



Instituto Geológico
y Minero de España

CONVENIO DE COLABORACIÓN AAA – IGME - ACUAMED – JCUAPA PARA EL DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE ACTIVIDADES CIENTÍFICO – TÉCNICAS DE APOYO A LA PROTECCIÓN – REGENERACIÓN DE LOS ACUÍFEROS DEL SUR DE SIERRA DE GÁDOR – CAMPO DE DALÍAS (ALMERÍA). FASE I (2008-2010, PRORROGADA A 2013). CONVENIO 2008/17

MEMORIA FINAL DE LOS TRABAJOS REALIZADOS DURANTE LA FASE I DEL PROGRAMA DE ACTIVIDADES CIENTÍFICO – TÉCNICAS DE APOYO A LA PROTECCIÓN – REGENERACIÓN DE LOS ACUÍFEROS DEL SUR DE SIERRA DE GÁDOR – CAMPO DE DALÍAS (ALMERÍA).

Redacción: Unidad Territorial de Almería del IGME



JULIO DE 2014

CONVENIO DE COLABORACIÓN AAA – IGME – ACUAMED – JCUAPA PARA EL DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE ACTIVIDADES CIENTÍFICO - TÉCNICAS DE APOYO A LA PROTECCIÓN – REGENERACIÓN DE LOS ACUÍFEROS DEL SUR DE SIERRA DE GÁDOR – CAMPO DE DALÍAS (ALMERÍA). FASE I (2008-2010, PRORROGADA A 2013). CONVENIO 2008/17

TRABAJO Y TAREA: 5 A : MEMORIA FINAL DE LOS TRABAJOS DE LA FASE I (2008-2010) Y SUS PRÓRROGAS (2011-2013)

PERÍODO DE EJECUCIÓN: 2008 - 2014

FECHA DE ENTREGA: Julio de 2014

TÉCNICO QUE HACE LA ENTREGA: Unidad Territorial de Almería del IGME

DESCRIPCIÓN DE LOS DOCUMENTOS:

Contiene el Texto de la Memoria Final de los trabajos de la Fase I (2008-2010) y sus prórrogas (2011-2013), y los Anexos a la misma.

- El **texto de la Memoria** consta de 295 páginas, con numerosas figuras, listados y cuadros. Está formado por 12 capítulos y contiene 13 Anexos a la Memoria, en los que se incluyen referencias a documentos previos a la Fase I, así como 108 documentos completos en formato digital, 20 de las investigaciones previas del IGME y 88 seleccionados entre el total de los llevados a cabo en relación con el desarrollo de este Convenio.

- El **Catálogo General del Control Documental** de la Fase I (Documento 230 contenido en el Anexo 12) incluye todos los documentos de este Convenio. Se llevaron a cabo 242 documentos, siendo el último de ellos esta Memoria Final.

- Todos los documentos del Catálogo General se encuentran consultables en la Unidad Territorial de Almería del IGME, en formato papel y/o digital.

- Las interpretaciones realizadas están fundamentadas en la obtención, tratamiento y análisis de las mediciones e informaciones obtenidas durante el desarrollo de este Convenio (almacenados en las Bases de Datos del IGME: de puntos de agua, piezometría, análisis químicos del agua, explotaciones por bombeo, etc.), junto con las de los datos históricos generados desde este Estudio, anteriores al inicio de la Fase I. Todos estos datos son consultables en la dirección: www.igme.es.

- Las mediciones / informaciones generadas y estudiadas durante el desarrollo de este Convenio han sido entregadas, año a año, a la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (actualmente de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio).

OBSERVACIONES:

- Este documento se ha difundido a las Partes del Convenio; el listado de sus destinatarios se adjunta en las páginas siguientes.

- Dada la complejidad del montaje de esta Memoria Final han podido pasar inadvertidas algunas erratas, que se subsanarán posteriormente.



DIFUSIÓN DE LA MEMORIA FINAL DE LOS TRABAJOS DE LA FASE I . JULIO DE 2014

JUNTA DE ANDALUCÍA. CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Secretaría General de Gestión Integral del Medio Ambiente y Agua
Dª. Carmen Lloret Miserachs
Secretaria General
C/ Manuel Siurot, 50
41071 Sevilla
Tfno: 955 625867
secretariamedioambienteyagua.cmaot@juntadeandalucia.es

Dirección General de Planificación y Gestión del Dominio Público Hidráulico
D. Juan María Serrato Portillo
C/ Marqués de Nervión, 40
41071 Sevilla
Tlfno: 671 530471
dg-dominiopublicohidraulico.agua@juntadeandalucia.es

JUNTA DE ANDALUCÍA. DELEGACIÓN TERRITORIAL DE AGRICULTURA, PESCA Y MEDIO AMBIENTE EN ALMERÍA

D. José Manuel Ortiz Bono
Delegado Territorial
C/ Hermanos Machado, 4-3^a planta
04071 Almería
Tfno: 950 011020
josefinaa.cuerva@juntadeandalucia.es

AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA

Dª. Mercedes García Padilla
Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía
Comunicación y Sistemas de Información
Red de Información Ambiental de Andalucía
C/ Johan G. Gutenberg, 1. Isla de la Cartuja
41092 Sevilla
Tfno: 697 953 160
Fax: 955 044 529
mgarciap@agenciamedioambienteyagua.es



ACUAMED

D. Arcadio Mateo del Puerto
Director General
C/ Albasanz, 11
28037 Madrid
Tfno: 91 4234576
aroales@acuamed.es

D. Fermín López Unzu
Director de Explotación C/ Albasanz, 11
28037 Madrid
Tfno: 91 4234525
flopez@acuamed.es

D. Jaime de Miguel Gómez
Gerente Territorial Zona 4. Almería
Avda. Federico García Lorca, 92-1º B
04005 Almería
Tfno: 950 280350
jdemiguel@acuamed.es

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (IGME)

D. Jorge Civis Llovera
Director
C/ Ríos Rosas, 23
28003 Madrid
Tfno: 91 349 5962
j.civis@igme.es

D. José Manuel Baltuille Martín
Director del Departamento de Infraestructura Geocientífica y Servicios
C/ Ríos Rosas, 23
28003 Madrid
Tfno: 91 349 5788
jm.baltuille@igme.es

JUNTA CENTRAL DE USUARIOS DEL ACUÍFERO DEL PONIENTE ALMERIENSE

D. Manuel García Quero
Presidente



C/ John Lennon, 5-4º D
04700 El Ejido (Almería)
Tfno: 950 483837
administracion@jcuapa.org

INDICE GENERAL

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN -----	capítulo 1-1
CAPÍTULO 2.- ANTECEDENTES -----	capítulo 2-1
CAPÍTULO 3.- ACTUACIONES CIENTÍFICO-TÉCNICAS MÁS DESTACABLES DEL IGME SOBRE LA ZONA (1966-2006) QUE PRECEDIERON AL PROGRAMA Y ACUERDO DE INTENCIÓNES INSTITUCIONALES PARA EJECUTARLO -----	capítulo 3-1
3.1- CAUSAS DEL PROCESO DE SALINIZACIÓN, MOTIVACIONES Y OBJETIVOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN DEL IGME. -----	3-2
3.2- DIFICULTADES NATURALES Y SOCIOECONÓMICAS EN EL DESARROLLO DE ESTA INVESTIGACIÓN -----	3-5
3.3- CARACTERÍSTICAS MÁS SIGNIFICATIVAS DE ESTA INVESTIGACIÓN DEL IGME -----	3-7
3.3.1- <u>Breve reseña general del medio investigado, previa a la descripción del proceso de su conocimiento durante décadas</u> -----	3-7
3.3.2- <u>Distribución espacial de acuíferos y enfoque de las actuaciones en los mismos</u> -----	3-9
3.3.3- <u>Datos para una discusión del conocimiento alcanzado sobre los acuíferos del Campo de Dalías y la contribución al mismo de su investigación por el IGME y con los trabajos e investigaciones de otras entidades</u> -----	3-12
3.4- CONOCIMIENTO ALCANZADO DE LA GEOMETRÍA DE LOS DISTINTOS ACUÍFEROS Y METODOLOGÍA EMPLEADA -----	3-21
3.5- METODOLOGÍA SEGUIDA Y CONOCIMIENTO ALCANZADO SOBRE EVOLUCIÓN DE LAS CAUSAS DE LOS CAMBIOS EN EL FUNCIONAMIENTO -----	3-25
3.5.1- <u>Información sobre causas de los cambios a consecuencia de la ocupación del territorio</u> -----	3-25
3.5.2- <u>Evolución del bombeo en los distintos acuíferos, principal causa de los cambios de su funcionamiento</u> -----	3-27
3.5.3- <u>Aproximación al conocimiento de la distribución de características hidrodinámicas</u> -----	3-33

3.6- METODOLOGÍA DE OBSERVACIÓN DE LOS EFECTOS PRODUCIDOS CON LA EVOLUCIÓN DEL BOMBEO Y DE LA OCUPACIÓN DE LOS DISTINTOS ACUÍFEROS, PARA CONOCER LA EVOLUCIÓN DE SU FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO -----

----- 3-35

3.6.1- Observación y ejemplos de representación de los cambios piezométricos, como reflejo de las variaciones en la cantidad en los distintos acuíferos y la relación de flujos entre los mismos ----- 3-35

3.6.2- Observación y ejemplos de representación de los cambios en las características físico-químicas generales de los acuíferos con referencia a las deducidas de su régimen natural ----- 3-48

3.7- SEGUIMIENTO ESPECIAL DE LA INTRUSIÓN MARINA ----- 3-57

3.7.1- Investigación, con los medios disponibles, del proceso de intrusión por Balanegra ----- 3-57

3.7.2- Investigación del proceso de intrusión marina por la franja costera de Roquetas – Aguadulce ----- 3-63

3.7.2.1- Descripción sintética del proceso de seguimiento de la intrusión en el área de Aguadulce ----- 3-69

3.7.2.2- Dificultades y resultados del seguimiento de la salinización en el área de La Gangosa ----- 3-71

3.7.2.3- Seguimiento de la salinización por mezcla de agua de mar en el área de El Viso ----- 3-76

3.7.2.4- Salinidad observada en el área de El Águila ----- 3-79

3.7.2.5- Alcance de las observaciones en el área de Roquetas ----- 3-80

3.8- OTROS PROBLEMAS DERIVADOS DE LA FORMA DE USO ----- 3-83

3.9- RESUMEN DE APORTACIONES HISTÓRICAS MÁS DESTACABLES DEL IGME AL CONOCIMIENTO DE ESTOS ACUÍFEROS, EN APOYO A SUS GESTORES Y USUARIOS PARA FAVORECER UN USO SOSTENIBLE DE LOS MISMOS. ----- 3-85

3.9.1- El periodo 1969 – 1980 ----- 3-85

3.9.2- El período 1980 -1985 ----- 3-85

3.9.3- El período 1985 – 1995 ----- 3-86

3.9.4- El período 1995 – 2005 ----- 3-88

CAPÍTULO 4.- EL PROGRAMA DE ACTIVIDADES DE APOYO A LA PROTECCIÓN – REGENERACIÓN DE LOS ACUÍFEROS DEL SUR DE SIERRA DE GÁDOR – CAMPO DE DALÍAS ----- capítulo 4-1

CAPÍTULO 5.- OBJETIVOS DE LA FASE I Y DEFINICIÓN DE SUS PRINCIPALES TRABAJOS PROYECTADOS ----- capítulo 5-1

CAPÍTULO 6.- TRABAJOS DEL OBJETIVO PRIMERO: ACTUALIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LOS ACUÍFEROS Y DE SU INFRAESTRUCTURA DE USO ----- capítulo 6-1

6.1- ACTUALIZACIÓN DE EXPLOTACIONES POR BOMBEO (TRABAJO 1A) -----	6-2
6.2- ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LA PIEZOMETRÍA (TRABAJO 1B) -----	
	6-17
6.3- CONTRASTE / MODIFICACIÓN DEL MODELO DE GEOMETRÍA DEL SUBSISTEMA (TRABAJO 1C) -----	6-39
6.4- DETECCIÓN PRELIMINAR DE LOS PRINCIPALES FOCOS DE CONTAMINACIÓN POR SU POTENCIAL INFLUENCIA EN LOS ACUÍFEROS INFERIORES (TRABAJO 1D) -----	
	6-47
6.5- ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LA VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS DEL AGUA EN LOS PRINCIPALES ACUÍFEROS, CON ESPECIAL ATENCIÓN A LOS PROCESOS DE INTRUSIÓN MARINA (TRABAJOS 1E Y 2B) -----	6-57
6.5.1- <u>Obtención de nuevas informaciones físico-químicas representativas de los acuíferos recogidas durante la Fase I (2008-2010) y sus prórrogas (2011-2013)</u> -----	
	6-60
6.5.2- <u>Estudio de las características físico – químicas del agua de los acuíferos de cobertura</u> -----	6-63
6.5.3- <u>Ánálisis preliminar de la incidencia de plaguicidas en la zona saturada de Zonas Estratégicas Preferentes</u> -----	6-69
6.5.4- <u>Estudio de las características físico – químicas del agua de los Acuíferos Inferiores</u> -----	6-71
6.5.4.1- <u>Resultados del estudio de la salinización en los acuíferos inferiores</u> ---	
	6-81
6.6- RESUMEN DEL DESARROLLO DE LOS PROCESOS DE INTRUSIÓN MARINA: EL PRINCIPAL PROBLEMA PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL USO DE ESTOS ACUÍFEROS --	
	6-87
6.6.1- <u>Sector Centro – Occidental del Campo</u> -----	6-88
6.6.2- <u>Sector Noreste del Campo</u> -----	6-89
6.6.2.1- <u>Período 1970-1981</u> -----	6-89
6.6.2.2- <u>Período 1981-1992</u> -----	6-90
6.6.2.3- <u>Período 1992 -2009</u> -----	6-93
6.6.2.4- <u>Período 2009 -2013</u> -----	6-94
6.6.2.5- <u>Resumen de la secuencia temporal registrada de la movilidad de las mezclas de agua de mar en los acuíferos del Sector Noreste</u> -----	6-95

CAPÍTULO 7.- TRABAJOS DEL OBJETIVO SEGUNDO: PROPUESTA DE PRIMERAS ALTERNATIVAS DE REORDENACIÓN DE BOMBEOS: REDUCCIÓN EN ACUÍFEROS INFERIORES, AUMENTO EN ZONAS ESTRATÉGICAS DE COBERTERAS Y VIABILIDAD DE RECARGAS EN EL AEBN ----- capítulo 7-1

7.1- SELECCIÓN PRELIMINAR DE ZONAS ESTRATÉGICAS PREFERENTES PARA LA REORIENTACIÓN DE EXTRACCIONES (TRABAJO 2A) -----	7-1
7.2- ANÁLISIS DEL CONOCIMIENTO HIDRODINÁMICO DE LAS ZONAS ESTRATÉGICAS Y SU MEJORA EN LAS PREFERENTES (TRABAJO 2D) -----	7-5
7.3- ACTUALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DE LOS ACUÍFEROS INFERIORES: PROPUESTA DE CORRECCIÓN A 2012 (TRABAJO 2E) -----	7-13
<u>7.3.1- Actualización del estado de estos acuíferos</u> -----	7-13
<u>7.3.2- Propuesta de corrección a 2012</u> -----	7-16
7.4- ANÁLISIS DE LA CONVENIENCIA/VIABILIDAD DE RECARGAS EN EL AEBN COMO MEDIDA PROTECTORA DEL AIO (TRABAJO 2F) -----	7-19

CAPÍTULO 8.- TRABAJOS DEL RESTO DE OBJETIVOS DE LA FASE I -----
----- capítulo 8-1

8.1- PRIMERAS INVESTIGACIONES DE MULTITRAZADORES EN APOYO A LA EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LOS CAMBIOS EN LAS TENDENCIAS NEGATIVAS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS ACUÍFEROS INFERIORES (TRABAJO 3A) -----	8-1
8.2- INTEGRACIÓN DEL ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO EN EL MANEJO DE RECURSOS DISPONIBLES (TRABAJO 4A) -----	8-7
8.3- CLASIFICACIÓN DOCUMENTAL DE NUEVAS INFORMACIONES / ELABORACIONES EN RELACIÓN CON LA FASE I (TRABAJO 2C) -----	8-11
8.4- DIRECCIÓN, GESTIÓN Y COORDINACIÓN DE EQUIPOS TÉCNICOS Y DE LA INFORMACIÓN (TRABAJO 6A) -----	8-13
<u>8.4.1- Gestión informativa del estado técnico y económico-administrativo del Programa, tanto al IGME como a la Comisión de Seguimiento del Convenio, así como la coordinación general del Convenio</u> -----	8-13
<u>8.4.2- Dirección hidrogeológica y gestión general, así como coordinación de equipos técnicos participantes</u> -----	8-14

**CAPÍTULO 9.- CONSIDERACIONES SOBRE LOS TRABAJOS REALIZADOS
DE LA FASE I Y SUS PRÓRROGAS ----- capítulo 9-1**

9.1- DE CARÁCTER ADMINISTRATIVO -----	9-1
9.2- CONSIDERACIONES SOBRE LOS RESULTADOS POR OBJETIVOS DE LA FASE I -----	9-5
9.2.1- <u>Del Objetivo Primero</u> -----	9-5
9.2.2- <u>Del Objetivo Segundo</u> -----	9-6

**CAPÍTULO 10.- SÍNTESIS DE LAS MEJORAS DEL CONOCIMIENTO
ADQUIRIDAS CON LOS TRABAJOS DE LA FASE I Y SUS PRÓRROGAS -----**
----- capítulo 10-1

10.1- ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTO DE LAS EXPLOTACIONES POR BOMBEO -----	10-1
10.2- ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LA PIEZOMETRÍA -----	10-2
10.3- LA ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO DEL ESTADO DE LA SALINIZACIÓN EN PROFUNDIDAD DE LOS ACUÍFEROS INFERIORES -----	10-4
10.4- CONOCIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS COBERTERAS -----	10-9
10.5- SOBRE EL MODELO DE GEOMETRÍA Y EVOLUCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE ACUÍFEROS -----	10-11
10.6- REORDENACIÓN DE BOMBEOS: PRIMERA PROPUESTA CORRESPONDIENTE A LA FASE INICIAL -----	10-12
10.6.1- <u>En los acuíferos inferiores</u> -----	10-13
10.6.2- <u>En los acuíferos de cobertura</u> -----	10-14

CAPÍTULO 11.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ----- capítulo 11-1

11.1- ENCUADRE DEL PROBLEMA -----	11-1
11.2- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	11-2

CAPÍTULO 12.-ANEXOS DE LA MEMORIA ----- capítulo 12-1

12.1- ANEXO 1: SOBRE ACTUACIONES CIENTÍFICO-TÉCNICAS MÁS DESTACABLES DEL IGME EN LA ZONA: TRABAJOS ANTERIORES A LA FASE I -----	12-1
12.1.1- <u>Anexo 1.1: sobre características más significativas de esta investigación -----</u>	12-1
12.1.2- <u>Anexo 1.2: sobre conocimiento alcanzado de la geometría de los distintos acuíferos y metodología empleada: documentos completos de especial interés -----</u>	12-2
12.1.3- <u>Anexo 1.3: metodología seguida y conocimiento alcanzado sobre evolución de las causas de los cambios en el funcionamiento: con documentos completos a modo de ejemplos -----</u>	12-3
12.1.4- <u>Anexo 1.4: metodología de observación de los efectos producidos con la evolución del bombeo y de la ocupación de los distintos acuíferos, para conocer la evolución de su funcionamiento hidrogeológico -----</u>	12-3
12.1.5- <u>Anexo 1.5: seguimiento especial de la intrusión marina -----</u>	12-8
12.2- ANEXO 2: SOBRE LA ACTUALIZACIÓN DE EXPLOTACIONES POR BOMBEO (TRABAJO 1A) -----	12-17
12.3-ANEXO 3: SOBRE LA ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LA PIEZOMETRÍA (TRABAJO 1B) -----	12-17
12.4- ANEXO 4: SOBRE EL TRABAJO CONTRASTE / MODIFICACIÓN DEL MODELO DE GEOMETRÍA DEL SUBSISTEMA (TRABAJO 1C) -----	12-17
12.5- ANEXO 5: SOBRE EL TRABAJO DETECCIÓN PRELIMINAR DE LOS PRINCIPALES FOCOS DE CONTAMINACIÓN POR SU POTENCIAL INFLUENCIA EN LOS ACUÍFEROS INFERIORES (TRABAJO 1D) -----	12-18
12.6- ANEXO 6: SOBRE LA ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LA VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA EN LOS PRINCIPALES ACUÍFEROS, CON ESPECIAL ATENCIÓN A LOS PROCESOS DE INTRUSIÓN MARINA (TRABAJOS 1E Y 2B) -----	12-18
12.7- ANEXO 7: SOBRE LA SELECCIÓN PRELIMINAR DE ZONAS ESTRATÉGICAS PREFERENTES PARA LA REORIENTACIÓN DE EXTRACCIONES (TRABAJO 2A) -----	12-18
12.8- ANEXO 8: SOBRE EL ANÁLISIS DEL CONOCIMIENTO HIDRODINÁMICO DE LAS ZONAS ESTRATÉGICAS Y SU MEJORA EN LAS PREFERENTES (TRABAJO 2D) -----	12-18
12.9- ANEXO 9: SOBRE LA ACTUALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DE LOS ACUÍFEROS INFERIORES: PROPUESTA DE CORRECCIÓN A 2012 (TRABAJO 2E) -----	12-19

12.10- ANEXO 10: SOBRE EL ANÁLISIS DE LA CONVENIENCIA/VIABILIDAD DE RECARGAS EN EL AEBN COMO MEDIDA PROTECTORA DEL AIO (TRABAJO 2F) -----

----- 12-19

12.11- ANEXO 11: SOBRE LAS PRIMERAS INVESTIGACIONES DE MULTITRAZADORES EN APOYO A LA EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LOS CAMBIOS EN LAS TENDENCIAS NEGATIVAS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS ACUÍFEROS INFERIORES (TRABAJO 3A) ----- 12-19

12.12- ANEXO 12: SOBRE LA CLASIFICACIÓN DOCUMENTAL DE NUEVAS INFORMACIONES/ELABORACIONES EN RELACIÓN CON LA FASE I (TRABAJO 2C) -----

----- 12-19

12.13- ANEXO 13: SOBRE LA DIRECCIÓN, GESTIÓN Y COORDINACIÓN DE EQUIPOS TÉCNICOS Y DE LA INFORMACIÓN (TRABAJO 6A) ----- 12-19

12.14- ANEXO 14: DATOS E INFORMACIONES GENERADOS/ ELABORADOS DURANTE LA FASE I Y SUS PRÓRROGAS ----- 12-20

MEMORIA

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Antes de describir los trabajos realizados durante la Fase I del Programa, conviene recordar algunos **antecedentes** (**capítulo 2**) que actualicen –para quienes no estuvieran cerca de su origen o del alcance del mismo- determinadas circunstancias sociológicas, hitos y consideraciones relativas al desarrollo del uso intensivo de estos acuíferos y la generación de su mayor problema: **el proceso activo de salinización progresiva** que viene afectando a las reservas de los principales acuíferos de esta zona, como consecuencia de dicho uso. Se trata de unas **reflexiones sobre la forma en que, históricamente, se fue tratando la gestión de la disponibilidad de los recursos hídricos** que tendrían que ir abasteciendo la transformación en regadío de esta llanura y el mantenimiento de la misma. **También, que muestren una idea del contexto en que fue desarrollándose la investigación llevada a cabo en la zona por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).**

A estos antecedentes seguirá (**capítulo 3**) una **síntesis de los trabajos científico-técnicos de este Estudio, previos al Programa**, realizados durante décadas por el IGME, como resumen histórico de sus **aportaciones orientadas al asesoramiento público**, que constituyeron el cuerpo esencial del conocimiento de este complejo conjunto de acuíferos y de la preocupante evolución de su funcionamiento, lo que motivó dicho Programa. Una selección de documentos de interés pertenecientes a esta época de la investigación sobre los acuíferos del Campo de Dalías queda recogida en el **Anexo 1**.

