piezométricas negativas casi permanentes en el sector costero de Aguadulce influenciado por el nivel del mar y con situaciones dinámicas de varias decenas de metros bajo el nivel del mar en los sectores internos de la llanura. Con estos datos puede deducirse que la progresión del proceso de intrusión de agua de mar en dichos acuíferos inferiores es el problema más importante de la zona, ya que afecta a la garantía del abastecimiento a la demanda de riego y urbana dependiente de los mismos.

La situación es irreversible si se continúa con el régimen de bombeo actual y conduce al mantenimiento de la salinización progresiva de estos recursos; la alternativa opuesta a este uso, persigue una futura utilización sostenible de estos acuíferos: tendría que promover la inversión de estos procesos de intrusión marina y potenciar, en lo posible, los de regeneración de los mismos; una vez conseguido este objetivo se podría planificar su uso en una cuantía -como orden de referencia- no inferior a la proyectada como aportación regulada del embalse de Benínar, siempre

que se racionalizaran las actuaciones, atendiendo en todas sus fases al conocimiento y control de los efectos de las mismas.

#### **a.1.2) Síntesis de la actualización inicial de la piezometría de la Fase I (datos de 2007).**

##### **Datos del nivel del agua más actualizados que se analizaron**

Los datos más actualizados a los que se refiere esta tarea correspondieron con los obtenidos en el año 2007, principalmente mediante una campaña extensiva, realizada para avanzar en las tareas de la Fase I, tal y como fue convenido por las Partes una vez firmado el Acuerdo de intenciones para iniciar el Programa. La **Figura 8** muestra la situación de los puntos con medidas en la misma, diferenciando por colores los dos principales grupos de acuíferos: inferiores y coberteras.

El diseño de esta campaña, realizada en agosto / septiembre de 2007, contó con 338 puntos, resultando un global de 235 medidas al final de la misma. De ellas 26 se consideraron en principio invalidadas a efectos de interpretación, bien por tratarse de niveles dinámicos en entornos con otras medidas más fiables, bien por existir dudas del acuífero captado por posible presencia de mezclas (por reprofundización del sondeo, falta de información completa sobre las características constructivas del mismo, etc...) y ponerse en evidencia cotas del agua aparentemente anómalas. Una revisión de esta valoración de las medidas fue objeto de uno de los Trabajos de la Fase I del Programa (Trabajo 1B), a la luz de nuevas informaciones que se obtengan sobre la modificación de la infraestructura de uso y la evolución histórica de los bombeos para el período 2000-2007, de las que se carecía prácticamente en el año 2008. A la luz de ellas se confirmó la interpretación realizada de la misma.

Desde el punto de vista hidrogeológico, unas 180 medidas correspondieron a acuíferos de cobertera. Tras un análisis más detallado realizado en 2008, de comparación de medidas, se eliminaron algunas de ellas por no considerarse representativas de los acuíferos correspondientes (caso de puntos con recargas puntuales de agua en sondeos, etc.). Para el análisis de la distribución espacial en la piezometría de las coberteras en agosto de 2007 (reflejado en el apartado B.3) se ha tenido en cuenta, además de los puntos medidos en dicha campaña, informaciones deducidas por extrapolación de piezometrías históricas en áreas de interés con falta de información actual al respecto (por inutilización de los antiguos piezómetros existentes en ellas). Conviene resaltar que el trazado definitivo de las isopiezas de las coberteras habrá de hacerse, como se ha dicho, con la información actualizada sobre extracciones y sobre características hidrogeológicas de nuevas captaciones y sus modificaciones. También con el análisis detallado de los datos de la red mensual de la CMA que afecta a los acuíferos de cobertera, actividades fuera de esta Asistencia que se llevarían a cabo en el marco de otras actuaciones de la Fase I del proyecto general (2008-2010).

Las incidencias sobre los datos medibles de los acuíferos de cobertera (sondeos o pozos abandonados, desaparecidos o enterrados, algunos de los cuales dejan importantes lagunas de información espacial) ponen de manifiesto la necesidad de diseño (y posterior realización en otras fases del Programa) de una red complementaria de observación piezométrica, para zonas de interés en las que sólo se cuenta con referencias muy antiguas por falta de esta infraestructura. La citada tarea formará parte de otros trabajos (no incluidos en esta Asistencia).

Sobre los acuíferos inferiores se contó con un total de unas 50 medidas para agosto de 2007. En este caso no se han llevado a cabo isopiezas debido, como ya se ha referido en la exposición del modelo conceptual del conjunto de acuíferos, a que las modificaciones que se producen en el nivel del agua por el entorno de bombeo en el momento de llevar a cabo las medidas son superiores a la variación espacial del nivel del agua en el acuífero correspondiente.

En la **Figura 9** se muestra el esquema de isopiezas llevado a cabo a partir de las medidas e informaciones para los acuíferos de cobertera. Para su realización se ha considerado el modelo preexistente de geometría de los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías, y se ha analizado, una por una, la representatividad de cada punto de observación, enmarcándolo en dicho modelo.

### **La importancia de las tareas de análisis de la representatividad de los puntos de observación y sus informaciones derivadas**

Esta actividad de la investigación hidrogeológica se considera esencial para la valoración, tanto de las interpretaciones piezométricas como de cualquiera otra que se haga, dado que las redes de observación están formadas en el 95% de los casos, por sondeos de explotación privados. Las **Figuras 10, 11, 12 y 13** muestran dos ejemplos para ilustrar esta problemática.

En la primera de las figuras citadas se expone en su parte superior el registro histórico completo (hasta 2008) de datos piezométricos del punto 697D. Este sondeo explotó el AIO en el área confinada (zona estratégica i); se observan grandes y rápidas variaciones del nivel (del orden de 25 m) que no representan lo que pasa en el acuífero sino que están asociadas a las diferentes circunstancias del bombeo / recuperación en el punto, cuya información quedó recogida de forma simultánea a las mediciones del nivel del agua. La parte inferior de la **Figura 10** presentó los valores del nivel filtrando por sus circunstancias dinámicas; así quedó patente la tendencia general decreciente del nivel del agua en el AIO (con cotas negativas, y un descenso del orden de 30 m para el período de observación recogido hasta 2007/08). Además con la **Figura 10** se observó cómo, para abril-julio de 1994 se midieron valores positivos del nivel del agua (de +5 msnm) que no podían corresponder a los del AIO (con cotas bajo la del mar), y que se interpretan como sigue:

- en la zona confinada del AIO donde se localiza el sondeo 697D, las captaciones que explotan el AIO penetran primeramente el acuífero de cobertera (en este caso el ASC); si las obras no están bien ejecutadas, o se estropean con el paso del tiempo (lo que es frecuente), pueden producirse “vía sondeo”, como en este caso, fugas desde la cobertera, con mayor nivel del agua, hacia el AIO en profundidad. Estas mezclas de niveles acuíferos en captaciones de las áreas confinadas de los acuíferos inferiores suponen un foco potencial de contaminación del acuífero inferior, y se reflejan de dos maneras en los datos del registro histórico de dichos puntos: por una parte, mediante medidas del nivel del agua con valores intermedios entre las representativas de la cobertera y del acuífero inferior (en el ejemplo del ASC y el AIO) y, por otra, con calidades del agua también mezclas entre las de cada tipo de acuífero (circunstancias éstas que se presenta en la **Figura 11** con la concentración de cloruros y de nitratos en función del tiempo). El problema descrito para el sondeo 697D dio lugar al empeoramiento de la calidad del agua de su mezcla de bombeo

hasta límites no admisibles por las exigencias de las demandas y, por ello, a la perforación de un nuevo sondeo junto al mismo (sondeo 762D). Los valores de concentraciones indicados para 2007/08 correspondían ya con el bombeo de esta última captación; aunque la mezcla de agua ahora captada resultaba algo menos salina que la del sondeo primitivo, seguía apreciándose una salinidad atribuida a la presencia del agua del ASC.

Las Figuras 12 y 13 también reflejan la necesidad de llevar a cabo un análisis minucioso del significado de los puntos de observación para estar seguro de que las interpretaciones que de ellos dependientes informan de lo que ocurre realmente en el acuífero a estudiar y no en el punto escogido. En este caso se trata de los datos de la perforación 166VC situada en el área de El Viso. De su análisis se deduce que ha tenido que ocurrir una reprofundización de la obra entre el año 2001 y 2007 hasta alcanzar el AIN, junto con un aislamiento del acuífero de cobertera, lo que se pudo demostrar posteriormente con los resultados del Trabajo 1C de la Fase I. La parte superior de la figura presenta los datos del nivel del agua. Las primeras medidas (2-3 msnm) del año 2001, correspondieron a uno o los dos acuíferos de cobertera presentes en la zona estratégica d (coberteras del área de El Viso – Roquetas hasta el límite con la de La Gangosa). En este caso la evidencia sobre esta modificación del punto parte de la diferencia entre los valores de Cloruros y nitratos obtenidos de las mezclas de bombeo en 2001 y en 2007 (Fig. 13), ya que se pasó de concentraciones de Cloruros del orden de 600 mg/L a unos valores muy bajos (39 mg/L) que sólo presenta el AIN.

### **Análisis de la distribución espacial de la piezometría por zonas estratégicas de los acuíferos de cobertera.**

La disminución de los bombeos en los acuíferos de las coberteras (como ya se ha dicho en el apartado a.1.1) por el empeoramiento de la calidad del agua de su almacenamiento y también, por las mayores exigencias de calidad de las demandas de riego y urbanas, y el incremento de los retornos del uso con aguas ajenas a estos acuíferos, han provocado un crecimiento general de las reservas en los mismos, manifestado en la evolución ascendente casi generalizada de los niveles del agua en los piezómetros de la red, así como en las representaciones en planta (planos piezométricos) de la situación de la superficie de estos mantos libres en determinados momentos, obtenidas mediante las llamadas campañas flash de medidas más o menos extensivas.

Se dispone de una serie histórica, desde 1972, de estas situaciones de saturación del manto libre de los acuíferos de estas coberteras, así como un registro más o menos detallado de los usos que se han ido haciendo de ellos, especialmente de la distribución aproximada del bombeo y de las variaciones o tendencias en la extensión del regadío y de los núcleos urbanos en su ámbito. Este historial, comparado con el correspondiente del entorno en cada caso, ha permitido conocer los rasgos esenciales del funcionamiento general de estos acuíferos y de sus respuestas globales y locales a las modificaciones que se han ido produciendo por el uso.

En grandes líneas puede observarse que el conocimiento general del funcionamiento es sólido, aunque la heterogeneidad del medio impida conocer, en detalle, las características particulares de dicho funcionamiento en cada sector espacial, dependiendo además en cada caso del nivel de información disponible (en cantidad y representatividad de datos) en estos sectores.

Para dar una orientación sobre estos aspectos, se comentan seguidamente las modificaciones más significativas que pueden observarse en los sectores preseleccionados de estos acuíferos como zonas estratégicas (cuya definición se expuso en el documento de la Partida 2 de este Contrato) para el período febrero de 1987/88 y agosto de 2007. Se basa en la comparación de dos de estas situaciones de isopiezas: las que están representadas en las Figuras 14 y 15 -tomadas del Atlas hidrogeológico de Andalucía- y las interpretadas para esta Asistencia como puntos de partida del funcionamiento de los acuíferos al inicio de la Fase I del Programa (Fig. 9). La escasa explotación actual y el carácter general de este objetivo, minimizan los posibles errores imputables a las diferencias estacionales de las dos campañas de datos analizadas.

En lo que sigue se describen brevemente las variaciones observadas por zonas estratégicas.

Para la **Zona a (AEBN y extremo noroccidental del ASC en Los Alacranes y Onáyar)**:

La comparación en esta zona de ambas situaciones del manto **comprueba plenamente el funcionamiento local de los acuíferos implicados**, ya interpretado sin lugar a dudas en el correspondiente plano piezométrico de la Figura 14. Esta situación de flujos se mantiene aunque de manera más acentuada: el extremo noroccidental del ASC ha ganado en reservas, con lo que su descarga al AEBN ha crecido respecto a febrero de 1988, mientras que la parte oriental del AEBN las ha perdido, por hundimiento (a más del doble) de su nivel piezométrico, arrastrado por el mayor descenso del nivel del AIO (a más de 40 m bajo el nivel del mar en 2008).

Respecto a la **Zona b (Entorno de Onáyar en ASC)**:

En esta zona la situación actual presenta: una reconstitución de reservas con respecto a las de febrero de 1988 (Figs. 15 y 9); el mismo funcionamiento del flujo subterráneo del ASC que el que era observable en aquella fecha, en la que mostraba una morfología de altos piezométricos, con una depresión central –el cono de Onáyar- que ya entonces presentaba una recuperación hasta llegar a cerca de 5 msnm en su fondo y a algo más de 20 msnm en sus bordes occidental y oriental. A este cono confluían los flujos de sus márgenes desde los que, hacia el exterior, presentaban una distribución de flujos de descarga por el oeste, norte y este (es decir hacia el mar, hacia el AEBN y el AIO, y hacia el sector occidental de la zona Entorno de Balsa del Sapo). Por el sur, el levantamiento de las margas pliocenas ofrece una barrera al paso del agua subterránea hacia el mar.

En la actualidad se repite la misma distribución de flujos, aunque con orígenes de mayor cota del agua: los altos piezométricos superiores a 30 msnm (muy restringidos en febrero de 1988) casi se han generalizado en la zona, de manera que las descargas hacia el exterior han aumentado - al mar, al AEBN, al AIO y, hacia el SE, del propio ASC: zona estratégica c- como también lo han hecho hacia el cono central en recuperación, cuyo fondo ha alcanzado los 17 msnm (del orden de 12m de ascenso en 20 años).

Para la **Zona c (Entorno de Balsa del Sapo, ASC)**:

En términos muy generales, el alto piezométrico de esta zona (en el sector centro – noreste del ASC) ha experimentado una elevación media superior a 5 m (ver Figs. 15 y 9), aún más



acentuada en una franja por el norte de la misma, entre Santa María de El Águila y La Mojonera. El manto presenta en la actualidad una morfología de antiformal o domo alargado que alcanza cotas en torno a 27 – 30 msnm, con la peculiaridad de haberse producido, hacia el sur del mismo, un afloramiento de la lámina de agua durante este período, que se extiende por el borde norte del núcleo urbano de Las Norias, facilitado por las excavaciones para la extracción de limos utilizados para suelos artificiales de invernaderos. Este afloramiento del manto constituye una laguna permanente con crecimiento de su extensión y altura de lámina de agua, que pronto ha sido poblada por vegetación y fauna abundantes que la convierten en un humedal de gran valor ecológico y ambiental. Pero su ritmo de ascensión de la lámina de agua ha provocado inundaciones en invernaderos e instalaciones del entorno, constituyendo un problema a resolver.

El aumento de la reserva de agua del ASC en esta zona ha provocado un incremento de la descarga hacia sus bordes norte, noreste y sur, es decir hacia los acuíferos AIO y AIN (acuíferos inferiores cuyos niveles actuales se encuentran en torno a 40 y 20 mbnm, respectivamente), al acuífero de cobertera ASN, y hacia el mar, a través de la orla litoral y humedales costeros. A las citadas descargas hay que añadir la de nueva generación, constituida por la evaporación en la lámina de agua libre en la laguna.

Como se aprecia, el funcionamiento general de flujos subterráneos, salvo lo relativo al específico de la dinámica de la laguna, continua siendo el mismo que hace 20 años.

Respecto a la **Zona d (coberteras del área de El Viso – Roquetas, hasta el límite con la de La Gangosa, ASN - AltN)**:

En esta zona (Fig. 14) se han producido cambios profundos en el funcionamiento de las coberteras. La recuperación de niveles en el período considerado (febrero 1988 – agosto 2007) del cono de depresión piezométrica de El Viso, en el ASN, con vértice sobre el sector de la fosa interior, ha sido muy notable: desde una cota de fondo que pasaba de los 20 mbnm, se ha situado en la actualidad a una cota aparente del orden de 15 msnm, lo que puede suponer una notable recuperación de reservas. Por otra parte, el descenso de niveles del AIN en el área de El Águila (del orden de 25 – 30 m en el mismo período) ha provocado la inversión de flujos entre ambos acuíferos, antes de sentido AIN -> ASN, y en agosto de 2007 -y desde inicios de la década de 1990- en el sentido ASN -> AIN.

El ASN continua recibiendo por su límite con el ASC flujos de recarga desde este último. Y lo que antes era un flujo convergente hacia el cono deprimido del ASN, desde el sector meridional del mismo en esta zona, ahora se ha convertido en un flujo general descendente hacia sectores más orientales (Puebla de Vúcar – Aguadulce). En el entorno de El Cosario existe un umbral no bien definido que reparte los flujos hacia el Norte (AIN) y hacia el Este-Sureste (ASN / AltN).

En relación con la **Zona e (La Gangosa)**:

La extrema complejidad estructural y de funcionamiento hidrogeológico de esta zona con hasta tres capas acuíferas, y el abandono o semidestrucción de las captaciones por su estado de salinización, que impide la obtención de datos individualizados representativos de estos subacuíferos, proporciona unos resultados de la representación piezométrica que aconsejan no

darles un valor definitivo; sólo se han utilizado algunos de estos datos de la campaña de 2007 que se han supuesto como más próximos a la realidad de la situación de su capa libre, interpolados entre los de la zona anteriormente descrita y los del área de Aguadulce. Estos datos prolongan el ascenso de niveles del manto superficial.

#### Sobre la **Zona f (banda norte de San Agustín en el ASC)**:

En esta zona (**Figuras 15 y 9**), como en la franja meridional del ASC paralela a la misma que corresponde al sector costero del Sur del Campo, casi no existen puntos de agua donde medir el nivel piezométrico (particularmente en las últimas décadas) y, cuando existen, no todos son representativos por su escasa penetración. Por ello el trazado de isolíneas de nivel del agua tiene más de interpretación previa que derivada de datos reales, lo que impide insistir demasiado en este análisis.

Esta carencia de puntos de observación se debe a la inexistencia de captaciones de explotación y a la pérdida (no reparada) de algunos piezómetros de la fase primitiva de la investigación del IGME en la zona, los cuales marcaron la topografía del manto libre del ASC hasta el borde norte de los humedales costeros, en los que se situaba la cota 1 msnm (tomada como nivel de base local del ASC). Las interpretaciones realizadas en épocas más recientes de este sector del acuífero superior, prácticamente carente de bombeos, parten de los datos piezométricos del borde sur de la zona c, distribuyendo las isopiezas hacia el S, en orden descendente, hasta la cota del nivel de base referido, lo que supone un flujo de descarga hacia el mar a través de esta franja de humedales. Y, por el extremo oriental de la zona f, se mantienen además unos flujos de descarga hacia la zona del área de Roquetas de Mar, del ASN.

#### **Evolución temporal del nivel del agua en los principales acuíferos**

La evolución temporal (a la fecha del informe) del nivel del agua en los principales acuíferos quedó reflejada mediante los hidrogramas representativos de los mismos (**Fig.16**).

Observándolos, se pone de manifiesto la continuación de las tendencias al descenso en los acuíferos inferiores (AIO y AIN), y en el AEBN asociado lateralmente al AIO. Como venía ocurriendo, los valores más bajos del nivel se alcanzan en el AIO (ahora a 45 mbnm) y los más altos en el área costera del AIN (Aguadulce, debido al nivel impuesto del mar) con cotas de -1 msnm a finales de 2008.

Respecto a los datos de final de 1999/00, año en el que se cuenta con seguimiento de explotaciones por bombeo de detalle, en la zona libre del AIO el nivel ha descendido 12 m (de valores de -33 a -45 msnm) mientras que en las zonas libres del AIN el descenso ha sido de unos 4 m (-21 a -25 msnm en el Águila oriental).

El área confinada del AIN en El Viso sigue mostrando valores aparentemente más altos que su contigua área de El Águila (con unos -14 msnm en 2007, y un nivel dinámico, permanente en agosto de 2008, de -20 msnm); es el sector oriental de esta zona donde los valores del nivel del agua parecen ser los menores de todo este acuífero (según el registro de datos existente, con muchas carencias en los últimos años) para el período referido. En la zona confinada del AIO los



niveles siguen las mismas tendencias que en la zona libre, aunque quizás con valores algo más altos por el efecto de entradas desde tramos de cobertera al AIO en esta zona.

Con todo ello, se siguen manteniendo las condiciones para la entrada de agua marina al AIO desde el AEBN, y la entrada directa de agua de mar al AIN desde el área de Aguadulce. También para la transmisión de estos últimos flujos hacia las zonas internas más explotadas del AIN.

Respecto al complejo AItN formado por varias capas, siguen dándose las condiciones, al menos en las más profundas y explotadas con niveles negativos, para la entrada de agua de mar.

En los acuíferos ASC y ASN las tendencias piezométricas son al ascenso, como viene pasando desde hace décadas, como ya se ha dicho, provocando un creciente flujo desde estas coberteras a los acuíferos inferiores; sus niveles se encuentran sobre el del mar

### **a.1.3) Contraste de tendencias negativas principales en los acuíferos, que afectan a su calidad del agua (hasta 2007). Síntesis del contraste inicial del modelo de funcionamiento de los acuíferos.**

Los últimos datos más actualizados que se consideraron en el informe para contrastar las tendencias en la calidad, consecuencia del funcionamiento de los acuíferos, fueron los correspondientes a una campaña de calidad que se llevó a cabo a finales del año 2007. Los puntos con estas informaciones hidroquímicas están representados en la **Figura 17**. Se obtuvieron del orden de 215 muestras, de las que unas 150 lo fueron de los acuíferos inferiores. Como en el caso de la campaña de piezometría realizada ese mismo año, estos datos se llevaron a cabo para ir avanzando en la Fase I, por consenso entre las Partes tras la firma del Acuerdo de Intenciones.

Se realizó un análisis preliminar de la representatividad de los puntos y sus medidas, teniendo en cuenta que se desconocían las modificaciones que se habían llevado a cabo en gran parte de la infraestructura de uso de los acuíferos principales y que no se contaba con el registro histórico de extracciones desde inicios de la década de 2000. Los datos obtenidos de cada muestra fueron componentes mayoritarios, metales metaloides e índice rCl/rBr.

Se llevó a cabo un control de calidad de los resultados mediante el contraste de los datos realizados en distintos laboratorios de medida, procediéndose a la interpretación de tendencias observadas en la calidad general. El análisis de mayor interés para esta investigación, en apoyo a la gestión, correspondió con el de los acuíferos inferiores; las siguientes tablas (**Cuadros 2 y 3**) presentan las observaciones más destacadas de los puntos estudiados en estos acuíferos y el AEBN, tomando el contenido en cloruros como parámetro de comparación, dado el carácter conservativo de este ion, cuya modificación se produce por mezclas con aguas de acuíferos o de la entrada de agua de mar. En síntesis, basado en los datos señalados, que se contrastaron con los trabajos desarrollados por esta Partida 3 del Contrato, se apreció lo que sigue.

### **Observaciones con mezclas de bombeo de puntos del AIN (hasta 2007)**

En el **área de Aguadulce** se observó incremento de la salinidad de la mezcla de bombeo en el punto 223RM, situado en el sector N del área. Otros de sus escasos datos accesibles

actualmente para el muestreo en esta zona (que dejó prácticamente de bombearse por el avance de la intrusión marina) no muestran este incremento en el período o está por debajo de los errores observados en las medidas. El punto 36 E que se localiza en la vertiente sur de la Sierra, junto a la Rambla de las Hortichuelas (más al NE de la población de Vúcar) no mostró tampoco alteración de su salinidad.

En relación con el **área confinada de El Viso**, se observaron incrementos destacables de la salinidad del agua de bombeo en los sondeos 143VC y 157VC. El primer punto citado proseguía con la tendencia que ya se observaba desde 1996, mientras que el 157VC fue en 2007 cuando se detectó un aumento importante. También se hace notar en otros puntos como el 159VC y 161VC. Incluso el agua de bombeo del sondeo 162VC (históricamente el más dulce de esta zona) parece algo influenciada por este incremento en la concentración de cloruros. Al menos en algún caso esta contaminación puede provenir de mezclas “vía sondeo” desde tramos de cobertera, ya que pueden asociarse incrementos en cloruros con aumentos en contenidos de nitratos y materia orgánica procedentes del uso.

Lo principal sería investigar (como se hizo después a lo largo de la Fase I) el posible impacto, en esta zona de explotación del AIN, de la transferencia de flujos salados desde coberteras del complejo acuífero intermedio o desde el propio acuífero inferior en contacto lateral desde la vecina área de La Gangosa.

El **sector más occidental del área de El Águila** no mostraba incrementos en las concentraciones de cloruros, o éstos estaban dentro del error de medición. Sin embargo, **en el sector oriental de este área** se detectó un incremento en estos iones en gran parte de los puntos muestreados, aunque junto a éstos se encontraban otros sondeos también analizados en los que no se apreciaba este proceso (incluso tenían concentraciones de cloruros bajísimas de 1 mg/L).

La circunstancia anterior indicaba que era necesario realizar una interpretación detallada de las causas de esta salinización, atendiendo a la disposición geométrica de los materiales de baja permeabilidad y los permeables en esta zona (como se hizo a lo largo de la Fase I).

Podía pensarse que, al menos parte del incremento de la salinización, fuera de los flujos laterales que, desde el ASC y ASN, se dirigen hacia esta zona libre del AIN (ver Fig. 9) desde hace unos 15 años. Pero, sobretodo era vital estudiar (lo que se hizo a lo largo de la Fase I) también la posibilidad del impacto de la progresión del agua de mar desde el área costera del AIN hacia estas zonas interiores, teniendo en cuenta que puntos situados más cerca de dicha zona costera, hacia el E, no presentaban aún esta salinización.

### **Observaciones con mezclas de bombeo de puntos del AIO y del AEBN (hasta 2007)**

Son muy escasos los datos a estudiar de mezclas de bombeo del **AEBN** dada la salinización de este acuífero desde hace varias décadas, como ocurre en el área costera de Agudulce. En uno de los puntos con medidas sí se detectaba (hasta 2007) el aumento del proceso de intrusión marina, referido al contenido en cloruros de 2007 y de 2001, mientras que en otro punto sus mezclas de bombeo carecían de tendencia aparente en dicho período; hay que tener en cuenta

que a esta zona llegan también flujos procedentes del ASC (con niveles más altos) cuyas mezclas pueden dificultar la observación de esta salinización por lo que, como siempre, las características del punto de observación son de vital importancia para las interpretaciones.