Tras una síntesis de hechos y circunstancias que originaron la propuesta hecha al IGME sobre la formulación de un Programa de actuaciones para su sostenibilidad, se pasa a una **breve reseña de lo proyectado en el mismo y de sus objetivos** (**capítulos 4 y 5**), que da paso a la **descripción de los trabajos realizados** durante la vigencia del período proyectado para la Fase I (2008-2010) y sus prórrogas (2011-2013), resumidos en los **capítulos 6 y 7** para los dos objetivos principales, y en el **capítulo 8** para el resto de sus objetivos. Para cada Trabajo, a lo largo de esta memoria, **se hace mención a aquellos documentos generados durante el desarrollo de la Fase I del Programa** considerados de mayor interés, que quedan **recogidos en los anexos correspondientes**.

En el **capítulo 9** se exponen **consideraciones sobre las actividades realizadas** (en relación con aspectos administrativos. y en cuanto a los resultados por objetivos de la Fase I), mientras que en el **capítulo 10** se **sintetiza la mejora del conocimiento adquirida con los trabajos** de esta fase del Programa y sus prórrogas.

Un resumen sobre **el desarrollo de los procesos de entrada de agua de mar** (el principal problema para la sostenibilidad de este conjunto de acuíferos) se incluye en el último apartado del **capítulo 6**. El texto de la Memoria finaliza con **las conclusiones y recomendaciones**, que se reflejan en el **capítulo 11**.

Las citas incluidas en texto y anexos (a documentos previos a la Fase I y a los elaborados dentro de ésta) se han hecho con la referencia documental de la Unidad de Almería del IGME, en el primer caso, o con la de catalogación de la Fase I, en el segundo (ejemplo: ref. 86, y documento 113, respectivamente).

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES

La planificación y la gestión de la disponibilidad de recursos hídricos que se requerían para llevar a cabo la decisión estatal de transformación en regadío de este Campo, en los primeros años de actuación **sólo podrían ser posibles desde el Estado**. Aunque este propósito de desarrollo económico y social recibió un gran impulso de la iniciativa privada (muy superior a lo esperado), la contribución de ésta se dirigió a la generación del nuevo modelo productivo de agricultura, con captaciones en sondeos particulares para abastecerlo, manifestándose sólo testimonialmente preocupada por la garantía de continuidad del agua disponible para sustentarlo. Esta faceta del proceso se asumió, por tanto, por el propio Estado, ya que con la situación económica y cultural de entonces era impensable otra cosa.

Según la organización administrativa estatal existente **en esta primera etapa** predemocrática, **correspondió al Ministerio de Agricultura**, a través del **Instituto Nacional de Colonización (INC)**, **la planificación y gestión de dichos recursos hídricos, con la respectiva contribución técnica especializada, coordinada por el Gobierno, de otros Organismos Públicos: IGME y DGOH** (Dirección General de Obras Hidráulicas) especialmente. Se generó por una parte una directriz al IGME, como competente en la materia, para llevar a cabo una investigación hidrogeológica que pudiera orientar sobre el potencial de recursos subterráneos existente y la vulnerabilidad de los mismos, particularmente por el riesgo de intrusión de agua de mar. Por otra, se encargó al Ministerio de Obras Públicas, atendiendo a la especialización de los Organismos de su Dirección General de Obras Hidráulicas, el estudio de viabilidad y las obras necesarias para aportar (a Almería capital y al Campo de Dalías) el volumen máximo posible de recursos superficiales desde la vecina Cuenca del Adra, que daría lugar al Embalse de Beníjar y al canal Beníjar – Aguadulce.

Tal contribución se determinó porque, desde los primeros años del ambicioso Programa de regadío que se había propuesto en esta llanura, surgieron dudas sobre la existencia de la cantidad y calidad del agua subterránea o superficial necesarias para ello, tanto del Campo de Dalías como de la contigua cuenca excedentaria al Oeste del mismo, pues muy pronto quedó planteada una situación compleja al concurrir un foco de demanda de agua que crecía muy por encima de las previsiones y un abastecimiento hídrico a la misma -incontrolado en la cantidad y en la forma de obtenerlo- desde unos acuíferos costeros, aún sin definir, cuyo riesgo de salinización por agua de mar era una consecuencia a fecha impredecible, pero insalvable si no se tomaban medidas que la evitaran.

Ante el auge de la utilización masiva de aguas subterráneas que se estaba produciendo en gran parte del país, y su falta de control administrativo y técnico, con el RD 3029/1979 de 7 de diciembre se empezó a organizar por el Estado la corrección de los problemas que se estaban generando, para extender a todo su territorio la necesaria regulación del aprovechamiento de los recursos hídricos, que habían de someterse a planes hidrológicos.

Con esta Ley y su desarrollo se creó la **Comisión de Planificación Hidrológica** (un instrumento de dirección y coordinación interministerial que se nucleó con la Dirección General de Obras Hidráulicas -la organización administrativa del Estado más desarrollada sobre aguas del Estado- aunque esencialmente experta en aguas superficiales). Sería el órgano rector de la ejecución

de los estudios previos, para lo que constituyó el **Grupo de Trabajo de Coordinación y Normas**, el cual, a su vez, creó los **Grupos de Trabajos Regionales**, uno por cada cuenca, presididos por los Directores de las Confederaciones Hidrográficas, que debían de ocuparse de la redacción de los **Planes Hidrológicos** específicos de cuenca. Con la integración de todos ellos se generaría el **Plan Hidrológico Nacional**.

A dichos grupos regionales se les pidió un primer antípico preparatorio del Plan de Cuenca, a realizar en 1980 (finalizaría en 1981). **En el caso de la Cuenca Sur, el Grupo de Trabajo integraba** representantes de varias Administraciones y especialistas de entidades colaboradoras relacionadas con el recurso agua (**IRYDA, ICONA, Delegación de Industria, IGME**, etc.) junto a **varios miembros de la Dirección General de Obras Hidráulicas**, entre ellos los **del Servicio Geológico –SGOP- y de la Confederación Hidrográfica del Sur**, con su presidente como director del grupo. Se iniciaron sus actividades al principio de 1980 y **su trabajo consistió en recoger la documentación útil al Plan ya elaborada por las distintas Administraciones y entidades**, así como **señalar los trabajos a realizar para cumplir el objetivo de este avance del Plan y decidir quienes debían asumir la responsabilidad de llevarlos a cabo**.

Con respecto al **conocimiento hidrogeológico de los acuíferos almerienses**, como tales entidades diferenciadas, **la información más completa** y casi única, así como la experiencia aportada, **fue la resultante de la investigación y seguimiento llevados a cabo por el IGME** en la provincia (con una importante colaboración del INC/IRYDA) durante más de una década. Y para **complementar** en lo posible **la información que se requería** sobre sus acuíferos principales, fue prácticamente unánime **la decisión del Grupo de Trabajo de designar al IGME para su obtención** en el caso de los del Campo de Dalías, Campo de Níjar, El Saltador, etc., **por su experiencia y conocimientos**, y la circunstancia de **estar continuando sus investigaciones** sobre los mismos.

Ante la situación creada en el Campo de Dalías, al verificarse el avance de la intrusión de agua de mar por Balanegra, dada a conocer por el IGME en los primeros años 80, **la Junta de Andalucía dictó el Decreto 117/1984 de 2 de mayo**, que establecía un régimen administrativo especial de autorizaciones para la captación de aguas subterráneas en el Campo de Dalías y en un sector importante **del sur de la Sierra de Gádor**, que era ya considerado por este Instituto como inseparable del Campo por la continuidad hidrogeológica de los carbonatos triásicos en esta parte de la sierra y en la llanura. Esta normativa incluía informes preceptivos del Instituto (al ser el único Organismo capacitado para ello por su estudio hidrogeológico de la zona -refrendado por el IRYDA y otras entidades provinciales como el Gobierno Civil-) así como de la Comisaría de Aguas del Sur, según lo previsto en el artículo 23 de la Ley de Aguas entonces vigente. Poco después, **la Ley 15/1984 de 24 de mayo** “Sobre medidas excepcionales para aprovechamiento de los recursos hidráulicos”, asumía tal necesidad y la tomaba bajo su control, estableciendo, mediante la misma, **la prescripción de autorización de la Comisión** (de Sequía) **de la Demarcación Hidráulica del Sur de España, para la captación de aguas subterráneas en la zona o el uso de las mismas para implantar o ampliar cualquier superficie de regadíos** (normativa que continuó vigente hasta el 31 de diciembre de 1986).

Con la promulgación en 1985 de la nueva Ley de Aguas, y posteriores normativas legales relativas a la Planificación y Gestión del Agua, se declaró por fin el **principio moderno** (ya aceptado universalmente) **del carácter único del recurso**, con independencia de sus formas (superficial y subterránea) de presentarse. Así se eliminó, en la letra de la Ley, la irracional separación que consideraba independiente la planificación y gestión de dichas manifestaciones.

Hasta entonces, **las competencias sobre las subterráneas estaban muy repartidas entre varios Organismos Públicos.**

Pero, en la práctica, esta modernización que introdujo la nueva Ley no llegó a consolidarse plenamente: la nueva legislación no generó los necesarios órganos de gestión integral del agua, dotados de los correspondientes equipos técnicos multidisciplinares que les permitieran aplicar, conforme a lo legislado y unánimemente admitido, el estudio, la planificación y la gestión técnica conjunta de las formas superficiales y subterráneas del agua, como recurso único. La falta de estos órganos multidisciplinares se suplió descargando en las clásicas confederaciones hidrográficas todo el peso de esta función integradora del recurso, al otorgarles nominalmente la responsabilidad de la gestión única del mismo, aunque manteniendo en algunos casos prácticamente la misma dosificación unidisciplinar de sus equipos técnicos.

La enorme sobrecarga de sus funciones y lo incompleto de su equipamiento científico-técnico supuso serias dificultades en algunos de estos Organismos de Cuenca (según su nueva denominación), para la adecuada aplicación de la Ley en la planificación y la gestión de todos los recursos hídricos a su cargo. Tales dificultades quedaron sin compensar al no dictarse un obligado cumplimiento de coordinación real de las Confederaciones Hidrográficas (como Organismos de Cuenca) con otros Organismos del Estado provistos de equipos científico-técnicos (y amplios equipamientos) con larga experiencia en el estudio de los acuíferos del país, cuya participación equilibrada en el estudio, planificación y gestión técnica de los mismos podría haber favorecido el análisis y discusión pluridisciplinar del recurso agua en sus demarcaciones. Además, podrían haber apoyado a dichos órganos responsables de la cuenca, descargándoles de la pesada responsabilidad que se les había impuesto, evitándoles en algunos casos la adopción de criterios de autosuficiencia con los que interpretaron el cumplimiento de las funciones que les había otorgado la nueva Ley, los cuales eran contrarios al desarrollo de hábitos de trabajo en equipos multidisciplinares. (La perspectiva y tratamiento monocultural de problemas complejos, necesitados de análisis y discusiones pluridisciplinares -como requieren la planificación y gestión de los recursos hídricos de una cuenca- pudo significar, en algún caso, unas dificultades añadidas para aplicar lo legislado sobre sus recursos hídricos).

En la Cuenca Sur (una entidad artificial constituida por pequeñas cuencas mediterráneas de gran complejidad en general y con características y problemáticas muy diferentes) estas características complicaron su planificación y gestión en distintos aspectos, y **estas dificultades**, entre otras, alcanzaron una **notable incidencia**, sobretodo en la **parte oriental de la misma**, correspondiente a **Almería**: el territorio peninsular con mayor aridez, en el que los cursos continuos de aguas superficiales son prácticamente inexistentes, por lo que, tanto los escasos riegos antiguos (ligados esencialmente a manantiales y galerías) como las modernas transformaciones de regadíos y suministros de agua a núcleos urbanos se venían abasteciendo casi en su totalidad con aguas subterráneas sin ningún control, con lo que dicha complicación se multiplicaba enormemente.

La fuerte presión de las demandas en este sector oriental de la cuenca y las dificultades señaladas anteriormente pudieron ser causa de la muy reducida implicación del Organismo de Cuenca en el mismo, por la compleja problemática que presentaba la investigación, el seguimiento y la gestión de los acuíferos almerienses (especialmente el control de su cantidad y calidad), siendo sus recursos -no renovables y renovables- de tan alto valor para un desarrollo racionalizado de esta provincia, cuya gestión y protección estaba legalmente a su cargo. (Tal distanciamiento pudo incluso representar -según expresaron varios de sus propios directivos- un obstáculo para la recepción de apoyos e informaciones hidrogeológicas ofrecidas por el IGME – basadas en el conocimiento y la especialización adquirida sobre estos acuíferos- incluidas las propuestas de

análisis y discusión conjunta de problemas de los mismos para avanzar en su conocimiento y en sus posibles medidas correctoras, especialmente relacionadas con la intrusión marina en el Campo de Dalías, cuya investigación necesitaba medios que eran usuales en el tratamiento dado a las aguas superficiales, pero no disponibles por este Estudio). Faltó, posiblemente, una mejor coordinación obligada de medios técnicos y materiales entre dichas Administraciones del Estado (no resuelta adecuadamente desde el nacimiento de la nueva legislación) con la cual hubiera podido mejorarse la asistencia al Organismo de Cuenca en su compleja tarea en beneficio de los resultados de su gestión de los acuíferos almerienses.

Las restricciones legales que pretendían la protección de los acuíferos inferiores del Campo de Dalías (que iniciaban ya procesos de salinización registrados en los mismos) fueron prorrogándose hasta después de 1986, con el RD 2618/1986 de 24 de diciembre de medidas excepcionales, entre otros acuíferos, para los de este Campo (que, a su vez, actualizaron su vigencia en años sucesivos), pero **el crecimiento real del bombeo en estos acuíferos inferiores reflejó la escasa incidencia que tuvieron estas medidas.**

A instancia de la Junta Central de Usuarios del Acuífero del Poniente (JCUAPA), y en base al progreso del deterioro de estos acuíferos, la Junta de Gobierno de la Cuenca llevó a cabo el 21 de septiembre de 1995 la **Declaración Provisional de sobreexplotación de los acuíferos del Campo de Dalías**, que daba paso al previsto procedimiento legal para la elaboración del **Plan de Ordenación** y a cuyo término se produciría la **Declaración Definitiva de Sobreexplotación** de los mismos.

Durante los años previos al proyecto de Desaladora del Campo de Dalías, **la aportación consolidada del MOPU/ MIMAM** (a través de su Dir. General de Obras Hidráulicas y del Organismo de Cuenca) **la gestión de importación de recursos** a la zona, para contribuir a su problema de déficit, **consistió en la finalización del trasvase desde Beníar** (1987/88) **de un volumen promedio cercano a los 10 hm³/año** (menor al previsto de unos 35 hm³/año con destino, según lo proyectado, a Almería capital y al Campo, al parecer por dificultades para una mejor regulación de las aportaciones del Adra). También, **para el control de los acuíferos del Campo**, llevaron a cabo **una docena de puntos de observación piezométrica**, siguiendo directamente los criterios dictados desde Madrid por el SGOP (ante la carencia de hidrogeólogos propios del Organismo de Cuenca que pudieran conocer de cerca las características hidrogeológicas y la problemática local de estos acuíferos) que prescindió del asesoramiento directo desde este Estudio.

No se conocen planteamientos de otros trabajos sobre los acuíferos del Campo de Dalías por parte de la Administración Hidráulica durante este período. **No se llevaron a cabo actuaciones sobre los mismos que pudieran haberse adelantado para reducir el impacto negativo del proceso de salinización, y para mejorar las infraestructuras de observación** necesarias para apoyar la mejor aplicación del Plan de Ordenación y para el seguimiento de los efectos producidos por la ordenación que fuera a llevarse a cabo, atendiendo al estado del conocimiento existente sobre estos acuíferos. (Cabe señalar el desajuste de tiempos entre el proceso administrativo diseñado para la ordenación de estos recursos y el de los procesos reales de deterioro progresivo de dichos recursos como consecuencia del uso y la ausencia de medidas correctoras que pudieran evitarlo o minimizarlo).

Con respecto al **preceptivo Plan de Ordenación** de estos acuíferos (tras su Declaración Provisional de Sobreexplotación), **la falta de recursos de sustitución de bombeos representaba una dificultad insalvable**. Fue **el proyecto de desaladora de Balerma, que lleva a cabo ACUAMED**, lo que **constituyó la activación clave de dicho Plan.**

Para la redacción del mismo, por los sucesivos organismos competentes se pusieron en marcha una serie de actividades (de carácter técnico, jurídico o administrativo) sobre: los aprovechamientos existentes y su contraste en campo; constitución de la Comunidad de Usuarios de la zona objeto de regulación; inventario de usos y de infraestructuras de almacenamiento y distribución de recursos hídricos; viabilidad técnico- económica de utilización de recursos desalobrados; reutilización de aguas regeneradas; etc., en parte están ya realizadas o en estado avanzado de ejecución, que siguieron los pasos previstos por la Administración Hidráulica para elaborar los Planes de Ordenación.

El IGME por su parte, ante la situación creada en **este sistema de acuíferos** (que vienen atendiendo el abastecimiento del 85-90% de las demandas de su agricultura y población – incluida la de la ciudad de Almería- con un proceso de salinización progresiva y la circunstancia de carecerse de recursos para sustitución de parte de los bombeos) adoptó el criterio de continuar, transitoriamente, la investigación que desde décadas atrás venía llevando a cabo sobre estos acuíferos ya afectados por procesos de entrada de agua de mar, por su necesidad para plantear posibles medidas correctoras en los mismos. Esta actuación ha venido siendo atendida, dentro de lo posible, con sus propios medios, en espera de que la Institución responsable de su gestión se dotara de un equipo propio experimentado en este ámbito, que la capacitará para llevarla a cabo. Debe quedar constancia del reconocimiento que por ello se ha recibido por parte de Organismos de la Junta de Andalucía (Consejería de Agricultura, Servicio de Obras Hidráulicas, Servicio de Minas, etc.), incluso de apoyos puntuales en la financiación de trabajos y obras de investigación de este Instituto, durante los años de transferencia de competencias a la Autonomía Andaluza, así como con la iniciativa y la contribución que, últimamente, dedicó al desarrollo del Programa objeto de esta Memoria.

Cabe añadir que la conjunción de esfuerzos públicos y privados que han contribuido al desarrollo de este **extraordinario modelo productivo** de agricultura almeriense, merece un reconocimiento muy especial. No obstante, dicha actitud no ha sido correlativa a la otorgada a los acuíferos que lo han hecho posible: de forma bastante generalizada **no se les ha prestado la merecida atención**, estando también necesitados de ésta, aunque desde los primeros años de su explotación intensiva se han venido sucediendo frecuentes informaciones sobre la vulnerabilidad de sus recursos (renovables y no renovables) y ha podido ser conocido por todos el avance de su deterioro, como también la insuficiencia de medios para prevenir mejor el alcance de los efectos antes de afectar a sus captaciones.

La comprensión de la necesidad de usarlos históricamente, como único medio de desarrollo social y económico de este territorio, es compartida por todos; pero no lo ha sido siempre la forma en que, tal uso y desatención, se ha venido haciendo de los mismos. **Un tratamiento más racionalizado y con mayor atención a estos embalses subterráneos**, por parte de todos (administraciones responsables de su gestión, usuarios y beneficiarios de sus recursos, especialmente) **podría haber reducido considerablemente el grado de deterioro que han alcanzado, el cual será difícil de eliminar.**

En la etapa actual, marcada por la trasferencia de la Cuenca Sur a la Junta de Andalucía (**RD 2130/2004, de 29 de octubre**, en el que el Estado se reservó competencias relativas a la legislación básica en materia de aguas, la aprobación de los planes hidrológicos, etc., así como la responsabilidad de contratos en curso hasta su ejecución, etc.) las funciones y servicios de la Confederación Hidrográfica del Sur pasaron a depender del gobierno de esta Comunidad Autónoma, como instrumento de gestión técnica y administrativa, además del de asesoramiento a la

misma en el ámbito de sus competencias legales. Como consecuencia de ello, quedaron traspasadas a la Junta de Andalucía las funciones de dirección, tutela, control, etc. antes encomendadas al Estado, entre ellas la ordenación, protección y concesión de los recursos hidráulicos del territorio de esta cuenca (tanto superficiales como subterráneos), la elaboración de su Plan Hidrológico, etc.

En febrero de 2006, los entonces responsables de estos recursos en el Gobierno de la Junta de Andalucía (la Agencia Andaluza del Agua), apoyados por ACUAMED y la JCUAPA solicitaron al IGME la propuesta de un Programa de actuaciones orientado a la regeneración y protección de los acuíferos de la zona, que fue aceptado y acordado para su realización, sin discontinuidad, y dio lugar al Convenio entre las cuatro instituciones implicadas (AAA, ACUAMED, IGME y JCUAPA) para la ejecución de su Fase I, cuyos resultados constituyen el ya referido motivo principal de este documento.

Se ha considerado que el contenido de esta Memoria debía quedar ampliado con un resumen del desarrollo completo de las investigaciones del IGME (con distintos apoyos de Organismos Públicos) durante más de cuatro décadas, con objeto de reforzar el asesoramiento prestado, trasladando a los destinatarios de la misma -de forma suficientemente documentada- la información sobre el conocimiento alcanzado de estos acuíferos y el proceso completo de su adquisición por este Instituto (con sus aciertos y desaciertos, sus logros y sus inalcanzables limitaciones impuestas por la naturaleza de este complejo medio hidrogeológico). Se trata de una información muy valiosa sobre un patrimonio hídrico excepcional, considerada de esencial utilidad para el manejo del mejor uso de estos recursos, en el presente y, si se protegen, también en el futuro. Podrá servir, además, para detectar y corregir las deficiencias que se hayan producido, al objeto de contribuir a la preservación posible de dicho patrimonio.

CAPÍTULO 3: ACTUACIONES CIENTÍFICO-TÉCNICAS MÁS DESTACABLES DEL IGME SOBRE LA ZONA (1966-2006) QUE PRECEDIERON AL PROGRAMA Y ACUERDO DE INTENCIÓNES INSTITUCIONALES PARA EJECUTARLO.