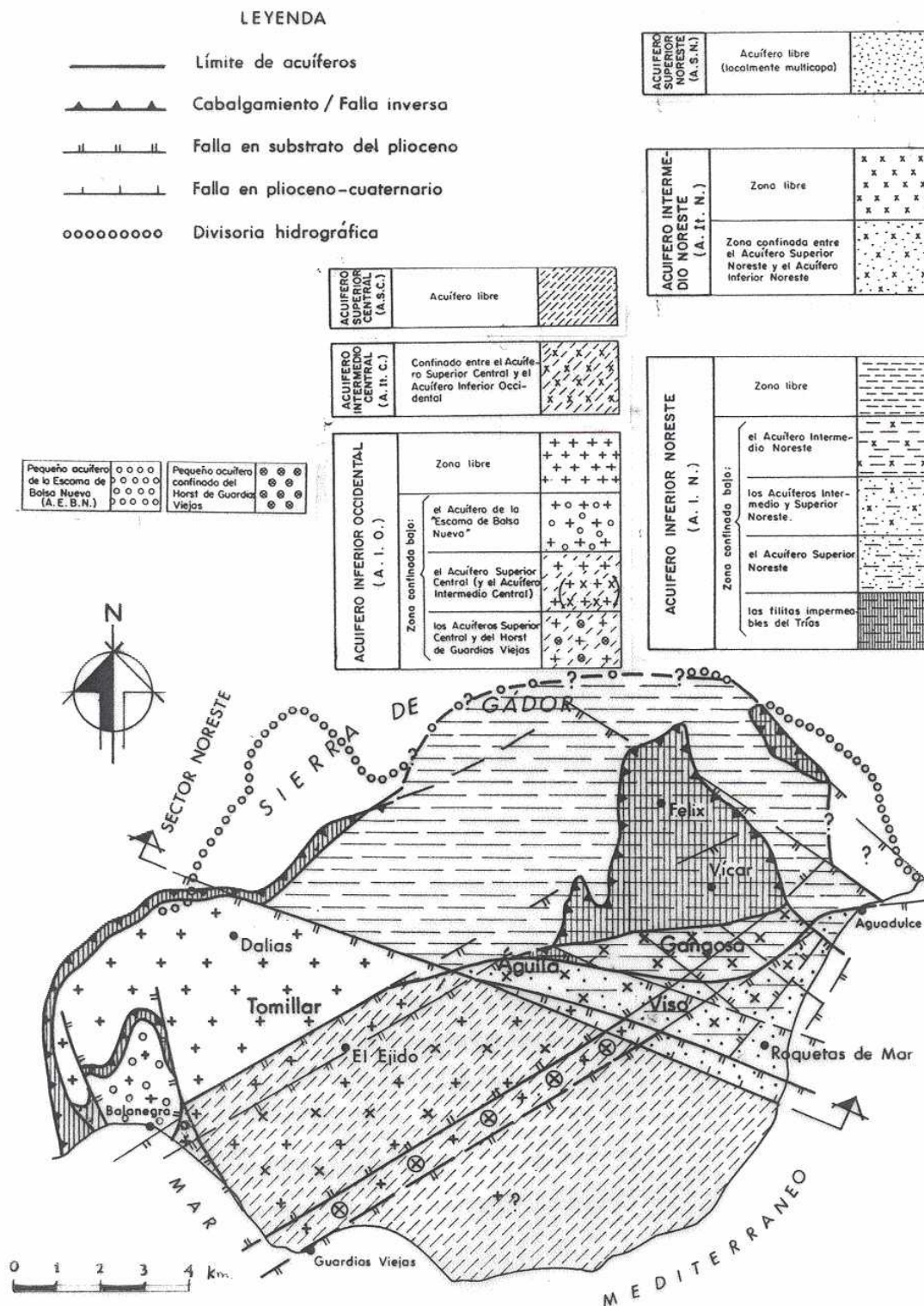
Respecto al **AIO en el área de Tarambana**, contigua a la del AEBN, no se observaba incremento en la concentración de cloruros, incluso en algún punto podía existir un pequeño descenso (explicable porque dichos sondeos tienen baja penetración en el AIO y por ello no alcanzan la zona más salada del acuífero) ya que el impacto de estos flujos procedentes del AEBN se sitúa a mayores profundidades en el AIO (por la alta densidad del agua de mar).

Sin embargo, **en una banda paralela a la zona de contacto entre el AIO y el ASC** (que le cede flujos algo salinos de forma lateral y vertical (vía sondeo) al acuífero inferior más dulce) sí se observaba el empeoramiento de la calidad en muchos de los puntos muestreados. En relación con ello, parecían tener interés las variaciones observadas en la calidad del agua de sondeos repetidos en 2007 con una mayor penetración en el AIO, localizados en las áreas de El Tomillar y Pampanico: los valores encontrados de concentraciones de cloruros en las mezclas de bombeo de dichos nuevos puntos son inferiores a los de sus sondeos originales, lo que puede explicarse por la mejor calidad del AIO en los tramos más profundos donde con mayor dificultad llegan los flujos del acuífero de cobertera. No obstante, no podía descartarse la influencia de la entrada de agua de mar desde el AEBN, lo que resultaba de gran importancia investigar (cómo se hizo en el desarrollo de la Fase I).

### **Síntesis del contraste del modelo conceptual de flujos entre acuíferos, y entre éstos y el mar**

Tanto las observaciones analizadas sobre el comportamiento de la piezometría en el tiempo y el espacio, como las referidas a las tendencias observadas en la calidad del agua de los acuíferos principales del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías, ponen de relieve que el modelo de funcionamiento de estos acuíferos coincide con el preexistente y tomado como base de estas investigaciones en apoyo a la gestión racional de los mismos. En el período de comparación, siguen observándose los descensos progresivos de nivel en los acuíferos inferiores y los ascensos en las coberteras, y los principales procesos asociados a los mismos: la entrada de agua de mar a los inferiores y la entrada de flujos potencialmente contaminantes desde los acuíferos de cobertera a los inferiores, que van disminuyendo, aunque de forma muy distinta según las zonas, las posibilidades de aprovechamiento del agua de estos últimos, los principales acuíferos del Campo.

En los trabajos a acometer posteriormente, también dentro de esta asistencia, se intensificará este estudio con el planteamiento de nuevas tareas para mejorar las incertidumbres principales en los acuíferos.



**Figura1:** Esquema de distribución de acuíferos del Campo de Dalías (IGME, 1996).

VOLUMEN SUMINISTRADO (hm<sup>3</sup>) EN ORIGEN A LA DEMANDA DEL C. DALÍAS Y ALMERÍA, INDICANDO PROCEDENCIA

CONCEPTOS (hm <sup>3</sup> )	AÑOS HIDROLOGICOS														
	80-81	81-82	82-83	83-84	84-85	85-86	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93	93-94	94-95
1.- Bombeo AIO + AEBN	27	33	34	34	39	36	39	42	40	41	42	55	57	59	66
2.- Bombeo AIN	15	17	24	23	27	27	29	29	27	29	30	38	38	48	48
3.- Bombeo ASC	17	18	16	13	16	14	14	13	12	12	10	10	10	9	10
4.- Bombeo ASN	14	13	18	16	16	14	15	12	10	7	6	6	7	6	5
5.- Bombeo AltN	14	15	14	14	16	17	18	18	19	18	17	16	13	4	4
6.- TOTAL BOMBEO CAMPO	88	97	106	99	114	107	115	114	108	106	105	125	125	126	132
7.- Volumen aportado por otros acuíferos ajenos al Campo (U. Celín y aluvial R. Adra)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
8.- Volúmenes inportados del E. Benívar	0	0	0	0	0	0	0	5	10	15	18	7	5	4	0
9.- Total suministrado ajeno los acuíferos del C. Dalías	5	5	5	5	5	5	5	10	15	20	23	12	10	9	5
10.- Total agua suministrada al C. Dalías + Almería	93	102	111	104	119	112	120	124	123	125	128	137	135	134	137
11.- % De Humedad E. Mojonera	37	54	16	85	38	137	70	62	178	95	42	117	65	93	50

CUADRO 1

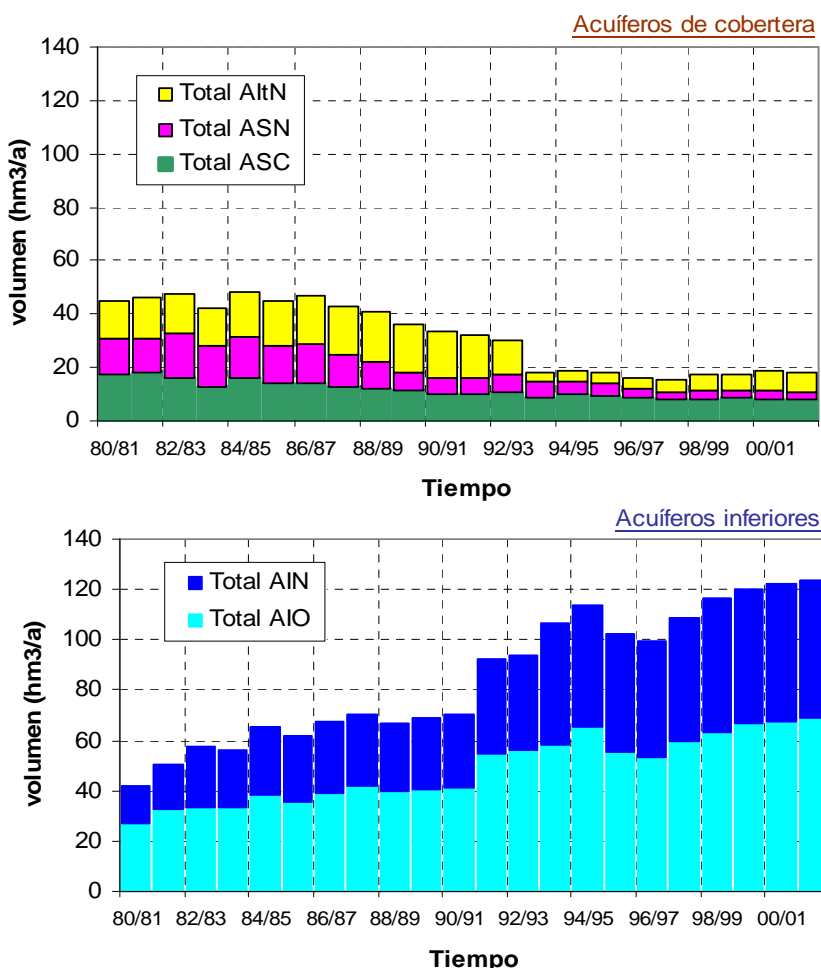
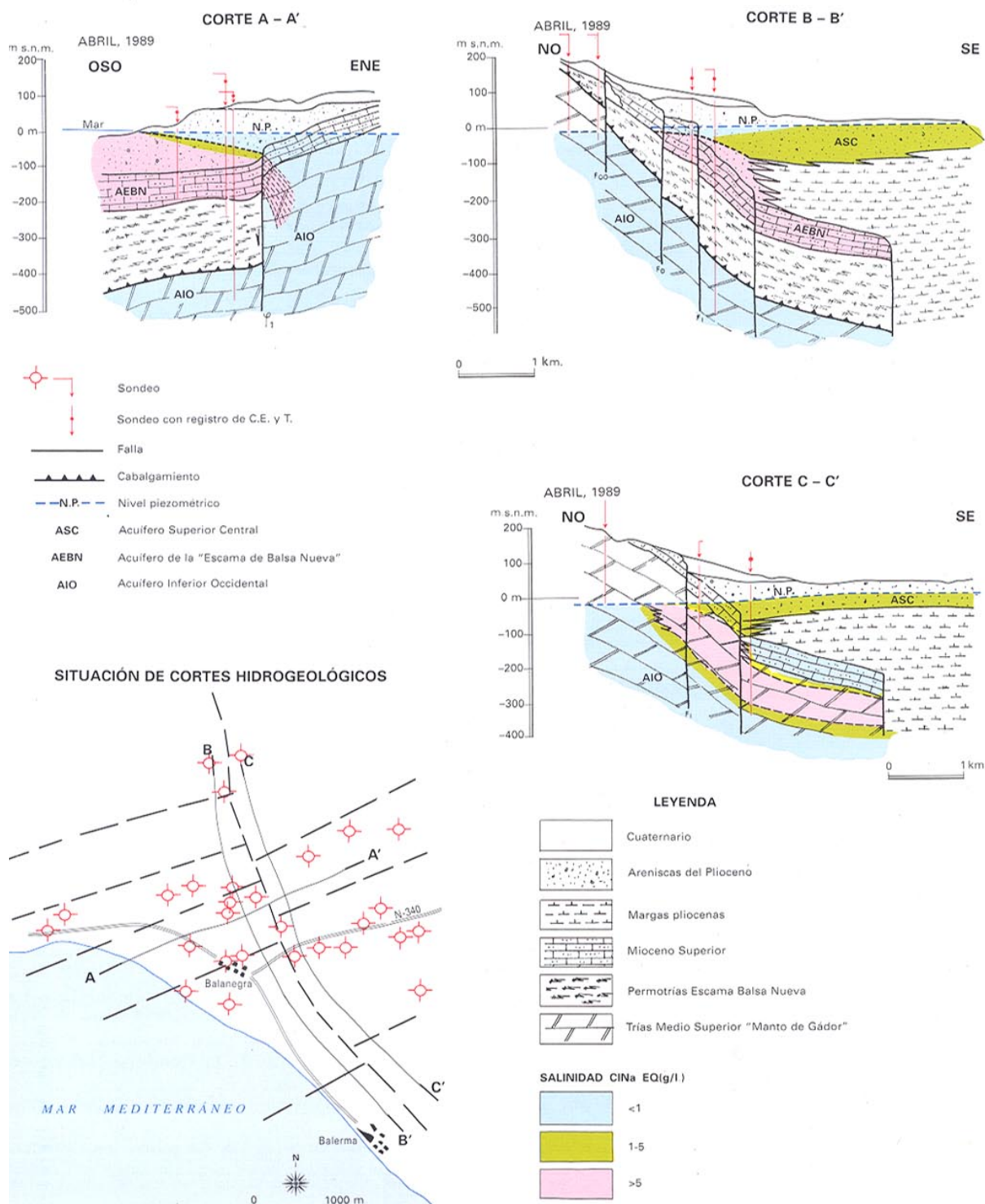


Figura 2: (inferior) Cuadro 1 (superior), Cuadro 1: Volumen suministrado (hm<sup>3</sup>) en origen a la demanda del Campo de Dalías y Almería, indicando procedencia. Parte media e inferior: Volumen bombeado (hm<sup>3</sup>/año) de los acuíferos de cobertura y de los inferiores, respectivamente, entre 1980/81 y 2001/02.

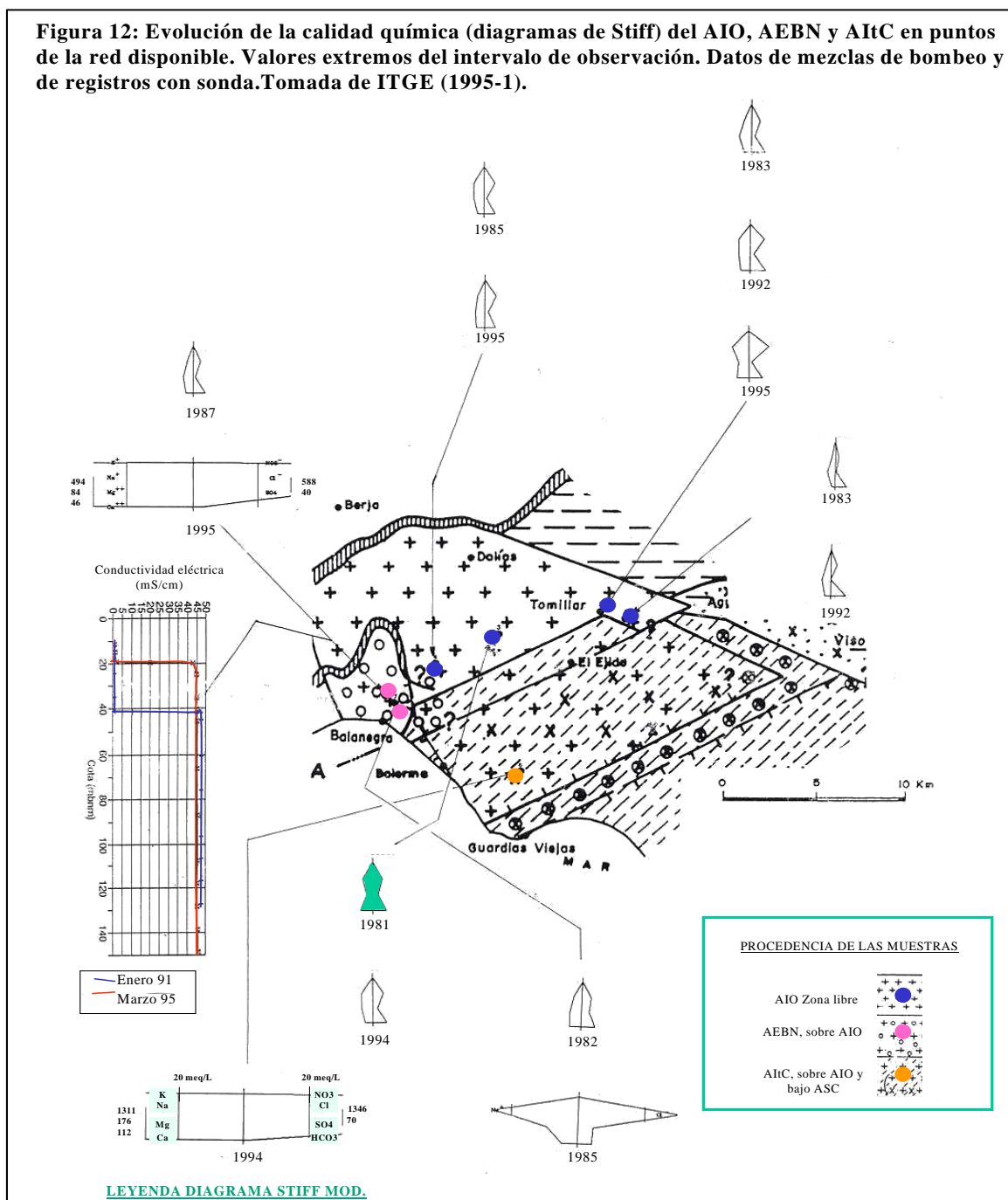


## ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA INTRUSIÓN MARINA EN EL ENTORNO DE BALANEGRA

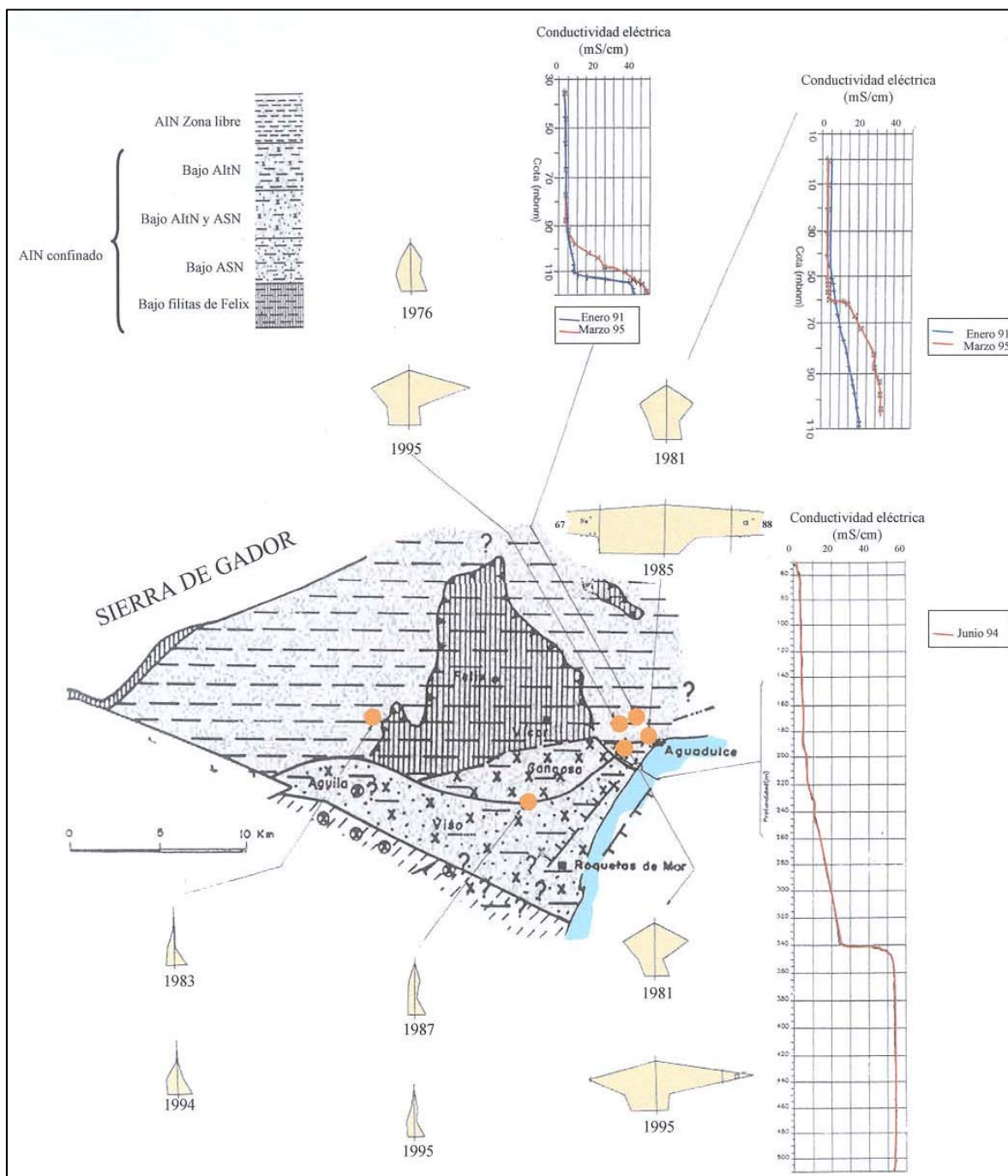


**Figura. 3:** Esquema de funcionamiento de la intrusión marina en el AEBN, entorno de Balanegra.

**Figura 12: Evolución de la calidad química (diagramas de Stiff) del AIO, AEBN y AItC en puntos de la red disponible. Valores extremos del intervalo de observación. Datos de mezclas de bombeo y de registros con sonda. Tomada de ITGE (1995-1).**

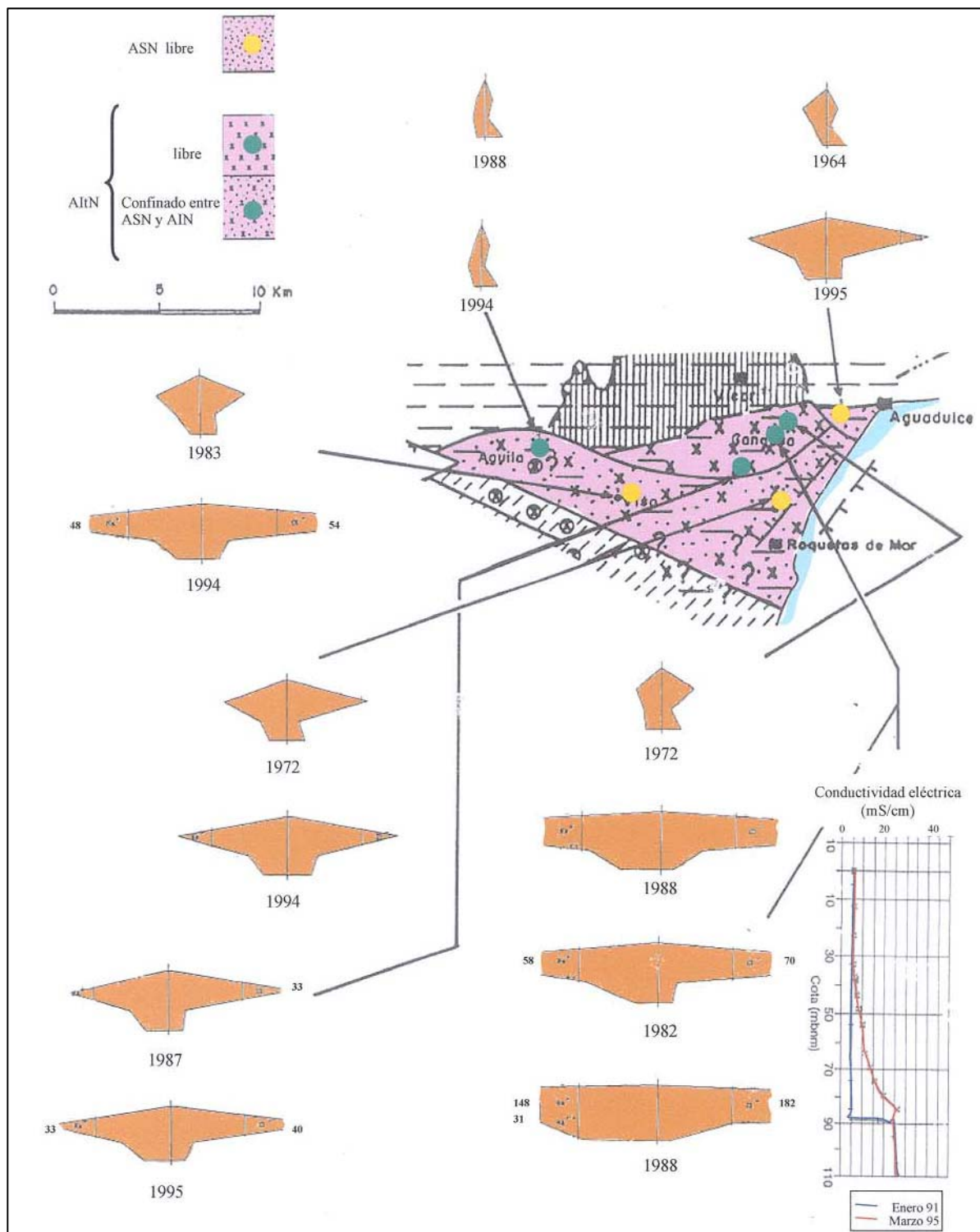


**Figura 4:** Evolución de la calidad química (diagramas de Stiff del AIO, AEBN y AItC en puntos de la red disponible. Valores extremos del intervalo de observación. Datos de mezclas de bombeo y de registros con sonda. Tomada del IGME (1995)

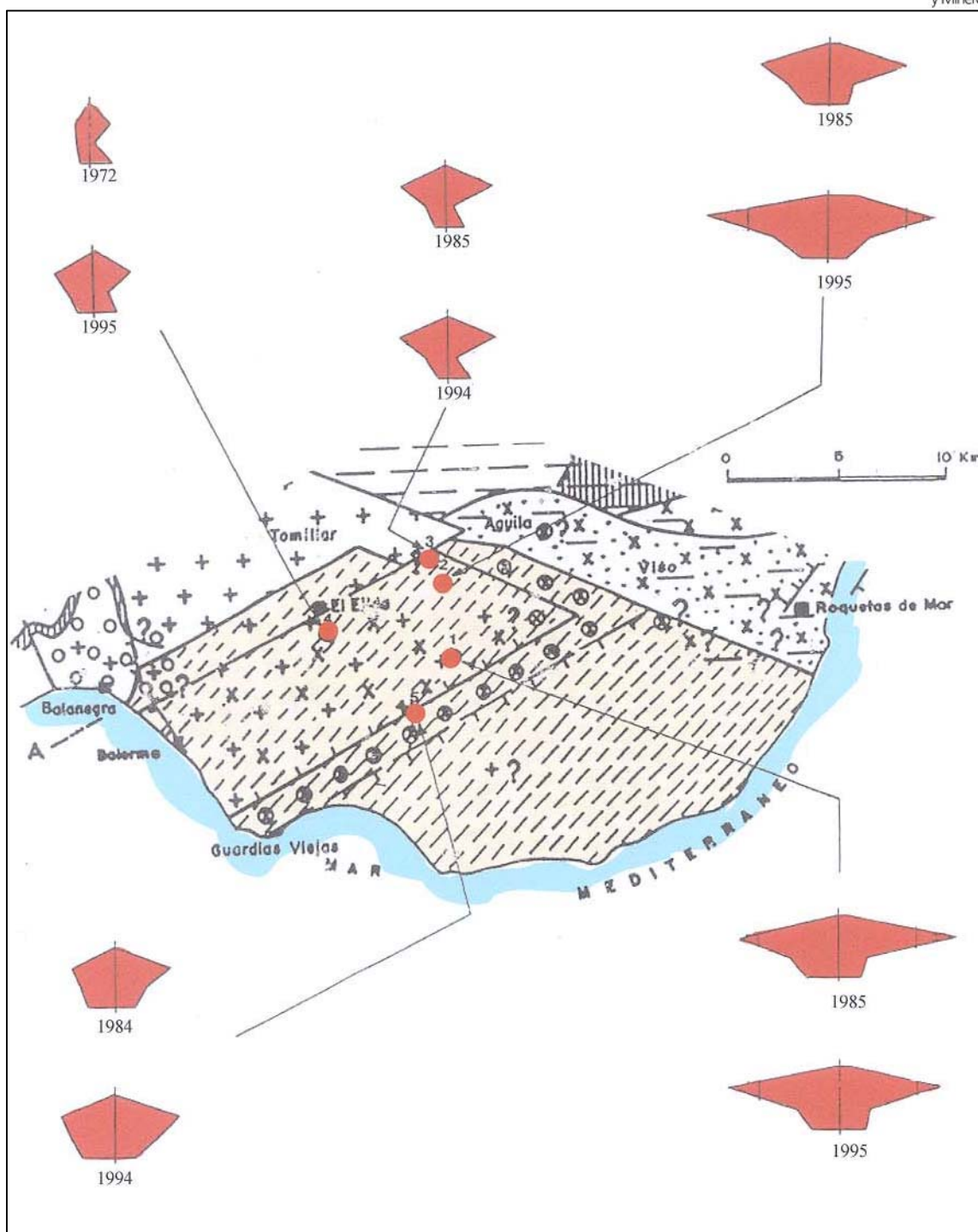


**Figura 5:** Evolución de la calidad química del AIN en puntos de la red disponible. Valores extremos del intervalo de observación. Datos de mezclas de bombeo y de registros con sonda. De IGME 1995.