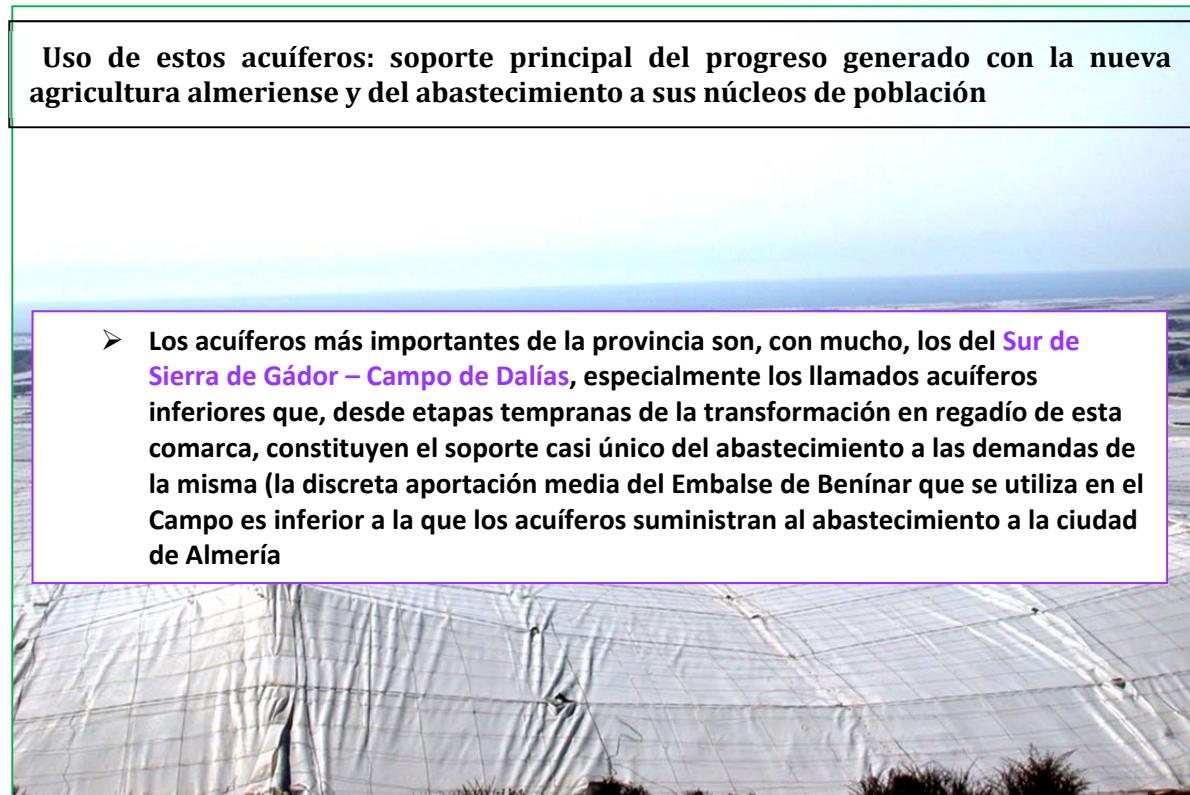
La investigación hidrogeológica de los acuíferos de este ámbito de Sierra de Gádor – Campo de Dalías por decisión gubernamental en la década de 1960, aparte de representar (por la naturaleza excepcionalmente compleja del territorio) un destacado reto científico-técnico propio de las funciones del IGME, constituyó siempre para este Instituto una actuación de carácter excepcional por la necesidad de aportar conocimiento y asesoramiento sobre el mismo, al tratarse de unos recursos hídricos básicos para la viabilidad del desarrollo y el mantenimiento posible de la transformación en regadío de la comarca. Por la importancia de su producción agrícola, estos acuíferos representaron (y aún siguen teniendo) un alto valor estratégico, social y económico de alcance nacional (Fig. 3.1).

Su utilización a gran escala se inició, como se ha dicho, por el Estado y potenciada por la iniciativa privada, aunque con serias incertidumbres sobre su sostenibilidad dado el carácter costero de los acuíferos presentes que les confería una elevada vulnerabilidad. A las dificultades científico-técnicas y económicas para afrontar el objetivo de su investigación (lo que requería abordarlo con una adecuada especificidad cultural y capacitación científico-técnica para dar a estos recursos hídricos una atención acorde con su valor real y estratégico) se añadía la señalada finalidad requerida de asesorar a sus gestores y usuarios (y a todas las administraciones con responsabilidades e intereses dependientes directa o indirectamente de esta actividad económica, es decir, de estos recursos hídricos) con la mejor información posible, para apoyar la planificación y el mejor uso de los mismos. Por sus características, en las primeras décadas de esta transformación, recayó en el IGME un papel destacado en dichas funciones de investigación y asesoramiento.

Por la importancia dada en este estudio a los procesos de salinización por mezclas de agua de mar, bien contrastado en la década de 1980, esta actividad de seguimiento del proceso continuó, permitiendo conocer su preocupante avance, lo que suponía ya, en los años anteriores a los trabajos del Programa, un problema de primer orden que amenazaba la utilización directa de dos de las tres principales fuentes de suministro que históricamente vienen soportando el abastecimiento hídrico a la agricultura y a los núcleos urbanos de la comarca, razón por lo que se tomó la decisión de actuar con medidas correctoras.

Conviene señalar que los fundamentos científico-técnicos en que se apoyó la selección del IGME para la formulación del referido Programa de sostenibilidad no procedían de un estudio coyuntural sobre estos acuíferos, destinado a favorecer la toma de decisiones de gestión sobre ellos en determinados momentos. Se basó en el proceso de investigación permanente del Organismo, mantenido durante cuatro décadas, cuyas motivaciones y circunstancias se han de resumir para que pueda ponderarse, con mayor información, la profundidad y solidez del conocimiento alcanzado sobre dichos acuíferos (nunca rebatido públicamente con razonamientos hidrogeológicos), así como la responsabilidad y el esfuerzo que ha conllevado para dicho Instituto el asesoramiento prestado.

En lo que sigue se sintetizan los conocimientos alcanzados y algunas circunstancias relacionadas con su adquisición.



- Los acuíferos más importantes de la provincia son, con mucho, los del **Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías**, especialmente los llamados acuíferos inferiores que, desde etapas tempranas de la transformación en regadío de esta comarca, constituyen el soporte casi único del abastecimiento a las demandas de la misma (la discreta aportación media del Embalse de Beníjar que se utiliza en el Campo es inferior a la que los acuíferos suministran al abastecimiento a la ciudad de Almería

Figura 3.1: Importancia de los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías.

3.1- CAUSAS DEL PROCESO DE SALINIZACIÓN, MOTIVACIONES Y OBJETIVOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN DEL IGME.

Como es bien sabido, **la causa del proceso de intrusión marina** se debe al intenso uso dado a estos acuíferos, que vienen soportando durante décadas, casi en su totalidad, el abastecimiento hídrico al espectacular desarrollo de una agricultura (tan rentable y tan puntera) que pronto desbordó con mucho las expectativas iniciales de sus promotores y creadores. Los resultados de la misma han constituido el principal agente impulsor del avance económico y social de esta provincia, habiéndola situado, con su alta productividad y con la sofisticada tecnología alcanzada en esta materia, entre los líderes mundiales de la misma.

Ya desde estos primeros años, al tratarse de un conjunto de acuíferos costeros (entonces muy poco conocido) se planteó la necesidad de racionalizar al máximo su forma de utilizarlo, lo que venía preocupando a los responsables del Instituto Nacional de Colonización, circunstancia que provocó que el IGME se implicara en esta comarca iniciando las investigaciones hidrogeológicas llevadas a cabo en la misma, con **los objetivos generales de: conocer en lo posible la geometría y el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos presentes**, para evaluar su potencial y su vulnerabilidad, conocimiento que era necesario **para fundamentar el asesoramiento** que pudiera ir prestándose **sobre los mismos** (Fig. 3.1.1), derivado de los avances de esta investigación.

**MOTIVACIÓN DE LOS ESTUDIOS PREVIOS DEL IGME SOBRE
ESTOS ACUÍFEROS**



➤ **Dadas las condiciones climáticas de la zona, su carácter costero, el creciente bombeo y el hecho de no existir otros recursos hídricos, resultaba incierta la viabilidad del Plan de transformación en regadíos emprendida en la Comarca por el Instituto Nacional de Colonización y particulares**

➤ **En apoyo a la gestión de estos acuíferos, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) inició una investigación continua de su geometría y evolución del funcionamiento del conjunto, por sus riesgos de salinización**

Figura 3.1.1: Motivación de los estudios previos del IGME sobre estos acuíferos.

3.2- DIFICULTADES NATURALES Y SOCIOECONÓMICAS EN EL DESARROLLO DE ESTA INVESTIGACIÓN

En el desarrollo de esta investigación para alcanzar los **objetivos generales y parciales** (relacionados con la geometría y las interacciones físicas entre los distintos acuíferos existentes - entre sí y con el mar- y con la evolución del funcionamiento de cada uno de ellos y de su conjunto) se han sucedido circunstancias y dificultades que han frenado notablemente el avance de su conocimiento y originado, incluso, desviaciones que han invalidado a veces conclusiones preliminares durante algunas etapas de este estudio, como bien saben, por los resultados que han obtenido con sus trabajos, numerosos especialistas que han estudiado diferentes aspectos relacionados con estos acuíferos.

Las dificultades naturales eran previsibles por lo conocido del ámbito geológico regional y por el hecho, desde el punto de vista hidrogeológico, de tratarse de distintas capas permeables, que podrían constituir acuíferos en contacto con el mar y, por tanto, potencialmente muy vulnerables. Además, la intensidad de las deformaciones en el conjunto de la estructura (propias de este Complejo Bético Interno) complicaría la definición de su geometría y, más aún, la del funcionamiento del conjunto de acuíferos, que ha venido evolucionando por los cambios provocados mediante el uso de los mismos, incluso de sus propias áreas. Y la mayor dificultad planteada tenía que ser la económica, ya que, tanto para la captación de datos de geometría como de funcionamiento, requería sondeos mecánicos y otras técnicas de estudio indirectas de elevado coste.

Entre las **dificultades que vienen afectando a la investigación** y a la atención que se está dedicando al mejor uso de estos acuíferos, destacan las de carácter cultural: salvo raras excepciones, en los diferentes niveles sociales estos embalses subterráneos se han considerado siempre de imposible control científico-técnico, cuando no dentro del campo del azar o de lo mágico. Y, en consecuencia, pocas veces han suscitado muchos cuidados para darles protección, ni se les han destinado inversiones para su manejo que se acercaran a las empleadas para los embalses de aguas superficiales, aunque, en esta provincia, tales diferencias de trato resulten difícilmente justificables si se comparan los beneficios obtenidos de ejemplos locales de utilización de ambas fases del ciclo hidrológico, superficial y subterránea, del recurso agua. También se produjeron faltas de colaboración de titulares de sondeos (para la toma de datos de los mismos) por considerar que podrían, con ello, perjudicar sus intereses.

Todo ello ha producido serias complicaciones en diferentes aspectos de la investigación, que han supuesto con frecuencia barreras difíciles de superar, incluso a veces insuperables, con los medios y las tecnologías disponibles en nuestro medio. También se ha corroborado la exigencia (sin atender adecuadamente) de contar con equipos suficientemente especializados en este ámbito hidrogeológico concreto, y a todos los niveles, para abordar muchas de las tareas necesarias para el normal desarrollo de este tipo de investigación.

Entre las excepciones los comportamientos aludidos, hay que señalar los de gran parte de comunidades de usuarios (titulares de las captaciones utilizadas para la observación de datos) que han mostrado un especial interés e implicación, en aumento, en esta investigación, así como las de algunas instituciones que han contribuido ocasionalmente con medios a la misma, y una atención cercana a los resultados que ha ido produciendo.

En consecuencia, los resultados a los que se ha llegado en este estudio, y el tiempo ocupado para lograrlos, han estado en función de los medios que se han podido emplear para ello y del grado de implicación en el mismo de sus destinatarios directos o indirectos.

3.3- CARACTERÍSTICAS MÁS SIGNIFICATIVAS DE ESTA INVESTIGACIÓN DEL IGME

Las características de esta investigación estuvieron determinadas por las dificultades de todo tipo y la especial exigencia de fiabilidad en sus resultados, para apoyar con responsabilidad máxima la toma de decisiones sobre el uso de recursos de tan alto valor estratégico. Por ello, pronto fue obligado plantear el estudio de este medio con un carácter en muchos aspectos excepcional, diferenciándose de otros estudios ocasionales o parciales más convencionales. En el epígrafe 3.3.3 se hace breve discusión de esta investigación del IGME con respecto a otras conocidas llevadas a cabo, en la misma zona, por diferentes grupos de trabajo.

3.3.1- Breve reseña general del medio investigado, previa a la descripción del proceso de su conocimiento durante décadas.

Aunque esta breve reseña no puede transmitir toda la idea de la excepcional complejidad geológica e hidrogeológica de este medio físico, cuya investigación continua durante décadas asumió el IGME en su día, es obligado exponerla antes de resumir el proceso seguido por la misma, para facilitar su comprensión a los destinatarios de esta información, al ser en su mayoría ajenos a la disciplina (y al léxico que conlleva) propia de este estudio.

El trabajo ha producido, como principal resultado, el establecimiento **del modelo conceptual de geometría y evolución del funcionamiento del conjunto de acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías** – que aquí se sintetiza-, el cual constituyó el objetivo básico de esta investigación. Para su encuadre en el ámbito regional, se hace referencia al macizo de Sierra de Gádor y sus cuencas marginales (el conjunto más importante de la provincia por su aportación de recursos hídricos) del cual los acuíferos que se describen aquí representan los de mayor relevancia.

La singularidad hidrogeológica de **la Sierra de Gádor** (Fig. 3.3.1) se debe a que **está formada** (sobre un basamento regional de materiales antiguos en su conjunto impermeables) **por un apilamiento de rocas triásicas carbonatadas** que constituyen **un complejo sistema acuífero** con espesor cercano al kilómetro, de gran extensión superficial aflorante, **donde predominan las capas de calizas y dolomías muy fisuradas y fragmentadas en bloques** por su intensa tectonización, que le proporcionan **gran permeabilidad, facilitan la infiltración** en superficie del agua precipitada (**su zona principal de recarga**) y su **circulación subterránea hacia las zonas más bajas, donde acaba acumulándose** cuando las condiciones estructurales lo permiten, **o descargándose al mar**.

Los procesos geológicos, además, han modelado este edificio carbonatado en forma de bóveda Oeste – Este, con cumbres que alcanzan hasta más de 2000 m sobre n.m. Desde esta divisoria (donde las tasas de precipitación son muy superiores a las de altitudes más bajas) el **potente tramo acuífero se va hundiendo** por sus bordes. **Hacia el Sur, se sumerge bajo un conjunto de materiales modernos** (Fig. 3.3.1) (cuaternarios, pliocenos y del Mioceno superior) que integran aquí una **cobertera, en general impermeable** por su predominio de margas que, con espesores de hasta más de 1000 m, van **confinando este flanco de carbonatos antiguos, aislándolo del mar por el litoral meridional de la llanura del Campo**.

La parte hundida de estos carbonatos, bajo la llanura y borde sur de la Sierra, forman su zona principal de acumulación.

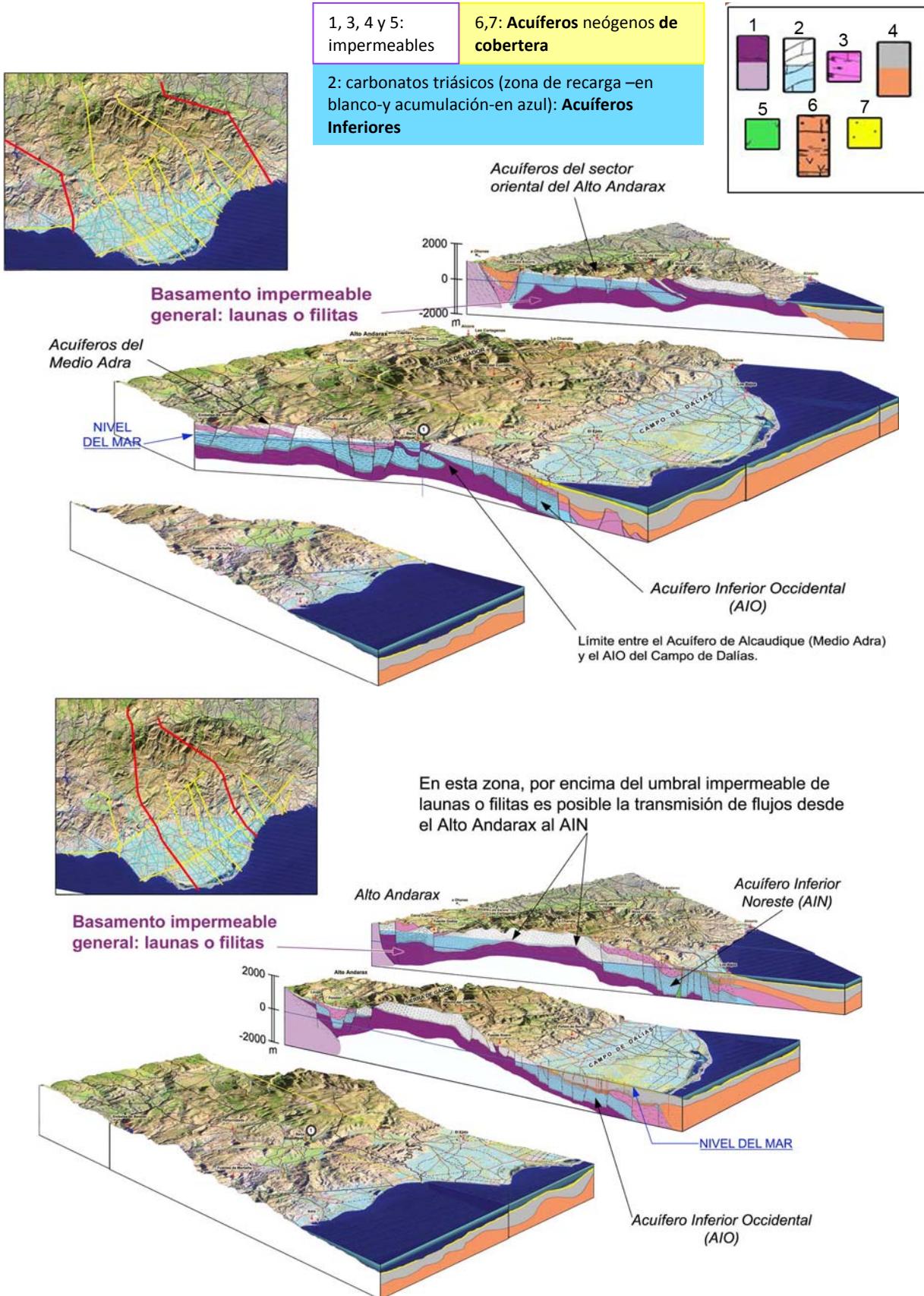


Figura 3.3.1: Estructura hidrogeológica del Sistema de Sierra de Gádor y zonas marginales. **Superior:** secciones esquemáticas Beníar – Balanegra y Ohanes – La Garrofa. **Inferior:** secciones Laujar – Almerimar y Padules – Roquetas de Mar. Modificado de Ref. 460: IGME (2002): Paneles de la exposición XVIII ExpoAgro Almería.

Es por la peculiar estructuración extraordinariamente favorable de este antiguo apilamiento de carbonatos antiguos (llamados **acuíferos inferiores** por su posición más profunda en la llanura) así como por su importante acumulación de reservas de agua dulce, por el sorprendente suministro que viene proporcionando durante décadas a demandas de tan alto valor social y económico, y por su carácter costero, por lo que estos acuíferos han alcanzado la relevancia que tienen a escala mediterránea.

El aislamiento del mar de estos acuíferos inferiores –aunque casi conseguido por los tramos margosos de su cobertura neógena- **no es completo: por los extremos oriental** (Aguadulce – Roquetas) y **occidental** (Balanegra) **del Campo queda abierta directa o indirectamente su conexión con el agua marina**, lo que representa **el factor más limitante para su uso**, debido a la salinización progresiva **por la intrusión de agua de mar en el agua dulce acumulada**, que se ha ido produciendo al descender –bajo la cota cero- los niveles del agua en estos acuíferos con el bombeo.

Por su parte, **los materiales modernos de cobertura contienen algunos tramos, más o menos permeables** (calizas, calcarenitas, arenas, gravas, etc.), **que constituyen los acuíferos superiores e intermedios** (los llamados **acuíferos de cobertura**). Éstos se **relacionan hidráulicamente entre sí, con los inferiores y con el mar**, formando todos ellos el sistema acuífero costero del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías.

3.3.2- Distribución espacial de acuíferos y enfoque de las actuaciones en los mismos

En el **Anexo 1.1** se incluyen ejemplos de documentos sobre las características de este medio y su investigación.

En la **Figura 3.3.2** se presenta un esquema de la distribución de acuíferos de mayor interés de esta zona de estudio; se trata de ocho acuíferos principales: dos acuíferos inferiores y seis acuíferos de cobertura. En el **Cuadro 3.3.1** se resume, para cada uno de ellos (identificados con un número en la figura citada y en el cuadro): sus litologías destacables, carácter libre y/o confinado, materiales donde se apoya y, en su caso, que lo confinan, y aquellas características principales de cada uno de ellos. En el **Anexo 1.2** se incluyen ejemplos de los muchos cortes hidrogeológicos realizados en el Estudio, concretamente los correspondientes a la serie más moderna.

En líneas generales, de esta investigación puede destacarse:

- **su continuidad** durante cuatro décadas, aunque con períodos de muy diferente intensidad; **su carácter aplicado; el empleo de metodologías adaptadas a las peculiaridades del medio** físico y sociológico.

- su determinación de **exigencia en el uso de datos** de todo tipo bien **contrastados**, para obtener resultados fiables (lo que supuso un esfuerzo permanente sobre el terreno para el muestreo, las medidas, la discusión con los responsables de las captaciones preexistentes y, sobretodo, las de nueva ejecución, la implicación de éstos –no siempre lograda- para acordar los tiempos de muestreos en relación con las horas de bombeo, buscando una mayor representatividad de los datos al compararlos con los de otras campañas, etc.).

- la **perseverancia** en la búsqueda de ocasiones para lograr el contraste directo de otros muchos datos cuando no eran del todo fiables.