**Figura 6:** Evolución de la calidad química del AItN y ASN en puntos de la red disponible. Valores extremos del intervalo de observación. Datos de mezclas de bombeo y de registros con sonda Tomada de IGME 1995. Ver leyenda diagramas de Stiff en **Figura 4.**



**Figura 7:** Ejemplo de datos hidroquímicos de mezclas de bombeo del ASC. Ver leyenda de diagramas de Stiff en **figura 4**. Tomada del IGME 1995.

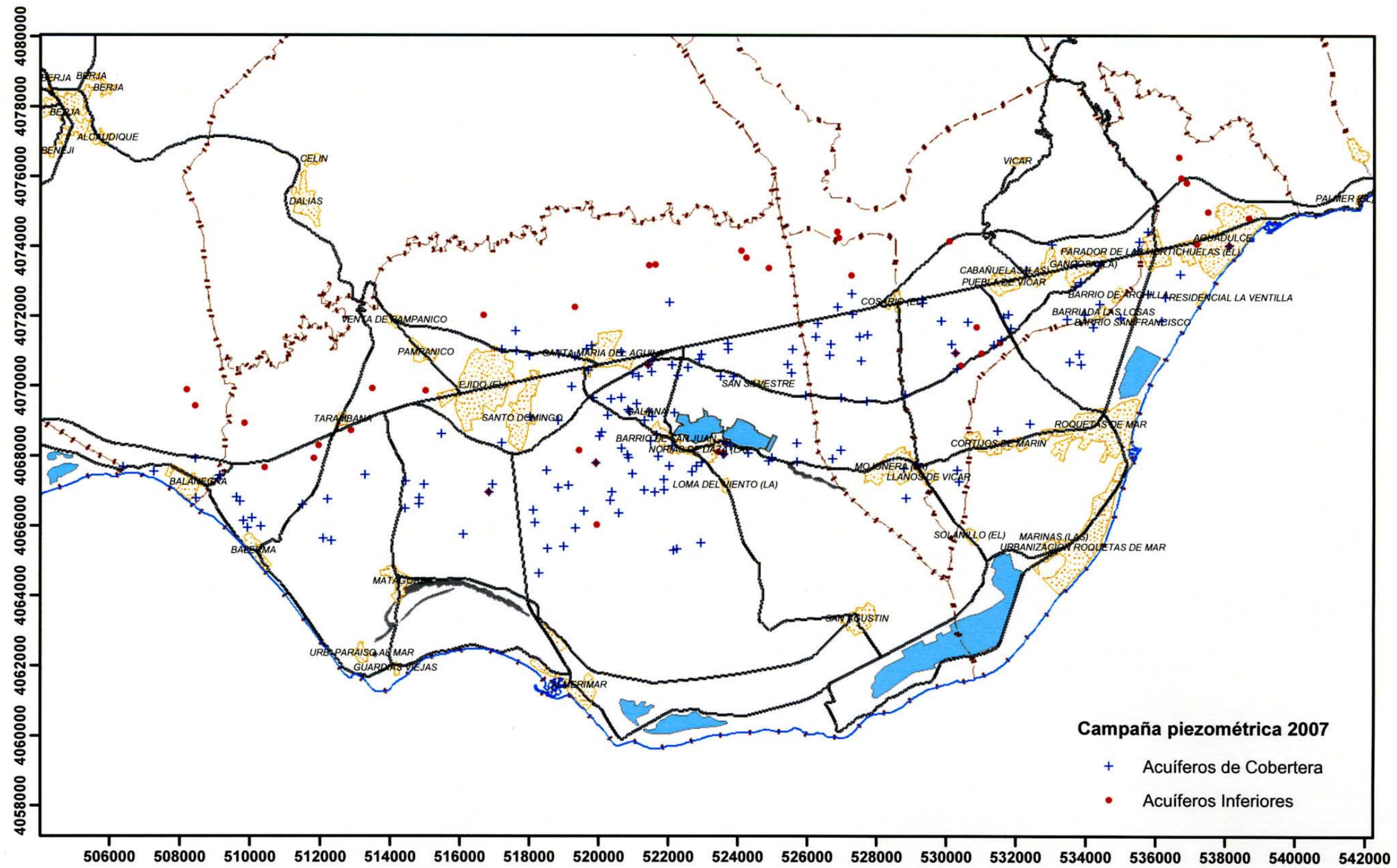
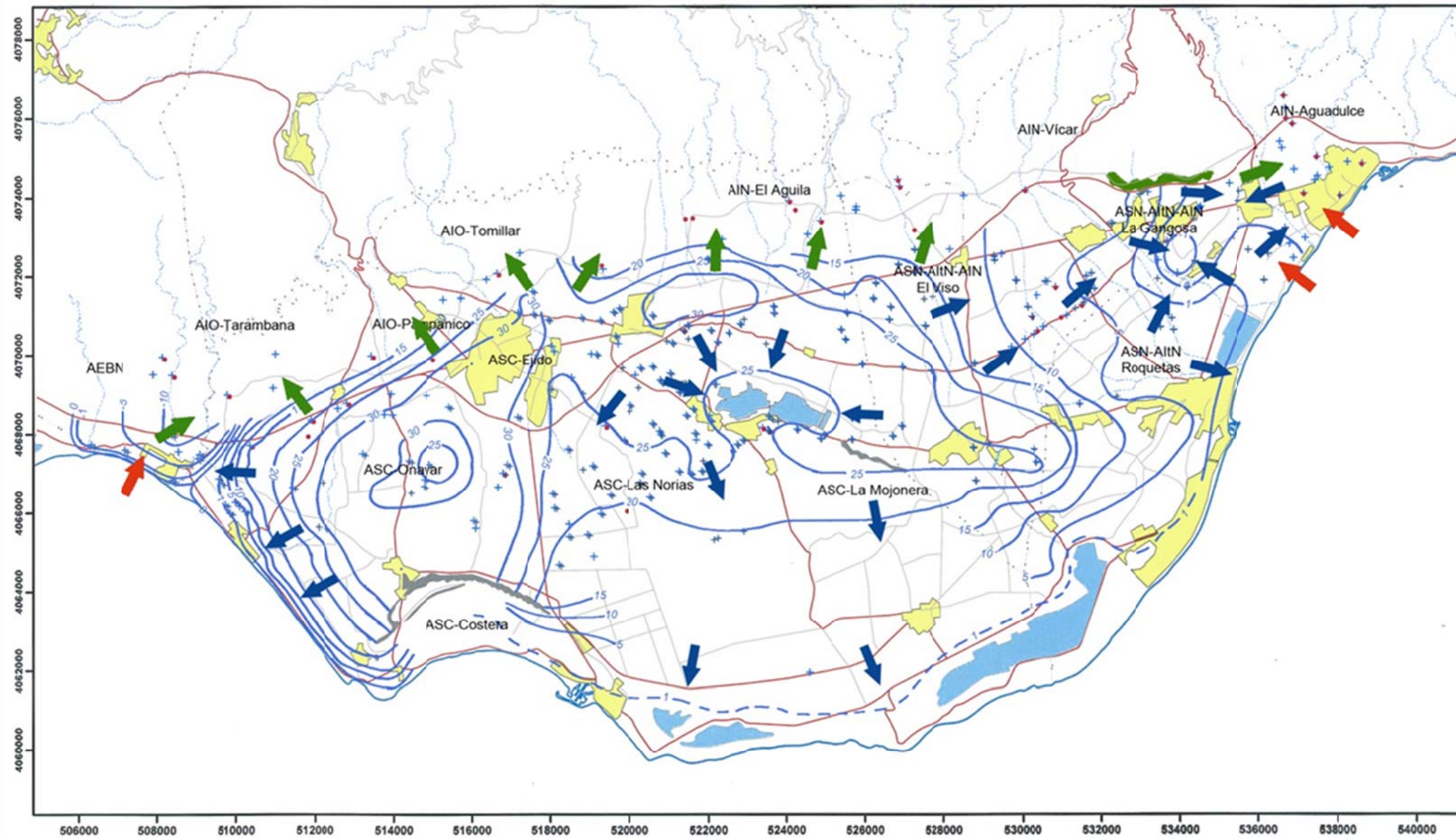
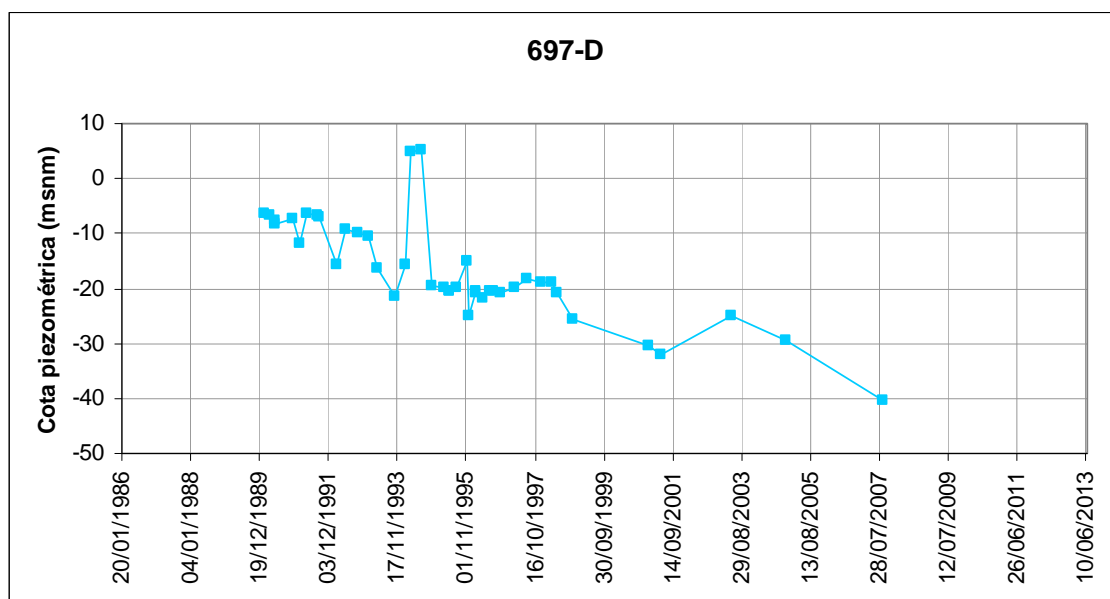
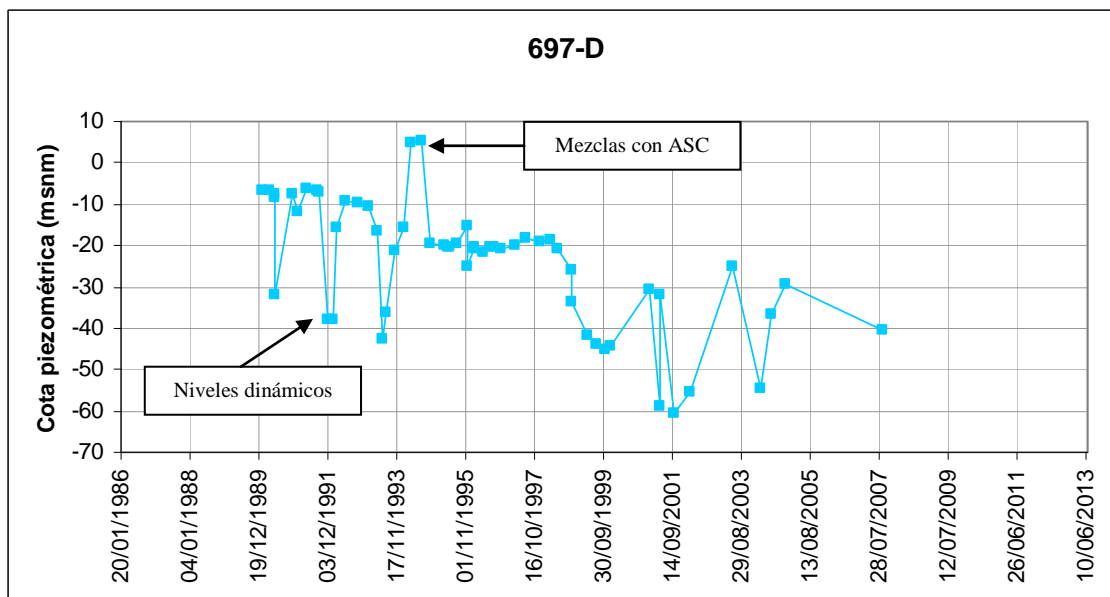


Figura. 8: Situación de puntos medidos en la campaña piezométrica de agosto de 2007. Se diferencian con colores los correspondientes a cada uno de los dos tipos principales de acuíferos.



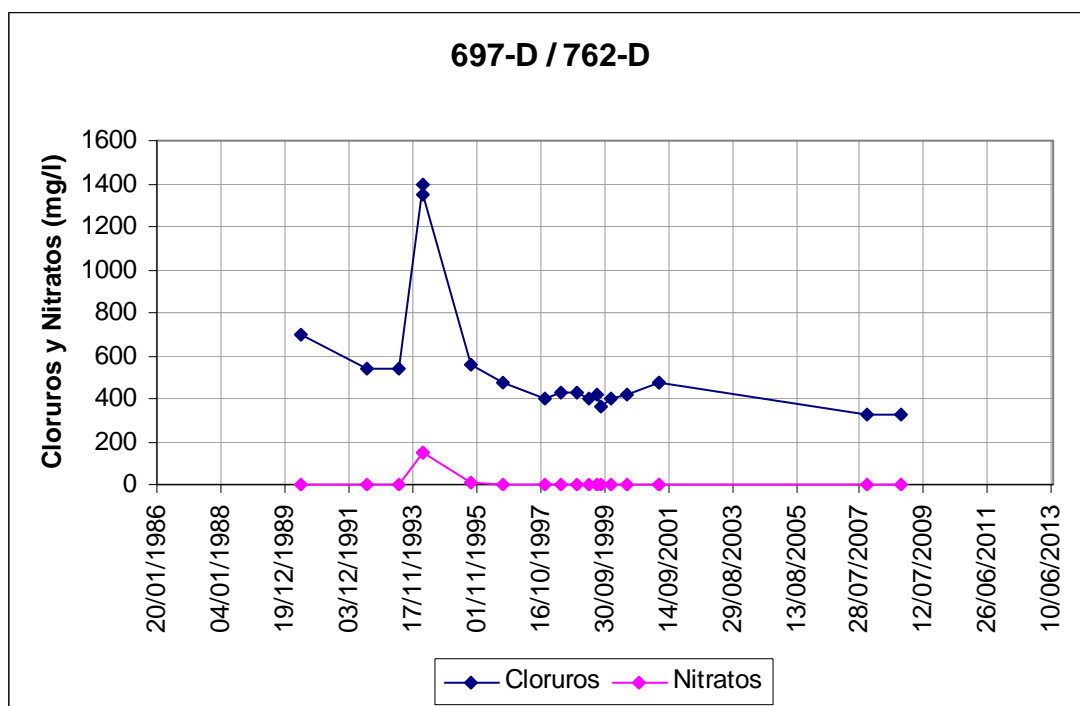


**Figura 9:** Esquema de isopiezas y distribución de flujos de los acuíferos de cobertura para agosto de 2007, Isopiezas de las coberturas en líneas azules; las cruces indican los piezómetros de dichos acuíferos; los puntos rojos corresponden a puntos medidos en los acuíferos inferiores para la misma campaña. Con flechas azules se indica la distribución de flujos en las coberturas; las verdes corresponden a sus relaciones con los acuíferos inferiores, mientras que las flechas rojas representan la entrada de agua de mar (directa o indirecta) a estos últimos acuíferos. Los datos piezométricos de los acuíferos inferiores vienen representados en la **Figura 16**.



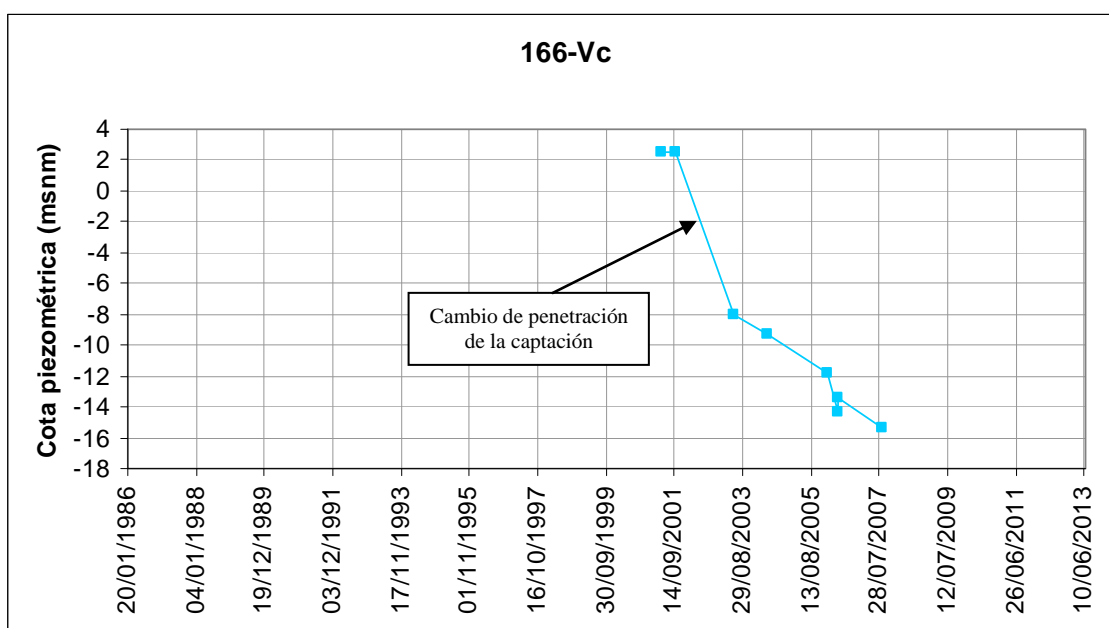
**Figura 10:** Ejemplo de análisis de la representatividad de puntos y medidas. Registro histórico de datos piezométricos del punto 697-D localizado en la zona confinada del AIO (zona estratégica i). Parte superior: registro completo de medidas, incluyendo niveles dinámicos y datos de 1994 que muestran su mezcla con el ASC (que se superpone al AIO en esta zona confinada). En la parte inferior se han filtrado los niveles dinámicos: se observa la tendencia general al descenso con el tiempo en el acuífero inferior.

FECHA	CLORUROS (mg/l)	NITRATOS (mg/l)
09/06/1990	698	0
30/06/1992	542	1
18/06/1993	544	2
04/03/1994	1393	147
11/03/1994	1349	146
31/08/1995	555	7
31/08/1996	474	3
13/12/1997	397	0
06/06/1998	430	4
19/11/1998	430	4
15/04/1999	403	3
10/07/1999	416	4
03/09/1999	360	2
09/12/1999	404	2
04/06/2000	420	3
31/05/2001	476	2
05/06/2001	476	0
24/10/2007	324	0
25/10/2008	328	0



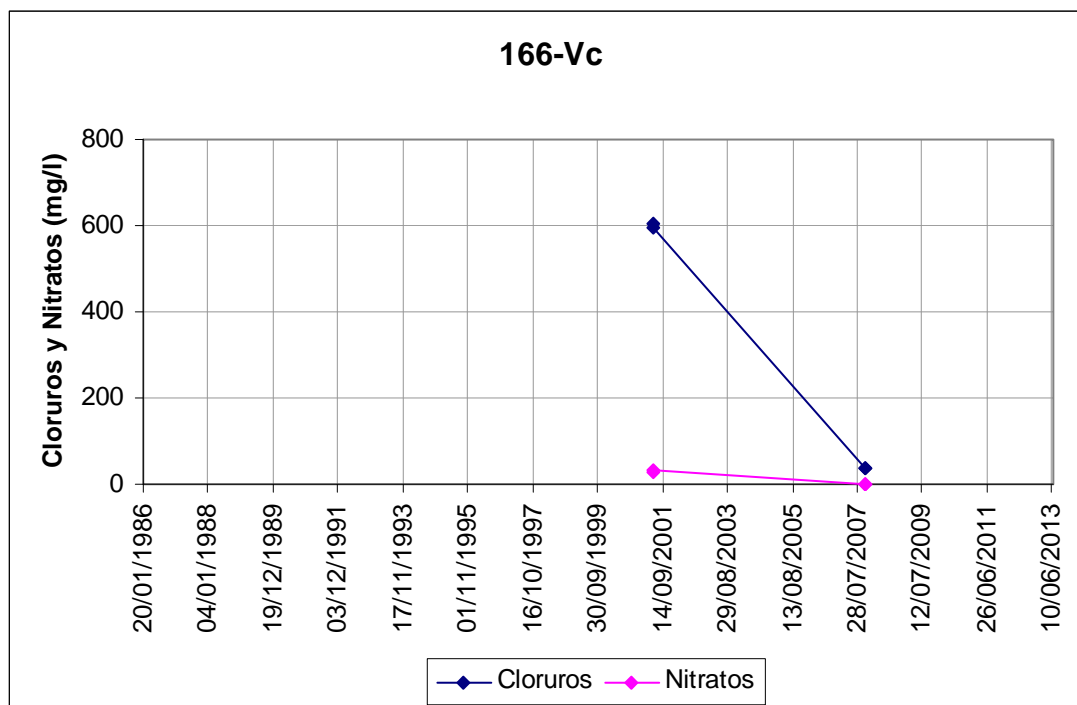
**Figura 11:** Ejemplo de análisis de la representatividad de puntos y medidas. Datos y representación gráfica de concentraciones de cloruros y nitratos del agua captada del sondeo 697-D y su repetición (762-D). La mezcla con el ASC (vía sondeo), que se observaba en el nivel del agua, queda patente con la variación de ambos contenidos en 1994. También se observa el descenso en cloruros de la mezcla del sondeo repetido (762D), con menor proporción de agua procedente del ASC que la muestreada en el sondeo primitivo en 2001.

FECHA	COTA (m)
03/05/2001	2,51
25/09/2001	2,48
03/06/2003	-8,06
24/05/2004	-9,34
31/01/2006	-11,84
17/05/2006	-14,29
22/05/2006	-13,44
27/08/2007	-15,41



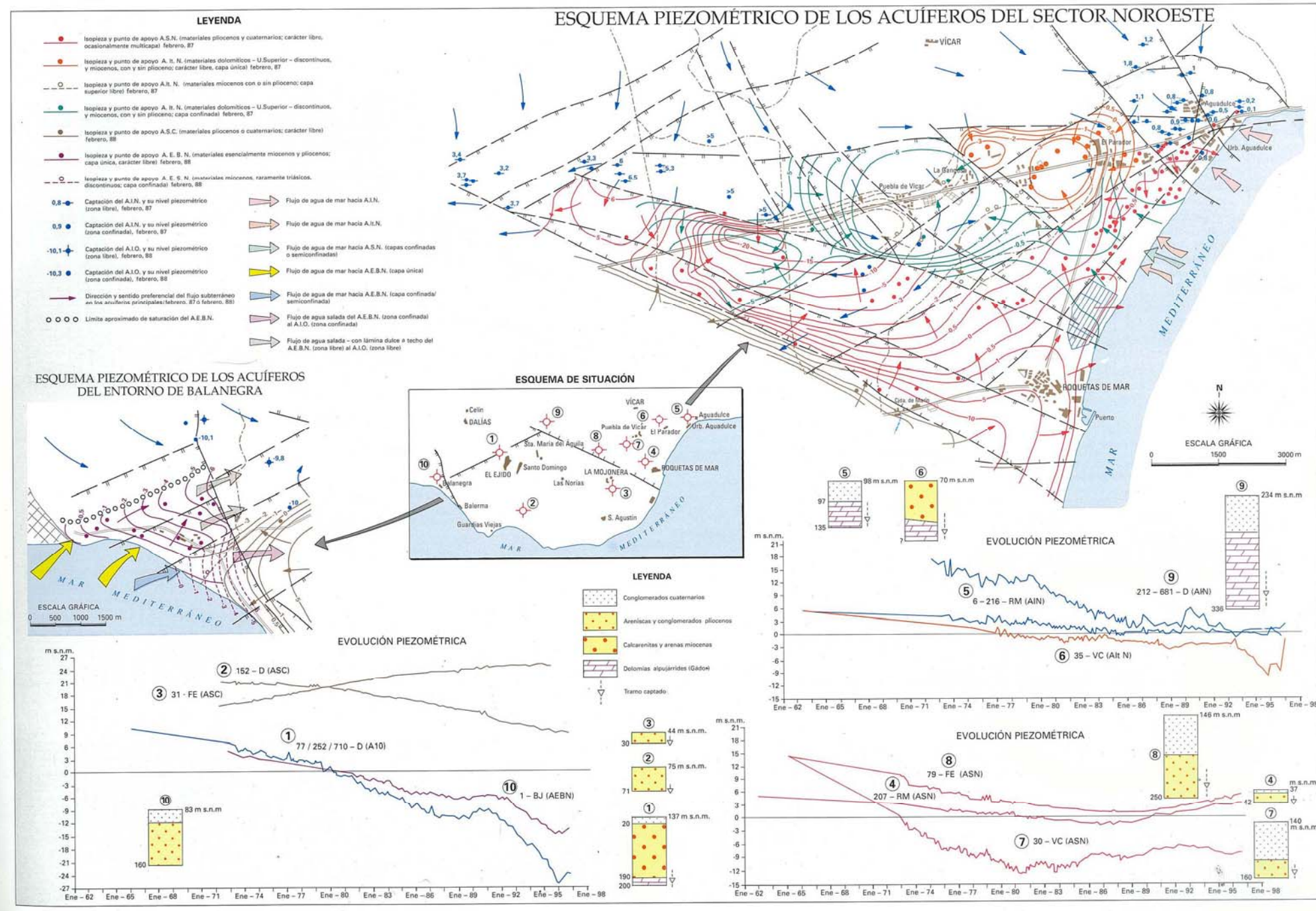
**Figura 12:** Ejemplo de análisis de la representatividad de puntos y medidas. Registro histórico de datos piezométricos del punto 166-VC: datos e hidrograma. El cambio deducido de penetración de la captación se produce entre 2001 y 2007. La Fig. 13 muestra un importante cambio en el contenido en cloruros y nitratos entre los años referidos, consecuencia de la modificación de las características de la obra.

FECHA	CLORUROS (mg/l)	NITRATOS (mg/l)
09/06/2001	604	30
09/06/2001	596	31
01/11/2007	39	1
01/11/2007	39	1



**Figura 13:** Ejemplo de análisis de la representatividad de puntos y medidas. Datos y representación gráfica de las concentraciones de cloruros y nitratos del agua captada del sondeo 166-VC. Se observa el reflejo en la calidad del agua del cambio de penetración del punto ocurrido entre 2001 y 2007, en que pasa de captar los acuíferos de cobertera a bombear sólo del AIN.