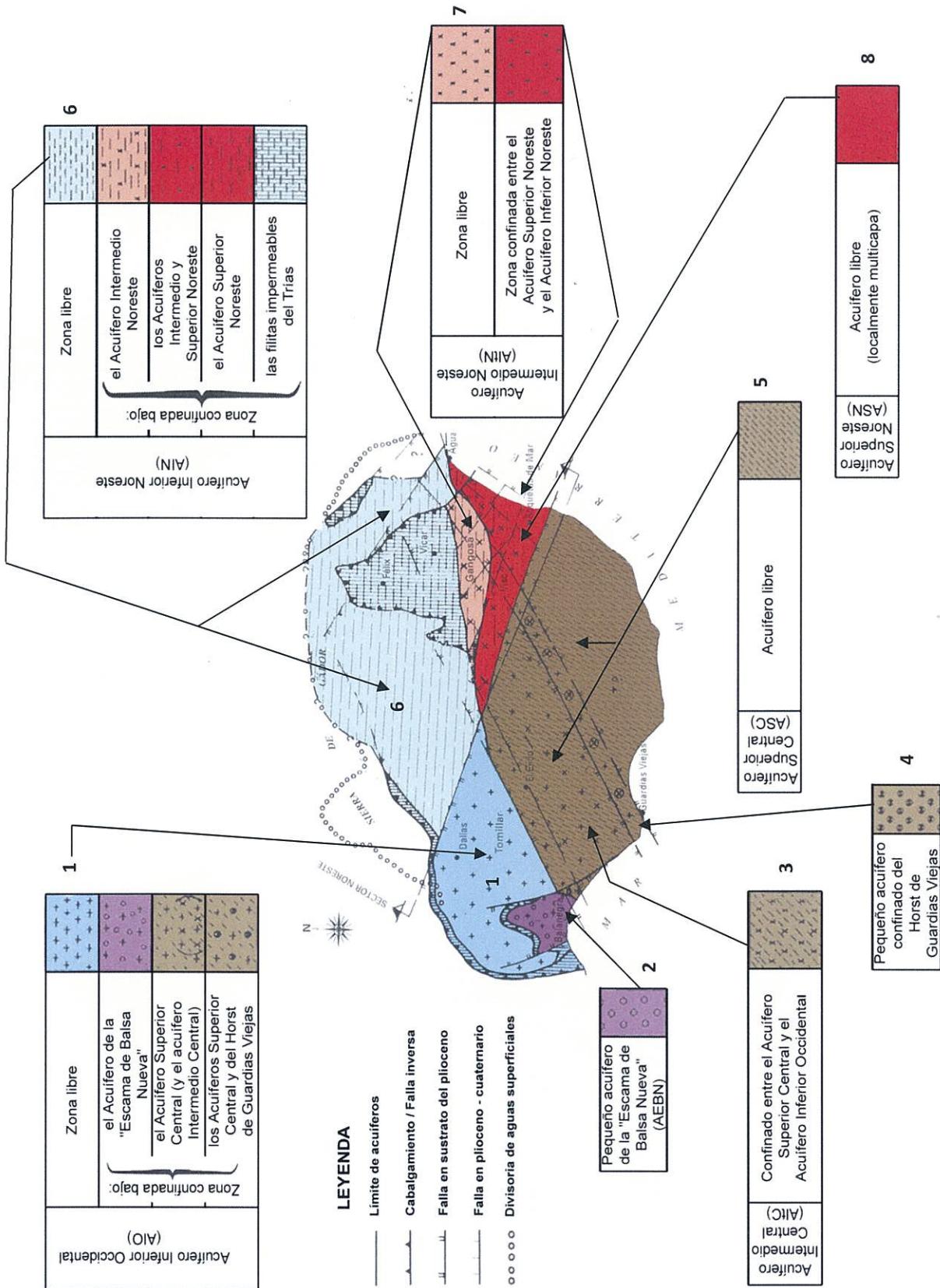


Figura 3.3.2 Esquema de distribución espacial de los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. Hay dos acuíferos inferiores (los más importantes por la cantidad y calidad de sus recursos) y seis de cobertura (de muy diferente entidad e interés). Ver **Cuadro 3.3.1** sobre sus características. Modificado de Ref. 103: ITGE (1989): Síntesis hidrogeológica del Campo de Dalías (Almería). Propuestas de primeras actuaciones de investigación y gestión.

ACUÍFERO		Litología destacables	Apoyado sobre:	Carácter: libre y/o confinado	Confinado a techo por:	Características principales
1 AIO	Inferior Occidental	Dolomías, calizas, calcoesquistos, intercalaciones margosas, etc. triásicas, y coberturas neógenas porosas	su permotrías	Zona libre	--	Muy permeable en conjunto, gran espesor, importantes reservas y recursos. Ya con intrusión avanzada
				zona confinada	militas, margas pliocenas, margas y yesos miocenos	
2 AEBN	de la Escama de Balsa Nueva	Calcarenitas y arenas Plioceno. Calizas Mioceno, etc. (en zona confinada sólo mioceno)	militas de la Escama	Zona libre	--	Minúscula extensión, totalmente intruido de agua de mar, que trasfiere al AIO lateralmente
				zona confinada	margas pliocenas	
3 AltC	Intermedio Central	Calizas, conglomerados, areniscas, yesos y sales Mioceno. Distintas zonas, algunas con salmueras	margas miocenas	Confinado totalmente	margas pliocenas	Escasa entidad y continuidad. Se destaca por su carácter contaminante
4 AHGV	del Horst de Guardias Viejas	Calizas, conglomerados, areniscas, etc. del Mioceno. Interés escaso, valor estructural, termal	Permotrías y más antiguo	Confinado, excepto en Guardias Viejas	margas pliocenas	Muy poco interés. Mala alimentación. Se utilizó en los Baños de Guardias Viejas
5 ASC	Superior Central	Calcarenitas, areniscas, arenas y limos del Plioceno. Notable extensión, espesor discreto, fragmentado	margas pliocenas	Libre	--	Entradas medianas de origen natural y de retornos del uso. Calidad muy variable. Niveles del agua en crecimiento
6 AIN	Inferior Noreste	Dolomías, calizas, calcoesquistos, intercalaciones margosas, etc. triásicas, y coberturas neógenas porosas locales	su permotrías	Zona libre	--	El más importante por su gran extensión, espesor, recursos y reservas, aunque en estado de salinización avanzada
				zona confinada	Localmente militas de Felix y/o volcanitas miocenas; margas pliocenas	
7 AltN	Intermedio Noreste	Calizas, conglomerados, areniscas, gravas, etc. con aparatos volcánicos del Mioceno. Compartimentado. Por el Este, asociado a carbonatos superiores triásicos del AIN	militas de Felix y volcánico	Zona libre	--	Reducida entidad. Gran complejidad y fragmentación. Conexiones múltiples. Muy salinizado, tránsito contaminación
				zona confinada	Esencialmente, margas pliocenas	
8 ASN	Superior Noreste	Calcarenitas, conglomerados, areniscas, arenas, intercalaciones margosas. Plioceno. En zonas multicapa	margas pliocenas	Libre	--	Según zonas, permeabilidad e interés variable, contiene masas con agua de mar contaminantes

Cuadro 3.3.1: Resumen de características más destacables de los acuíferos de la zona de estudio. Ver **Figura 3.3.2** con su distribución espacial.

- la **revisión permanente de interpretaciones provisionales** (basadas en datos de este carácter) en espera de alcanzar el contraste de éstos para **llegar a las interpretaciones firmes**, tanto de la geometría como del funcionamiento de cada acuífero y de su conjunto (en las distintas fases de su evolución) siguiendo un proceso de análisis y discusiones en el que no faltaron abandonos de “caminos equivocados”, hipótesis insostenibles, etc., hasta que fue alcanzándose un **modelo geométrico y de funcionamiento coherente con la realidad observada**, obtenido mediante un cumplimiento sostenido del método científico y la inexcusable responsabilidad de darle las máximas garantías posibles a los resultados alcanzables, para su utilización por gestores y usuarios a los que, en primer lugar, estaban destinados.

Entre las principales actuaciones que más caracterizaron la investigación del IGME sobre estos acuíferos se reseñan algunas, a modo de ejemplo del trabajo realizado (aunque, para más detalle, en el **Anexo 1** de esta Memoria se ampliarán sus contenidos con documentos).

De estas actuaciones principales se destacarán algunos aspectos metodológicos muy clásicos, pero más eficaces que otros más novedosos, por presentar mayor garantía para la investigación de este medio hidrogeológico; **esto quedó constatado con los resultados obtenidos por esta investigación**. En los apartados 3.4 a 3.7 se hace referencia a las principales actuaciones (y los métodos más eficientes empleados) que han proporcionado la mejor información para alcanzar sus objetivos parciales.

3.3.3.- Datos para una discusión del conocimiento alcanzado sobre los acuíferos del Campo de Dalías y la contribución al mismo de su investigación por el IGME y con los trabajos e investigaciones de otras entidades

Dada la importancia social y económica que, desde el principio, representó la transformación en regadío de la llanura del Campo de Dalías mediante captaciones en sus acuíferos (origen del principal foco del mundialmente conocido “modelo de agricultura almeriense”) diversas entidades públicas y privadas, así como un muy variado tipo de profesionales relacionados con el recurso agua, han venido promoviendo o desarrollando su actividad en la zona. De ellas se citarán las más relevantes.

Los primeros trabajos a gran escala y con medios modernos relacionados con los acuíferos de la zona se realizaron para proporcionar el agua que necesitaba esta transformación estatal emprendida en la comarca. Fue **el antiguo INC /IRYDA, principal responsable de la misma**, quien ejecutó en las décadas de 1950 y 1960 más de 100 perforaciones para su captación en el Campo. Por su parte, y al margen de estas actividades públicas, muy pronto la iniciativa privada contribuyó en paralelo y con notable intensidad a esta transformación, gestionando por su cuenta el agua que necesitaba para ello, mediante la perforación de numerosos sondeos privados con los que conseguía sus propios fines.

Sin menoscabo del muy importante impulso que los datos rescatados de estos trabajos de prospección y alumbramiento del agua subterránea dieron al conocimiento de la misma, puede señalarse que, dadas las circunstancias, en su diseño, ejecución e interpretación no se aplicaron siempre criterios hidrogeológicos, entonces una disciplina científico-técnica aún muy incipiente en nuestro país. **Estos trabajos, por tanto, no constituyeron por sí mismos actividades de investigación hidrogeológica propiamente dicha** de los acuíferos del Campo.

Ante la creciente magnitud previsible del agua requerida por las demandas para los riegos de promoción pública y las que iban generándose por los particulares (dadas las grandes expectativas de esta nueva producción agrícola), así como por el también espectacular aumento de la población urbana al que se añadía la necesidad de dotar de un adecuado abastecimiento hídrico a Almería capital, se había tomado por el Gobierno la decisión de apoyar este proyecto de desarrollo (que lideraba el INC/IRYDA) con las colaboraciones de dos Organismos del Estado que disponían de especialidades concretas que eran necesarias para complementarlo.

- **Uno de dichos Organismos fue la Dirección General de Obras Hidráulicas**, a la que se le encargó por su especialización el ya referido estudio de viabilidad y la ejecución del proyecto de importación al Campo del máximo posible de recursos hídricos superficiales desde la Cuenca del Adra, con el fin de complementar, con aguas de dicho origen, las aportaciones subterráneas que pudieran captarse del mismo, de manera sostenible, para mantener este esperanzador foco de desarrollo almeriense.

Este Organismo, con el apoyo de sus centros especializados (**SGOP y CH del Sur**), llevó a cabo los correspondientes estudios y obras con los que proporcionó desde 1987/88 un trasvase medio al Campo de Dalías de unos 10 hm³/año. Y, entre otros trabajos, continuó con los estudios para la regulación conjunta del Embalse de Beníar – Acuífero de Fuente Marbella – Delta del Adra (con cuya conclusión espera alcanzar un trasvase total al Campo de unos 20 hm³/año), con el objetivo de contribuir al Plan de Ordenación de extracciones del mismo, puesto en marcha desde la Declaración Provisional de Sobreexplotación de sus acuíferos en 1995 (ya que como consecuencia de la Ley de Aguas de 1985 y de las

normativas desarrolladas para la Planificación Hidrológica, esta Administración Hidráulica del Estado ostentaba la competencia y responsabilidad de la planificación y la gestión de los recursos superficiales y subterráneos de las cuencas). Además, este Órgano estatal, y desde finales de 2004 la Junta de Andalucía con su colaboración, realizan entre otras actividades (para hacer posible dicho Plan) proyectos -ya muy avanzados en su ejecución- con los que se pondrán otros recursos imprescindibles para la sustitución de parte de los bombeos en los acuíferos inferiores del Campo. Pero, **esta aportación de recursos** trasvasados y no convencionales, con ser muy importantes para la permanencia de la viabilidad de su modelo productivo, **no ha repercutido en el conocimiento acerca de los acuíferos de la zona**. **Esta histórica Administración Hidráulica**, en el ejercicio de sus competencias legales sobre la planificación y la gestión de dichos acuíferos, **fue sólo asumiendo** de hecho, desde 1984, **los conocimientos alcanzado por el IGME sobre los mismos**.

- Por su insuficiente equipamiento científico – técnico con el que asumir directamente la investigación hidrogeológica del muy complejo sistema acuífero existente en la misma, **para las incorporaciones que fue haciendo** de datos hidrogeológicos e interpretaciones acerca de estos acuíferos (con destino a los diferentes proyectos, normativas legales y documentos técnicos) **dicha Administración analizó la información existente** (emitida por los distintos grupos de trabajo) **mediante expertas consultorías y asesores de prestigio en la materia**, que colaboraron con ella para los trabajos de planificación y gestión realizados a lo largo del tiempo. Entre dichos apoyos destacan los de INTECSA, PROINTEC, UPV, etc., los cuales, tras su análisis de documentos disponibles, concluyeron recomendar la incorporación del modelo de geometría y funcionamiento de acuíferos y los datos sobre éstos generados por el IGME, aunque a veces con desfases. Para el Estudio de dicho Instituto, esta selección representó una extensión del reconocimiento, por expertos ajenos, de los métodos y resultados alcanzados por su investigación.
 - En relación con el conocimiento adquirido por dicha Administración Hidráulica sobre estos acuíferos, este Estudio sólo ha dispuesto de la información facilitada de la ejecución y seguimiento de los 17 sondeos de observación piezométrica que realizó (siguiendo su criterio) y, especialmente, la obtenida directamente de otras 3 perforaciones que se aprovecharon en una breve colaboración técnica IGME – SGOP en la década de 1990 (que quedó interrumpida) para el estudio de viabilidad de recarga artificial orientada a la reducción de la entrada de agua salada al AIO.
-
- **El otro Organismo que, por decisión de Gobierno, constituyó un apoyo al INC /IRYDA** en el Plan de transformación del Campo, **fue el IGME**, por su especialización y equipamientos científico-técnicos. Como ya es sabido, **en la década de 1960 se le encargó una Investigación para el conocimiento de las aguas subterráneas de la zona**, determinando en lo posible su potencial de utilización sostenible y su vulnerabilidad, dado el crecimiento que sin ninguna regulación efectiva se estaba produciendo, y el extenso carácter costero del mismo, que podría arruinar la transformación emprendida de producirse una intrusión de agua de mar.

Al tratar esta memoria extensamente de la investigación hidrogeológica realizada durante más de cuatro décadas por este Instituto (con apoyos coyunturales más o menos duraderos desde otros Organismos públicos, estatales y autonómicos, relacionados con la agricultura, la minería o el medio ambiente), no procede relatar aquí el desarrollo de la misma. Sí cabe

recordar, para valorar su alcance, **algunas de las características que más identificaban su planteamiento de objetivos** parciales, tales como:

- **La especial exigencia de fiabilidad en sus resultados** como apoyo responsable para ser útil en la toma de decisiones por parte de gestores y usuarios. La complejidad de este medio hidrogeológico y la trascendencia de las soluciones a tomar por dichos destinatarios ha diferenciado posiblemente este Estudio de otros coyunturales o parciales (propios y ajenos) más usuales y sujetos a plazos de ejecución predeterminados.
- **Se ha perseguido la máxima aproximación a la realidad**, con los medios disponibles, tanto de la **geometría como de la evolución del funcionamiento hidrogeológico del conjunto y de cada uno de los acuíferos y subacuíferos principales de la zona**, diferenciados por la importancia de los mismos o por su papel en el funcionamiento general del sistema (una tarea de especial dificultad, como bien saben por sus resultados los que han trabajado en la misma).
- Otra de las exigencias requeridas para alcanzar el amplio objetivo de este Estudio ha sido la del **obligado tratamiento generalizado a los aspectos esenciales de esta disciplina (la Hidrogeología)**, necesarios para la comprensión de este complejo medio hidrogeológico costero, en su conjunto y sus partes, **así como a la coherencia de los resultados de todos ellos**. Los tratamientos sólo parciales de su estudio han proporcionado a veces errores inasumibles en sus conclusiones (tanto propios como ajenos) que, con mayor o menor celeridad se han tenido que abandonar.
- **La reconstrucción conceptual de la complicada geometría** – imprescindible para la comprensión de este medio hidrogeológico- ha supuesto para el IGME un alto coste en medios aplicados y tiempo para obtenerla. Ha implicado la interpretación de unas 1500 columnas litoestratigráficas de sondeos mecánicos (la mayoría privados) en un proceso sistemático histórico de reinterpretación sucesiva con las informaciones de nuevos sondeos (apoyada en perforaciones bien conocidas durante su ejecución, utilizadas como paramétricas, y con múltiples campañas de técnicas geofísicas habituales, de pozo y superficie, controladas con estos sondeos paramétricos). Las correlaciones establecidas entre todos ellos han permitido ir ajustando con el tiempo el modelo geológico, que pronto evidenció la continuidad física de los carbonatos triásicos, entre Sierra y Campo, bajo la cobertura neógeno – cuaternaria.
- Con análoga sistemática histórica, al añadirse las observaciones piezométricas y su seguimiento temporal, así como las evoluciones de las características físico-químicas en cada punto de agua, **se fue diferenciando la existencia de los distintos acuíferos y subacuíferos** (por la **inxcusable necesidad de conocer el acuífero o acuíferos de procedencia del agua bombeada en cada captación, para poder interpretar la evolución de las interrelaciones entre acuíferos, las modificaciones de la calidad química en los mismos y, en su caso, entre ellos y el mar**). Ello exigía igualmente, el máximo posible de sondeos de referencia, bien conocidos por su seguimiento e interpretación hidrogeológica al construirse, y de apoyos con múltiples campañas históricas de diagrámas gamma y eléctricas, considerando siempre los tipos y estados de sus acondicionamientos, la evolución en su caso de los intercambios verticales de flujo entre tramos permeables saturados en los mismos, etc.

- El seguimiento establecido de la relación **causa – efecto** en la observación de los posibles **cambios de funcionamiento de los distintos acuíferos diferenciados**, se llevó a cabo (**para las causas**) estimando órdenes de recarga (con apoyo gráfico y tasas de infiltración natural y de retorno de los usos) en las áreas libres y en las superficies ocupadas y, especialmente, mediante un control de bombeos por puntos, áreas y acuíferos (realizado con detalle suficiente) desde 1980/81 a 1999/00. **Los efectos producidos** se fueron registrando, a lo largo del tiempo, mediante el habitual control piezométrico y de características físico-químicas del agua bombeada, y con campañas de registros en profundidad (con diagrafías y muestreo con botella a profundidades específicas).

Para alcanzar los objetivos expuestos en este resumen, el Estudio del IGME ha seguido **una metodología muy clásica pero aplicada con el máximo rigor**. Se ha tratado de una investigación aplicada a un medio muy complejo y problemático que, como se ha dicho, requería resultados de gran fiabilidad para su utilidad en la gestión de estos acuíferos, tan estratégicos y vulnerables. En su ejecución, se han podido distinguir, entre otros aspectos, por:

- la **continuidad durante décadas de equipos de trabajo con núcleos estables** (a todos los niveles en cuanto a tipos de personal) dedicados a la zona, **con cuya gran permanencia adquirieron una buena especialización sobre la misma**, imprescindible para la eficiencia de su trabajo en este complejo medio hidrogeológico.
- la selección de **metodologías adaptadas a las peculiaridades del medio** y de sus circunstancias, **primando su fiabilidad y posibilidades de contraste**, frente a otras técnicas indirectas más o menos novedosas que fueron descartadas por sus grados de incertidumbre.
- una **gran exigencia en el uso de todo tipo de datos**, hasta conseguir con su depuración un alto nivel de validez, con la máxima perseverancia en la consecución del contraste directo de las informaciones inciertas, para su utilización en su caso por el Estudio.
- la práctica de **revisión permanente de las interpretaciones de datos e hipótesis sin confirmación** satisfactoria, **al disponer de nuevas informaciones**, hasta su contraste y coherencia con la realidad observada.
- la **utilización máxima posible de registros de salinidad en sondeos paramétricos**, que permitieran interpretaciones fiables de sus resultados, por su valor para éstos y como apoyo a los de otros sondeos próximos de aparente semejanza.
- la práctica de **discusiones críticas dentro del equipo de trabajo**, así como **con todos los investigadores ajenos al mismo que se han prestado a ello**, especialmente de empresas colaboradoras en esta investigación o de otros grupos ajenos a la misma.
- la **colaboración con quienes investigaron aspectos parciales sobre el conocimiento de estos acuíferos**, cuando de sus objetivos y metodologías podían esperarse resultados válidos. **Se rechazó** esta colaboración, tras explicar con datos la causa de este proceder, **cuando el conocimiento ya disponible por este Estudio indicaba la imposibilidad de que los objetivos pretendidos con los proyectos ajenos fueran alcanzables**.

Se ha considerado siempre que el **trabajo realizado por el IGME** acerca de estos acuíferos del Campo es el que corresponde a los fines y funciones de este **Organismo de Investigación y Servicio Geológico**, acorde con los medios que ha dispuesto para obtener los objetivos que le fueron encomendados desde los comienzos de la transformación en regadío de esta zona. También, que pudo lograrse una mayor eficiencia si se hubiera contado

con los medios económicos que son habituales en el tratamiento de los recursos superficiales.

Con los años, diferentes Grupos de Trabajo han dedicado su atención a los recursos hídricos subterráneos de esta zona, aunque tratando distintos aspectos de los mismos. Entre ellos:

- **Cabe descartar los excelentes trabajos de investigación realizados por dos Organismos relacionados con este modelo productivo agrícola del Campo: el Centro de Investigación y Formación Agraria de La Mojonera (CIFA) dependiente de la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía, y la Estación Experimental de “Las Palmerillas”, de Caja Rural /Cajamar, que han desarrollado una labor encomiable de estudios y difusión de conocimientos sobre temas aplicados a esta moderna agricultura, cuyos resultados han transferido a los nuevos agricultores de la zona, de la provincia y más allá de sus fronteras. Entre ellos, los relacionados con la aplicación del agua a los cultivos (con gran eficiencia) y, entre otros muchos, el estudio de excedentes de riego que han sido utilizados para la evaluación de entradas por retornos a los acuíferos. Su cita aquí no pasa de señalar el reconocimiento que les corresponde, pero sus trabajos sólo incluyen la investigación de un aspecto muy parcial del estudio general de estos acuíferos.**
- Por parte de **Cajamar / Albaida**, con apoyo del **Servicio de Geofísica del IGME**, se llevó a cabo en 2002 una investigación del subsuelo del Campo de Dalías mediante sísmica de reflexión, siguiendo básicamente las mismas **trazas de campañas de sísmica antiguas en la zona** (que fueron realizadas por ENPASA en 1975 y aprovechadas en los primeros pasos del Instituto en la investigación de sus aguas subterráneas). **Al quedar esta nueva campaña de sísmica fuera de los objetivos hidrogeológicos alcanzables** (dado que la técnica, ya utilizada, no permite discriminar entre los materiales permeables y no permeables presentes en el sustrato alpujárride), **no se participó desde este Estudio en su desarrollo**, que lógicamente estuvo encomendado a especialistas geofísicos.
- **El Grupo de Investigación “Recursos Hídricos y Geología Ambiental” de la Junta de Andalucía** -que promovió en 1986 el IARA con un grupo de profesores de las Universidades de Granada y Almería (“para estudiar las características físico-químicas de las aguas del Campo de Dalías”) especialmente por los integrados en el Departamento de Hidrogeología y Química Analítica de la UAL- ha llevado a cabo distintos trabajos coyunturales financiados mediante proyectos de dicho organismo autonómico, la CICYT, el Programa COST, Cajamar, etc., en los que se han tratado temáticas relativas a las señaladas **características físico-químicas; la infiltración en diques de retención en cauces de la vertiente meridional de la Sierra de Gádor y el Campo de Dalías; de análisis sobre la climatología de la Sierra de Gádor y del Campo de Dalías y de la Cuenca del Adra; metodología de la intrusión marina del Campo de Dalías; estudios de facies hidroquímicas en el Campo de Dalías aplicadas al conocimiento de la intrusión marina;** etc. En general, parecen constituir estudios muy teóricos en los que domina el trabajo de gabinete sobre el de campo, así como la aplicación de técnicas indirectas (con muy bajo contraste de resultados) aunque frecuentemente muy punteras y empleadas en estudios académicos y con fines pedagógicos (de hecho han servido de formación doctoral a varios de los miembros del Grupo). **Su aplicación y comprensión por gestores y usuarios parece resultar incierta.**

La dedicación compartida con la docencia de los componentes de este Grupo de Investigación pudiera haber caracterizado sus enfoques científicos, además de generar una cierta limitación al necesario empleo de una fuerte dosis del trabajo de campo que requiere la investigación de este medio. Dicho enfoque también ha podido dificultar un mayor acercamiento a los avances del conocimiento que ha ido adquiriendo y difundiendo el IGME con su continua investigación aplicada. (Al no haberse planteado por este Grupo el conocimiento de la geometría de los distintos acuíferos y su funcionamiento hidrogeológico, en las conclusiones de sus trabajos, pese a su indudable interés, puede reflejarse una dificultad de comprensión de la compleja relación hidrogeológica entre Sierra y Campo, así como de la de los acuíferos entre sí y de ellos con el mar). Todo ello ha podido restar visibilidad, como se ha dicho, a las descripciones más actualizadas del Modelo de geometría y funcionamiento hidrogeológico que ha venido “construyendo” dicho Instituto.

En cualquier caso, **el tratamiento parcial dado por este Grupo de Investigación al conocimiento de los acuíferos del Campo**, que siempre contribuye a completar su adquisición, **no parece ser comparable**, viendo su alcance, **al realizado por este Estudio**, como han corroborado distintos especialistas, externos al mismo, entre otros los que han intervenido en los trabajos destinados a la planificación hidrológica de estos acuíferos (en normativas legales de la Junta de Andalucía y del Estado sobre el uso de sus recursos, en trabajos del Plan Hidrológico de Cuenca y para el Plan de Ordenación, etc.).

Los diferentes Grupos que han desarrollado su actividad en relación con los acuíferos del Campo de Dalías, aunque con distinta intensidad, han transferido informaciones a la sociedad almeriense sobre el alcance, objetivos y resultados de sus trabajos. En ellas puede haberse difundido un mensaje demasiado individualizado (de cada Grupo), falto de un reflejo de discusión entre éstos para dar una idea de su contraste con el conocimiento ya alcanzado por el conjunto de dichos grupos. Incluso se han transmitido resultados contradictorios (sin justificarse el porqué de las discrepancias). Este flujo informativo individualizado, más o menos común a todos los Grupos, pudo ser la causa del aparente desinterés o confusión, bastante extendido en diferentes ámbitos provinciales, sobre lo que en realidad se ha llegado a conocer de estos acuíferos, lo **que parece ser contrario a lo deseable para concienciar a los almerienses de la situación de estos recursos subterráneos, con problemas importantes para el sostenimiento del modelo productivo de la zona y, por tanto, necesitados de atención para su corrección con el apoyo de todos**.

Consecuente con esa posible confusión social o indiferencia sobre estos recursos, **el Departamento de Ciencia y Tecnología del Instituto de Estudios Almerienses (IEA) llevó a cabo en abril de 1997 una Jornada de Debate Científico – Tecnológico sobre los principales aspectos a considerar en la misma acerca de los Acuíferos del Campo de Dalías – Sur de Sierra de Gádor**. Su objetivo fue reunir a los más destacados conocedores de la situación de estos acuíferos (la principal fuente de suministro de agua a las demandas del mismo y de Almería capital) los cuales, tras la exposición de sus ponencias (reflejo de su especialización sobre el tema) debían llevar a cabo el correspondiente debate que diera lugar a una “puesta en común” sobre lo tratado o a la argumentación científica que justificara, en su caso, las discrepancias defendidas. **El resultado del mismo podía ser susceptible de transmitirse a la sociedad almeriense o, al menos, a los responsables de la gestión y a los usuarios de estos recursos subterráneos, por el carácter más plural y documentado sobre el conocimiento de este conjunto de acuíferos y de las principales incertidumbres que se planteaban**.

La celebración de la jornada se concibió en régimen de asistencia restringida, para mayor libertad y profundidad del debate. Se invitó como ponentes a técnicos y científicos directamente relacionados con investigaciones relativas al conjunto de estos acuíferos o con su planificación y proyecto de ordenación. Su encuentro en la sesión podría acercar la visión que, sobre estos acuíferos, se tenía desde perspectivas distintas, lo que se estimó también de gran interés. Aceptaron la participación:

- **Gabriel Fernández del Río (Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas del MIMAM)** como conocedor de los acuíferos de esta zona y coordinador de los trabajos relativos al Plan de Ordenación de Extracciones en el Campo de Dalías (de cuyas implicaciones hidrogeológicas podrían los restantes ponentes deducir los aspectos del conocimiento con mayor interés para la gestión futura del sistema hidrogeológico).
- **Antonio Pulido Bosch y Luis Molina Sánchez** (profesores e investigadores de la Universidad de Almería) que enmarcaron sus estudios sobre la zona a partir de 1986 como grupo promovido por el IARA para analizar las características físico-químicas de las aguas del Campo, y que además realizaron otros proyectos, como ya se ha dicho.
- **Jesús Suso Llamas**, especialista del equipo de trabajo de INTECSA encargado de la revisión de datos hidrogeológicos existentes sobre estos acuíferos y las características de sus balances hídricos, con destino al Proyecto de Plan Hidrológico de la Cuenca Sur, instruido por la Confederación Hidrográfica del Sur.
- **Patricia Domínguez Prats**, incorporada desde 1985 al equipo de estudio de esta provincia en la Unidad de Almería del IGME, dedicada casi con exclusividad a esta investigación global del Organismo sobre los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías, realizada con la colaboración de empresas, especialmente ENADIMSA y con importantes apoyos coyunturales de Administraciones Públicas (del IRYDA y de la Junta de Andalucía) y de la JCUAPA.

Gran parte de la experiencia adquirida por estos ponentes sobre la zona se había producido en el marco de programas o proyectos de diferente duración, promovidos por distintos departamentos técnicos de varias Administraciones Públicas. Por ello, fueron invitados a la jornada hasta nueve responsables de proyectos o departamentos que instruyeron los trabajos desarrollados por los ponentes, aunque su asistencia fue muy escasa finalmente. Igualmente, se invitó, entre los usuarios de estos recursos, a los de los tres tipos de demanda abastecida desde estos acuíferos: por los regadíos, a la Junta Central de Usuarios del Acuífero del Poniente Almeriense (JCUAPA); por la demanda urbana, a los Ayuntamiento de la zona; y, por la demanda ecológica, a la Delegación de Medio Ambiente.

La supervisión y el apoyo a la gestión de esta Jornada, así como la presentación y moderación de las intervenciones en la misma, estuvo a cargo de **José Antonio Salinas Andújar** (Jefe del Departamento de Ciencia y Tecnología del IEA, y profesor del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad de Almería), y de los coordinadores de esta actividad: **Rafael Molina Alfonso y Antonio Pascual Molina**, correspondiendo a **Ángel González Asensio** (Jefe de la Unidad de Almería del IGME) la **orientación del debate y el inicio de la sesión de trabajo**, con una ponencia de síntesis evolutiva del conocimiento alcanzado y de las contribuciones conocidas al mismo por los distintos grupos de trabajo. Dicha ponencia (incluida en el **Anexo 1**) estuvo basada en el análisis previo realizado de la documentación histórica disponible generada por éstos, acerca de los temas propuestos para el coloquio y, en su caso, por la aportada con sus ponencias.

La falta de cultura de este tipo de discusiones científicas, restó eficacia a los resultados esperados de la Jornada, cuya difusión, quizás por su carácter restringido, fue limitada y muy

desfasada en el tiempo. No obstante, **en el desarrollo de la misma quedaron bastante claras varias cuestiones:**

-el gran alcance del conocimiento ya adquirido sobre los acuíferos del Campo; **las contribuciones al mismo de las distintas investigaciones realizadas; y la situación de entonces del proceso seguido para su Plan de Ordenación.** También la constatación de que (por parte de los especialistas responsables de INTECSA para la zona, y del Servicio Geológico de Obras Públicas, para la revisión de datos hidrogeológicos de interés para el proyecto de Plan Hidrológico de la Cuenca Sur y de la coordinación de los trabajos del citado Plan de Ordenación) se habían asumido, desde hacía más de una década, los proporcionados por el IGME y particularmente su modelo de geometría y funcionamiento de este conjunto de acuíferos (en realidad el único que se ha desarrollado sobre los mismos) cuya coherencia, por los datos que generaron su elaboración, resultaba indiscutible.

Con su publicación en 2001 por el IEA, **la posible confusión en la sociedad almeriense sobre estos recursos quedó suficientemente aclarada**, al menos para el círculo de interesados por los mismos. Tal vez faltó una mayor difusión mediática a sectores sociales más amplios. Para ampliar los contenidos de la jornada, se remite al número 39 de la publicación Recursos Hídricos: “Acuíferos del Campo de Dalías – Sur de Sierra de Gádor, y Aguas Residuales: ¿Residuo o Recurso?” del IEA. Diputación de Almería.

En 2006, por decisión del entonces Gobierno de la Junta de Andalucía se inició el proceso de elaboración del **Programa de actividades científico – técnicas de apoyo a la protección – regeneración de los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías** (Almería), que fue encargado al IGME. Esta Memoria trata de la ejecución de su Fase I, complementada con anexos de contenidos más técnicos para descargarla de la copiosa información aportada. El avance y actualización de conocimientos adquiridos y las recomendaciones derivadas de los mismos que procedan **quedan pendientes de su incorporación a los contenidos sobre esta zona del Plan Hidrológico, y su utilización por el Plan de Ordenación de los recursos hídricos del Poniente Almeriense.**

La **decisión de aceptación del Programa por parte de la Junta de Andalucía** (promotora del mismo) según el Acuerdo de intenciones de enero de 2007, **correspondió a la entonces Consejera de Medio Ambiente, y por las instituciones colaboradoras, a los Directores de ACUAMED y del IGME, y al Presidente de la JCUAPA.** Una vez finalizada la Fase I, está pendiente la decisión de continuidad del Programa con su Fase II.

3.4- CONOCIMIENTO ALCANZADO DE LA GEOMETRÍA DE LOS DISTINTOS ACUÍFEROS Y METOLOGÍA EMPLEADA

Para conocer la geometría se planteó como mejor estrategia llevar a cabo, por una parte, los reconocimientos necesarios del medio geológico (especialmente de la distribución de litologías en sus tramos permeables) tanto del sustrato alpujárride como de su cobertura neógena (miocena y pliocena) para facilitar, por otra parte, la **identificación de los tramos perforados por más de 1.500 sondeos** ejecutados históricamente en toda la extensión de este ámbito (unos 200 de promoción pública), de los cuales **más de 260**, con profundidades medias del orden de 500 m, **alcanzaron el sustrato alpujárride**.

El análisis exhaustivo de todas las informaciones recabadas de los mismos (mediante **seguimientos directos durante su ejecución, revisión de partes de sondistas y de muestras de perforación, informaciones de confianza cercanas a estas obras, etc.**) contrastadas entre sí, y **apoyadas, en muchos casos, por numerosos registros geofísicos en pozo y distintas campañas de superficie** (campañas de SEV, SEDT, calicatas eléctricas y uso de **información derivadas de campañas de sísmica**, en mar y tierra, de 1972-1976 y 1980, de INI-ADARO-USGS y otros) **y por los rasgos geológicos de superficie**, etc., permitió obtener una interpretación bien contrastada de perfiles verticales de la geometría de los distintos tramos estratigráficos presentes en diferentes trazas del terreno que fueron realizándose en sucesivas series a lo largo del estudio (a medida que aparecían nuevos datos de perforaciones) acumulándose, así, **desde mediada la década de 1960 decenas de cortes geológicos entrecruzados**, y fuertemente **apoyados en sondeos mecánicos bien conocidos (paramétricos)**, trazados en diferentes direcciones y con una penetración vertical suficiente para cubrir razonablemente las necesidades del conocimiento hidrogeológico del apilamiento espacial del conjunto de acuíferos.

En la **Figura 3.4.1** (de **IGME, 2003**, documento incluido íntegramente en el **Anexo 1.1**) se representan (con los apilamientos que cortan) ejemplos de dos de estas series (de trazado próximo para mostrar además el mayor detalle de los más modernos por su mejor apoyo con sondeos mecánicos) que **fueron permitiendo conocer la geometría del conjunto de acuíferos (al superponerles la información piezométrica y las características físico-químicas del agua contenida)**, alcanzándose un nivel de conocimiento más que aceptable. En la **Figura 3.4.2** se incluyen las trazas de los cortes de la serie más moderna y representativa. En el **Anexo 1.2** de esta memoria se detallan cada uno de dichos cortes.

Con el referido **trazado de cortes** y el apoyo de las informaciones generadas con **las campañas geofísicas (especialmente de las de sísmica de reflexión)** se elaboró un **plano de isohipsas del techo del sustrato alpujárride** (su versión de abril de 2002 está incluida en la **Figura 3.4.3**) que orienta muy bien acerca de la **topografía de la base de la cobertura neógena**, aunque **no sobre el techo de los materiales carbonatados triásicos en la franja meridional y occidental del Campo**, al no discriminar esta técnica entre estos materiales permeables carbonatados y los impermeables metapelíticos y esquistoso-cuarcíticos, etc., permotriásicos y/ o más antiguos, reconocidos por algunos sondeos mecánicos realizados en la misma durante los primeros años de la investigación del IGME, con los que se puso en evidencia la invalidez de la sísmica para garantizar la posición del techo de dichos materiales acuíferos triásicos.

En los documentos del **Anexo 1.2** de esta memoria se encuentra más información sobre la adquisición del conocimiento geométrico.

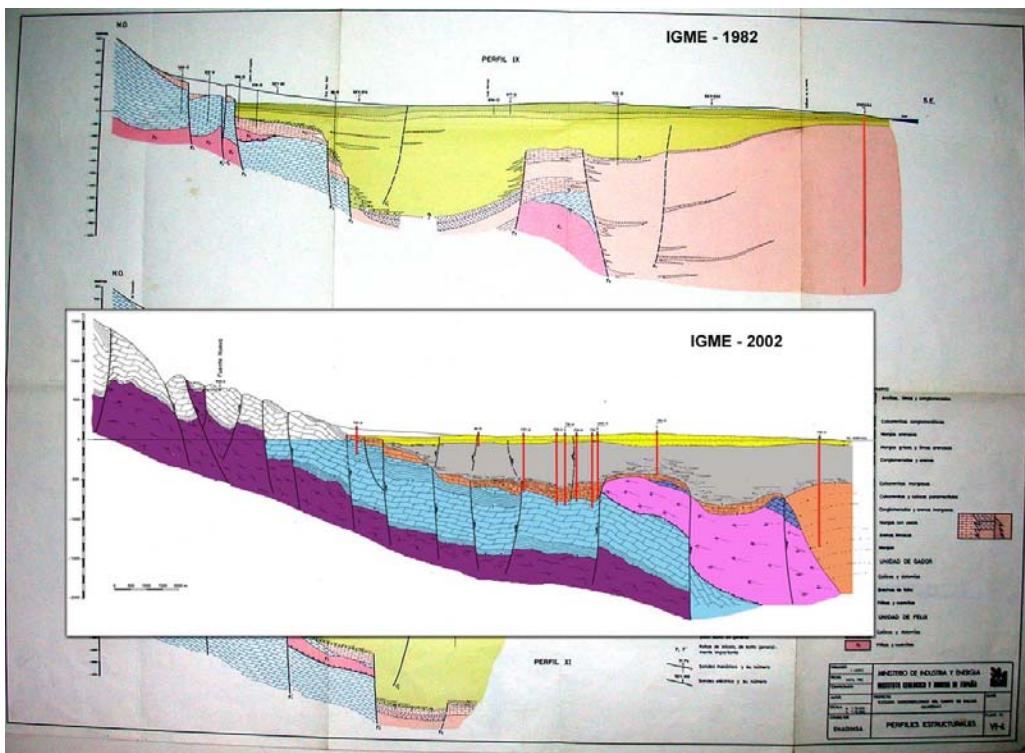


Figura 3.4.1: Comparación de dos cortes hidrogeológicos del Campo de Dalías: en 1982 (arriba) la interpretación de la estructura contaba con menor apoyo de sondeos mecánicos que en 2002 (abajo), ya con una cobertura de sondeos que garantizó el esquema hidrogeológico más actualizado. Del documento Ref. 469.00. IGME (2003) en Anexo 1.1.

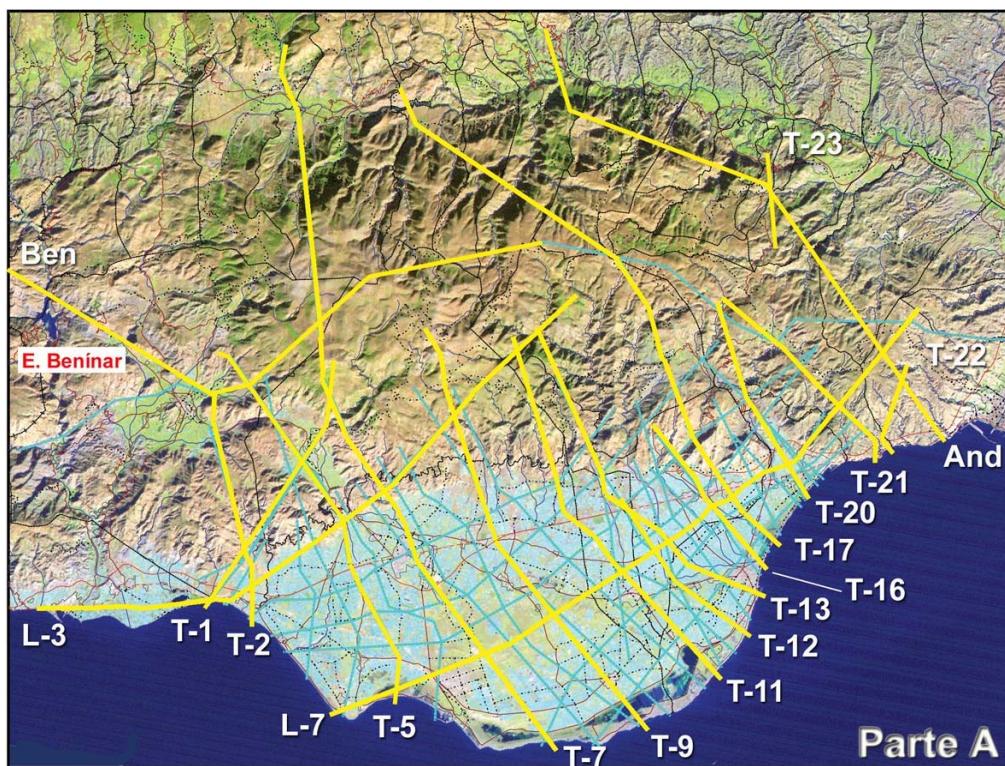


Figura 3.4.2: Situación de cortes hidrogeológicos de distintas fases del Estudio; en amarillo las trazas de las series más actualizadas y representativas, en azul otras de las secciones del mismo. Del documento Ref. 469.00. IGME (2003) en Anexo 1.1. El Anexo 1.2 integra la serie de cortes más modernos.

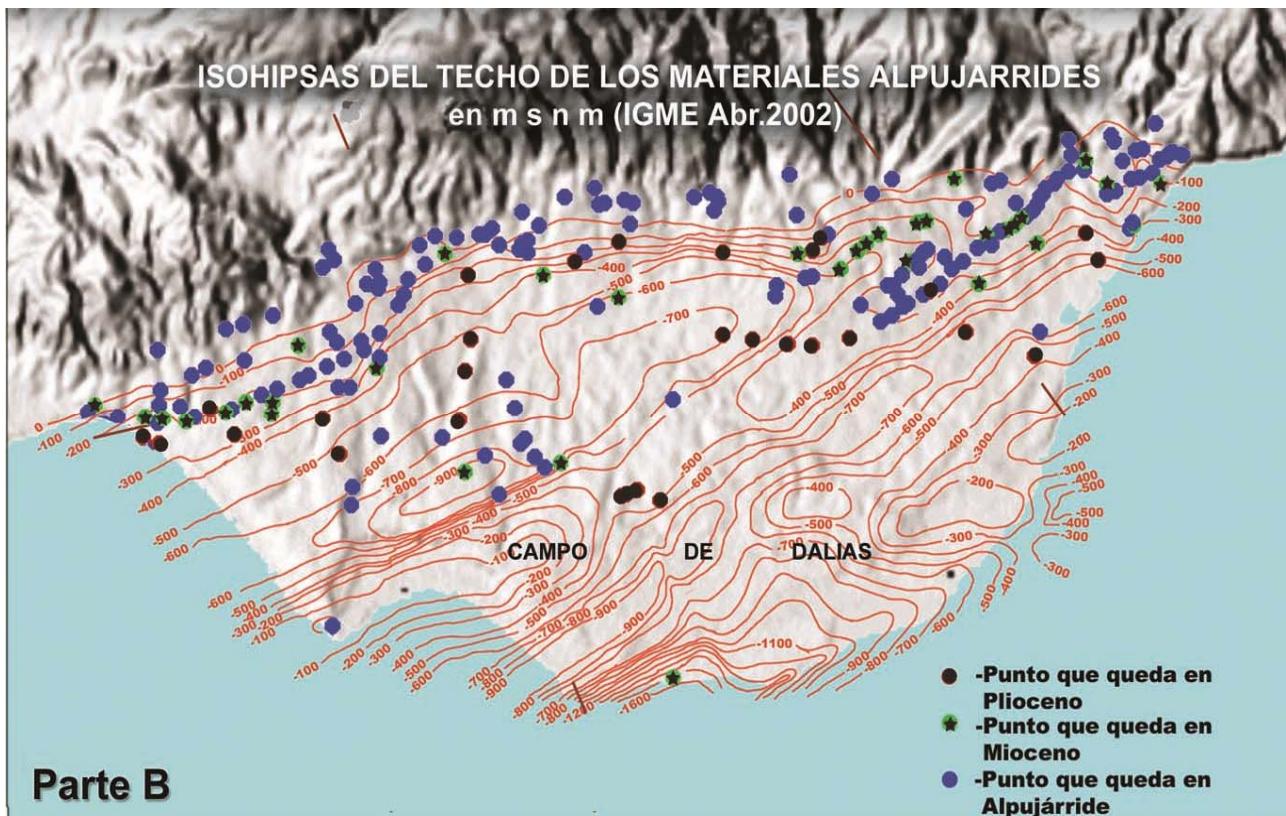


Figura 3.4.3: Esquema de curvas de nivel de igual penetración de los materiales más antiguos equivalentes a los de Sierra de Gádor (isohipsas del techo del sustrato alpujarride), con indicación de los terrenos alcanzados por los puntos de la red de investigación de la geometría, utilizables como “paramétricos”. Versión de abril de 2002, incluida en Del documento Ref. 469.00. IGME (2003) en Anexo 1.1.