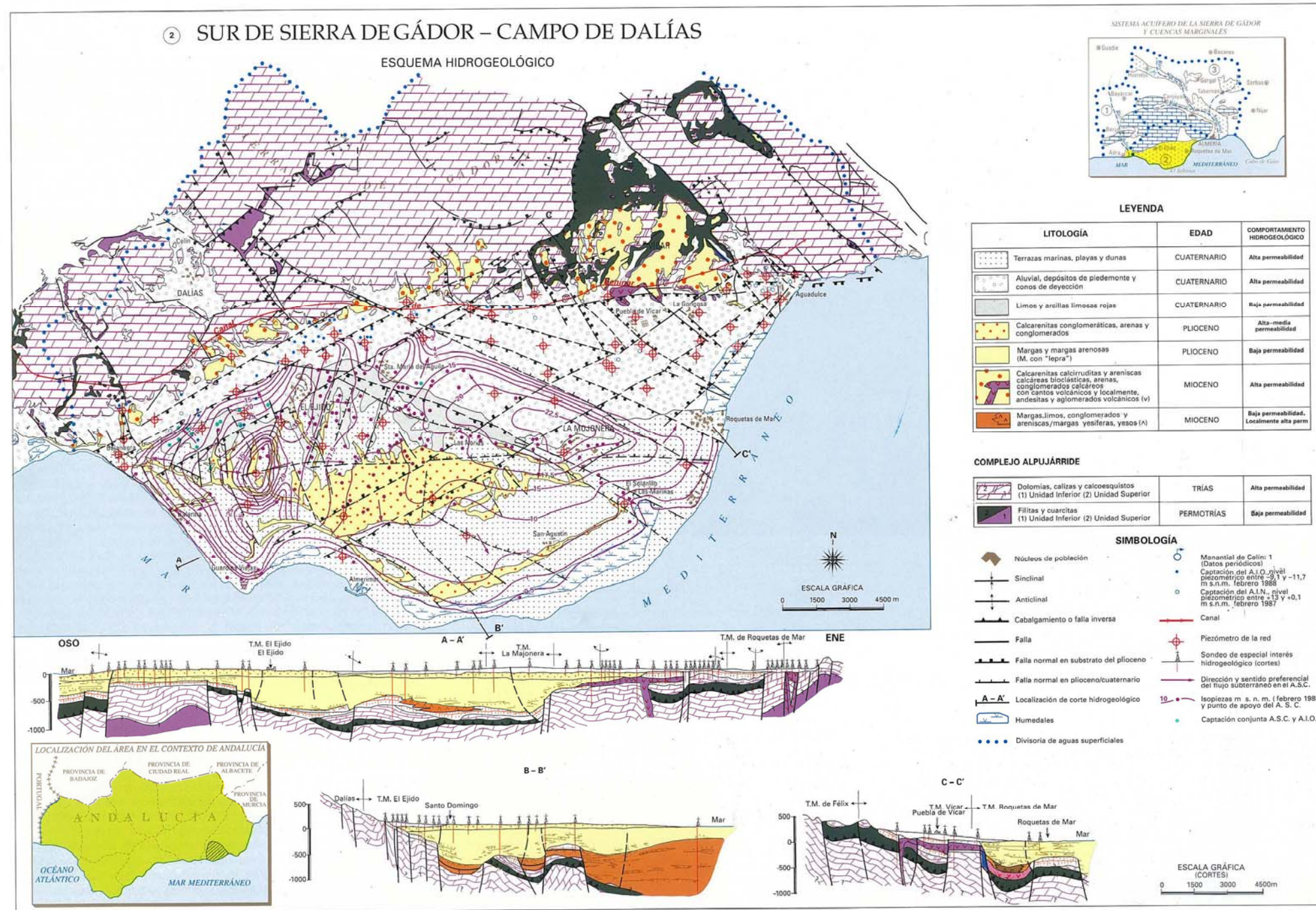




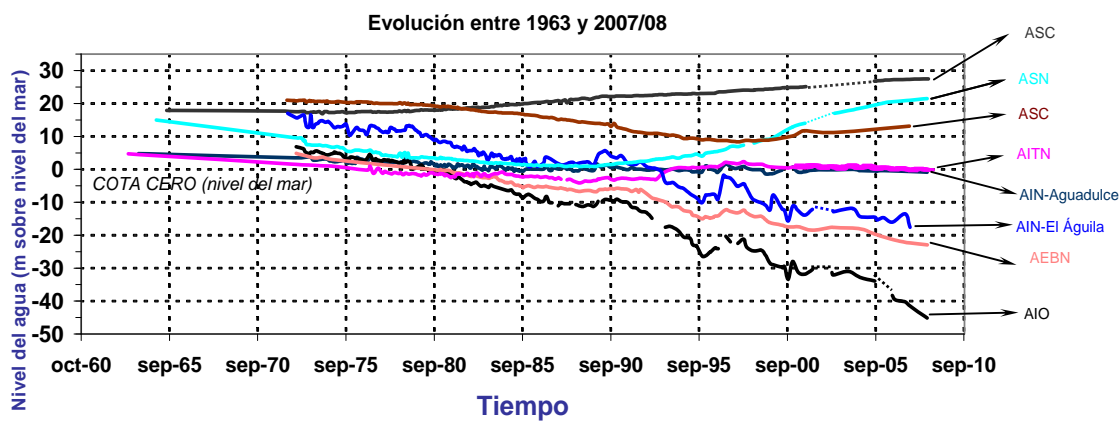
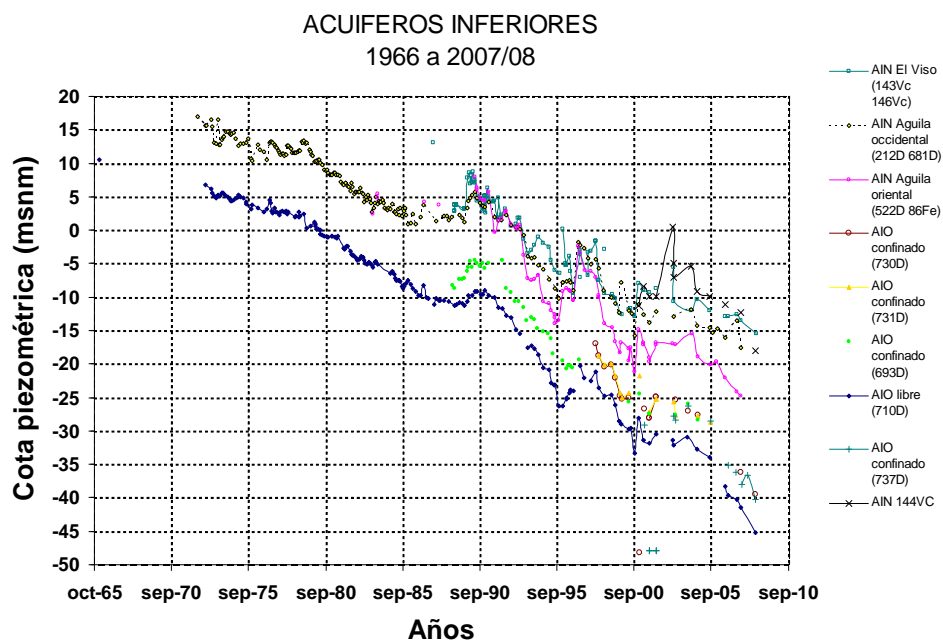
**Figura 14:** Hidrogramas de los principales acuíferos y esquema piezométrico de los acuíferos del sector noreste y del acuífero de la Escama de Balsa Nueva (AEBN). Figura realizada por el IGME para el Atlas Hidrogeológico de Andalucía (1998)





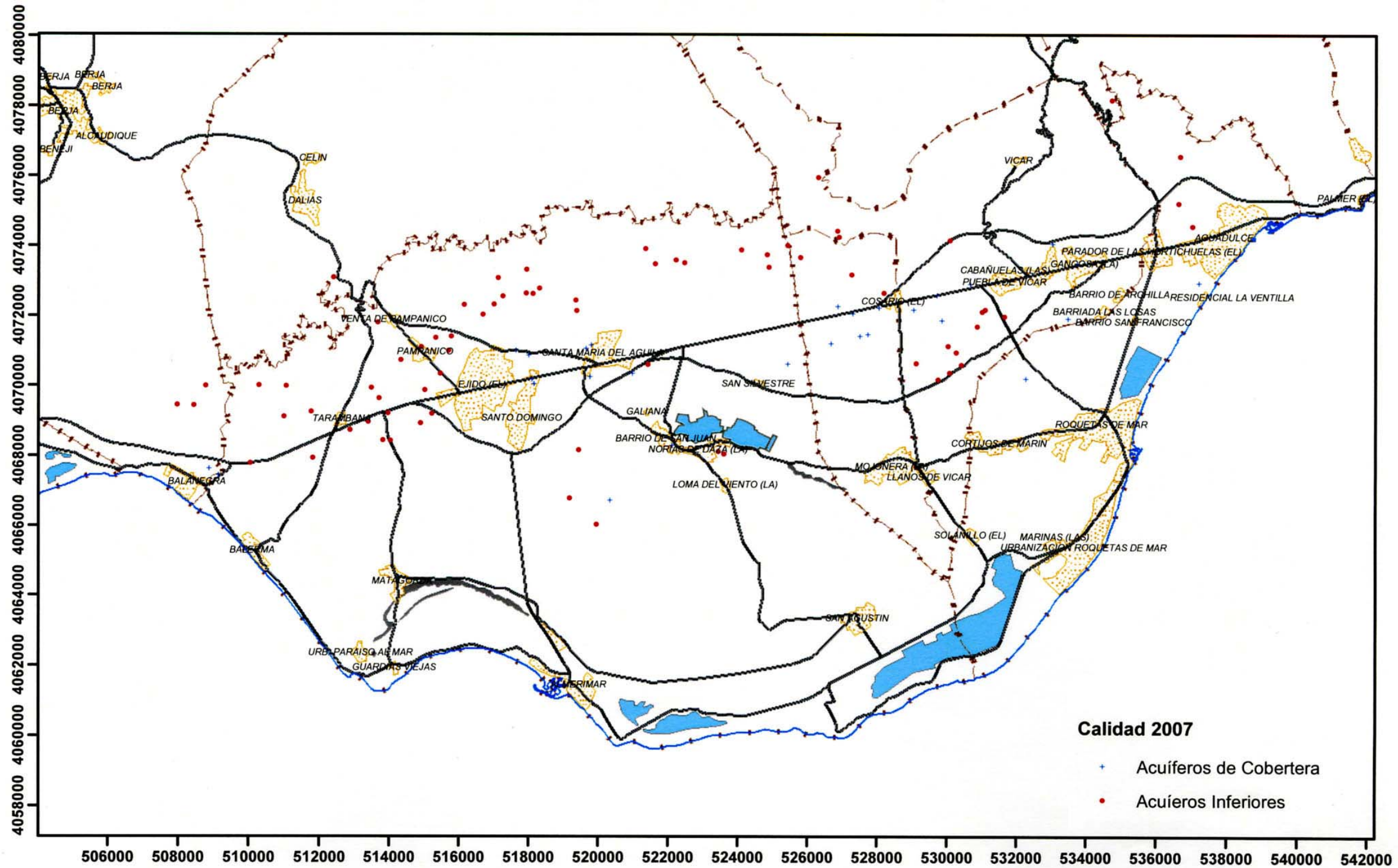


**Figura 15:** Esquema hidrogeológico de los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor - Campo de Dalías, incluyendo las isopiezas del Acuífero Superior Central (ASC). Figura realizada por el IGME para el Atlas Hidrogeológico de Andalucía (1998). Contiene detalles estructurales mejorados posteriormente.



**Figura 16:** Evolución piezométrica de los principales acuíferos del Sur de Sierra de Gádor-Campo de Dalías. Parte inferior: Hidrogramas característicos de estos acuíferos. En la parte superior se muestra el análisis detallado de la evolución del nivel del agua en los puntos de observación de los acuíferos inferiores (AIN y AIO).





**Figura 17:** Situación de puntos de observación de la calidad del agua en 2007, estudiados para estos trabajos. Se distinguen los correspondientes a los dos grupos principales de acuíferos: coberteras e inferiores.

<b>AIO (Acuífero Inferior Occidental)</b>		
<b>Puntos</b>	<b>Observaciones sobre el contenido en cloruros</b>	<b>Control de calidad</b>
731 D	Todos los datos registrados son similares salvo el último de 2007 (21 de noviembre), mayor que el resto, que podría indicar una tendencia creciente.	Verificado
730 D	En 2001 se registraron valores mayores que en 2007. Las dos últimas muestras tomadas en 2007 (14-15 de noviembre) alcanzan los mismos valores.	Verificado
711 D	Podría existir cierta tendencia creciente, si bien no es clara.	Verificado
454 Bj	En 2001 se registraron valores mayores que en 2007, siendo los valores de 2007 similares a los de hace aproximadamente 10 años. Aparentemente no existe variación con el tiempo de bombeo.	Verificado
726 D	Podría existir tendencia creciente, aunque hay mezclas.	Verificado
287 D	Hasta aproximadamente el año 1999 no se observa variación. A partir de 2001 existe una tendencia creciente.	Verificado
622 D	Desde mediados de los años 90 existe una tendencia creciente, que hasta el año 2001 es lenta y a partir de dicha fecha es más acusada.	Verificado
710 D	No se observa una tendencia clara. Los valores históricos son similares en este punto así como en el 252-D.	Verificado
712 D	Desde el año 2001 se observa una tendencia creciente, si bien en 1994 se registraron valores elevados que podrían ser indicativos de alguna modificación acaecida en el punto.	Verificado
719 D	Existe una tendencia creciente entre los años 2001 y 2007.	Verificado
722 D	Podría existir una tendencia creciente, si bien no es clara ya que hay escasos datos, dentro del rango de error.	
734 D	No se observa variación. No obstante hay escasos datos, dentro del rango de error.	Verificado
729 D/ 267 D	Si bien existe variación entre los años 2001 y 2007 observándose una tendencia creciente, los valores registrados son inferiores a los obtenidos en el punto 267-D en los años 80.	Verificado
90 D	Podría existir una tendencia creciente, si bien no es clara ya que hay escasos datos.	Verificado
469 Bj	Parece existir una tendencia decreciente.	Verificado
533 D	Podría existir una tendencia creciente, si bien no es clara ya que hay escasos datos.	Verificado
587 D	No existe variación.	Verificado
538 D	En 2001 se registraron valores mayores que en 2007. No obstante no puede establecerse una tendencia clara, dada la escasez de datos de los años 2000.	Verificado
717 D/ 235 D	Existe una tendencia creciente desde los años 90.	Verificado
74 D	No existe variación.	Verificado
761 D	Sustituye al 725-D. Los valores registrados son inferiores a los del punto 725-D, del orden de los que tenía este punto en los años 90.	Verificado
762 D	Sustituye al 697-D. Los valores registrados son inferiores a los del punto 697-D, por lo que parece mejor hecho que éste.	Verificado
767 D	Sustituye al 73-D. Los valores registrados son inferiores a los del punto 73-D en los años 80 y 90, por lo que parece mejor hecho que éste.	Verificado
77 D	No se observa variación. No obstante hay escasos datos, dentro del rango de error.	Verificado
66 D	Existió una tendencia creciente durante los años 80 y 90, si bien desde el 2001 al 2007 los valores registrados se mantienen constantes.	Verificado
770 D	Sustituye al 660-D. Los valores registrados son inferiores a los del punto 660-D, por lo que parece mejor hecho que éste.	Verificado

**Cuadro 2:** Observaciones preliminares, por puntos, del contenido en cloruros en el registro histórico: AIO. Los valores han sido verificados mediante la comparación de datos analíticos de distintos orígenes y análisis del registro histórico.



<b>AIN (Acuífero Inferior Noreste)</b>		
<b>Puntos</b>	<b>Observaciones sobre el contenido en cloruros</b>	<b>Control de calidad</b>
216 RM	En 2001 se registraron valores mayores que en 2007. No obstante no puede establecerse una tendencia clara, dada la escasez de datos de los años 2000.	Verificado
223 RM	Existe una tendencia creciente, siendo los datos de 2007 los más altos de los registrados en el punto. Dos muestras a 60 y 360 minutos de bombeo presentan concentraciones en cloruros semejantes, aunque distintas según el método de análisis.	Verificado
36 E	Valor de cloruros muy bajo (22mg/L)	Verificado
58 RM	No se observa variación. No obstante hay escasos datos, dentro del rango de error.	Verificado
144 Vc	Hasta aproximadamente el año 2000 no se observa variación. A partir de 2001 existe una clara tendencia creciente, que entre los años 2002-2004 es progresiva y a partir de 2004 es más acusada.	Verificado
116 Vc	Existe una tendencia creciente desde mediados de los años 90.	Verificado
86 Fe	No existe variación.	Verificado
721 D	Existe una tendencia creciente, si bien se desconoce desde cuándo dada la escasez de datos de los años 2000.	Verificado
537 D	Parece existir una tendencia creciente, si bien hay escasos datos, dentro del rango de error.	Verificado
536 D	No existe variación.	Verificado
212 D	No existe variación.	Verificado
143 Vc	Hasta aproximadamente el año 1996 no se observa variación. A partir de 1996 existe una clara tendencia creciente, siendo los datos de 2007 los más altos de los registrados en el punto.	Verificado
157 Vc	Hasta aproximadamente el año 2000 no se observa variación. A partir de 2001 se observa una cierta tendencia creciente, siendo los datos de 2007 los más altos de los registrados en el punto.	Verificado
171 Vc	Los valores registrados son muy bajos.	Verificado
162 Vc	A partir de 2001 existe una tendencia creciente, si bien ésta es muy lenta.	Verificado
<b>AEBN (Acuífero de la “Escama de Balsa Nueva”)</b>		
<b>Puntos</b>	<b>Observaciones sobre el contenido en cloruros</b>	<b>Control de calidad</b>
270 D	Parece existir una tendencia creciente, si bien hay escasos datos de variación con el tiempo de bombeo.	Verificado
456 Bj	Existió una tendencia creciente durante los años 80 y 90, si bien desde el 2001 al 2007 los valores registrados parecen tener una tendencia decreciente.	Verificado

**Cuadro 3:** observaciones preliminares, por puntos, del contenido en cloruros en el registro histórico: acuíferos AIN y AEBN

**b) TAREA 2: SELECCIÓN DE PUNTOS REPRESENTATIVOS DE CADA UNO DE LOS ACUÍFEROS, Y ESTUDIO DE SUS CARACTERÍSTICAS Y TENDENCIAS. INCLUYE DEFINICIÓN DE INCERTIDUMBRES PRINCIPALES POR ACUÍFEROS Y PLANTEAMIENTO DE NUEVAS ACTIVIDADES Y DE PUNTOS DE OBSERVACIÓN COMPLEMENTARIOS PARA MEJORAR SU CONOCIMIENTO A LO LARGO DE ESTA FASE DEL PROGRAMA.**

Como se expuso en la tarea anteriormente descrita de esta Partida 3 del Contrato, correspondiente al Trabajo 1E, la orientación de la selección de puntos representativos del mismo se orientaría hacia los que deberían de servir para mejorar, mediante el desarrollo de nuevas labores en ellos, las circunstancias esenciales del funcionamiento de los acuíferos inferiores, con influencia en sus aspectos de la calidad general del agua, así como para definir más adecuadamente de las características a tener en cuenta para el estudio de las Zonas estratégicas preferentes de dichos acuíferos inferiores.

De esta manera, como se dijo, los aspectos de calidad del agua de los acuíferos de cobertera se considerarían en el Trabajo 2B, asociados a la mejora del conocimiento en las Zonas estratégicas preseleccionadas de las mismas, orientada al establecimiento de acciones tendentes a la protección y regeneración de los acuíferos principales.

En este marco, y atendiendo de esta manera a las necesidades de conocimiento definidas en el apartado anterior, se seleccionaron, con el apoyo de la tarea 2 de la Partida 3 del Contrato, los puntos de mayor interés para dar respuestas sobre aspectos generales de la calidad de los acuíferos inferiores, llevando a cabo nuevas actividades de recogida de informaciones, mediante labores desarrolladas entre los años 2008 y 2009. Sin embargo, la discusión de estos resultados no quedó sintetizada hasta 2010, al tener que coordinarse con los procedentes de los diferentes Trabajos del Objetivo primero de la Fase I (resultados de los Trabajos 1A, 1B y 1C, esencialmente).

Durante 2008 y 2009 se presentaron documentos donde se explicaban las labores de mayor interés realizadas para esta selección de puntos de los acuíferos inferiores. En el año 2008 (en el Documento 111) se indicaba el planteamiento de una campaña de muestreo y registros continuos geofísicos en los puntos de la red de intrusión marina, a los que se añadirían muestras en bombeo y muestras en profundidad (éstas atendiendo a los resultados de los registros geofísicos). Para ello se analizaron los sondeos conocidos y nuevos con posibilidades de realización de este tipo de trabajos.

Circunstancias externas al Contrato (derivadas de otros Trabajos de la Fase I) produjeron un retraso, en la realización de la mencionada campaña de testificación, hasta marzo – abril del año siguiente.

Para preparar esta campaña en 2008 se estudiaron las necesidades de calibraciones y de las herramientas a utilizar (que deberían realizarse antes y durante la fase de campo) así como las circunstancias hidrogeológicas durante su realización, de las que debería quedar constancia recogiendo todos estos aspectos en los diarios de campañas. Todos estos planteamientos se llevaron a cabo en la campaña de marzo / abril de 2009, cuya descripción exhaustiva quedó en el

texto y anexos del volumen 2 del Documento 112, entregado en diciembre de 2009, del que se han incorporado algunos contenidos en el apartado b.1.

Los puntos estudiados en la citada campaña de testificación geofísica continua pertenecieron la mayoría a los acuíferos inferiores (AIN y AIO), si bien también hubo registros de algunos sondeos pertenecientes a acuíferos de cobertera (AEBN, ASC y ASN) en relación con los anteriores.

Para su estudio se preseleccionaron sondeos mecánicos atendiendo, en primer lugar, al modelo conceptual de acuíferos, así como al conocimiento sobre infraestructura de uso de los mismos y al registro histórico de diversas variables de interés.

Con la campaña quedaron descartados varios puntos: el sondeo de investigación 266RM (ya que la sonda no pudo pasar del nivel del agua), los sondeos de explotación abandonados 227RM y 72D; los sondeos 660D, 74D y 5D (al estar secos), los sondeos 697D y 735D (en los que no se pudo acceder a la zona de entrada de agua desde el AIO). Por otra parte, quedaron pendientes de una interpretación más minuciosa los puntos 12D, 8D y 724D, a contrastar su interés por la presencia de flujos verticales descendentes en los mismos, procedentes del ASC.

Corroboraron su interés los puntos: 265RM (aunque sólo accesible hasta 360 m, en lugar de los 516 m iniciales); 259RM, 253RM, 264RM (hasta menor penetración 324m), 252RM, 224RM (aunque en vez de registrarse hasta 158m, sólo se pudo hacerlo hasta 128m), 144VC, 162VC (previa desinstalación de la captación), 173VC (nueva captación, de gran interés, aunque la profundidad de observación quedó limitada por la reducción del entubado del sondeo a 800 m), 622D (sólo hasta 486m, pero con gran interés), 172VC, 157VC (sólo hasta 466 m), 167VC (solo accesible hasta 890m, de sus 1220 m de profundidad), 771D (sondeo nuevo, sólo acceso hasta 247 m de sus 280 m), 66D (291 m de sus 315 m), 228RM, 486BJ, 508BJ y 506BJ. Todos ellos seleccionados para actualizar el conocimiento general de la distribución espacial de la calidad general de los acuíferos inferiores.

Los puntos señalados quedaron también integrados en el Trabajo 2B (con el que se relacionó la Partida 4 de este Contrato) para alcanzar un mejor conocimiento de las Zonas estratégicas preferentes, en su objetivo de reducción de bombeos en los acuíferos inferiores y protección del AIO, junto con otros sondeos de los acuíferos inferiores de gran utilidad (en documento 5 del Informe).

#### b.1) Nuevas informaciones de interés para el objetivo de esta tarea: campaña de testificación geofísica de marzo – abril de 2009 (del Documento 112)

En la mayoría de las captaciones escogidas se intentó la toma, al menos, de 2 muestras, una lo más superficial posible y otra lo más profunda posible. En algunos casos se tomaron muestras intermedias entre estas dos, en función de la interpretación “in situ” realizada por el personal del IGME de los resultados obtenidos en los registros.

En todas las muestras tomadas se midieron “in situ”, en superficie, las siguientes variables: conductividad eléctrica, temperatura, pH y oxígeno disuelto. Las medidas de cada muestra se

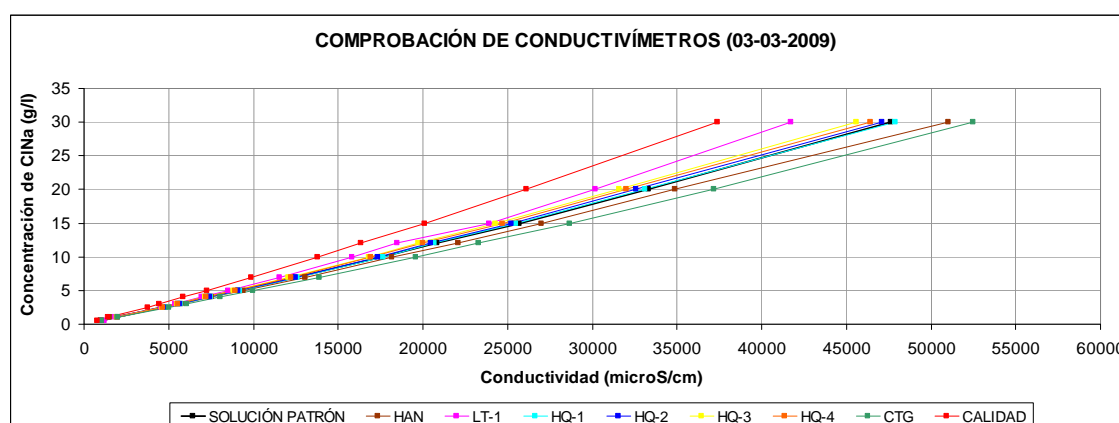
realizaron con dos aparatos (HQ-2 y HQ-3) con el fin de asegurar su representatividad, y se siguieron todos los protocolos necesarios para asegurar su calidad.

De cada muestra de agua se recogieron 5 muestras para poder llevar a cabo los siguientes análisis: microbiológicos, plaguicidas, mayoritarios, barrido de metales-metaloides e isótopos estables del agua. El tomamuestras empleado permitía la recogida, en las condiciones de toma más favorables, de 1 litro de agua como máximo, habiendo sido necesarias en la mayoría de los casos varias bajadas de la herramienta para alcanzar la cantidad de agua requerida para realizar los análisis de laboratorio.

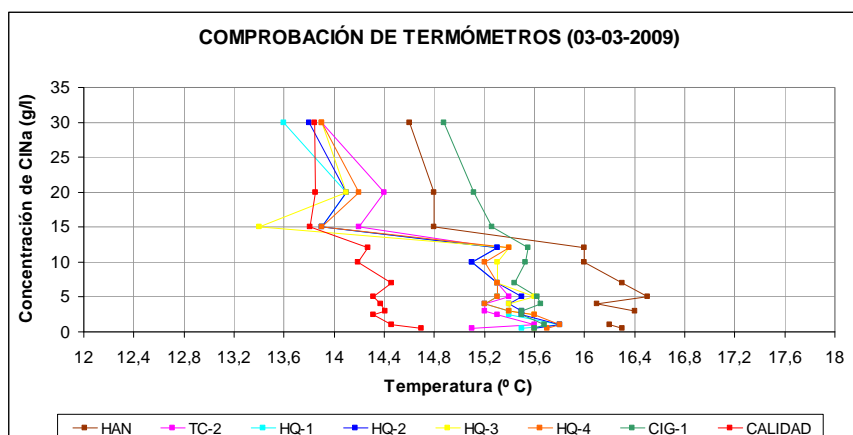
En total, sobre las muestras obtenidas en la campaña de testificación geofísica continua, realizada en marzo y abril de 2009, se planteó la realización de 1 análisis microbiológico, 32 análisis de plaguicidas, 50 análisis de mayoritarios, 50 análisis de metales-metaloides y 30 análisis de isótopos estables del agua.

En el diario de la campaña se describieron las fechas y condiciones de las operaciones realizadas (los niveles del agua obtenidos previamente al registro de cada punto, profundidades de registro, profundidades de las muestras de agua tomadas en profundidad y sus salinidades encontradas, tipos de analíticas realizadas posteriormente en cada muestra, etc.), así como los resultados de las calibraciones realizadas de los aparatos de medida utilizados, que asegurarían que las medidas de los distintos puntos eran comparables entre sí y con los datos recogidos en posteriores campañas de este tipo. Un ejemplo de calibraciones se presenta en las **figuras b.1.1** y **b.1.2**.

A lo largo de la campaña de testificación geofísica continua se llevó a cabo un seguimiento diario de la misma. Este seguimiento implicó, aparte de la asistencia y apoyo a los equipos de trabajo de campo, la comprobación de los resultados obtenidos "in situ" y contraste con lo previsto, la validación de las calibraciones realizadas y la gestión del envío de las muestras a los distintos laboratorios. Así mismo, se procedió a la comprobación previa y validación de los resultados de laboratorio recibidos (datos de trabajo).



**Figuras b.1.1:** comparación del comportamiento de medidores de Conductividad eléctrica del agua (25°C) con distintas soluciones patrón de concentración de ClNa (entre 1g/L y 30 g/L) realizada antes del inicio de la campaña de testificación.



**Figura b.1.2:** comparación del comportamiento de los termómetros utilizados.

La comprobación previa de medidas “in situ” se realizó comparando los valores de conductividad y temperatura obtenidos en la campaña con los registrados históricamente en los puntos, con el fin de comprobar si dichos valores eran similares o, en caso de que no lo fueran, si seguían alguna tendencia observable en los registros. Cuando en alguno de los puntos se observaron anomalías se indagaron las posibles modificaciones de las características constructivas de la obra o de explotación del punto.

Una revisión inicial de los resultados se realizó mediante la comparación con los registros analíticos históricos. Con la utilización de la aplicación de las bases de datos hidroquímicos gráficos se obtuvieron gráficos de la evolución histórica de las principales variables en cada punto. Estos gráficos de evolución de las principales variable hidroquímicas permitieron la observación, en cada punto, de las tendencias de cada variable, así como la detección de anomalías.

En los anexos del volumen 2 del Documento 112 se recogió diversa información relacionada con la campaña. En su Anexo 1 se incluyeron los registros obtenidos en campo, en base a los cuales se seleccionaron las localizaciones de las muestras en profundidad. En su Anexo 3 se recogieron los gráficos de evolución histórica de las principales variables hidroquímicas de las muestras obtenidas en los distintos puntos, ordenados por número de proyecto y acuífero, incluyendo todos los resultados de los análisis obtenidos hasta la fecha de finalización de la campaña. En el Anexo 4 se reunieron los informes de resultados de los distintos laboratorios, ordenados por las fechas de envío de las muestras al laboratorio. Del total de ensayos solicitados en la campaña (1 microbiológico, 32 plaguicidas, 51 de mayoritarios, 51 de metales-metaloides y 35 de isótopos estables del agua), hasta la fecha (20/10/09) se habían recibido todos los resultados salvo los de isótopos a la fecha de emisión del informe.

### c) TAREA 3: ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN ESPACIAL GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS PRINCIPALES ACUÍFEROS. RESULTADOS E INCERTIDUMBRES.

Se inició este análisis en 2009, mediante la comparación de los resultados parciales (que se fueron obteniendo) de las variables de interés, atendiendo a los tramos acuíferos y subacuíferos captados, y relacionando los valores encontrados en las mezclas de bombeo con los obtenidos de los registros en profundidad, en función de las características constructivas de cada punto, considerando los intervalos de profundidad exentos de flujos verticales desde otros acuíferos, y tomando como marco el modelo conceptual de funcionamiento de este conjunto de acuíferos.

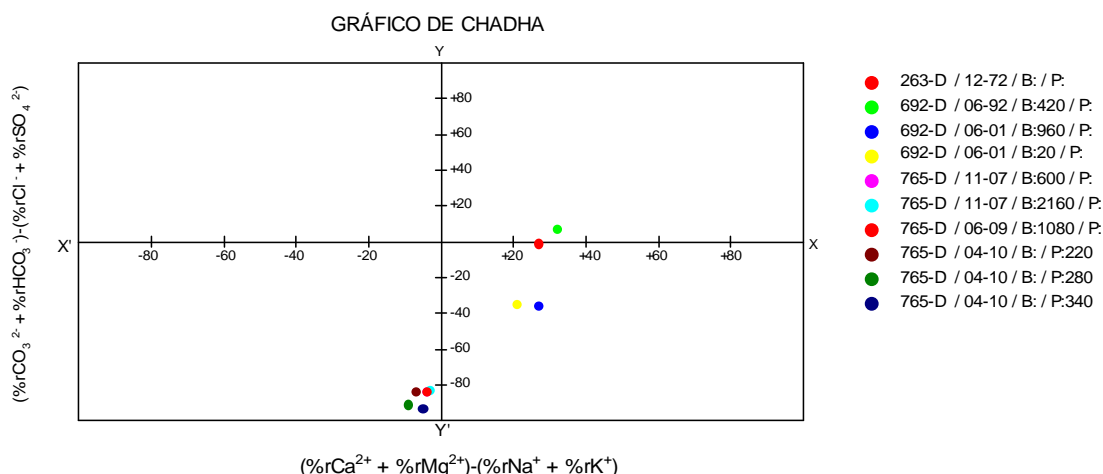
Debido a las circunstancias excepcionalmente húmedas del final de 2009 se planteó en 2010 la realización de una campaña de testificación geofísica, inicialmente no prevista, con la finalidad de observar qué influencia iba presentando en la distribución espacial del agua de los acuíferos inferiores esta recarga (la máxima de las últimas 7 décadas). En el volumen 2 del Documento 112 (de diciembre de 2009) se describieron en detalle las labores de esta campaña (ejecutada por la Actividad Administrativa 2, financiada por Acuamed); parte de su contenidos se exponen en el apartado c.1. Las interpretaciones quedaron recogidas en la tarea 4 de esta Partida 3 que se expone en el siguiente epígrafe (apartado d).

Con esta campaña se pudo observar, de forma directa, el aumento de la salinidad del agua del AIO con la profundidad. Un caso de gran interés fue el del sondeo 765-D abandonado por su excesiva salinidad del agua para las demandas de la zona. Los resultados observados, obtenidos de las muestras a 220 m, 280 m y 340 m se presentan en el cuadro c.1. Las características hidroquímicas del registro histórico de este punto (y de los sondeos 263-D y 692-D junto a éste, pero con menor penetración en el AIO) se presentan en la figura c.1.

Nº PROY	MUESTREO	FECHA	MUESTRAS	BAJADAS	EQUIPO	COND us/cm	TEMP ° C
765 D	220m	15/04/2010			HQ-2	1724	22,2
					HO-4	1727	22,2
	280m	15/04/2010			HQ-2	3810	21,9
					HQ-4	3830	21,7
	340m	15/04/2010			HQ-2	6720	22,5
					HO-4	6810	22,3

Cuadro c.1.: Datos de campo de los muestreos a tres profundidades realizados en el sondeo 765-D en abril de 2010, que corroboraron el aumento de la salinidad en profundidad en el AIO.





**Figura c.1:** Como ejemplo, contenidos químicos del agua de los puntos 263-D, 692-D y 765-D (1972 a 2010) localizados en el área de explotación de Tarambana del AIO.

Las elaboraciones hidroquímicas de la **figura c.1** correspondieron a muestreos en bombeo (menos los tres últimos tomados en profundidad) en 2010 (los indicados en el **cuadro c.1**). Se observó la disminución en el tiempo (detectada desde 2001) en porcentajes de bicarbonatos, calcio y magnesio, y el aumento en cloruros, sulfatos, sodio y potasio, efecto de la cada vez mayor influencia del agua marina con entrada lateral al AIO desde el acuífero costero AEBN.

Desde el inicio de la Fase I se tenía constancia de que las incertidumbres de mayor peso en cuanto a la variación espacial de la calidad se referían a la distribución vertical de la salinidad del agua en los acuíferos inferiores (consecuencia de la mezcla con el agua marina), por su mayor influencia en la pérdida de reservas dulces de dichos acuíferos, como quedó expresado en diversos documentos emitidos. Ello quedó ratificado en 2010 cuando pudo observarse que el agua de las captaciones del AIO alcanzaba ya la influencia de la distribución espacial de la salinidad procedente de la entrada del agua de mar desde el AEBN hacia el AIO.

Durante el año 2011, se completó este análisis de la variación de la calidad del agua en los acuíferos principales, con los datos existentes hasta dicha fecha, para quedar incorporado en el Documento 155 de junio de 2011 (en Anexo 13 de la Memoria Final, de avance de los resultados de los principales trabajos de la Fase I, entre ellos el Trabajo 1E al que se asocia la Partida 3 de este Contrato) y finalmente reflejados en dicha Memoria Final de la Fase I, emitida en agosto de 2014.

c.1) Nuevas informaciones de interés para conocer la influencia de la recarga excepcional ocurrida en 2009/10 en la distribución espacial de la calidad de los acuíferos inferiores (del Documento 113, de diciembre de 2010).

En la campaña de testificación geofísica continua realizada en abril y junio de 2010 se registraron un total de 35 puntos. De estos, 29 se encontraban desinstalados o se han desinstalado expresamente para realizar los registros, y 6 se encontraban instalados, habiéndose podido realizar, en 5 de estos puntos, **registros en régimen dinámico gracias a la instalación de un tubo de PVC entre las tuberías de elevación y de entubación**. Los tubos de PVC instalados tienen un diámetro de 0.075m y una longitud de 1-2m bajo la bomba, y se encuentran ranurados desde 1-2m sobre la bomba hasta por encima del nivel del agua. Se tomaron un total de 77 muestras en

profundidad, así como 99 muestras en bombeo simultáneas a los registros geofísicos, en aquellos puntos en los que la instalación del tubo de PVC lo hizo posible. En las siguientes fotografías se muestran algunos de los puntos en los que se ha realizado la instalación del tubo de PVC.

Para realizar el muestreo en profundidad, en la mayoría de las captaciones escogidas se intentó la toma, al menos, de 2 muestras, una lo más superficial posible y otra lo más profunda posible. En algunos casos se tomaron muestras intermedias entre estas dos, en función de la interpretación “in situ” realizada de los resultados obtenidos en los registros. En cuanto al muestreo en bombeo, se realizaron tomas al inicio del bombeo, a los 5-10 minutos de bombeo, y cada 10 minutos hasta unos 120-140 minutos de bombeo, espaciándose seguidamente las tomas hasta hacer coincidir la última, en los casos en los que fue posible, con el máximo tiempo antes de la parada del bombeo. La toma de muestras en bombeo simultáneas a los registros permitieron la comparación de los resultados obtenidos en bombeo con los resultados de los registros y de los muestreos en profundidad.



**Figura c.1.1.**- Instalación de tubo de PVC en el punto 622-D (AIO, área profunda)



**Figura c.1.2.**- Instalación de tubo de PVC en punto 782-D (AIO, área de Pampanico)

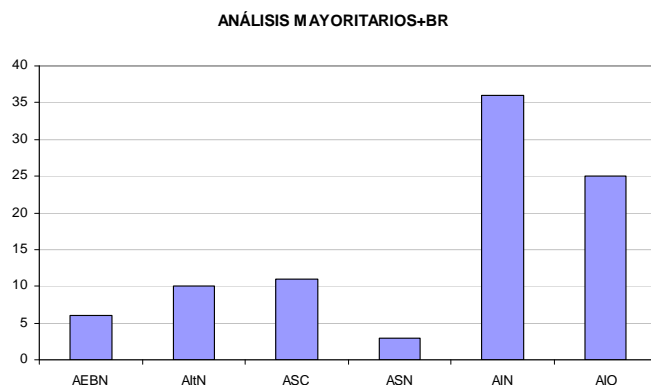


**Figura c.1.3.-** Instalación de tubo de PVC en punto 794-D (AIO, área de Tarambana)

En todas las muestras tomadas, a excepción de algunas de las tomadas en bombeo, se midieron “in situ”, en superficie, las siguientes variables: conductividad eléctrica y temperatura. Con el fin de asegurar su representatividad, las medidas de cada muestra se realizaron con dos aparatos (HQ-2 y HQ-4, salvo en el caso de algunas de las muestras tomadas en bombeo en uno de los puntos, en las que se utilizaron LT-1 y LT-2), habiéndose seguido todos los protocolos necesarios para asegurar su calidad.

De cada muestra de agua se recogió una botella para poder llevar a cabo análisis mayoritario y Bromuros, habiéndose recogido en algunos puntos 2 botellas de cada muestra para poder realizar también barrido de metales-metaloides.

En total, sobre las muestras obtenidas en la campaña de testificación geofísica continua, realizada entre abril y junio de 2010, se realizaron 91 análisis de mayoritarios y Bromuros (74 en muestras tomadas en profundidad y 17 en muestras tomadas en bombeo durante los registros en dinámico) y 7 análisis de metales-metaloides (en muestras tomadas en profundidad). En la **figura c.1.4** se muestra el reparto de análisis químicos realizados por acuíferos: el estudio estaba principalmente enfocado a la distribución espacial de la calidad en los acuíferos inferiores, tras las importantes recargas por lluvias ocurridas al inicio de 2009/10.



**Figura c.1.4.-** Número de análisis de iones mayoritarios realizados por acuíferos.

#### d) TAREA 4: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE LA ENTRADA DE AGUA DE MAR Y SU EVOLUCIÓN EN LOS ACUÍFEROS AFECTADOS. RESULTADOS E INCERTIDUMBRES.

Los resultados del apoyo prestado a este análisis, mediante esta tarea de la Partida 3 fueron obtenidos en su mayor parte durante 2009, y concluidos en 2010/11. El 0.02% residual del coste de la tarea se aplicó en apoyos de lo actualizado (para ser incorporados a la Memoria Final) de los datos obtenidos por el IGME entre 2012 y 2013 fuera del Convenio. Los resultados generales a los que contribuyó esta tarea son, sin duda, los de más trascendencia del Contrato NET 965081, incorporados al Trabajo 1E y 2E de dicha fase, por dedicarse al problema de mayor influencia para la pérdida de posibilidades de uso de los acuíferos inferiores (que suponen, como se sabe, del orden del 80% del global del bombeo de abastecimiento a las demandas de la Comarca y de la ciudad de Almería).

Es por ello que, desde el inicio de la Fase I y del citado Contrato, se fueron avanzando las interpretaciones sobre el progreso de los resultados alcanzados, que repercutirían en la toma de decisiones sobre el desarrollo de otros Trabajos de esta fase. Estos avances fueron integrados en los documentos anuales de este Contrato (de 2009 y 2010, Documentos 112 y 113) y en los realizados desde 2011 a 2013 y, finalmente, expuestos en el capítulo 6 de la Memoria Final de la Fase I (todos ellos integrados en formato digital en el Anexo 13 de dicha Memoria).

Cuando las interpretaciones de las primeras campañas de seguimiento del avance de la entrada de agua salada en profundidad, en los acuíferos inferiores, dieron como resultado la detección del mismo hacia las áreas de explotación del AIN (El Águila y El Viso), se emitió el primer informe sobre los resultados de la Fase I acerca de este problema (en documento 53, cuyo esquema explicativo del avance de la salinización en los acuíferos inferiores se muestra en la **figura d.1**). Esta información se transmitió a la Comisión de Seguimiento del Convenio, por la necesidad de conocer en qué circunstancias se encontraba el AIO: no se conocía el grado de progresión de esta salinización y el tiempo en que alcanzaría su influencia en las captaciones de explotación del agua del acuífero inferior, al ser totalmente opaco a la observación de la distribución de la salinidad con la profundidad (por falta de sondeos mecánicos para ello) aunque se conocía que ocurría desde el inicio de la década de 1980.

Ello dio lugar al desarrollo de tareas para la localización y definición de objetivos principales de 13 estaciones potenciales de control de la salinización en profundidad (Red ROPSAI, **figura d.2**), diseño integrado en el Documento 34 (también emitido a las Partes del Convenio e incluido en el Documento 112), a partir del que, desde el equipo de trabajo de la Fase I, se desarrollaron proyectos con objetivos de prescripciones hidrogeológicas de apoyo a los de ejecución de dichas estaciones.

Las labores realizadas en 2010 para conocer el avance de los procesos de salinización en los acuíferos inferiores (que quedaron incluidas con detalle en el volumen 2 del Documento 113) fueron fundamentales, al estar apoyadas en la aplicación de metodologías específicas (con realización simultánea de registros geofísicos verticales y bombeos) para conocer de forma directa la presencia de incremento de salinidad a penetraciones determinadas en la vertical de estos

acuíferos (AIN y AIO). Estas actuaciones se pudieron realizar con el apoyo de los usuarios, que sufragaron, o al menos facilitaron, la adaptación de sus obras a la ejecución periódica de este tipo de las mismas. De esta manera, se adaptaron cuatro sondeos de observación en el AIO (dos en su área de explotación de Tarambana y otros dos en la de Pampanico) y un único sondeo en el AIN (área de El Águila), intentándose en dos localizaciones más en el área de explotación de El Viso de este acuífero, sin que ello pudiera llevarse a cabo.

Con las instalaciones referidas se pudo constatar la existencia de aumento de la salinidad en profundidad en las áreas explotadas de los dos acuíferos inferiores. Esta circunstancia era ya conocida para las zonas de bombeo de El Águila y El Viso del AIN, desde el año 2009. Para el AIO, la influencia de la salinización en profundidad en las captaciones de explotación se descubrió en el año 2010. Se dedujo de los datos que la salinización de las reservas dulces del acuífero (por efecto de la entrada de flujo lateral de agua marina desde el acuífero costero de cobertera AEBN en relación con el inferior) había llegado ya a la cota de penetración de captaciones de explotación de las áreas de Tarambana y Pampanico, aunque no es conocido el alcance de la secuencia de rangos en la vertical de las reservas del acuífero y cómo se está produciendo la evolución de la misma, información de gran importancia para establecer su forma de progresión. Dado el mecanismo de entrada del agua salada a este acuífero inferior, únicamente cabe pensar en un avance del mismo si no se llevan a cabo operaciones para frenar este flujo contaminante.

Sin embargo, las citadas instalaciones en sondeos particulares de registro - bombeo no resultan suficientes para conocer la distribución vertical de la salinización en ninguno de los dos acuíferos inferiores, dadas sus escasas penetraciones y deficiente distribución espacial. Se precisa la ejecución de sondeos específicos de la red de Observación de la Salinización de los Acuíferos Inferiores (ROPSAI), cuanto antes, al objeto de disponer de estaciones donde medir cómo evoluciona la distribución de la salinidad de cada acuífero en lo posible de la vertical y horizontal de su tramo saturado, y constatar la eficacia de las operaciones de disminución de bombeos que se practiquen en la Fase II.

Mediante la comparación de los nuevos datos (de bombeo, registros y muestras en profundidad) en puntos representativos y el registro histórico de los mismo,s se fueron confirmando las tendencias y variaciones espaciales de la salinidad por áreas de explotación durante los períodos de observación. Un buen ejemplo de estas comparaciones fueron las incluidas en el Documento 113, que se muestran en los cuadros d.1 y d.2.

<b>Cuadro d.1</b>	<b>Punto</b>	<b>Observaciones sobre concentración de Cloruros en mezclas de bombeo y de informaciones obtenidas en profundidad</b>
AIO- Tarambana	454BJ	Valores dentro del rango histórico, con máximo en 1999-2001
	763D	Mezclas de bombeo: máximo observado el 4/09. Los valores de 2.010 son similares a otros de 08/09. Con el registro-bombeo del 5/10 se demuestra la salinización en profundidad: a 152 mbnm va aumentando la salinidad con el tiempo de bombeo (desde 1,8 a 2,5 mS/cm con la sonda CGT)

<b>Cuadro d.1</b> <b>Acuífero -</b> <b>Area</b>	<b>Punto</b>	<b>Observaciones sobre concentración de Cloruros en mezclas de bombeo y de informaciones obtenidas en profundidad</b>
	794D	Máximo observado el 9/09 con un tiempo de bombeo muy alto. En la actualidad sólo se arranca para conservar la bomba de aspiración debido a la salinidad alcanzada en bombeo. Con el registro-bombeo del 5/10 se demuestra la salinización en profundidad: a 202 mbnm va aumentando lentamente la salinidad con el tiempo de bombeo (desde 2,4 hasta 2,6 mS/cm con la sonda CGT), aunque no llega a los valores registrados el 9/09, lo cual puede ser consecuencia de un tiempo de bombeo mucho menor para el ensayo del 5/10.
AIO- Pampanico	712D	Máximo observado 5/10. En 2001 disminuía con el tiempo de bombeo, situación que no ocurre al menos desde 2007.
	726D	Máximo observado el 6/09; los valores de 2.010 son similares a 2008.
	782D	Máximo observado el 9/09 (correspondiente al máximo tiempo de bombeo de las mezclas). Los de 2.010 son de mucho menor tiempo de bombeo, similares al 6/09. Los datos del registro-bombeo del 5/10 hay que interpretarlos en detalle.
	784D	Máximo observado el 4/09; los valores de 2.010 son similares a 2008.
AIO- Tomillar	717D	No hay aumento de su salinidad en 2001-2010.
AIO- Profunda	622D	Máximo observado el 8/09, los de 2.010 son similares al 2008. Tiene una variación importante con el tiempo de bombeo. Con el registro-bombeo del 5/10 se observa a 366 mbnm un aumento de la salinidad de 1,3 a 2,5 mS/cm, para la sonda CGT

**Cuadro d.1:** Ejemplos de comparaciones, por puntos y áreas para el conocimiento de la evolución de la salinidad en el AIO. Del documento 113, de 2010.

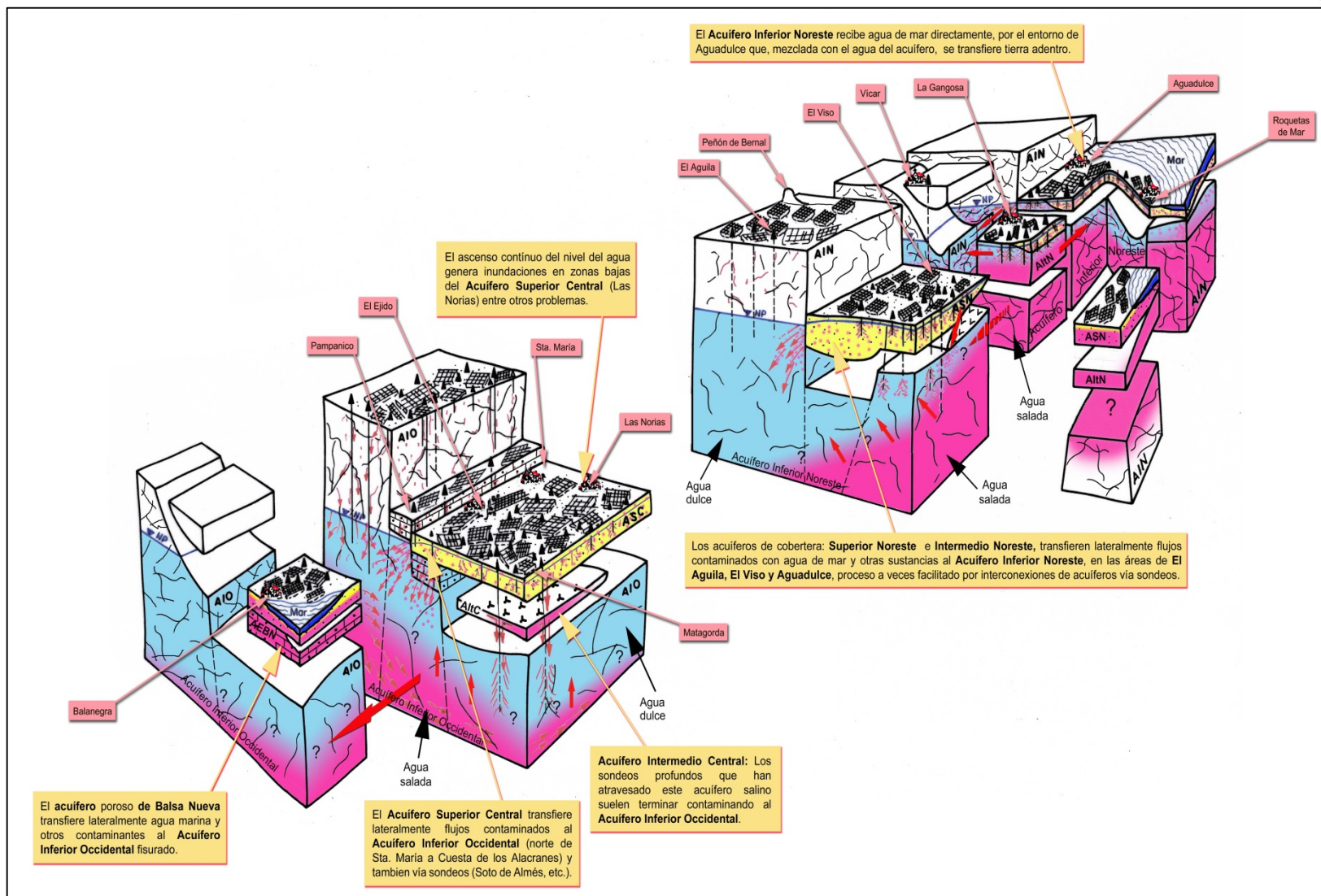
A partir de 2011, lo que quedaba de esta tarea se empleó en algunos apoyos para recoger las informaciones obtenidas de otras actuaciones del IGME complementarias a lo convenido e incorporadas a la Memoria Final de la Fase I.

<b>Cuadro d.2</b> <b>Acuífero - Area</b>	<b>Punto</b>	<b>Observaciones sobre concentración de Cloruros en mezclas de bombeo</b>
AIN- Aguadulce	216RM	Máximo observado en la década de 1990. Valores de 2010 en el rango de los obtenidos en 2007-2009.
AIN- El Viso	173VC	Tiene datos desde 3/09 a 3/10. Máximo observado el 3/10. Parece que existe una tendencia al aumento desde el 10/09, aunque tiene pocos datos.
AIN- Vúcar	172VC	Máximo observado el 5/10. Los datos de mezclas de bombeo de 2009 corresponden a tiempos de extracción mucho más bajos. Aumenta la salinidad con la profundidad y con el tiempo de bombeo.
AIN – El Águila zona oriental	525D	Máximo observado el 5/09. Aumenta con el tiempo de bombeo. El valor del 2/10 es menor, aunque tiene menor tiempo de extracción que en la otra muestra de 2.010.
	708D	Máximo observado el 4/10, disminuye el 10/10 a valores entre los observados el 4 y 10/09, aunque se desconoce en que condiciones de bombeo se obtuvieron las muestras, que corresponden al D.H.C Mediterráneas.
	102FE	Tiene datos desde el 12/09 al 3/10. Aumenta la salinidad en profundidad. Escasos datos para apreciar evolución temporal en este período.