3.5- METODOLOGÍA SEGUIDA Y CONOCIMIENTO ALCANZADO SOBRE EVOLUCIÓN DE LAS CAUSAS DE LOS CAMBIOS EN EL FUNCIONAMIENTO

Para conocer la evolución del funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos más relevantes (aunque por distintas razones) de esta zona, tanto en la situación de los primeros años de transformación antrópica –cuando estaban aún en un estado muy próximo al de su régimen natural- como en los posteriores, sometidos a importantes actuaciones humanas que tenían que influir en el mismo, se planteó la estrategia de un seguimiento cercano, muy ligado al terreno, como metodología más fiable para conocer, con el mejor contraste posible, las **relaciones entre causas y efectos** producidos (en cantidad y calidad) reflejados en los cambios en el funcionamiento de este complejo sistema de acuíferos y subacuíferos – en sectores de aquellos con estructuración en capas- aunque tal estrategia requería también un gran esfuerzo en dedicaciones de equipo técnico especializado en este medio hidrogeológico y sociológico, a llevar a cabo con gran rigor (y también con mayor coste), por lo que su aplicación no era muy usual en estudios más convencionales.

3.5.1- información sobre causas de los cambios a consecuencia de la ocupación del territorio

Había que identificar, como causas de origen humano, las intensas ocupaciones del terreno (en regadíos, asentamientos urbanos, obras civiles, puntos de vertidos, etc.) contrastándose las ubicaciones de las mismas y sus variaciones en el tiempo, así como su relación con los acuíferos que podían ser afectados. Y, con carácter preferente, el control de un fuerte bombeo (ajeno a decisiones de gestión institucionalizadas) necesario para el abastecimiento a las demandas crecientes, cada vez más exigentes en las calidades del agua aplicada, que fue cambiando de origen con el tiempo y elevando la cuantía en su conjunto.

La implantación de esta estrategia metodológica, de la mejor manera asequible, dio pronto resultados de gran coherencia, que se resumen por objetivos parciales en lo que sigue (aunque cuando ello fue aconsejable se abordaron simultáneamente).

Como factores determinantes directos de las causas de cambios –en cantidad y calidad- en el funcionamiento, se atendió a la evolución de los usos implantados que podían afectar a los acuíferos relacionados con dichos cambios, y a la de situación de los bombeos por acuíferos captados. En cuanto a los primeros, se fueron utilizando las cartografías de regadíos y núcleos de población, distintos vuelos de fotografía aérea de la zona - el realizado por EEUU en 1956/57 y los posteriores de la Junta de Andalucía- con controles de campo, etc., localización de vertidos sólidos y líquidos, áreas de recepción preferente de escorrentías superficiales y sus estados de encauzamiento, redes de distribución (canales, tuberías –de un trazado anárquico-, plantas depuradoras y sus efluentes, etc.). La Figura 3.5.1 muestra, como ejemplo, la distribución de la superficie de riego y sus canales para 1978, según datos del Ministerio de Agricultura.

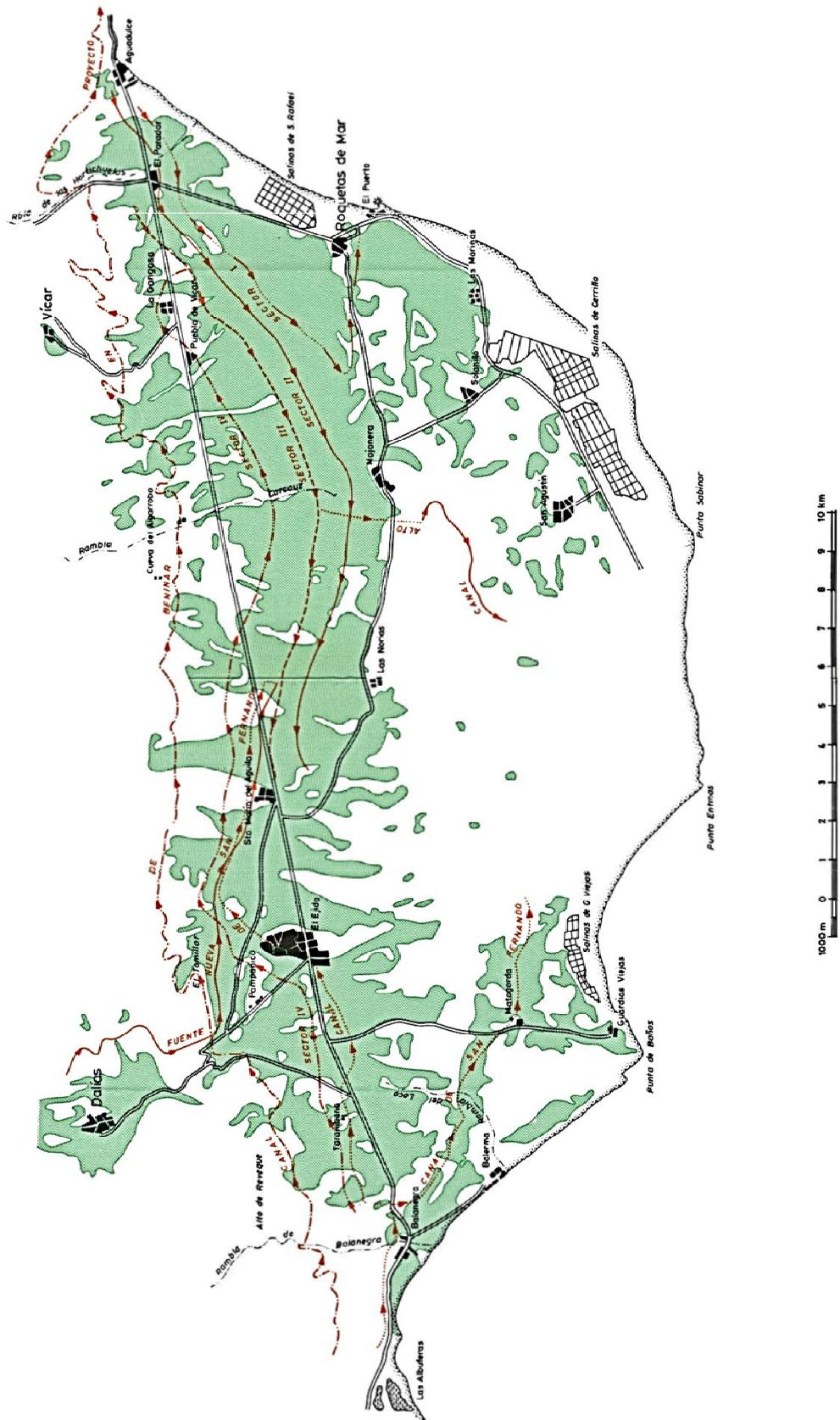


Figura 3.5.1. Mapa de situación de los canales de riego y de las superficies en regadío, según inventario y análisis de áreas de regadío. Ministerio de Agricultura, 1978. Del documento Ref. 59: IGME (1982): Estudio hidrogeológico del Campo de Dalías. 13 Tomos. IGME, Madrid.

3.5.2- Evolución del bombeo en los distintos acuíferos, principal causa de los cambios de su funcionamiento

Antes de la década de 1920, las captaciones de aguas subterráneas en el Campo de Dalías eran irrelevantes, prácticamente incapaces para modificar el funcionamiento natural de sus acuíferos. Incluso debieron de afectar poco al mismo los bombeos que empezaron a practicarse desde entonces con la incipiente electrificación de la zona por “Fuerzas motrices del Valle de Lebrín”, que generaron al menos medio centenar de pozos, ya con caudales notables, casi en su totalidad en acuíferos de cobertura.

Las actuaciones del INC en los años 50 y 60, unidas a las llevadas a cabo por la iniciativa privada, durante las fases iniciales de la transformación en regadío de la zona, fueron elevando el volumen de bombeo que, al término de este período, alcanzó ya cifras próximas a los 20 hm³ al año. El incremento más espectacular se produjo en la década siguiente (coincidiendo con el sorprendente crecimiento de la rentabilidad y la consecuente expansión de los cultivos en invernadero) que finalizó con una extracción del orden de 80-85 hm³/a, superior al 400% de la inicial de esta década. Estos bombeos ya sí estaban generando cambios sustanciales en el funcionamiento de este conjunto de acuíferos.

En cuanto al control sistemático del bombeo, después de las estimaciones mediante encuestas a usuarios y de hectáreas regadas de los años 70, a partir de 1980 se estableció la metodología que se refleja en el documento del **Anexo 1.3** y que se resume en este texto con algunas figuras como ejemplos de documentación generada para la **determinación** (en varias campañas) **del origen del agua extraída anualmente, por puntos de bombeo y acuífero captado, incluso por áreas de cada acuífero**. Aparte de los planos con la distribución de captaciones con sus rangos de extracción anual, listados del volumen bombeado en las mismas, control anual de caudales, fichas de campo por captaciones y años, etc., se establecieron los totales por **áreas de cada acuíferos, los de éstos y los del conjunto del Campo**, representados en diagramas de barras (**Figura 3.5.2**), sectores circulares por conjuntos de demanda, etc., que **incluyen las otras fuentes de suministro que completaron la atención a las demandas de riego y abastecimiento urbano existentes en la zona**, entre 1980/81 y 2001/02, con estimaciones para 1965/66 y 1975/76. El resultado de estos trabajos se integra en las **Figuras 3.5.2 a 3.5.6**.

La parte A de la **Figura 3.5.2** muestra la evolución del bombeo de los acuíferos de cobertura; la parte B, la de los acuíferos inferiores -con AEBN agrupado al AIO- y en la parte C se refleja el agua suministrada a las demandas, procedente del bombeo acumulado de todos los acuíferos y de las aportaciones del Embalse de Benínar desde 1987/88. Los datos se reflejan en la **Figura 3.5.3**

A la vista de los datos incluidos en la **Figura 3.5.3** se pueden analizar factores incidentes en la demanda global, y el uso de las aguas subterráneas y del Embalse de Benínar para atenderla. La demanda total va aumentando en el tiempo, con algunos saltos importantes, como de 1990/91 a 1991/92, principalmente por el aumento en las extracciones para riego, desde puntos del AIO, al pasar la CR Sol y Arena de recibir 13 a 2 hm³ desde el Embalse de Benínar. Por otra parte, en detalle, se advierte la relación entre el volumen total de la demanda y la humedad del año: los años más húmedos (valor de Demanda total en verde en el cuadro) fueron 1983/84, 1988/89 y 1996/97, coincidentes con descensos puntuales del volumen de agua suministrado (con menores necesidades de agua de riego) y mayor aportación de agua superficial, en su caso, que repercutió en años

posteriores; por el contrario, en los más secos (1984/85 y 1994/95, destacados en rojo en la Figura 3.5.3) el volumen necesario para atender a las demandas fue mayor, y todo él de origen subterráneo.

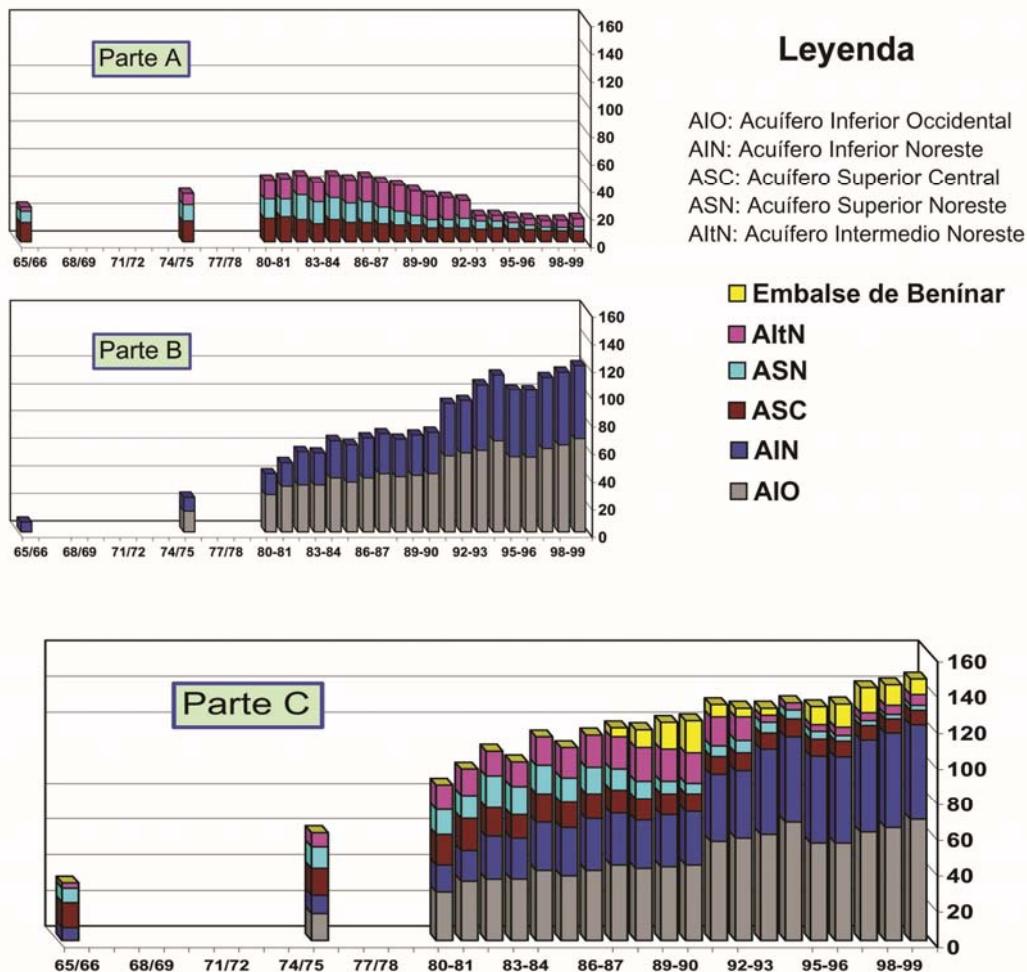


Figura 3.5.2: Evolución del bombeo anual (1965-2000), en hm^3/a , de los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. A: acuíferos de cobertura (AltN, ASN y ASC) B: acuíferos inferiores; incluye AEBN con AIO. C: agua suministrada a las demandas: bombeo acumulado de todos los acuíferos y aportaciones del Embalse de Benízar. Del documento Ref. 469.00: IGME (2003) en Anexo 1.1.

La Figura 3.5.4 muestra los ciclos secos y húmedos para el período histórico 1940/41 a 2006/07. Durante el período de seguimiento de detalle de las extracciones (1980/81 -1999/00) se observó un primer ciclo seco hasta el año 1986/87, seguido de tres años húmedos (87/88 -89/90); otro ciclo seco tuvo lugar desde 1990/91 a 1994/95, tras el cual, de forma prácticamente continua, se detectaron siete años húmedos, hasta 2003/04.

El diagrama de sectores de la Figura 3.5.5 muestra la proporción de los distintos orígenes a la demanda -local y de abastecimiento a la ciudad de Almería- para el año 1990/91. Para una demanda global de 128 hm^3 , el 82% (105 hm^3) correspondió a los acuíferos del Campo, el 4% a otros acuíferos ajenos al mismo (Célén y aluvial del Adra) y el 14% al E. de Benízar.

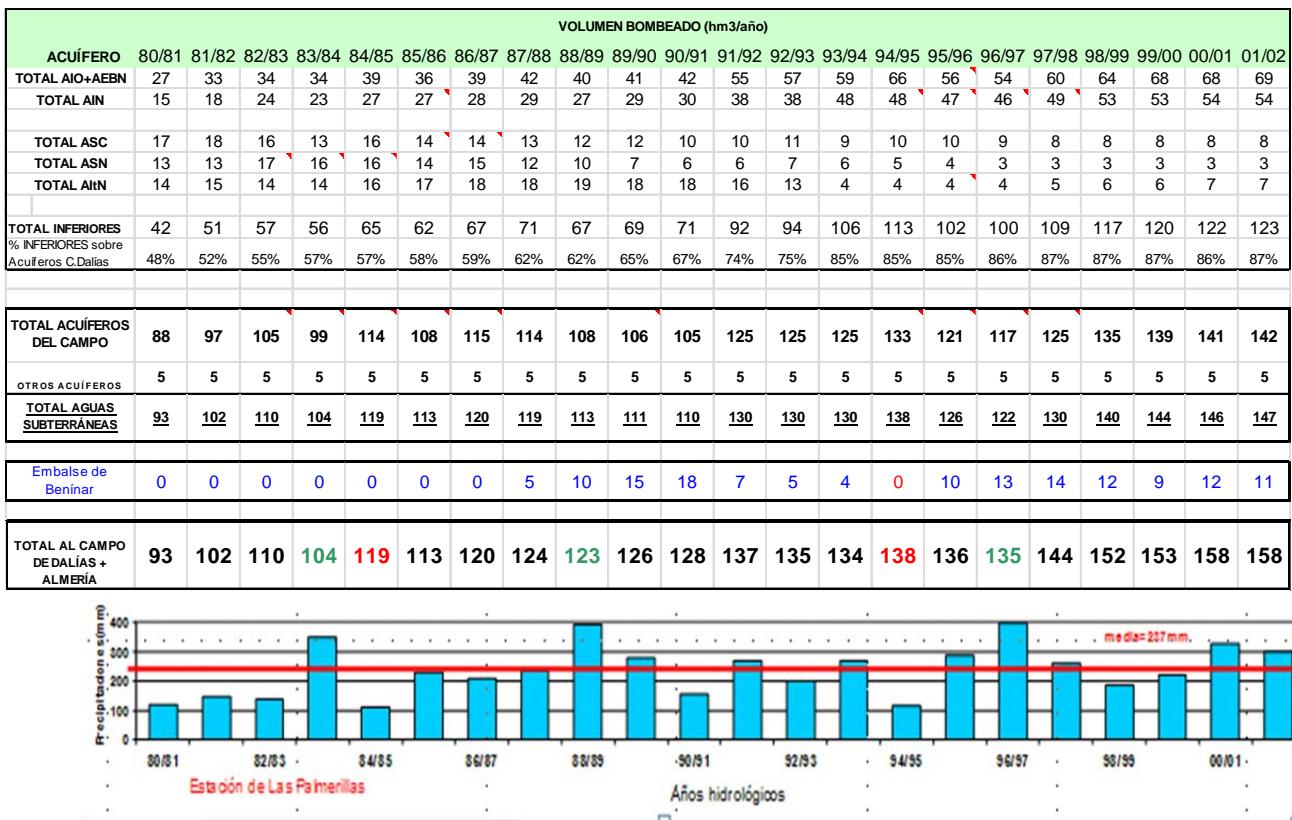


Figura 3.5.3 Cuadro parte superior: volúmenes anuales suministrados a las demandas del Campo de Dalías y Almería capital (hm³/a), desde 1980/81 a 2001/02. Incluye totales por acuíferos principales, volumen acumulado de acuíferos inferiores y su porcentaje sobre el total de acuíferos, volúmenes suministrados por otros acuíferos (Unidad de Celín, etc.), los aportados por el Embalse de Benímar, y cálculos de demanda total (“Total al Campo de Dalías + Almería”); de esta última se indican en rojo los valores de 1984/85 y 1994/95 (con incremento de la demanda total y grado de humedad muy inferior al medio), y en verde los de 1983/84, 1988/89 y 1996/97, en circunstancias contrarias a los anteriores. **Figura parte inferior:** precipitaciones anuales 1980/81 a 2001/02, en la estación de Las Palmerillas, que puede considerarse representativa de la zona de llanura, con indicación del valor medio (237 mm, línea roja).

Precipitaciones anuales: 1940/41 - 2006/07
desviaciones acumuladas respecto a la media

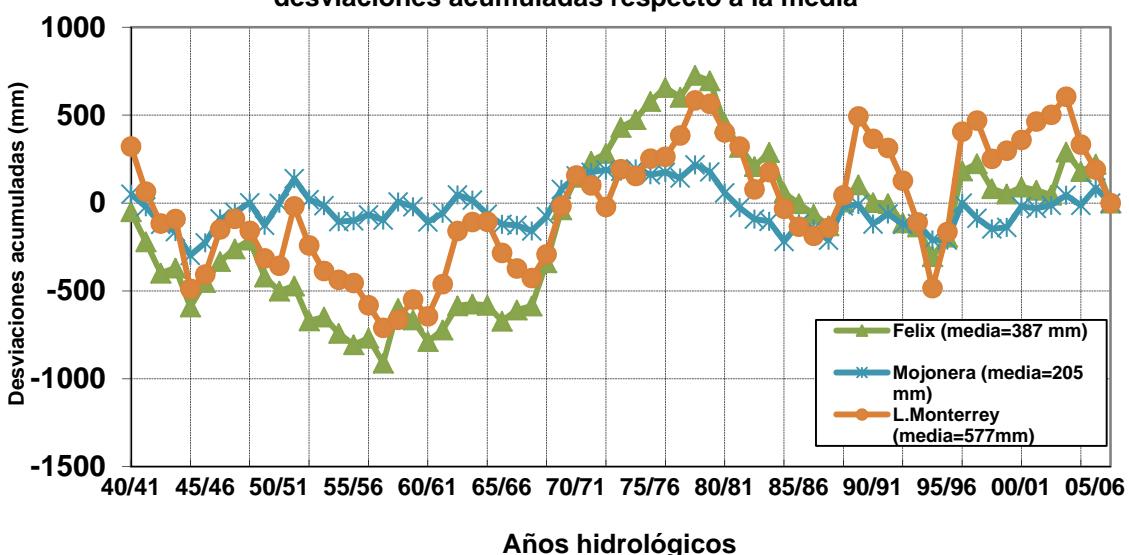


Figura 3.5.4 Desviaciones acumuladas respecto a la media para las estaciones pluviométricas de la zona (Felix, La Mojonera, y Laujar Monterrey) y el período 1940- 2006/07. De IGME 2001-2006: Resultados del proyecto: “Síntesis Hidrogeológica del Campo de Dalías”.

Así, la aportación total de aguas subterráneas a la demanda global en el 1990/91, fue de 110 hm³, con lo que la de agua superficial fue de 18 hm³, un valor superior a su media anual. El bombeo en los acuíferos inferiores, en el año referencia, fue de 72 hm³, creciendo hasta los 123 de 1999/00 (casi en un 150%). Sin embargo, la extracción de las coberturas disminuyó de 33 a 17 hm³/año en el período referido (del orden del 50%), por sustitución de bombeos en las coberturas por extracciones en los acuíferos inferiores de mejor calidad para las demandas.

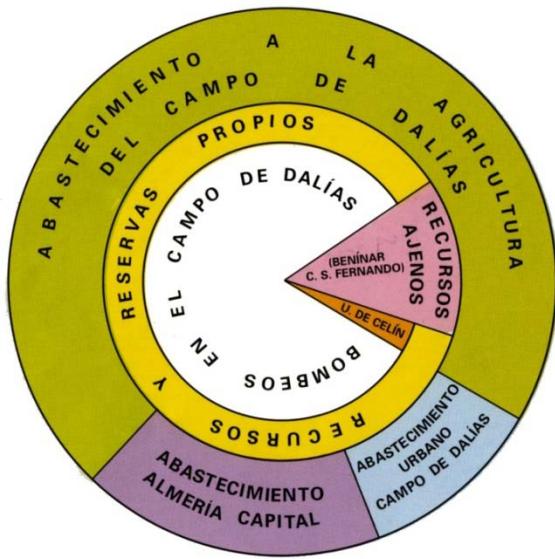


Figura 3.5.5: Distribución de usos y origen de las aportaciones a los mismos para el año hidrológico 1990/91. De Ref. 442. ITGE –Junta de Andalucía: Subsistema Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías, en: *Atlas Hidrogeológico de Andalucía*, Sevilla, 127-149.

Entre 1990/91 y 1999/00, la proporción del bombeo anual en los acuíferos inferiores, con respecto a la extracción global del Campo, aumentó del 69% al 88%, en los extremos del período, disminuyendo en las coberturas del 33% al 12%; el incremento de unos 50 hm³ en los bombeos de los acuíferos inferiores, en este período, se debió: al abandono de extracciones en las coberturas (unos 16 hm³), a una menor aportación de aguas superficiales desde Beníñar (de 18 a 8 hm³, para 1990/91 y 1999/00, respectivamente), y al incremento de la demanda, atribuible, en su mayor parte, a su tendencia ascendente.

Con respecto al bombeo por áreas de explotación de los acuíferos inferiores, para el AIN (Fig. 3.5.6), resultó bien aparente: el aumento (de unos 15 hm³) en la extracción del área de El Águila desde el año 1992/93, a consecuencia de la entrada de uso de los sondeos de Rambla de Bernal para abastecimiento a la capital, unido al incremento de bombeos en distintas captaciones de la zona; también el descenso de las extracciones en el área costera de Aguadulce. En el AIO, el aumento de su bombeo fue mayor que en el AIN, con las mayores extracciones de todos los acuíferos del Campo, principalmente en sus zonas libres. Aumentó el bombeo en todas sus áreas, entre las que destaca la "profunda", en la que el acuífero se encuentra confinado; las captaciones de esta zona, cuyo número fue aumento, resultan difíciles de ejecutar y mantener, sufriendo interconexiones con los acuíferos de cobertura. En el AIO se observaron saltos importantes en sus valores de bombeo anual, ya comentados para el caso del período 1990/91-91/92, más fácilmente relacionables con la aportación de agua superficial desde el Pantano de Beníñar, y con el grado de humedad del año (ascenso en 1993/94 a 1994/95, descenso 1995/96 – 1996/97, etc.).

El bombeo por áreas de los acuíferos de cobertura ASC, AItN y ASN, entre 1980/81 y 2001/02 se presenta en la Figura 3.5.7; mientras el descenso en el ASC fue progresivo, se observó que, en los otros dos acuíferos de cobertura, no ocurrió así; en el caso del ASN, se produjo principalmente entre 1987/88 - 89/90, al llegar las salinidades del agua a no ser adecuadas para las demandas agrícolas. En el AItN, a pesar de esta salinización, el bombeo continuó para el abastecimiento a Almería hasta 1993/94, en que se sustituyeron estos volúmenes por aguas del acuífero inferior en la zona de El Águila (AIN) como se ha comentado (Fig. 3.5.6). El incremento de extracciones en el AItN en los últimos años, de este intervalo de observación precedente a la Fase I, procedió de nuevos sondeos profundos en el área de El Viso, que captan materiales miocenos, capa confinada de calidad del agua adecuada para las demandas agrícolas.

Evolución del bombeo por áreas en los acuíferos inferiores 1980/81 a 2001/02

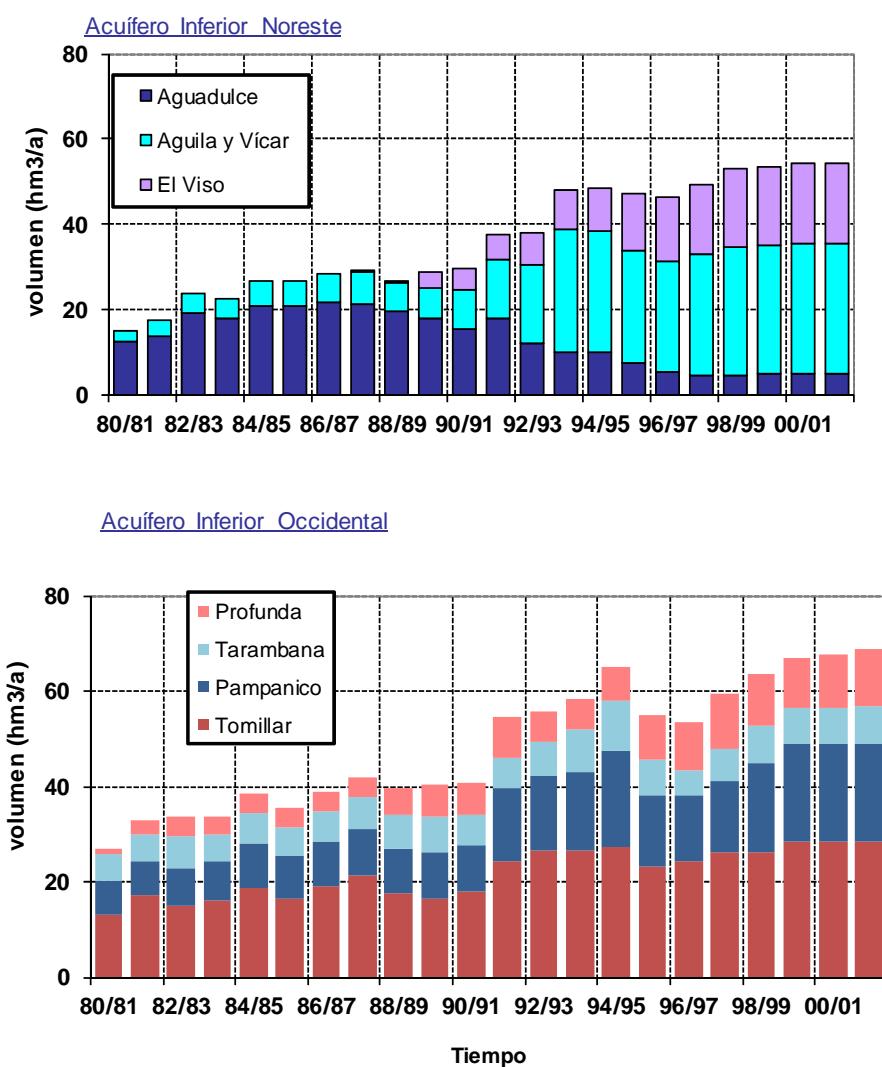


Figura 3.5.6: Evolución del bombeo anual por áreas de explotación en los acuíferos inferiores: 1980/81 a 2001/02. De IGME 2001-2006: Resultados del proyecto. “Síntesis Hidrogeológica del Campo de Dalías”.

En el Anexo 1.3 se muestran ejemplos de documentos específicos del control de explotaciones de campañas, realizadas en distintos períodos, en las décadas de 1980 y 1990. El seguimiento se componía de **fichas de volúmenes mensuales por punto y año hidrológico; listados de seguimiento mensual de bombeos por puntos, áreas y acuíferos; listados de**

seguimiento anual de aforos por captaciones; planos de volúmenes bombeados por puntos, acuíferos y años hidrológicos, cuadros de evoluciones históricas de bombeos por acuíferos, etc.

**Evolución del bombeo anual por áreas de los acuíferos ASC, AltN y ASN
1980/81 a 2001/02**

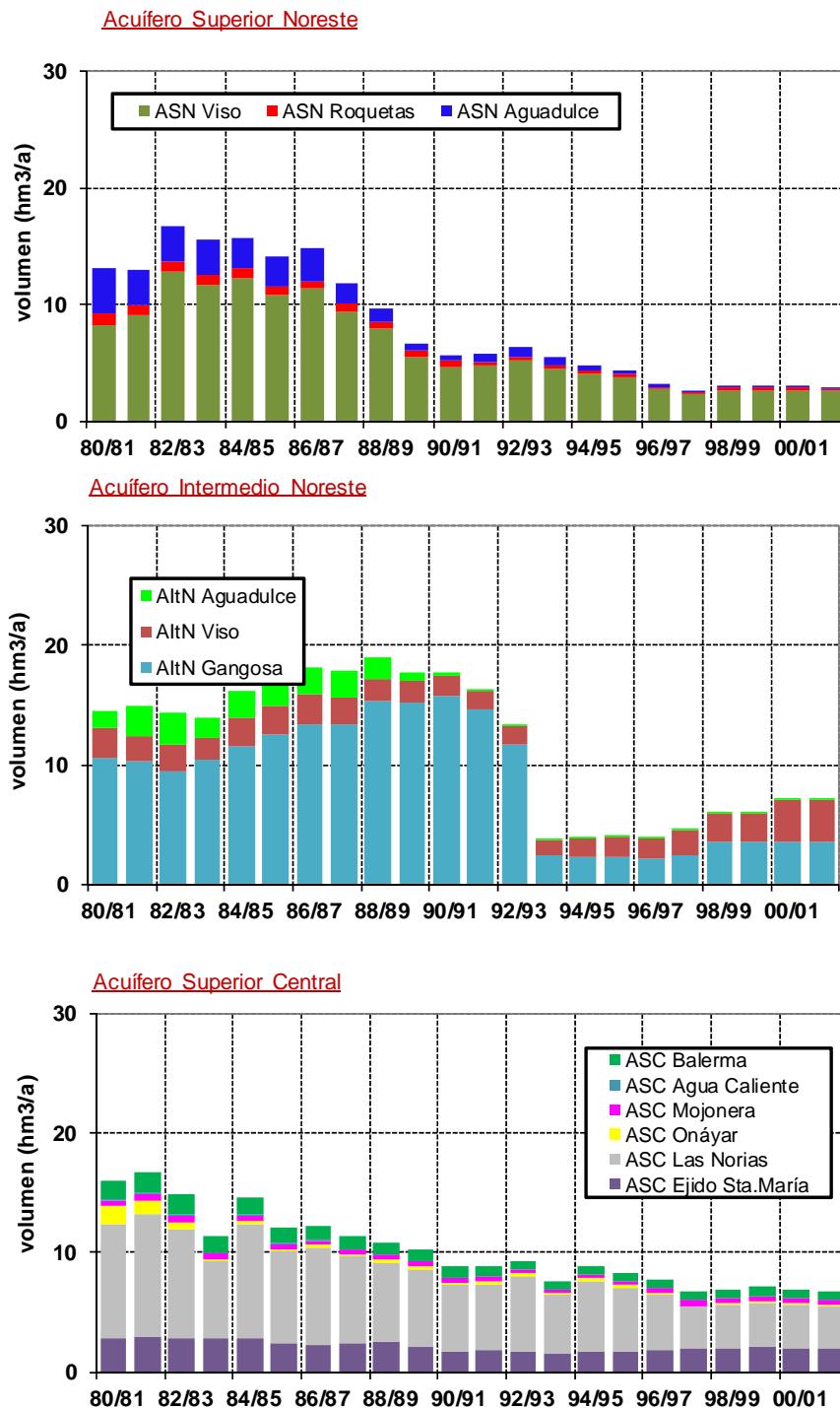


Figura 3.5.7: Evolución del bombeo anual por áreas de explotación en los acuíferos: ASC (parte inferior), AltN (medio) y ASN (parte superior): 1980/81 a 2001/02. De IGME 2001-2006: Resultados del proyecto. “Síntesis Hidrogeológica del Campo de Dalías”.

3.5.3- Aproximación al conocimiento de la distribución de características hidrodinámicas

Para obtener una **aproximación al comportamiento hidrodinámico espacial** de cada uno de los acuíferos presentes, se empezó analizando la interrelación del rendimiento de las captaciones (caudales, depresiones, recuperaciones) y del comportamiento del manto en cada acuífero y zonas de los mismos, con las características hidrodinámicas de las facies litológicas que los constituyen (permeabilidades, trasmisividades, porosidad o coeficientes de almacenamiento). Partiendo del conocimiento litoestratigráfico de cada uno de ellos, se abordó el análisis del comportamiento de los pozos utilizados, relacionándolo con el tramo captado, la penetración en el mismo (en su caso) o con los distintos tramos cortados por la obra.

Para este propósito –dificultado en muchas ocasiones por el discreto conocimiento en detalle de las litologías y espesores de las mismas (que se compensó con la ejecución de diagrafías de rayos gamma de apoyo), acondicionamiento de las obras, complejidad por la diversidad de facies en los distintos acuíferos, problemas para disponibilidad de tiempos prolongados para determinados ensayos, para la evacuación del agua bombeada en los mismos, etc.- se realizaron análisis de la explotación histórica de las captaciones accesible (evolución de sus caudales, niveles estáticos y dinámicos, recuperaciones, etc.) relacionadas con las de su entorno (de características conocidas). Se reinterpretaron datos proporcionados por ensayos ajenos (INC / IRYDA, promotores y constructores, etc.); se llevaron a cabo diferentes campañas de bombeo de ensayo y ensayos de recuperación por parte del Estudio, etc., que **proporcionaron un conocimiento general de dichas características hidrodinámicas aunque**, por la variedad de facies litológicas la distribución espacial de éstas (por razones sinsedimentarias y tectónicas), **la ausencia de sondeos de referencia en determinadas zonas del Campo, o de éstos con suficientes profundidades**, etc., **no se obtuvo el conocimiento deseable de la distribución en todo el espacio del territorio sobre tales características**.

Documentos de interés sobre estos trabajos se encuentran en los resultados del proyecto realizado en 1982 por el IGME (Ref. 59), ya citado, y de la Modelización matemática de los acuíferos Inferior Occidental y Superior Central del Campo de Dalías, llevada a cabo por el IGME en 1986, en Convenio con la Consejería de Economía de la Junta de Andalucía, con número documental: Ref. 87.

3.6- METODOLOGÍA DE OBSERVACIÓN DE LOS EFECTOS PRODUCIDOS CON LA EVOLUCIÓN DEL BOMBEO Y DE LA OCUPACIÓN DE LOS DISTINTOS ACUÍFEROS, PARA CONOCER LA EVOLUCIÓN DE SU FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Para hacer referencia a la problemática que planteaba **el seguimiento de los efectos en cantidad (piezometría) y en las características físico-químicas** (calidad química, conductividad eléctrica y temperatura del agua) en todos los puntos con datos medibles de cada uno de los acuíferos ya diferenciados, parece oportuno recordar que, **al no disponerse de unas redes específicas** (propias del Estudio) **como puntos de captación de datos** –con columnas litológicas y acondicionamientos muy bien controlados, sino una serie de sondeos, en su mayoría privados, con las características requeridas en muchos casos mal conocidas- el proceso de estudio de la representatividad de éstos y la necesaria selección de captaciones para construir unas redes donde observar la evolución de dichos datos, entrañó grandes dificultades. Pero 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 constituyan este objetivo de la investigación, aunque con una amplia dedicación de medios y tiempo, y sin llegar al detalle ni a la distribución espacial deseables.

3.6.1- Observación y ejemplos de representación de los cambios piezométricos, como reflejo de las variaciones en la cantidad en los distintos acuíferos y de la relación de flujos entre los mismos

Para el **seguimiento de la cantidad por acuíferos diferenciados**, se hicieron **campañas extensivas “flash”** (mediciones casi simultáneas) - hasta dos anuales en aguas altas y estiaje en algunos años- **para conocer su régimen de variaciones en función de las precipitaciones**, por una parte, y **del bombeo**, por otra, procurando la máxima representatividad de las medidas con el mayor estado de reposo del punto y su entorno (al programar las operaciones de acuerdo con los relojeros y eliminando aquellas que pudieran estar afectadas). Una vez depuradas las medidas **se hicieron mapas piezométricos** (las **Figuras 3.6.1 a 3.6.4** muestran ejemplos de ello) con indicación de los puntos de apoyo, **esquemas de flujos subterráneo**, etc., así como **planos de isovariaciones medias del nivel del agua entre fechas comparables de períodos determinados** (como los de la **Figura 3.6.5**) ilustrativos de las variaciones de la reserva de agua en los mismos. En el **Anexo 1.4**, además del plano de inventario general de puntos de agua con su identificación de trabajo, se hace referencia a algunos otros documentos donde puede ampliarse la información sobre esta temática.

En la **Figura 3.6.5**, las zonas con pérdida de reservas aún estaban sometidas a un bombeo que supera sus entradas naturales complementadas con las que originan los usos. Las áreas que recuperaron reservas (lo que sucede cuando el bombeo y/o las descargas naturales del acuífero, o sectores del mismo, son inferiores a la recarga natural y la complementaria originada por los usos) mostraron una tendencia que acabaría provocando en zonas topográficas deprimidas –o excavadas por el hombre- el afloramiento de la lámina de agua (lagunas de la Balsa del Sapo y de la Cañada de Ugíjar)



Figura 3.6.1: Esquema piezométrico de las calcarenitas pliocenas, para Junio de 1975. De Ref. 492-05 IGME- IRYDA (1977) Estudio hidrogeológico de la Cuenca Sur (Almería). Plan nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS). Informe Técnico V: Campo de Dalías. 2 Tomos. IGME, Madrid. En: Serv. Publ. M. Industria, Madrid, 145pp.

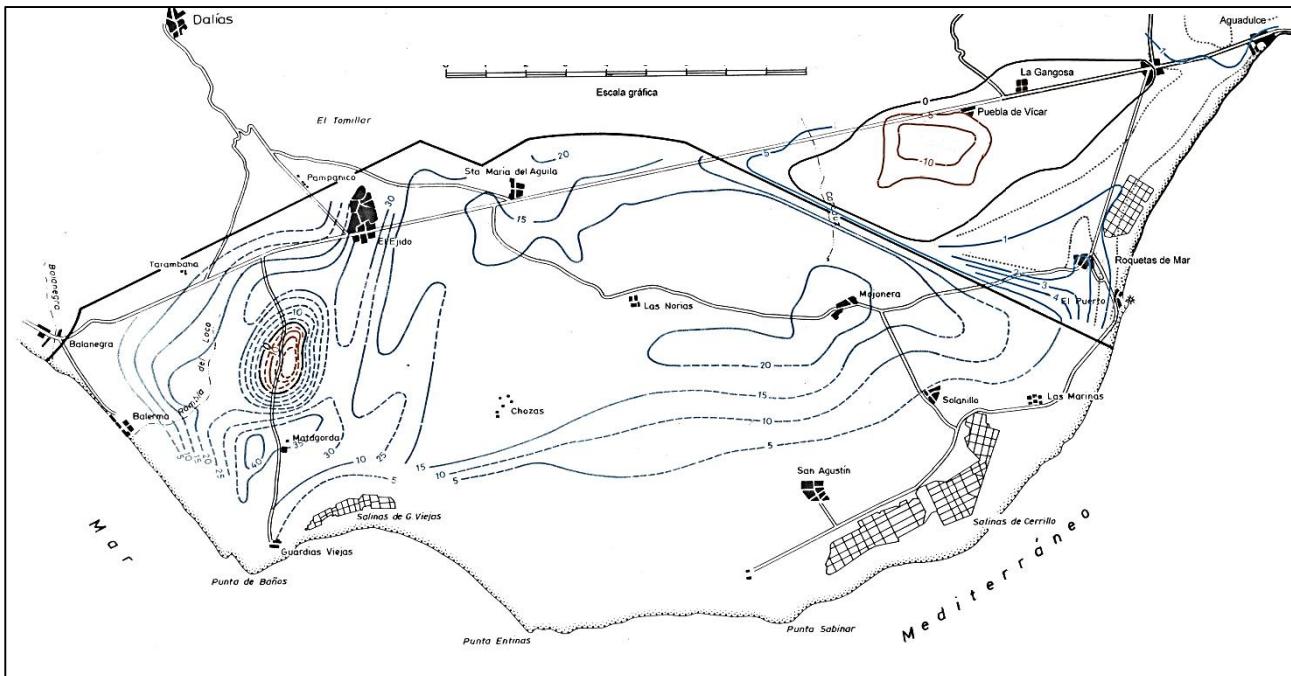


Figura 3.6.2 Esquema piezométrico de los acuíferos de cobertura, para Febrero de 1981. De Ref. 59: IGME (1982): Estudio hidrogeológico del Campo de Dalías. 13 Tomos. IGME, Madrid

En base al conocimiento de las tendencias de variación, por zonas, de los niveles observados en cada acuífero, se estableció una red de observación piezométrica en los mismos para campañas de carácter más reducido, cuya periodicidad fue mensual o bimestral durante años (posteriormente más espaciada en el tiempo) apoyada en pozos de funcionamiento más controlado y en el empleo de limnígrafos, para obtener mayor detalle en las respuestas al régimen de bombeo y de reposo, a ocurrencias de precipitaciones (con y sin escorrentías) perfiles de las tendencias, etc. Estos comportamientos se fueron reflejando en los correspondientes hidrogramas de nivel, como los de las **Figuras 3.6.6 y 3.6.7**, hasta 1997 (IGME – Junta de Andalucía, 1998: Atlas Hidrogeológico de Andalucía) y para el registro histórico previo al Programa, respectivamente. En el **Anexo 1.4** se incluyen referencias de documentos que incluyeron los resultados de este seguimiento.

Los hidrogramas de la **Figura 3.6.6** muestran las tendencias descendentes de los dos acuíferos inferiores y del AEBN, que prosiguen hasta el final de 2006 (**Fig. 3.6.7**) como también lo hacen las tendencias ascendentes ya observadas en todos los piezómetros representados del ASN y el ASC, a excepción del punto 2 en el que, sin embargo, ya desde la década de 2000 se observa su ascenso continuo.

La relación de flujos entre acuíferos inferiores y de cobertura (**Fig. 3.6.8**), ha variado con el uso en función de sus estados de carga hidráulica, la cual ha venido modificándose (aparte de sus fluctuaciones naturales generadas por las del clima) por efecto de la evolución del bombeo, en cada acuífero y en cada una de sus áreas, y de los incrementos de la infiltración de retornos de los usos, que incluyen los originados por las modificaciones antrópicas en las vías de recarga natural (encauzamientos, recargas forzadas de aguas pluviales, etc.). El sentido de estos flujos cambió a veces más de una vez, en algunas zonas, a lo largo del periodo histórico.