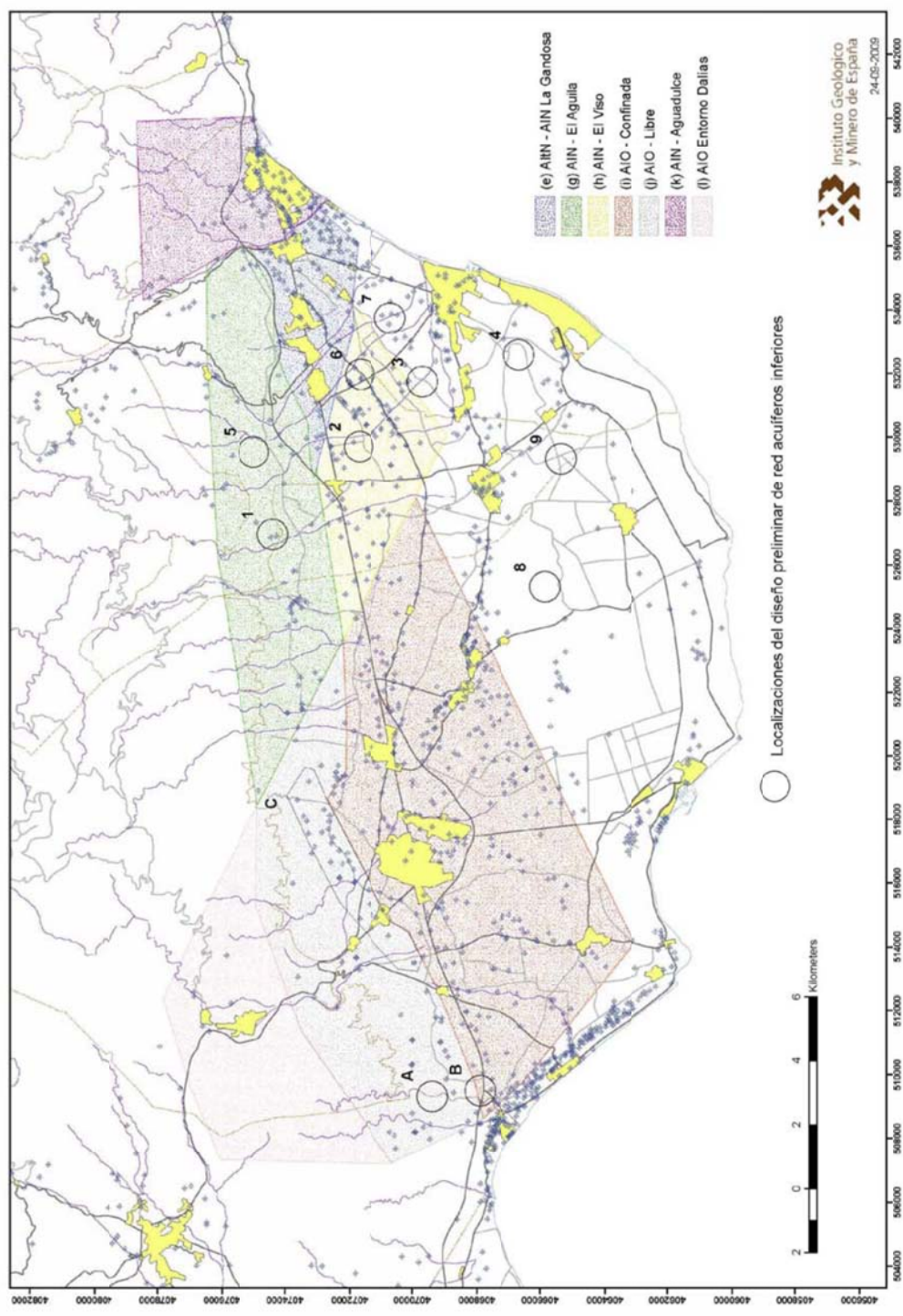


<b>Cuadro d.2 Acuífero - Area</b>	<b>Punto</b>	<b>Observaciones sobre concentración de Cloruros en mezclas de bombeo</b>
	116VC	Máximo observado en enero y marzo de 2010. Aumenta con el tiempo de bombeo. Los valores de mayo y junio de 2.010 son menores que los del período anteriormente citado, aunque también corresponden a menores tiempos de bombeo.
	144VC	Máximo observado el 4/08. Aumenta la salinidad con la profundidad y con el tiempo de bombeo. Los valores de las mezclas de bombeo del 3/09 y del 6/10 son similares, correspondiendo a tiempos de extracción semejantes. En el registro-bombeo del 5/10, se detecta un aumento de la salinidad con el tiempo de bombeo en el tramo inferior.
	171VC	Máximo observado el 5/10 y el 9/09. Desciende el 3/10 y el 6/10.
<b>Acuífero - Area</b>	<b>Punto</b>	<b>Observaciones sobre concentración de Cloruros a penetraciones específicas</b>
AIN- El Viso	157VC	Aumenta con la profundidad y con el tiempo de bombeo. No está clara la variación entre el 3/09 y el 5/10. Para la última fecha, es mayor la salinidad a 289 mbnm (198 mg/L) y algo menor a 393 mbnm (1768 mg/L, frente a 1880 mg/L el 3/09).
AIN- Aguadulce	224RM	No se puede observar por debajo de 125 m de profundidad. Puede existir aumento entre 3/09 y 9/09, y disminución aparente entre 9/09 y 4/10, pero está afectado por mezclas de tramos.
	252RM	Datos el 3/09 y el 4/10. Máximo observado el 4/10, alcanzado también el 4/96.
	256RM	Tiene dos medidas en 2010: el 4 y el 6/10. Disminuye algo la salinidad desde la primera a la segunda medida de 2010.
	259RM	Medidas el 3/09, 9/09 5/10 y 6/10. Las diferencias son pequeñas, algo mayores el 6/10. Se observa un mínimo relativo el 6/2001.
	264RM	Medidas del 3-4/09, 9-10/09, 4-6/10. Hasta la cota 256 mbnm los valores mayores de toda la serie histórica se observan en 2010. Desde allí hasta 300 mbnm los máximos podrían estar en abril de 1996. Son mayores los valores obtenidos en 2010 que los de 2009.
	265RM	Los valores máximos entre las cotas 150 – 230 mbnm se observan en 2010 (abril-junio), respecto a las medidas obtenidas en marzo-abril de 2009. A 260 mbnm podría ser más alta la salinidad en 2009 que en 2010, aunque a 288 mbnm es mayor en el 2010.

**Cuadro d.2:** Ejemplos de comparaciones, por puntos y áreas para el conocimiento de la evolución de la salinidad en el AIN. De mezclas en bombeo (superior) y de registros y muestras en profundidad (inferior). Del documento 113, de 2010.



**Figura d.1:** Modificación de la Figura 15 de IGME (2003) de esquema de los principales procesos que afectan a la sostenibilidad de los acuíferos del Campo de Dalías. Del documento 53 de 2009.



**Figura d.2:** Situación de esquema preliminar de red potencial de observación en profundidad de la salinización de los acuíferos inferiores, con las Zonas estratégicas de éstos. Del Documento 34.

**e) TAREA 5: ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE EMPEORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA POR MEZCLAS DE AGUAS DE ACUÍFEROS (DE DISTINTO ORIGEN Y POR DIFERENTES PROCESOS), Y COMO CONSECUENCIA DE OTRAS CAUSAS. RESULTADOS E INCERTIDUMBRES.**

Se trata de todos los procesos, a excepción de la salinización de los acuíferos por entrada de agua de mar, que producen un empeoramiento en la calidad del agua de los acuíferos de la zona. Las observaciones estudiadas muestran que las tendencias negativas siguen progresando, al no haber quedado interrumpidas las causan que las originan.

Dentro de este apartado se encuentran los incrementos en sustancias procedentes de las actividades antrópicas sobre la superficie de los acuíferos (agroquímicos y las derivadas de la presencia de aguas residuales urbanas con diverso grado de tratamiento), así como los derivados de las mezclas de aguas entre acuíferos por efecto del funcionamiento hidrogeológico del conjunto de acuíferos, por transferencias de flujos entre los mismos en sus zonas de relación.

La tarea se desarrolló entre 2009 y 2011, con un mayor esfuerzo en 2009 por ser en dicho año cuando se obtuvieron los resultados de la mayoría de las nuevas informaciones en campo, aunque éstas hubieron de terminar de elaborarse en 2010 y sintetizarse para su inclusión futura en la Memoria Final durante 2011.

En el documento anual de 2010 (volumen 2 del Documento 113) se reflejaron dos aspectos específicos: la interpretación de la influencia en la calidad del agua por las mezclas entre acuíferos de cobertera e inferiores, mediante metodologías adaptadas a la problemática de este sistema de acuíferos y la incidencia de plaguicidas en la zona saturada de los acuíferos, como actualización de estos objetivos iniciados en 2009. Los resultados de esta tarea de la partida 3 del Contrato quedaron contenidos en la memoria Final de la Fase I, complementados con los de otras Actividades Administrativas del Convenio que participaron en el Trabajo 1E.

Respecto al primer objetivo anteriormente citado, de **interpretación de la influencia en la calidad del agua por las mezclas entre acuíferos de cobertera e inferiores**, su estudio mostró un gran interés, dado el funcionamiento hidrogeológico del sistema de acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías, actualizado durante la Fase I, con presencia de flujos de entrada de agua desde los acuíferos de cobertera a los inferiores.

Teniendo en cuenta que, originalmente (en régimen natural de funcionamiento), las calidades del agua en los acuíferos de cobertera eran peores, en general, que las calidades naturales en los acuíferos inferiores, esta relación de flujos tenía que producir, como consecuencia, el empeoramiento de la calidad del agua de las áreas de los acuíferos inferiores que recepcionaban estos flujos algo más salados. Sin embargo, dado el proceso de salinización que sufren ya los dos acuíferos inferiores, el proceso de mezcla entre coberteras e inferiores hay que considerarlo también en su aspecto de aportación de entradas a los acuíferos principales.

Como no se cuenta con una red de observación de la calidad del agua en profundidad de los acuíferos inferiores (ROPSAI), donde poder medir directamente la distribución vertical de la calidad del AIO y el AIN, fue necesario aplicar una metodología específica para investigar la influencia de



los flujos de las coberteras, teniendo en cuenta la problemática de estos acuíferos, y adaptada a las captaciones ( y tipos de muestreo en las mismas) que han estado disponibles para este estudio.

La citada metodología utilizada se basa en la observación del acuífero a través de sus captaciones particulares, teniendo en cuenta que, para una misma localización (o vertical) pueden existir dos o más sondeos mecánicos de distinta penetración, realizados a lo largo del tiempo. También se basa en la observación de lo que ocurre en la calidad del agua de una captación dada, por efecto del aumento del tiempo de bombeo y por efecto del tiempo histórico.

Así, para **la detección de la influencia de la presencia de los flujos de las coberteras** en los acuíferos inferiores, se tuvieron que tener en cuenta las siguientes consideraciones para los casos que se describen:

Caso 1) distintas penetraciones en una misma localización (vertical) del acuífero inferior y un tiempo dado,

Caso 2) una misma penetración en el acuífero

En el caso 1 se deben estudiar las siguientes condiciones, en relación con la variación de la concentración de cloruros:

- si aumenta la penetración en el acuífero inferior y disminuye la concentración de cloruros, entonces es probable la existencia de un tramo superficial, en dicho acuífero, afectado por desde las entradas de las coberteras.
- si aumenta la penetración y aumenta la concentración de cloruros, puede ocurrir que
  - disminuya la salinidad con el tiempo de bombeo, por el efecto de un tramo salado superior con mayor cota piezométrica
  - aumente la salinidad con el tiempo de bombeo; ésta puede ser consecuencia de los procesos de salinización en profundidad que afectan a los acuíferos inferiores.

Para el caso 2 se tiene que.

- si con el tiempo histórico se observa que aumentan los cloruros, puede ocurrir que:
  - aumenten además con el tiempo de bombeo: entonces pueden proceder de la salinización en profundidad
  - disminuyan con el tiempo de bombeo: proceden probablemente de la influencia de flujos de cobertera más salados. Además deberían disminuir los contenidos en nitratos con el tiempo de bombeo, de manera que se observe una relación directa entre contenido nitratos y en cloruros.

Éste es el planteamiento que se siguió para analizar la influencia de los flujos laterales desde coberteras a acuíferos inferiores, utilizando el registro histórico analítico. Para el caso del AIO (en el que, como se sabe, siempre se han producido flujos desde el ASC al acuífero inferior - excepto en el tramo más costero de su sector de contacto- y han ido aumentando por la disminución de los niveles en el AIO y el aumento de los del acuífero de cobertera), su efecto será mucho más patente que para el AIN, en el que la relación de flujos entre coberteras e inferiores se

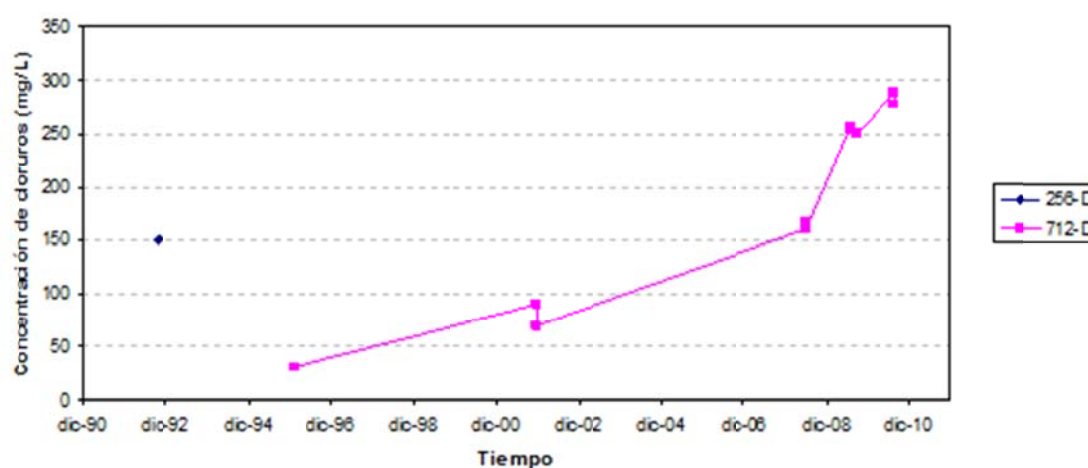


invirtió apenas hace dos décadas, habiendo recargado inicialmente el AIN a las coberteras en la mayoría de sus sectores (lo que volvió a ocurrir durante unos años después de las precipitaciones extraordinarias de 2009/10).

Para las verticales con captaciones de las distintas áreas del AIO, se aplicó la metodología expuesta en base a los datos y captaciones disponibles en el registro histórico, incluyendo los obtenidos en la Fase I y las informaciones depuradas de las redes del D.H. de las Cuencas Mediterráneas. Atendiendo al modelo geométrico y de funcionamiento del acuífero, los resultados por verticales se analizaron para distintos períodos temporales, tomando el año 1992 como punto de partida, deduciéndose la influencia de los flujos procedentes de las coberteras en las zonas de contacto.

También se ha comprobado con los datos disponibles que, en sectores de las áreas de Pampanico y Tarambana, la influencia (en la calidad del AIO) de los flujos de la cobertera, viene enmascarada desde 2007 (y probablemente antes), por el aumento de la salinidad de la mezcla de bombeo por efecto de la salinización de las reservas dulces del acuífero inferior, a consecuencia del agua marina que le proporciona el acuífero costero de cobertera AEBN.

En el Documento 113 se explicaba este planteamiento mediante la discusión de datos de puntos concretos (como los de las captaciones 256D y 712D –**figura e.1**– situadas juntas con penetración de 139 y 279 m bajo el nivel del mar, respectivamente, en el área de explotación de Pampanico del AIO)



**Figura e.1:** Historiales de concentración de cloruros del sondeo 256-D y su sustitución (712-D) que ilustran el efecto del aumento de la salinidad por la presencia de los flujos del ASC en el AIO, observable en el año 1992 en el agua bombeada del sondeo de menor penetración en el AIO (256-D). También se observa el aumento posterior de la salinidad del agua en el sondeo más penetrante (712-D), especialmente registrada en 2009-2010, por avance vertical del agua salada en el AIO, consecuencia de la entrada de agua de mar procedente del AEBN.

En **análisis preliminar de la incidencia de plaguicidas en la zona saturada de los acuíferos** se llevó a cabo entre 2009 y 2010, recopilándose un informe de detalle por el mismo en el documento anual de 2009 (Documentos 112), actualizado para el correspondiente a 2009.

Las primeras muestras se recogieron al final de 2008, pero no es hasta 2009 cuando se contó con sus analíticas, llevándose a cabo también campañas complementarias en dicho año (cuadro e.1). El número de muestras realizadas, por acuíferos, se presenta en la Figura e.2.

Acuíferos	Noviembre 2008		Marzo 2009	Abril 2009	Mayo 2009	Junio 2009	Julio 2009	Septiembre 2009	Octubre 2009
AEBN									
AltN									
ASC									
ASN									
AIN									
AIO									

Cuadro e.1: Períodos de obtención de datos de plaguicidas y acuíferos implicados en cada caso.

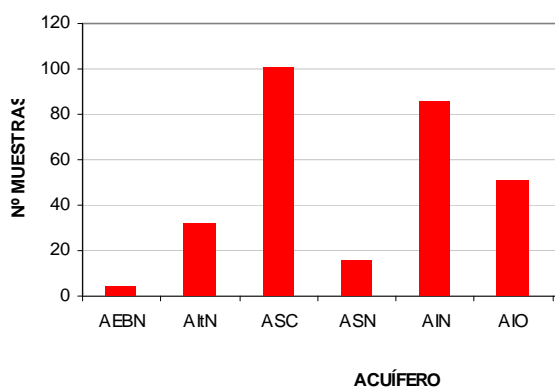


Figura e.2: Número de muestras de plaguicidas (global de 2008 y 2009) por acuíferos.

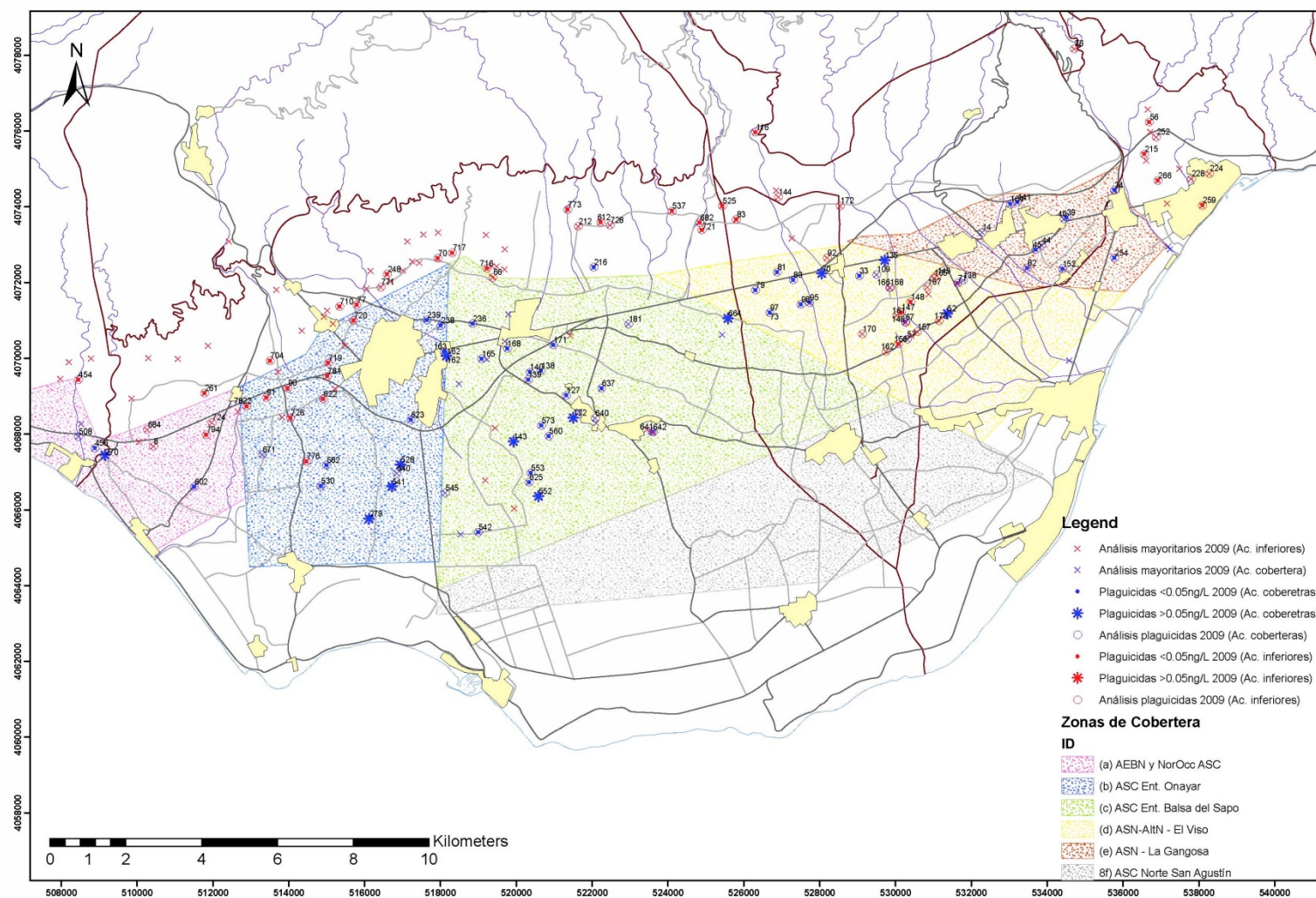
Se realizaron un total de 293 análisis de plaguicidas, 82 en 2008 y 211 en 2009, habiéndose contado para ello con la experiencia en el estudio de plaguicidas de la Universidad de Almería (UAL), grupo liderado por José Luis Martínez Vidal. En el año 2010 se revisaron las observaciones, teniendo en cuenta los valores de plaguicidas inferiores a 0.05µg/L (trazas), que fueron suministrados por el laboratorio en otoño de este año. Los valores de las concentraciones de las sustancias quedan por debajo de la acreditación del laboratorio, pero pueden aportar información de interés sobre la presencia de sustancias, aun cuando estas no se puedan cuantificar.

En el volumen 2 del Documento 113 se reflejó en detalle el listado con las sustancias analizadas y los resultados obtenidos en los distintos puntos de observación muestreados para este estudio. Un extracto de éstos se presenta en el cuadro e.2 para puntos del ASC. La situación de estos puntos puede verse en la figura e.3, donde se indican los que contaron con datos positivos (Plaguicidas >0,05µg/L) y en los que se detectaron valores trazas (Plaguicidas <0,05µg/L).

Los positivos más frecuentes observados, en las muestras de las coberteras, correspondieron al **Imazapir**, detectado en el ASC. Para el caso de los acuíferos inferiores, donde sólo se observaron valores trazas de plaguicidas, la sustancia con mayor número de detecciones en el AIN fue en **BPO**, seguido del **Hexacloro benceno**, mientras que en el AIO fue la **Procimidona**.

Nº PROY	TM	ACUIFERO	ZONA ESTR	FECHA	TIEMPO BOMBEO	PRO-FUN-DIDAD	Plaguicidas >0,05µg/L	Plaguicidas <0,05µg/L (trazas)
2	D	ASC+AIO		17/09/09		141	No detectados	Atrazina
114	D	ASC	c	18/11/08	15		No detectados	Butoxicarboxim / Simazina
122	D	ASC	c	18/11/08	2		No detectados	Beta lindano / BPO / Ciproconazol / pp'-DDT / Metomilo / Simazina
122	D	ASC	c	18/11/08	120		No detectados	Alfa lindano / Beta lindano / BPO / Ciproconazol / pp'-DDT / Metomilo / Simazina
122	D	ASC	c	30/06/09	5		Clorfenvinfos: 0,48	Endrin / Miclobutanil / Nuarimol / pp'-DDD + op-DDt / Procimidona / Tebuconazol / Imazapir
127	D	ASC	c	18/11/08	5		No detectados	BPO / Tebuconazol / Metomilo / Simazina
127	D	ASC	c	18/11/08	120		No detectados	Metomilo / Simazina
127	D	ASC	c	25/06/09	10		No detectados	Procimidona / Imazapir / Simazina
138	D	ASC	c	06/07/09	5		Haloxifop: 0,05. Terbutilazina: 0,08	Miclobutanil / Procimidona / Diuron / Terbutilazina desetil
139	D	ASC	c	18/11/08	5		Diazinona: 0,17.	BPO / Imazapir / Simazina
139	D	ASC	c	18/11/08	180		No detectados	Imazapir / Simazina
139	D	ASC	c	29/06/09	300		No detectados	Procimidona
139	D	ASC	c	16/07/09	5		No detectados	Metoxicloro / Imazapir
140	D	ASC	c	29/06/09	5		No detectados	Endosulfan lactona / Fenarimol / Procimidona / Imazapir
140	D	ASC	c	06/07/09	210		Imazapir: 0,08	Endosulfan alfa / Endosulfan beta / Procimidona
143	D	ASC	c	14/04/09		36	Simazina: 0,20	Clortalonil
143	D	ASC	c	14/04/09		92	No detectados	Clortalonil
162	D	ASC	b	27/11/08	180		Fludioxonil: 0,05. Imazapir: 0,68.	Fenarimol / Nuarimol / Tebuconazol
162	D	ASC	b	01/07/09	210		Imazapir: 0,32	Fludioxonil / Nuarimol / Procimidona
162	D	ASC	b	07/07/09	45		Fludioxonil: 0,06. Tebuconazol: 0,07. Imazapir: 0,87	Ciproconazo, / Miclobutanil
163	D	ASC	b	15/07/09	5		No detectados	Fludioxonil / Tebuconazol
163	D	ASC	b	15/07/09	180		No detectados	Fludioxonil / Tebuconazol
165	D	ASC	c	19/11/08	120		No detectados	Nuarimol / Imazapir
165	D	ASC	c	19/11/08	360		No detectados	Nuarimol / Imazapir
165	D	ASC	c	01/07/09	10		No detectados	Fenarimol / Nuarimol / Procimidona
166	D	ASC	c	27/11/08	60		No detectados	No detectados
168	D	ASC	c	19/11/08	5		No detectados	Imazapir / Simazina
168	D	ASC	c	19/11/08	120		No detectados	Imazapir / Simazina
168	D	ASC	c	19/11/08	300		No detectados	No detectados
168	D	ASC	c	02/07/09	30		No detectados	Miclobutanil
169	D	ASC	c	19/11/08	5		No detectados	Imazapir
169	D	ASC	c	19/11/08	105		No detectados	No detectados
171	D	ASC	c	24/11/08	5		No detectados	Simazina
171	D	ASC	c	24/11/08	90		No detectados	BPO / Clorpirifos / Endosulfan alfa / Simazina
171	D	ASC	c	25/06/09	5		No detectados	Endosulfan alfa / Endosulfan sulfato / Procimidona

**Cuadro e.2:** extracto del Cuadro de resultados analíticos de puntos muestreados en el ASC, incluido en el Documento 113. La situación de estas captaciones (y el resto de las muestreadas) se presenta en la **figura e.3.**



**Figura e.3:** Puntos muestreados en 2009 para análisis de plaguicidas, con localización de zonas estratégicas de los acuíferos de cobertera. Se señalan en cuáles se detectaron estas sustancias. En azul captaciones de acuíferos de cobertera y en rojo de acuíferos inferiores.

MUESTRAS CON RESULTADOS POSITIVOS							
2008				2009			TQJA
Bombeo	Profundidad	Total 2008	Bombeo	Profundidad	Total 2009		
AEBN	0	0	0	1	0	1	1
AIN	0	0	0	0	0	0	0
AIO	0	0	0	0	0	0	0
AltN	0	0	0	1	2	3	3
ASC	2	0	2	4	7	11	13
ASN	0	0	0	1	0	1	1
							18

MUESTRAS CON TRAZAS							
2008				2009			TQJA
Bombeo	Profundidad	Total 2008	Bombeo	Profundidad	Total 2009		
AEBN	0	0	0	2	0	2	2
AIN	9	0	9	12	4	16	25
AIO	4	0	4	21	2	23	27
AltN	0	0	0	11	7	18	18
ASC	26	0	26	26	19	45	71
ASN	0	0	0	2	5	7	7
							153

**Cuadro e.3:** resumen de resultados de plaguicidas según las muestras obtenidas en 2008 y 2009. En las de los acuíferos inferiores no se detectaron resultados positivos, al contrario que en las captaciones muestreadas de las coberteras, y el mayor número de éstos se observó en el ASC (en 13 de sus 100 muestras). Respecto a los valores trazas, se detectaron en todos los acuíferos, según los muestreos realizados (en el 71% de los muestreos del ASC, el 25% de los del AIN, y el 27% del AIO, etc.).

**f) TAREA 6: DOCUMENTO DE SÍNTESIS DE TODAS LAS TAREAS ANTERIORES. INCLUYE ESTABLECIMIENTO DE LA IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS PROCESOS Y DE SUS INCERTIDUMBRES PRINCIPALES, ASÍ COMO UN PLANTEAMIENTO DE ACTIVIDADES TÉCNICO- CIENTÍFICAS PARA MEJORAR EL CONOCIMIENTO DE AQUELLAS EN LA SIGUIENTE FASE.**

La elaboración de esta síntesis formó parte de los documentos de avance de los resultados principales de los Trabajos de la Fase I, que se fueron elaborando desde 2010 y que finalizaron (incluyendo datos obtenidos por el IGME, ajenos al Convenio de 2012 a 2013) en el año 2014.

Merece destacarse el documento presentado al simposio de Tecnología de la Intrusión (TIAC) en 2012, Documento 191 del Control Documental de la Fase I (incluido en Anexo 13 de la Memoria Final) donde se integraba el período de seguimiento 2008 a 2011, analizándose el efecto de la mayor recarga ocurrida en estos acuíferos (con precipitaciones del 250-300% de su valor medio anual) de los últimos 70 años. Parte de sus contenidos se incluyen en el apartado f.1.



Sin embargo, el documento final de la interpretación del Trabajo 1E (al que apoyó esta Partida 3 del Contrato) es el 242 (Memoria Final de la Fase I) que, en su capítulo 6, apartado 5 (página 6-57) trata de dicho Trabajo y del Trabajo 2B (al que apoyó la Partida 4) y, en el apartado 6 de ese mismo capítulo (página 6-87), resume el desarrollo de los procesos de intrusión marina. Se incluye, en el apartado f.2 de este Informe Final del Contrato, el último de los subcapítulos referidos de dicha Memoria, mientras que contenidos de su capítulo 6.5 se reflejan en el documento 5 dedicado a la Partida 4 del Contrato.

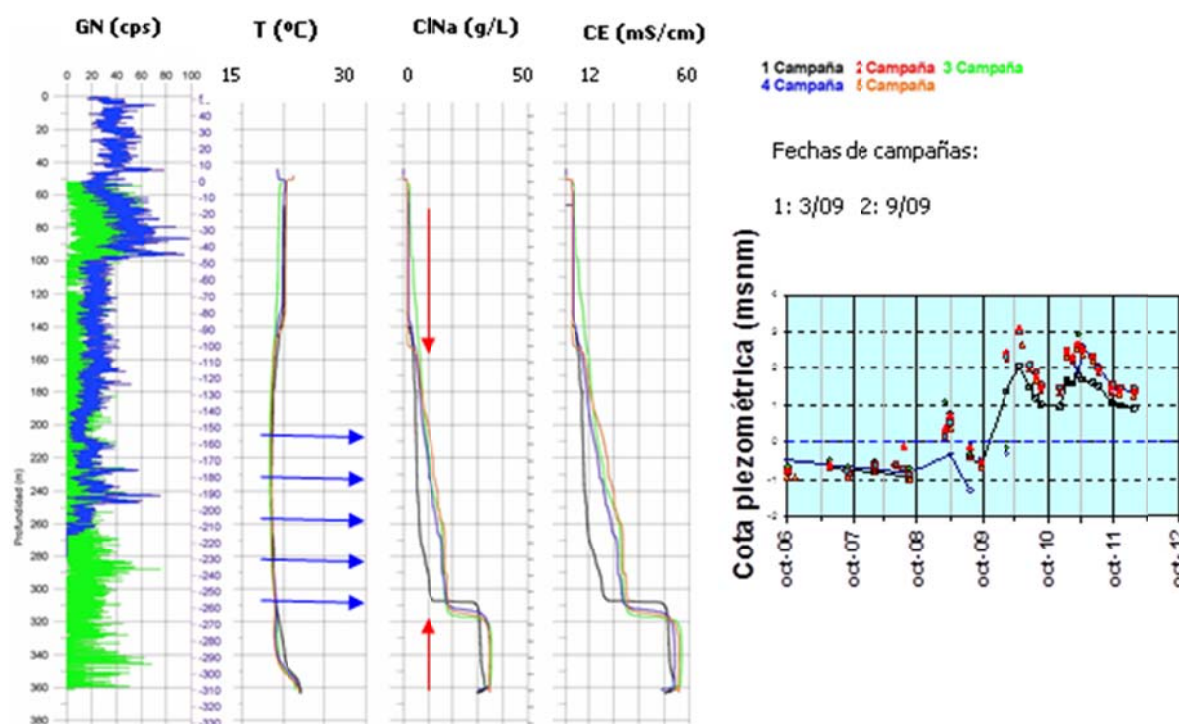
f.1) Contenidos de la comunicación de 2012: “Investigación para la actualización del conocimiento de la pérdida de reservas dulces en los acuíferos principales del Campo de Dalías (Almería)”, Documento 191.

En el epígrafe 3 del texto se expone una síntesis de resultados del seguimiento de la salinización de los acuíferos inferiores, en relación con su pérdida de reservas dulces que se describe a continuación.

En el período 2009 – 2011 se llevaron a cabo cinco campañas de testificación, en puntos de las áreas de explotación del AIN (El Águila y El Viso) y en su zona costera (Aguadulce), así como en las distintas áreas del AIO; también se observó la evolución de la salinidad en profundidad en varios puntos del acuífero costero AEBN. Asociadas a estas informaciones se tomaron muestras en profundidad para realización de análisis hidroquímicos. Para el AIN, los puntos de estas campañas se situaron principalmente en su zona confinada (El Viso) y en la zona costera libre de Aguadulce. Estos registros se obtuvieron en reposo, excepto en una captación en el sector oriental de la zona libre de El Águila, en la que se pudo registrar en reposo y bombeo. Entre marzo de 2009 y septiembre -noviembre de 2011, en todas las zonas de observación de este acuífero se detectó un aumento de la salinidad del agua con la profundidad, con incremento claro en el tiempo, en los sondeos con datos de distintas campañas registrados en el área de El Viso. Por otra parte, sólo en un sondeo del área costera (situado en dolomías, muy próximo al acantilado) y en el ya citado del área de El Águila (ubicado junto al cauce más importante y en la frontera entre la Sierra y la llanura) se observaron las mayores salinidades en 2008/09, en contra de los observado en el resto. Los resultados analíticos de las mezclas de bombeo y de las muestras obtenidas en profundidad resultaron acordes con todas estas observaciones. Las elaboraciones realizadas respecto a los cálculos de porcentaje de agua de mar, y comparación de valores medidos y calculados para mezclas teóricas con ésta, pusieron de relieve la existencia de procesos de déficit en  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  y ganancia en  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . Entre diciembre de 2010 y septiembre de 2011, en el área confinada de El Viso, como ejemplo, en el sector nororiental se pasó de menos del 1% al 3% de agua de mar a la cota -787 msnm, con un déficit de  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  del orden de 8 me/L y exceso de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  del mismo orden; en el extremo sur - occidental de su zona de concentración de bombeos, a -463 msnm, hubo un incremento de agua marina del 0.6% (hasta valores de 3.8%), observándose también intercambio iónico, con valores de -4 me/L de déficit de  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ .

La figura f.1.1 muestra los resultados de los registros en un sondeo del AIN en el sector centro occidental del área de Aguadulce. Se observó el incremento progresivo de la salinidad para el rango de cotas -150 a -250 msnm; entre las campañas 4 y 5, hay un aumento del 36% al 45% del contenido en agua de mar a -195 msnm, con incremento en el déficit de  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  de -15 a -20 me/L entre ambas fechas. Sin embargo, a la cota -260 msnm se detecta un descenso en el porcentaje de

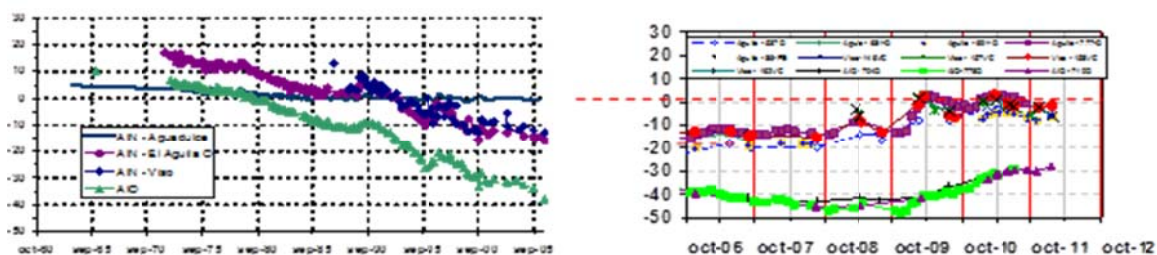
agua marina –ratificado con datos analíticos- del 72% al 62%, aunque se sigue observando déficit de  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , según la muestra obtenida. Estos resultados deben interpretarse atendiendo a la presencia de flujos verticales y a la variación piezométrica temporal en captaciones y piezómetros puntuales.



**Figura f.1.1:** registros en reposo en un punto del área costera del AIN en 2009-2011 (campañas: 1, 3, 4 y 5) e hidrogramas de dicha área (figura derecha). Parte izquierda: para su interpretación resulta fundamental tener en cuenta la presencia de flujos verticales (flechas rojas) en el sondeo, ya deducida en Domínguez (2000). Las flechas azules señalan la posición del tramo del subacuífero intermedio sin influencia de flujos verticales; en él es mayor la conexión con las zonas de extracción del AIN; presenta incremento del porcentaje de agua de mar de 2009 a 2011, a pesar de la evolución piezométrica en dicho período. Para la cota -260 msnm (influenciada por el flujo vertical ascendente en la captación) los valores máximos se alcanzaron en la campaña 1 y los mínimos en la 3, es decir en los períodos en los que los niveles del agua del subacuífero intermedio fueron mínimos y máximos, respectivamente. GN: gamma natural; T: temperatura del agua; CE: conductividad eléctrica del agua; ClNa: concentración equivalente de Cloruro Sódico (calculada).

Los niveles del agua estuvieron por encima del marino en la zona costera del AIN (Fig. f.1.1 y f.1.2) desde las fuertes precipitaciones de 2009/10 –las máximas desde 1944-, mientras que en las zonas explotadas de este acuífero se produjo un fuerte ascenso piezométrico tras estas lluvias, aunque sólo se mantuvieron valores positivos durante los picos húmedos de 2009/10 y 2010/11, llegando hasta cotas de -7 msnm (figura f.1.2), es decir, durante la mayor parte del tiempo se mantuvieron las condiciones para la trasmisión de flujos salados desde los sectores orientales ya salinizados del AIN (el costero y La Gangosa) hacia las zonas de explotación (El Viso y El Águila). En la zona costera, se observó el descenso de la salinidad en un único piezómetro, puntual a -55 msnm, en dolomías y cercano al acantilado, que indica la llegada de los flujos dulces hacia el mar por la banda de fracturas de muy alta permeabilidad en su borde oriental; en cambio, en el resto de los puntos de observación de este área y los de la de El Viso, el proceso de salinización

progresó, siendo máximo al final de 2010/11, es decir, no se han llegado a observar aún los efectos de la entrada de la masa de agua dulce (derivados de las extraordinarias precipitaciones) aunque sí los del movimiento del agua salada. En varias captaciones del área libre de El Águila se advirtieron descensos en la salinidad, mostrando la llegada del agua dulce al borde de la Sierra, al menos en sectores relacionados con cauces principales



**Figura f.1.2:** Evolución piezométrica de los acuíferos inferiores. Parte izquierda período histórico hasta el inicio de la Fase I, y parte derecha: evolución piezométrica 2006/07 a enero de 2012.

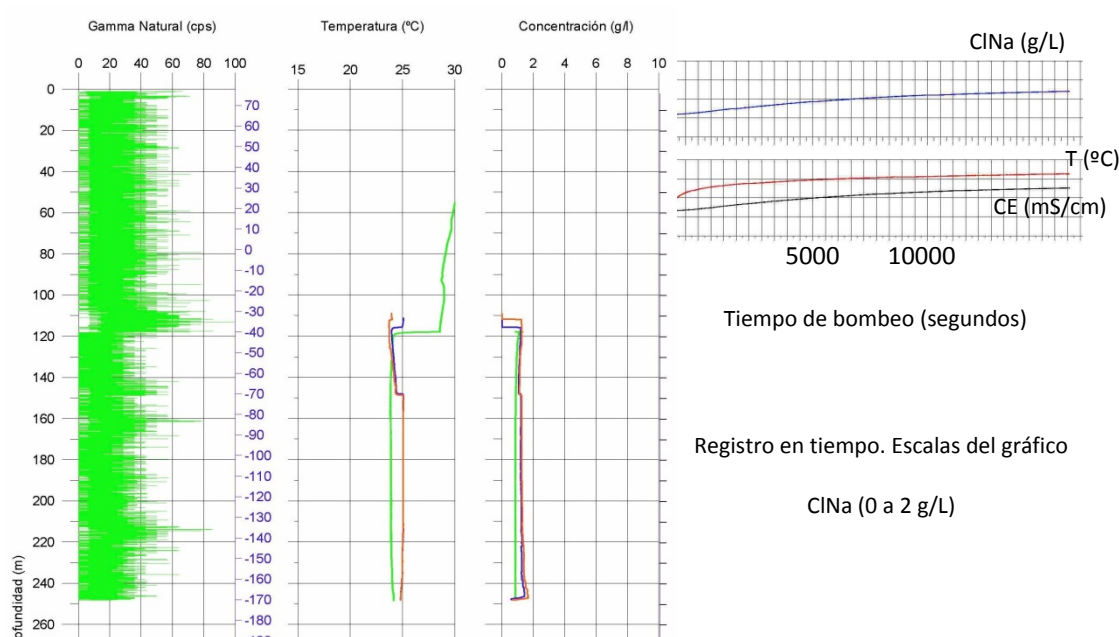
En la zona occidental, en el acuífero costero AEBN, también se detectó la salinidad mayor al final del año 2011 en prácticamente salinizado (registros en reposo), al igual que en la mayoría de los puntos observados del AIO, mediante registros en reposo y bombeo en sondeos de explotación. La **figura f.1.3** muestra datos de este segundo tipo en dos captaciones. Para este acuífero las interpretaciones sobre la evolución de la salinización son complicadas, por la escasa penetración de los puntos disponibles y la presencia de flujos verticales descendentes desde la cobertera pliocena en los actualmente accesibles; estas mezclas han tratado de “limpiarse”, al menos en parte, con el bombeo simultáneo durante a la toma de estos datos. El análisis minucioso de las mezclas de bombeo en cada localización vertical (donde pueden existir hasta 3 sondeos con distintas penetraciones), permitió detectar la influencia del proceso de salinización en determinados puntos desde el año 2005; las captaciones con evolución de la salinidad en sus mezclas de bombeo se sitúan más cercanas a la entrada de flujos desde el AEBN, tienen mayores penetraciones en el AIO y están en determinadas zonas de su estructura. Durante todo el período de observación (2008 – 2011) se han dado las condiciones piezométricas para la progresión del agua salada desde el acuífero costero hacia el AIO; a pesar de las precipitaciones ocurridas en 2009/10, los niveles en el AEBN y el AIO han seguido siendo negativos (-10 msnm en el borde nororiental del AEBN y a -28 msnm en el AIO al final de dicho período, **Fig. f.1.2**).

Las conclusiones de este Documento 191 (de 2012) fueron las que siguientes:

- Los problemas más limitantes que sufren estos acuíferos, para su gestión sostenible, son los procesos de salinización progresiva de las reservas dulces de los inferiores. La evolución piezométrica señala que las condiciones generadoras de estos procesos, por los extremos W y E, continúan vigentes, con flujos salinos hacia las áreas interiores de estos acuíferos. El efecto en la piezometría de las precipitaciones máximas registradas (del orden de tres veces la media), ocurridas en 2009/10, ha supuesto una notable recuperación de niveles, aunque continúan muy negativos en el AIO y sólo positivos en el área costera del AIN; las áreas explotadas de este

acuífero han permanecido la mayor parte del tiempo a cotas negativas, salvo en los picos húmedos de 2009/10 – 2010/11.

- Mediante las campañas de registros geofísicos y muestreos en profundidad (del período 2009-2011) se observó el aumento de la salinidad del agua con ésta, en ambos acuíferos inferiores, acorde con los incrementos medidos en las mezclas de bombeo desde hacía años. Respecto al AIN, en marzo de 2009 se detectó la transmisión del proceso de entrada de agua de mar desde sus áreas ya salinizadas hacia las más interiores (zonas de extracciones de El Viso y El Águila).



**Figura f.1.3:** registros en bombeo en puntos del AIO. Parte izquierda: registros en profundidad del punto más cercano a la zona de entrada de flujos salados desde el AEBN, con la salinidad máxima a finales de 2011 (Leyenda de campañas en figura 3); una aproximación a las características del AIO del tramo abierto del sondeo pudo observarse “limpiando en lo posible”( con el bombeo simultaneo) parte de los flujos verticales descendentes procedentes de la cobertera.. Parte derecha: registro con el tiempo de bombeo y sonda a 460 m de profundidad, en un sondeo del borde norte de la zona confinada con flujos verticales: aumentaron la salinidad y la temperatura del agua, al ir haciéndolo la mayor proporción del agua del AIO.

- Los datos hidroquímicos posteriores reflejaron un aumento de la salinidad (a pesar de las subidas observadas del nivel del agua) sólo disminuida (desde la ocurrencia de las citadas precipitaciones) en zonas de entrada preferente de los flujos dulces, localizados en algunos puntos de las áreas libres de El Águila y de Aguadulce. En el AIO, en 2010 se confirmó la influencia del progreso de la salinización, por entrada lateral desde el AEBN intruido de agua de mar, que ya alcanzó el fondo de una decena de sus captaciones cercanas a la zona de transferencia de los flujos salados; la citada subida de niveles del agua no ha mejorado la situación de este proceso.

- Con la situación piezométrica alcanzada a inicios de 2012, tras la recepción (diferida) de las mejores condiciones de recarga histórica de estos acuíferos, y la evolución hasta ahora observada

de sus procesos de salinización, se confirmaba la ineludible necesidad de reducir bombeos en ambos acuíferos inferiores, y de tratar de impedir las entradas de los flujos salinos a las zonas actuales de explotación, para evitar el progresivo deterioro de sus reservas aún dulces. El Programa de sostenibilidad contemplaba la aplicación ya iniciada de recursos de sustitución para este descenso del bombeo, y el diseño de operaciones con las que reducir/anular los flujos salados a las áreas de explotación de ambos acuíferos inferiores, circunstancias que aún no se han producido, lo que representa un empeoramiento de la situación que se proponía corregir y un descenso consecuente de las posibilidades de conseguirlo, además de incrementar, en su caso, el coste para abordarlo. También se interrumpió otra necesidad prevista por el Programa: el seguimiento continuo del funcionamiento hidrogeológico del sistema, especialmente de sus procesos de salinización, se considera imprescindible para la gestión sostenible del mismo.

#### f.2) Resumen del desarrollo de los procesos de intrusión marina: el principal problema para la sostenibilidad del uso de estos acuíferos (del Documento 242, de 2014).

Para la investigación de la intrusión marina en el Campo de Dalías se contó, en los primeros años del Estudio, con buenos apoyos de sondeos mecánicos específicos en los entornos de Balanegra y de Aguadulce (según quedó reflejado en el capítulo 3 de la Memoria Final) al conocerse pronto que constituían, a nivel de acuíferos inferiores, los sectores costeros de mayor riesgo para la existencia de este proceso. Los mecanismos de intrusión por ambos tramos de costa se llegaron a conocer bastante bien y, con ello, la certeza de que, cuando se iniciaran, sería a partir de estos entornos donde se generaría el avance tierra adentro de las mezclas con agua de mar hacia las zonas más interiores del Campo.

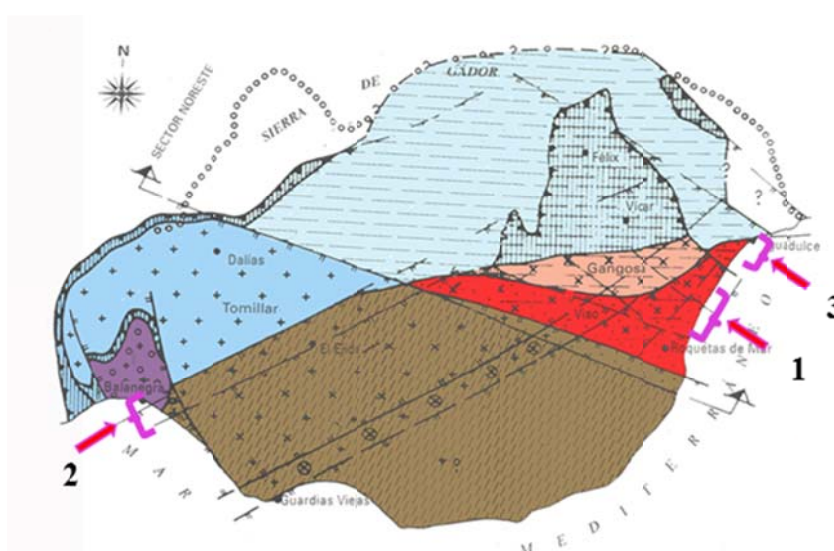
Para conocer las conexiones y desconexiones entre distintas áreas de acuíferos, es decir, las posibles vías permeables o las barreras impermeables entre acuíferos –o internas a éstos- por donde podían producirse las transferencias de flujos salinos, era necesario, pero no suficiente, disponer de una reconstrucción de la geometría del conjunto de acuíferos, la cual se fue adquiriendo con el tiempo, cada vez más contrastada mediante la interpretación de cientos de sondeos mecánicos (como se ha referido antes), aunque quedan algunos aspectos, de dichas conexiones, sin confirmar directamente por la ausencia de perforaciones con las que aclararlos.

Además de la geometría, era imprescindible el conocimiento de la evolución piezométrica actualizada en los distintos acuíferos y sus áreas, para determinar la evolución del sentido de los flujos subterráneos entre ellos. Al disponer de esta información, una vez registrada en los sondeos la existencia de mezclas con agua de mar, en cualquier área determinada de un acuífero se podía deducir el sentido posible del flujo de las mismas, de acuerdo con las relaciones piezométricas conocidas con sus zonas vecinas (del mismo o diferente acuífero). Con este análisis aplicado a las distintas áreas del Sector Noreste, se podía reflejar el movimiento posible de las masas de agua salinizadas aunque, al faltar sondeos específicos adecuados de observación directa, no se pudieran seguir las características de su progresión, que sólo se fueron comprobando cuando ya afectaban (y se detectaban) a las captaciones de explotación. Es decir, se pudo predecir hacia dónde se dirigían dichas masas contaminantes (provenientes de una intrusión activa de agua marina, o de un proceso antiguo ya cancelado) pero no estimar cuando llegarían a las cotas de captación de los sondeos de bombeo aún no afectados (no necesariamente siempre por el fondo de éstos).



Como resultado de la aplicación histórica de esta metodología (elemental, pero sólo posible para quienes disponían de los conocimientos geométricos y de piezometría requeridos) se pudieron ir haciendo predicciones sobre las áreas de acuíferos hacia donde se dirigían los flujos salados, y difundiendo las informaciones cuando se detectaban estas contaminaciones en las captaciones particulares a las que se había podido acceder. Las nuevas informaciones adquiridas con el paso del tiempo sobre estos procesos de salinización han ido contrastando o aclarando las hipótesis planteadas sobre sus orígenes.

Para recapitular **la secuencia de los procesos de salinización** que históricamente se han producido (partiendo de los contenidos de la información precedente) **se resumen cronológicamente los hechos que se han ido contrastando de estos procesos**, como aquellos aspectos de ellos que han quedado sin verificar por falta de sondeos adecuados para su observación. **Descartada** muy pronto **la intrusión marina por la franja costera del Campo entre Roquetas de Mar y la Rambla de Balanegra** (Figura f.2.1) (aproximadamente un 80% del litoral de esta llanura), esta secuencia se llevó a cabo por separado para cada uno de los sectores que, como se había previsto, han sido afectados por estos procesos.



**Figura f.2.1:** Segmentos de costa por donde únicamente ha podido producirse la penetración de agua de mar hacia acuíferos del Campo de Dalías. Se han generado tres procesos: **1=** por el sector costero de Roquetas (vía AltN confinado) hacia las capas libres y confinadas de las áreas de La Gangosa y El Viso; **2=** por el segmento costero de la capa libre del AEBN, hacia el AIO; **3=** trasferencia por el segmento costero de Aguadulce al AIN de este área y, de él, a las capas libre y confinada de La Gangosa y de El Viso.

### f.2.1) Sector Centro – Occidental del Campo

Aunque a finales de los años 60 se consideraba posible la desconexión directa del AIO con el mar, fue en la primera mitad de los 80 cuando se pudo descartar la existencia de esta conexión. En este período queda suficientemente demostrada la intrusión marina en el pequeño acuífero costero AEBN y, como se ha dicho, la trasferencia lateral de éste al AIO, de todo el flujo de mezclas muy saladas generado en el mismo durante más de tres décadas.

Por las razones ya expuestas, no fue posible el seguimiento de este flujo salino de entrada al AIO hasta el año 2010. Fue durante los trabajos de la Fase I del Programa cuando se empezó a detectar directamente, en el fondo de sondeos de explotación del área de Tarambana (la contigua al AEBN, del AIO) la presencia de estas mezclas con agua de mar (como quedó reflejado en el Documento 78 de la Fase I, de Junio de 2010, en Anexo 6 de la Memoria Final), que se han registrado en captaciones hasta unos 8 km de la costa de Balanegra. Este proceso (del que, mediante el estudio de la evolución de la salinidad del agua de bombeo, se dedujo su incidencia ya en los datos de 2007) se ha podido ralentizar por la excepcional ascenso del nivel piezométrico del AIO tras las precipitaciones de 2009/10 –que recuperó un 50% del descenso acumulado con su explotación (desde -47 msnm hasta -23 msnm en el piezómetro representativo del AIO).

Dado que una parte del flujo salado de entrada al AIO (con dos posibles vías de transferencia: de capa única del AEBN al área libre del AIO, y de capa confinada del AEBN a capa confinada del AIO) ha podido transmitirse por las zonas confinadas de ambos acuíferos, en el seguimiento del proceso de salinización en el AIO libre habrá que vigilar la relación de niveles entre esta zona libre y su zona confinada (área Profunda del AIO, hasta ahora con niveles más bajos), por si pudiera ser ésta, en el futuro, una vía de transmisión de sus mezclas con agua de mar. (La citada área Profunda del AIO, cuya descripción no corresponde hacer aquí, presenta un funcionamiento complejo por las conexiones “vía sondeo” entre los acuíferos ASC, AltC y AIO).

### f.2.2) Sector Noreste del Campo

En las décadas de 1950 y 1960, la discreta explotación del plioceno marino en el Sector I del área de Aguadulce sólo pudo provocar entradas de mezcla con agua de mar en depresiones de la batería de pozos – sondeo (probablemente muy locales y temporales), que no trascendieron a los entornos próximos de la cobertera ni, aun menos, del AIN, dados los rangos piezométricos de la época en los mismos.

Del trascurso del tiempo en el que se desarrolló el uso intensivo de estos acuíferos se hace referencia a unos **períodos separados por hitos que marcaron cambios notables en la situación de funcionamiento de los flujos subterráneos** de algunos de estos acuíferos, como consecuencia del uso de los mismos o, más bien, como consecuencia de ciertos cambios en su uso u otras circunstancias especiales que generaron modificaciones en el funcionamiento de los mismos.

En este resumen se destacan sólo algunos de los hitos que produjeron más visibilidad a las relaciones causa – efecto al analizar los procesos observados en la investigación, aunque en realidad la ocurrencia de los distintos procesos del funcionamiento de acuíferos tiene lugar por la acumulación de hechos de muy distinto origen y de una manera más continua. El señalar dichas fronteras en algunos de estos procesos, en este caso el de la salinización por mezclas con agua de mar, es un recurso para facilitar la comprensión de la realidad que se ha observado a través del tiempo. Los períodos elegidos, que se exponen a continuación, han sido: 1970-1981, 1981-1989, 1989-2009 y 2009-2013. En la **Figura f.2.3** (cuya leyenda se incluye en la **Fig. f.2.2**) se sintetizan estos procesos para los acuíferos del Sector Noreste, por períodos temporales.

## Período 1970-1981

Para el Estudio del IGME, este período corresponde a la etapa de los proyectos PIAS y de los primeros programas de seguimiento de datos sobre la evolución de los acuíferos, que destacan los efectos de la presión del bombeo, esencialmente en las capas libres de los mismos de las áreas de: **El Viso** (donde se explotaba el ASN, constituido principalmente por los materiales pliocenos marinos); **La Gangosa**, en que se captaba esencialmente el llamado AltN de carbonatados triásicos y miocenos asociados (aunque en algunos sondeos se explotaba la capa libre conjuntamente con la confinada bajo los materiales volcánicos miocenos notablemente desarrollados en el área); y **Aguadulce**, cuyo bombeo principal correspondía al AIN.

En estos acuíferos explotados, conectados hidráulicamente (aunque cada uno con características hidrodinámicas distintas y diferentes condiciones de recarga y de bombeo) se fue generando durante este período una depresión del nivel piezométrico que ya en febrero de 1981 pasaba de los -10 msnm en El Viso, extendiéndose por La Gangosa hasta su límite oriental, aunque aquí con descensos menores que sólo alcanzaban hasta -4 a -2 msnm, al tratarse de materiales en general más permeables.

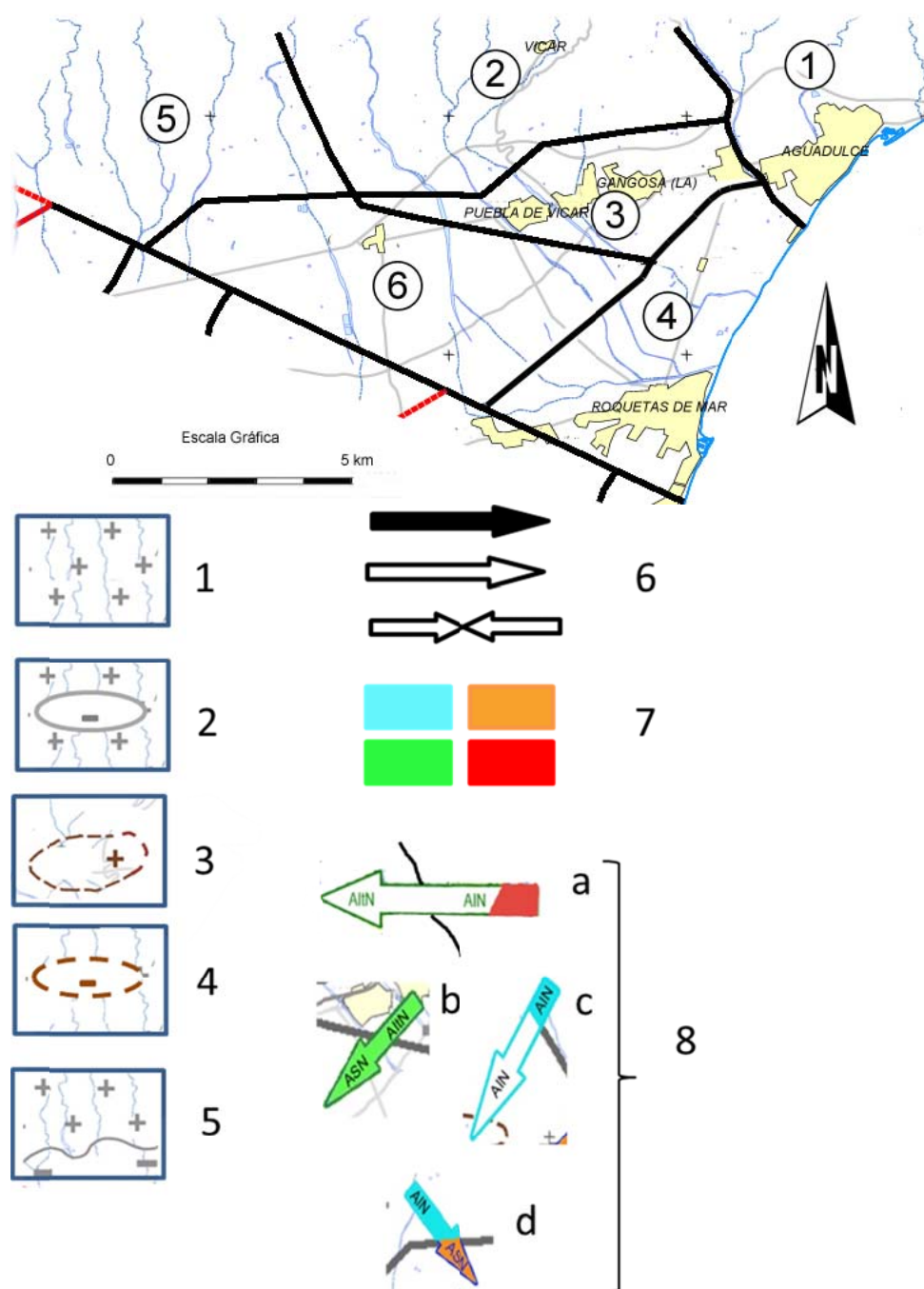
Pero esta extensa depresión piezométrica (para todas las capas libres de los acuíferos que la integran en estas áreas) quedaba rodeada por áreas libres de los mismos acuíferos, o de acuíferos distintos, en todos los casos con cotas piezométricas por encima del nivel del mar, por lo que la visible defensa (que les proporcionaban las cargas hidráulicas positivas de los márgenes de esta depresión) representaba una aparente barrera para la penetración hacia la misma de flujos salinos procedentes de la costa oriental, entre Roquetas y Aguadulce.

Quedaban dudas –por no disponerse de unos sondeos de observación adecuados- sobre la **posibilidad de haberse transmitido** los citados flujos con mezcla de agua de mar **por el tramo profundo del AIN de Aguadulce, y por el confinado de materiales miocenos del AltN** (y materiales asociados del **plioceno confinado**) **a través de la fosa tectónica existente entre la costa de Roquetas y las áreas de La Gangosa y El Viso (Figura f.2.2)**. Con el análisis de situaciones posteriores se han deducido las **trasferencias, hacia dicha depresión, desde alguno o desde ambos tramos costeros, que justifican los incrementos de mezclas con agua de mar observados en la misma.**

**Estas masas de agua salinizadas** incorporadas a la zona deprimida, **presentaban un flujo Este – Oeste desde La Gangosa hacia El Viso**, su zona de piezometría más baja.

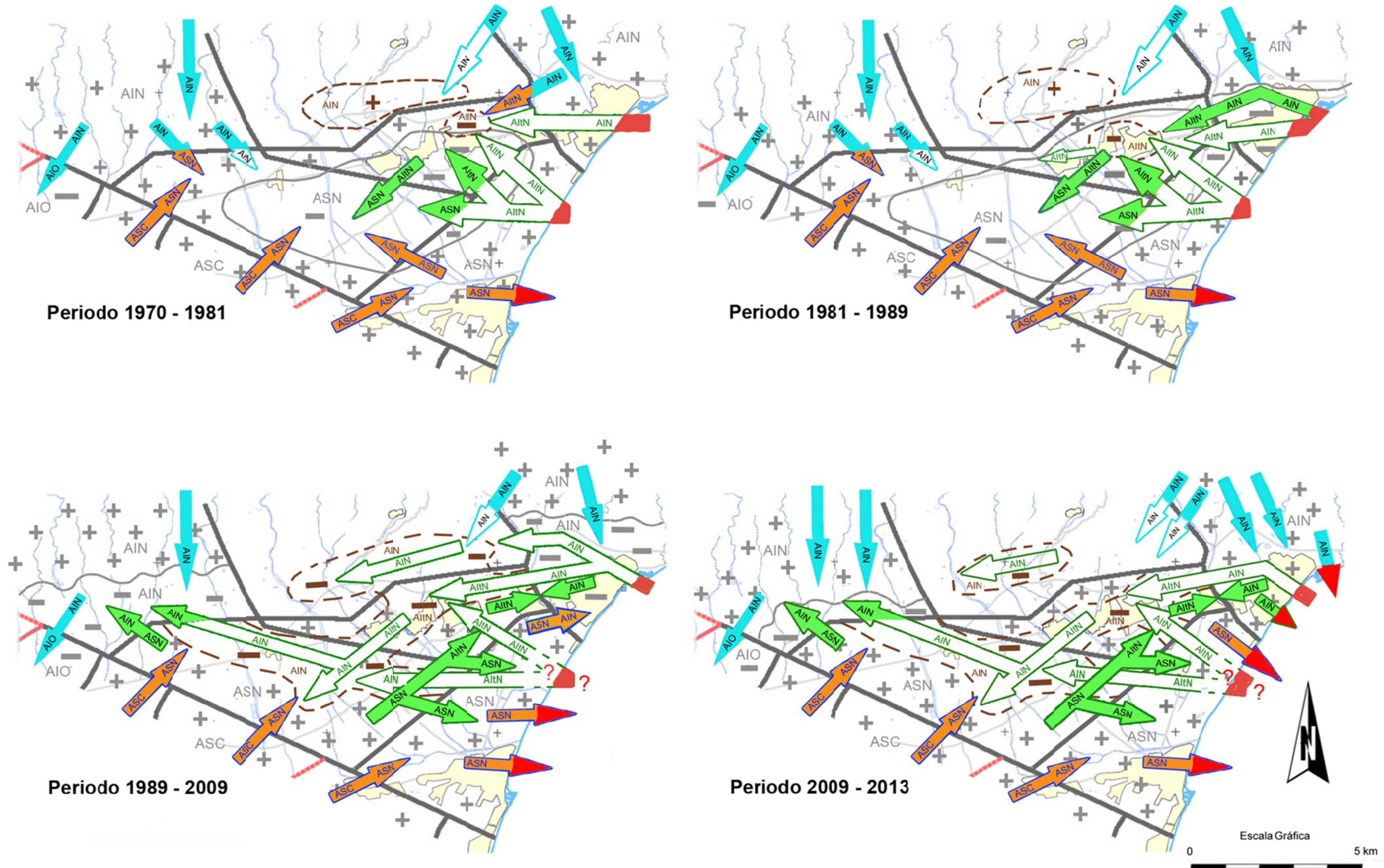
## Período 1981-1989

El progresivo incremento del bombeo en este período, además de atender a la cantidad de agua para satisfacer la creciente demanda, también se caracterizó por una mayor exigencia en su calidad, tanto para el regadío como para el uso urbano, resultando de ello un importante ascenso progresivo en el bombeo del AIN y un descenso cada vez más acentuado en el de los acuíferos de cobertera.



**Figura f.2.2:** Superior: áreas de explotación representadas en la Fig. f.2.3 y leyenda de simbología de dicha figura en la parte inferior. **Áreas:** 1=Aguadulce; 2=Vicar; 3=La Gangosa; 4=Roquetas; 5=El Águila; y 6=El Viso. **Leyenda de la parte inferior:** 1=acuífero libre con cotas positivas; 2=entorno con cotas negativas en un acuífero libre con cotas positivas; 3=acuífero confinado con cotas positivas; 4=cotas negativas en un acuífero confinado; 5=entorno con cotas negativas en un acuífero libre con cotas positivas en parte del mismo; 6=sentido resultante del flujo subterráneo: **flecha llena**=en áreas libres; **flecha sin relleno**=en áreas confinadas; **flechas dobles opuestas**: alternancia de flujos desde un acuífero a otro (en zona libre o confinada según esté o no la flecha llena). 7= calidades del agua de los flujos subterráneos representadas con colores: en azul: dulces; en naranja: calidad natural mediocre; en verde: con mezcla de agua de mar; en rojo: agua de mar. 8= ejemplos de flujo subterráneos: **a**= intrusión marina al AIN confinado y de éste al AItN confinado; **b**= flujo de agua con mezcla marina desde la capa libre del AItN a la capa libre del ASN; **c**= flujo dulce de agua desde la capa libre del AIN a su capa confinada; **d**= flujo de entrada de agua dulce desde la capa libre del AIN a la capa libre del ASN, ésta con calidad natural mediocre.





**Figura f.2.3:** Evolución de los flujos de masas con mezclas de agua de mar en las capas libres y confinadas de las áreas del Sector Noreste del Campo, procedentes de intrusión marina (activa o antigua) por los tramos costeros de Roquetas y Aguadulce: sintetizados en cuatro intervalos temporales: (1972-1981, 1981-1989, 1989-2009 y 2009-2013). Ver leyenda de áreas y simbología en **Figura f.2.2.**



En el Sector Noreste, la depresión antes aludida siguió progresando: ya hacia la mitad del período (Febrero de 1987), el nivel piezométrico del plioceno libre de El Viso se situaba hasta cotas por debajo de -22 msnm, y en la capa libre de La Gangosa se alcanzaban valores de hasta -15msnm en su zona occidental, situándose en -3 a -4 msnm en los carbonatos triásicos y miocenos asociados de su zona oriental. También en sus capas confinadas se alcanzaban valores de -5 msnm.

A esta depresión piezométrica (mantenida durante unas dos décadas) se trasladaron flujos salados por el AltN confinado de la fosa interior desde la franja costera de Roquetas, deducida por la concurrencia de circunstancias geométricas, piezométricas y de evolución negativa general de la calidad en las captaciones con mezclas de agua de mar, de esa amplia depresión de niveles y sus relaciones con las áreas contiguas a su perímetro.

Por su parte, en el área de Aguadulce, que venía acusando un arriesgado incremento del bombeo (con extracciones en sondeos reprofundizados hasta el AIN y en los originalmente emplazados en el mismo –algunos con caudal prácticamente continuo que superaba los 200 L/s- que llegaron a alcanzar un total de más de 20 hm<sup>3</sup>/a), a mediados de los 80 se inició una intrusión marina a este acuífero inferior, pese a ser el de mayor potencial de recursos renovables del Campo y coincidir esta zona costera con su principal zona de descarga.

Como consecuencia del uso indiscriminado que se dio al AIN en Aguadulce, en 1988 se extinguió definitivamente el manantial que existió en la playa de este núcleo urbano, y se instaló una situación casi permanente de cotas piezométricas negativas en el mismo y, con ella, la entrada tierra adentro de mezclas con agua de mar (especialmente por su tramo intermedio, o subacuífero local) que se detectaron en sondeos del tramo superior de carbonatos triásicos captados en La Gangosa (distinguidos como AltN) y que, muy probablemente, alcanzarían mayor incidencia en capas más profundas de estos carbonatos por entonces no reconocidas.

El proceso de salinización iniciado en este período dio origen, al final del mismo, a una emigración de captaciones en el AIN de Aguadulce hacia las áreas de El Viso y de El Águila del mismo acuífero.

### **Período 1989 -2009**

En esta etapa del proceso de salinización se destaca, como su principal agente, no sólo la permanencia de la situación precedente –ya con dos frentes de masas de agua salina incorporadas a capas libres de las áreas comentadas y (probablemente con menor alcance) a parte de sus capas confinadas- sino también el muy fuerte incremento del bombeo experimentado en el AIN (como asimismo en el AIO) de las áreas interiores del Sector Noreste: El Viso y El Águila, que implicó un importante paso hacia la salinización del acuífero.

Este incremento (que supone una subida del 50% sobre la extracción precedente del AIN) alcanzó valores medios del orden de 50 hm<sup>3</sup>/a que, en buena parte, incidieron en las dos áreas que se habían estado “librando” de la explotación intensiva (El Viso y El Águila), dada la “emigración” hacia ellas de sondeos en el AIN al quedar salinizados gran parte de los de las áreas más próximas a la costa (y más fácilmente accesibles).

La respuesta piezométrica en las dos áreas receptoras de este nuevo bombeo en el AIN no tardó en producirse: sus niveles iniciaron un fuerte descenso que se instaló en cotas bajo el nivel del mar hasta el final del período, habiendo alcanzado una situación de abatimiento muy permanente, entre valores de -15 y -20 msnm en El Águila Oriental (parte libre de este acuífero) y valores del orden de -14 msnm en su área confinada de El Viso.

Las circunstancias descritas de intenso bombeo e importante pérdida de carga hidráulica positiva, convirtieron a estas áreas del AIN (con gran permanencia de niveles en -15 y -20 msnm) en destinos preferentes para la recepción de masas con mezclas de agua de mar procedentes de procesos de intrusión desde el Norte de Roquetas y desde Aguadulce (activos o antiguos) que avanzaban hacia la zona ya deprimida del AIN instalada en sus áreas de explotación interiores, las últimas que quedan útiles aún para explotar de este acuífero.

La repercusión de esta depresión generada en el AIN de El Viso y El Águila se empezó a registrar a mediados de este período (antes no se había manifestado una contaminación de los carbonatos triásicos captados por los sondeos de explotación que pudiera atribuirse a una afectación directa del AIN, proveniente de los procesos citados), cuya secuencia de aparición evidenciaba su procedencia desde áreas más orientales de dichos carbonatos triásicos. De hecho, el sondeo de investigación 167-Vc (de 1220 m de profundidad, realizado en 2001 por la Consejería de Agricultura) no captó indicios de esta contaminación en todo el tramo atravesado del AIN. Solo se habían detectado afecciones al mismo, vía sondeo, en captaciones más cercanas a La Gangosa, procedentes de coberteras pliocenas / miocenas ya salinizadas (por aislamientos defectuosos al construirse las obras o durante su explotación).

Los controles en el agua de bombeo realizados en 2001 (que no continuaron por falta de medios en años siguientes) mostraron las mejores calidades acordes con las informaciones precedentes, aunque en 2007 nuevas campañas de muestreo con el tiempo de extracción reflejaron un crecimiento ya bastante generalizado de la salinidad del agua del AIN que, pese a seguir siendo útil para las demandas, podía interpretarse como una afección directa del proceso contaminante a este acuífero (Documento 111, de 2008).

Durante los primeros años de la Fase I, en la primera campaña de registros de salinidad en profundidad (de marzo de 2009) se reconocieron efectivamente en las captaciones de esta zona aumentos de la salinidad en profundidad (independientes de frecuentes contaminaciones provenientes de las coberteras del Sector Noreste) lo que confirmaba el inicio del proceso de salinización en este área confinada del AIN por el movimiento hacia el Oeste de las masas con mezcla de agua marina (como se expuso en el Documento 53 a la Comisión de Seguimiento del Convenio en la reunión de mayo de 2009) que, bien desde el AIN de Aguadulce o desde las coberteras confinadas en Roquetas (o incluso desde ambos orígenes) habían alcanzado los carbonatos triásicos del llamado “Horst de Guardias Viejas – Aguadulce” donde se localizan casi todas las captaciones del AIN de El Viso, favorecidas por la estructura de bloques en “horst” y “fosas” que permitía las transferencias de flujos subterráneos entre coberteras y carbonatos del sustrato triásico.

En el AIN del área de El Águila también se detectó, con los datos de 2007, un incremento de la salinidad en las mezclas de bombeo de captaciones en su parte oriental, aunque menos

generalizado que en El Viso, así como con la profundidad en un registro realizado por los usuarios en una de las captaciones de esta parte oriental (sondeo 144-Vc). Prácticamente no se ha podido realizar este tipo de pruebas por falta de sondeos para ello en el área de El Águila.

Otra consecuencia a tener en cuenta del referido cambio de localización de las captaciones del AIN hacia las áreas citadas de El Águila y El Viso, fue el abandono de gran parte del bombeo en los acuíferos de cobertera del Sector Noreste, lo que ha producido la correspondiente recuperación progresiva de niveles del agua en los mismos, ya por encima de la cota cero en todos ellos. Resulta necesario llevar un seguimiento de la misma, por lo que suponga de descargas de aguas indeseables hacia áreas deprimidas de los acuíferos aún dulces, como se ha dicho.

### **Período 2009 -2013**

Este período se ha diferenciado por el reconocimiento que ha podido hacerse de los efectos producidos, en el funcionamiento de los acuíferos de la zona, por la ocurrencia, en 2009/10 y 2010/11, de lluvias no conocidas en los últimos 70 años, ya que alcanzaron valores en torno al 280% de la media, lo cual representaba una ocasión única para testificar sus efectos en las entradas naturales a los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías, entre ellos en la recuperación de sus niveles piezométricos y en el estado de salinidad de las distintas áreas de los acuíferos principales. (Hay que lamentar, por este Estudio, la circunstancia de haber contado, durante la mayor parte del período, con sólo unos mínimos medios para aprovechar esta ocasión, que han permitido obtener únicamente algunos datos de bajo coste como testimonio del funcionamiento de este sistema de acuíferos, en las circunstancias más favorables que puedan darse en el futuro).

La respuesta piezométrica en los acuíferos, a estas lluvias excepcionalmente elevadas, varió en función de su naturaleza. De forma muy general, en las coberteras porosas (ASN libre, por ejemplo) el ascenso fue importante, pero lento, con una tendencia creciente que ha durado varios años, además de estar superpuesta a recuperaciones por el descenso de bombeos en ellas. En los acuíferos fisurados la respuesta a las entradas por las precipitaciones ocurridas fue muy rápida y espectacular en sus capas libres (con ascensos del nivel entre varios metros y hasta 20 metros) que, tras dos anualidades, iniciaron el descenso. En las zonas confinadas / semiconfinadas de los acuíferos inferiores, los ascensos fueron espectaculares, perdurando varios años.

Con respecto a las características físico – químicas del agua bombeada, en general se apreció una mejora por la afluencia de aguas de recarga abundantes, que fue más notable en áreas de acuíferos fisurados libres. En los acuíferos porosos (ASN) la salinización existente no ha hecho posible la recuperación de extracciones. En las áreas de El Viso y del El Águila, en las que el nivel piezométrico volvió a un régimen de cotas bajo el nivel del mar (tras un efímero pico de cotas positivas) la salinidad, aún incipiente, ha evolucionado lentamente pero en ascenso. Las observaciones disponibles sobre la salinidad en este periodo han mostrado un ascenso de la misma en las áreas interiores del AIN, en profundidad y con el tiempo, entre 2009 y 2012, encontrándose los mayores valores en octubre de 2013, para los datos obtenidos del agua de bombeo (los únicos con los que se pudo contar para dicho año).

Al no disponerse de sondeos de observación para detectar el actual origen de esta continuidad del proceso salinizador, ni siquiera de medios para testificar en profundidad algunos puntos de los que podrían derivarse datos sobre este problema, queda abierta la duda de si persisten aún activas las vías de transferencia de mezclas desde Aguadulce, o incluso desde la costa Norte de Roquetas, o de si se trata del movimiento, hacia las depresiones de explotación, de masas de agua ya salinizadas anteriormente, por efecto de la relación de cargas hidráulicas entre éstas y las áreas de bombeo. Desde el punto de vista de las demandas, el planteamiento de estas dudas resulta irrelevante, mientras que, para el análisis de posibles medidas correctoras, el conocer esta realidad actual del proceso de salinización sí tendría sentido.

Una vez localizados los tramos de costa por donde han podido penetrar masas de agua de mar hacia los acuíferos del Sector Noreste del Campo, puede resumirse la secuencia temporal registrada de la movilidad de las mezclas con agua de mar en los mismos, como se expone a continuación.

### **Resumen de la secuencia temporal registrada de la movilidad de las mezclas de agua de mar en los acuíferos del Sector Noreste.**

Esta secuencia, durante los cuatro periodos elegidos fue, de forma muy sintética, la siguiente:

- **1970 – 1981:** Representa la ocurrencia del **proceso más antiguo de intrusión marina desde el tramo litoral de Roquetas** (vía acuífero mioceno, conectado con el mar por el noreste de este núcleo urbano y confinado tierra adentro) **que se transfirió a las capas libres de los acuíferos del área de La Gangosa y, directa o indirectamente, a la capa libre de El Viso**, por la depresión de niveles generada en ambas áreas consecuencia del bombeo (con flujo dentro de la misma en sentido Este – Oeste, forzado por el gradiente piezométrico existente). También, y muy probablemente más tarde, **desde el litoral de Aguadulce y vía carbonatos más profundos del AIN, se inició la penetración del agua de mar a este área costera y, desde ella, se pudieron trasladar algunas mezclas de agua salada hacia La Gangosa.**
- **1981 – 1989:** Con la profundización y expansión de la citada depresión de niveles en las capas libres de El Viso y La Gangosa (y el descenso a cotas negativas en la capa confinada de esta última) **progresaron los procesos de intrusión iniciados anteriormente.** La acumulación de **mezclas saladas provenientes de la “Vía Roquetas”, a las que se unieron las que procedían de la “Vía Aguadulce”, hicieron prácticamente inaceptable para las demandas el agua bombeada de las capas libres de las áreas de Aguadulce, La Gangosa y El Viso** (incluso de las captaciones en la confinada de La Gangosa). Al final del período se inició el abandono de extracciones en la capa libre de El Viso (a la que concurrían los flujos salinos desde ambas vías) lo que se tradujo en un ascenso del nivel del agua en la misma, que daría lugar, más tarde, a la inversión del sentido del flujo subterráneo con mezclas de agua de mar (que, con sentido Este – Oeste se había mantenido durante una o dos décadas en las capas libres de El Viso y La Gangosa).

- **1989 – 2009:** El periodo se caracteriza por haberse iniciado la **salinización del AIN en sus dos áreas interiores de explotación** (desde 1993 con cotas negativas), **consecuencia de la inversión del flujo subterráneo entre las mismas y las áreas contiguas salinizadas**. El abandono casi total del bombeo en las áreas libres de El Viso y La Gangosa generó una recuperación de niveles en estas capas libres (con mayores cotas piezométricas en el primer caso), originando una inversión del flujo subterráneo de las masas con mezclas antiguas de agua de mar, que pasó a ser de sentido Oeste – Este, lo que representa a partir de entonces una regresión del problema contaminante desde estas capas hacia el AIN de El Viso y El Águila. Sin embargo, **no ocurre lo mismo con la transferencia de flujos salados por las capas confinadas, desde los dos citados orígenes**, ya que **el sentido de circulación de éstos avanza desde el mar a las depresiones de bombeo en estas áreas de explotación interiores del AIN**. Por otra parte, existe el problema añadido de la entrada de flujos verticales (vía sondeo o en zonas determinadas de la estructura que lo permiten) desde la capa libre (con salinización antigua) a las confinadas, en las áreas de El Viso y La Gangosa, dada la relación de cargas existente en este periodo.  
Las circunstancias descritas, para las capas libres y las confinadas, tienen interés a la hora de buscar soluciones a la salinización de las áreas de explotación interiores.
- **2009 – 2013:** Está caracterizado por **la respuesta de los acuíferos a las extraordinarias precipitaciones ocurridas en 2009/10 y 2010/11**. Como se podía esperar, se han producido sensibles mejoras, más o menos inmediatas, en la calidad del agua de los mismos (en mayor medida en los tramos fisurados que en los porosos) **aunque los procesos de salinización, ya existentes desde el período anterior, si bien han podido ralentizarse, han seguido su curso, con incrementos de la salinidad en las zonas actuales de explotación del AIN**, aún incipientes, pero con tendencia al aumento de la misma con el tiempo.