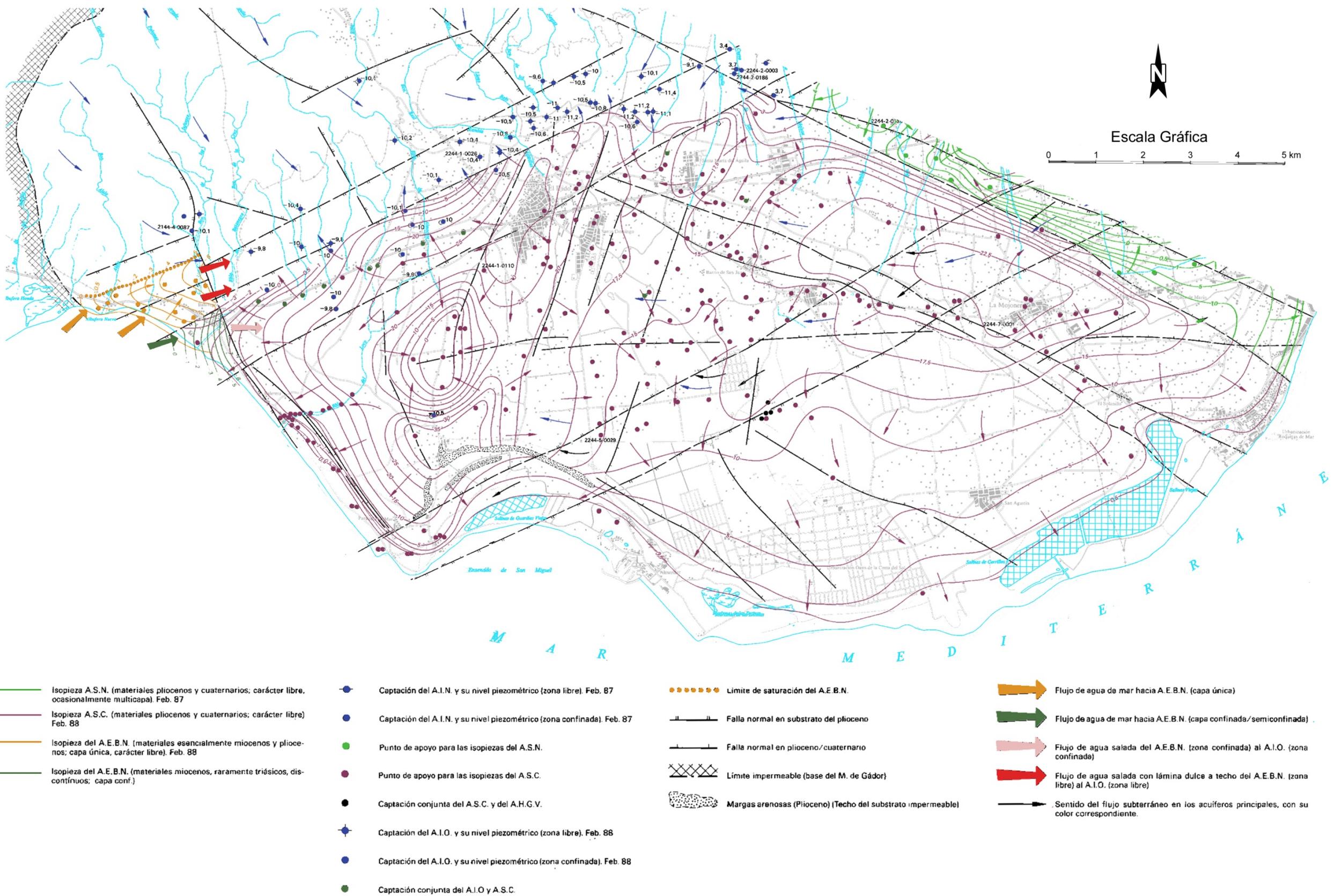


Figura 3.6.3: Año 1987/88: Esquema piezométrico del ASC y el AEBN, y esquema de distribución de flujos en estos acuíferos y en el AIO. De ITGE (1997): Mapa Auxiliar II. Hoja Hidrogeológica de Roquetas de Mar (1058). E: 1:50.000. IGME, Madrid.

ESQUEMA PIEZOMÉTRICO DE LOS ACUÍFEROS DEL SECTOR NORESTE

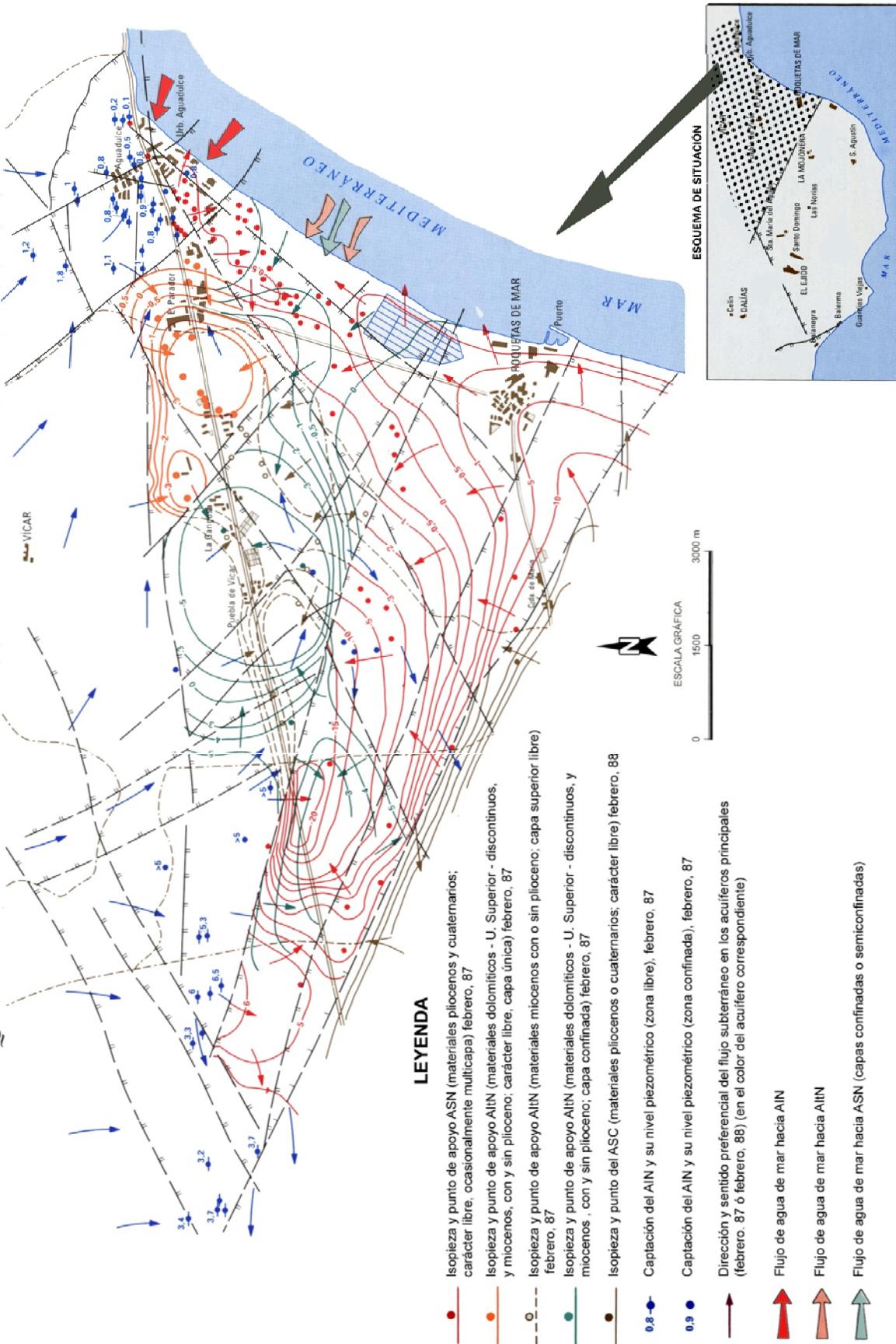


Figura 3.6.4 Año 1987/88: esquema piezométrico de los acuíferos del Sector Noreste: ASN y AItN, y de la distribución de flujos entre éstos, el AIN, el ASC y el mar. Modificado de ITGE (1997) Mapa Auxiliar II. Hoja Hidrogeológica de Roquetas de Mar (1058). E: 1:50.000. IGME, Madrid.

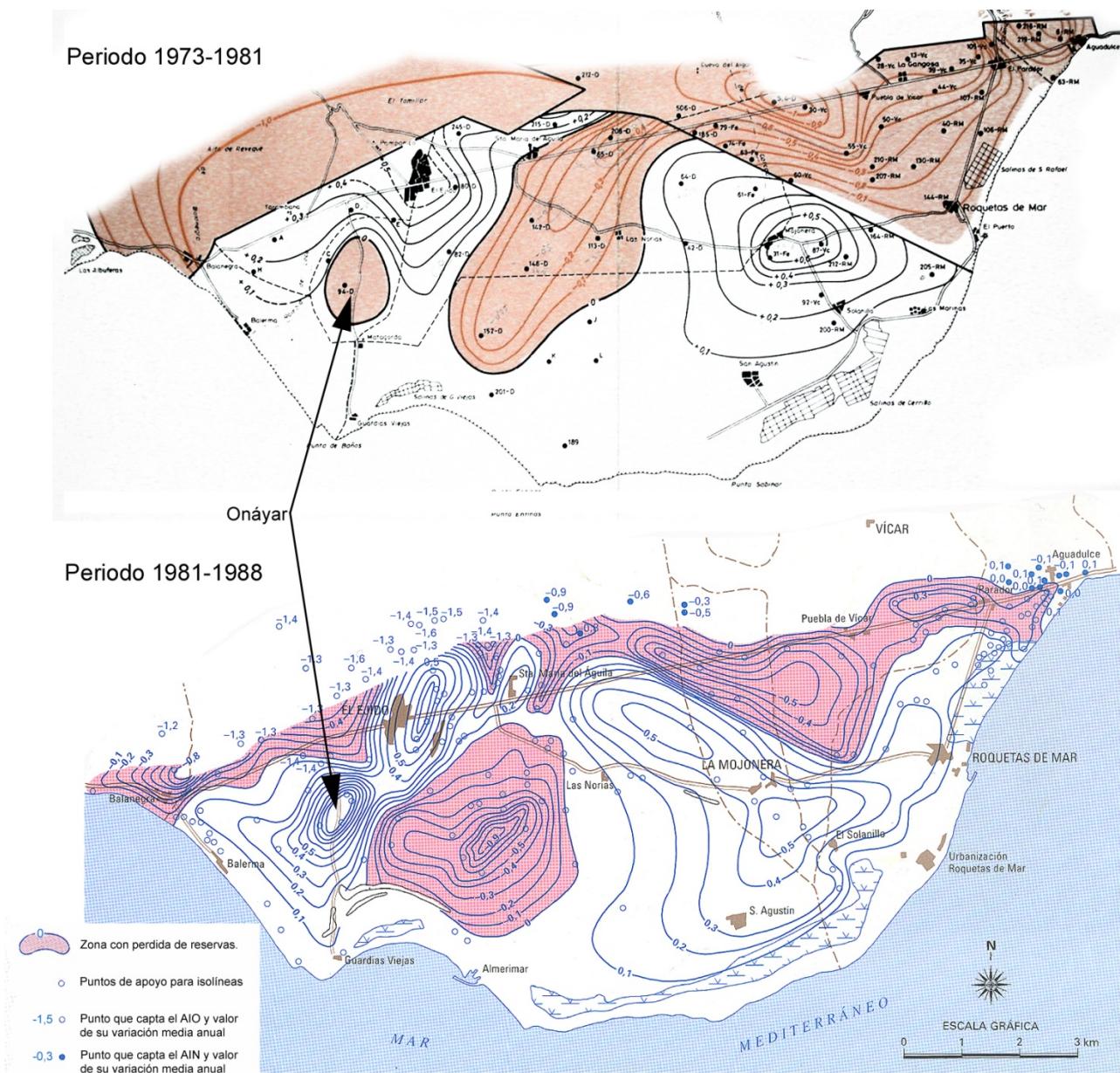


Figura 3.6.5 Variaciones medias en el nivel del agua (en m/año) para los períodos: 1973 – 1981 (superior) y 1981-88 (inferior). Entre los dos planos se puede destacar: en Onáyar, la tendencia al descenso (arriba) que pasa (abajo) a una recuperación continua del nivel del agua. En la Mojonería, la tendencia ascendente del nivel (por efecto de los retornos y la disminución de los bombeos) va expandiéndose en los dos períodos, invadiendo en el segundo las zonas bajas de Las Norias. Tomada de documento Ref. 469.00: IGME (2003), en Anexo 1.1

De todos estos cambios, los más importantes, por su carácter limitante para la sostenibilidad del uso de estos acuíferos, fueron las inversiones de flujos que permitieron la intrusión marina en el sector occidental y oriental del Campo, temática tratada en el **apartado 3.7** de este capítulo. En el sector occidental, Balanegra, el sentido del flujo en régimen natural era desde el AIO al AEBN y de éste al mar. La inversión de este sentido se produjo a principios de la década de 1980 (Fig. 3.6.6). En el sector oriental del Campo, la relación entre el AIN, los acuíferos de cobertura y el mar ocurrió de forma más compleja, como se detalló en 1996, sintetizado en las figuras (Fig. 3.6.9 a 3.6.12) que reflejan las relaciones de flujos que existían en el mismo, entre los distintos acuíferos y, en su caso, entre ellos y el mar, para los años 1965, 1975, 1985 y 1995.

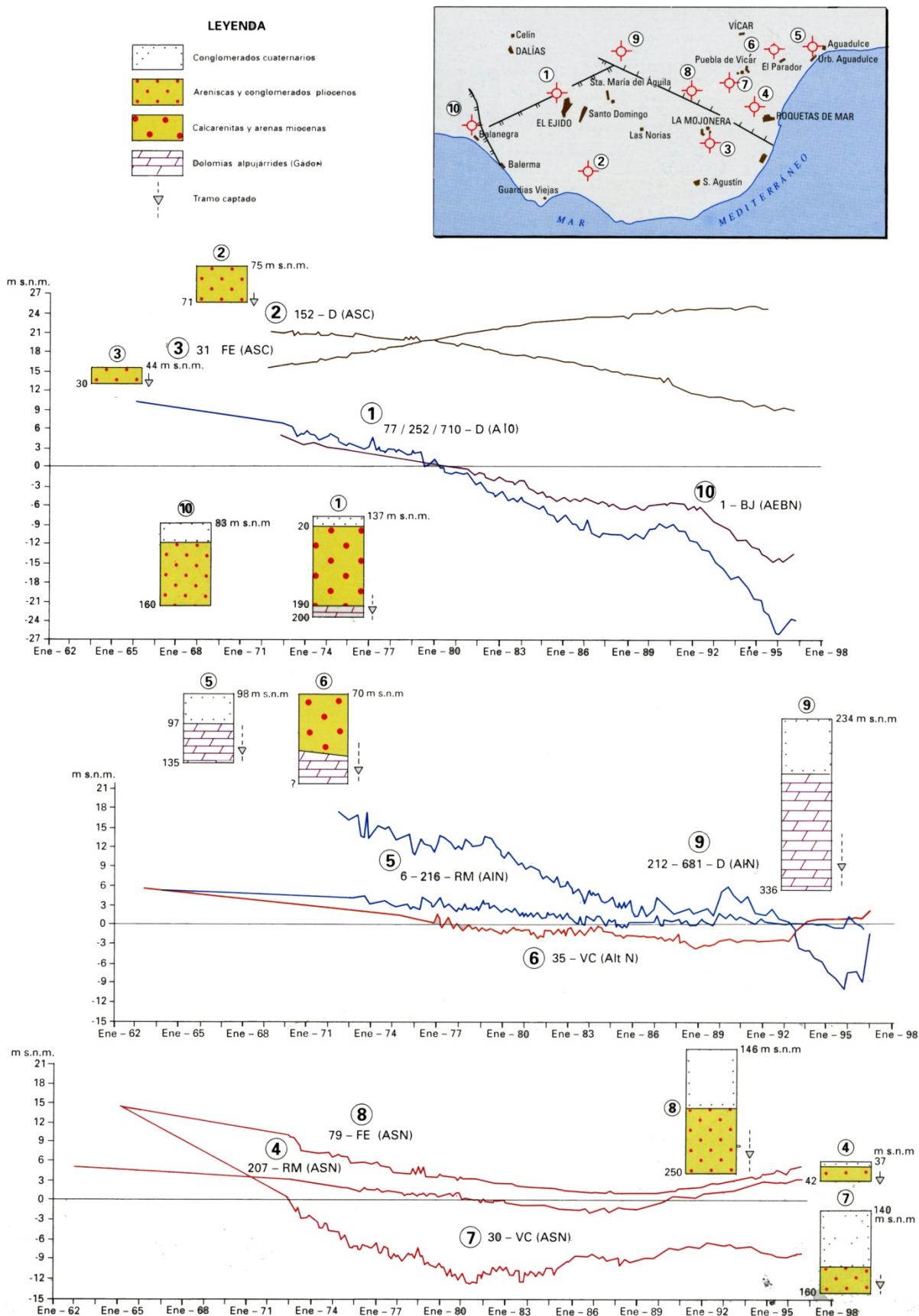


Figura 3.6.6 Período 1963-1997: hidrogramas de piezómetros representativos de los principales acuíferos, con indicación de los materiales penetrados y captados en cada caso. Superior: acuíferos del Sector Centro – Occidental (AEBN, AIO y ASC). Medio: AIN y AltN. Inferior: ASN. De Ref. 442 ITGE – JA (1998): Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. En: Atlas Hidrogeológico de Andalucía. Sevilla, 127-149.

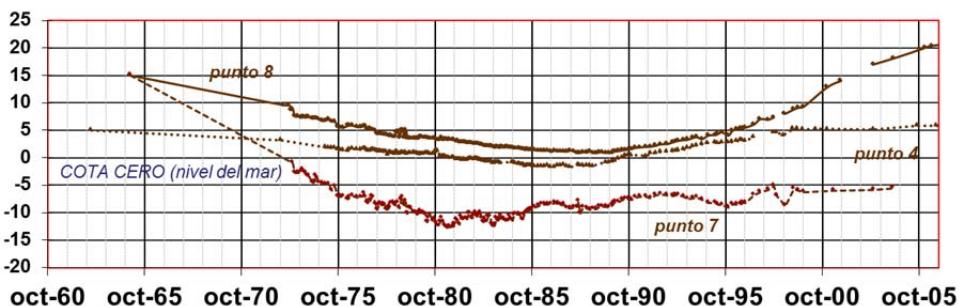
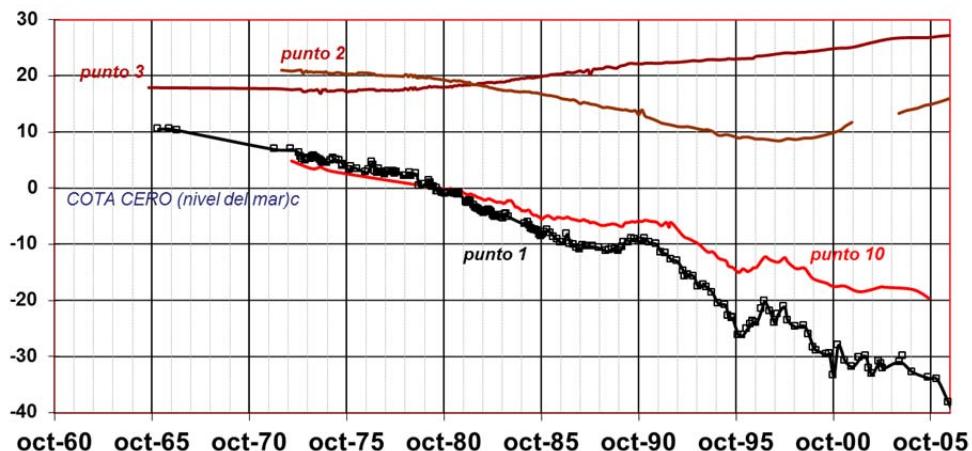
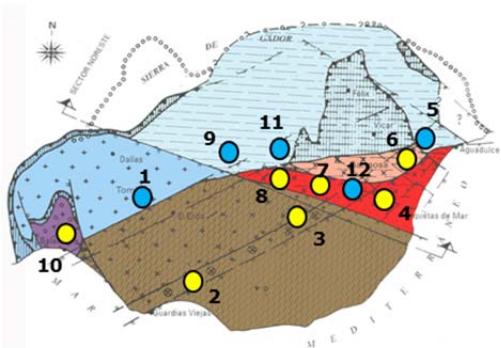
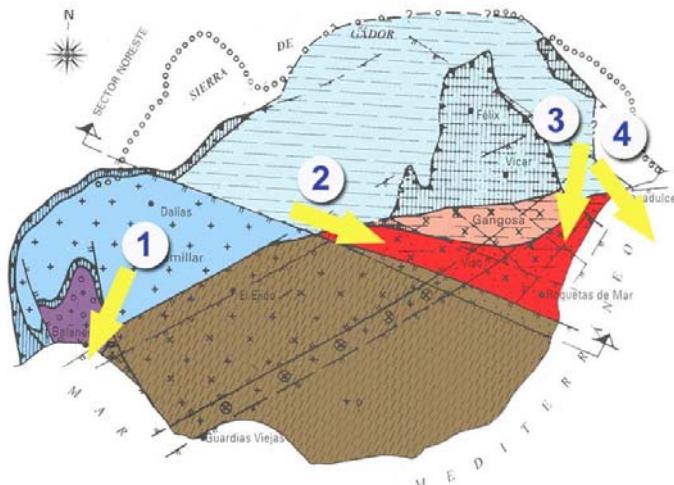


Figura 3.6.7 Período 1963 – 2006: Hidrogramas de piezómetros representativos de los principales acuíferos. **Parte superior:** AIO (punto 1), ASC (puntos 2 y 3) y AEBN (punto 10). **Medio:** AItN (punto 6) y AIN de las áreas de El Águila Occidental y Oriental, El Viso y Aguadulce: puntos: 9, 11, 12 y 5, respectivamente. **Parte inferior:** puntos del ASN. De IGME (2001-2006): “Síntesis Hidrogeológica del Campo de Dalías”

Régimen natural (antes del bombeo)

- 1: El AIO descargaba al AEBN, y éste al mar.
 - 2 y 3: El AIN descargaba al AltN y ASN.
 - 4: El AIN descargaba al mar y, una pequeña parte, al manantial de Aguadulce.



Régimen actual

- 1: El agua de mar pasa al AEBN y, de éste, al AIO.
 - 2 y 3: El ASN y el AltN descargan al AIN.
 - 4: El agua de mar pasa al AIN; el manantial de Aguadulce se secó.

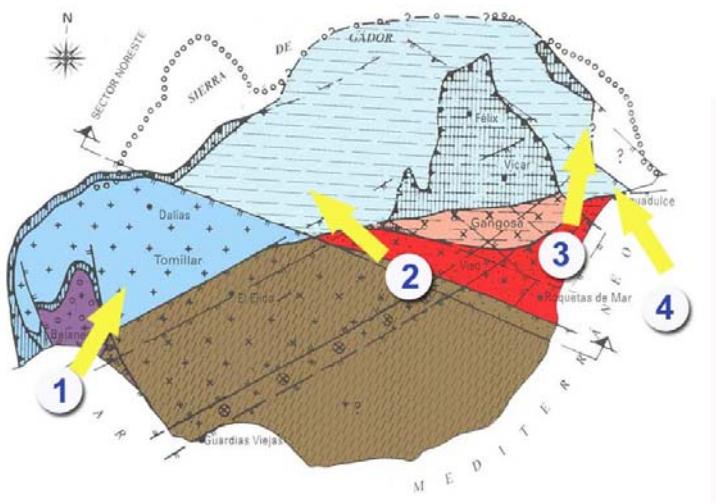


Figura 3.6.8.: Esquemas de relaciones de flujos subterráneos entre los acuíferos inferiores y los de cobertura o el mar.
Parte superior: régimen natural: los inferiores descargaban a los de cobertura (AIO al AEBN, que descargaba a su vez al mar; AIN al ASN y AItN y directamente al mar). **Parte inferior:** régimen de funcionamiento en 2003, con bombeo: se pasó al proceso contrario a consecuencia del uso de los acuíferos. Se ha omitido la relación con el mar del ASC y del sector suroeste del ASN, por no haberse modificado el sentido de la descarga de los mismos al mar, salvo en algunos entornos de la orla litoral. De Ref. 469.00 IGME (2003) en Anexo 1.1.

Esquema de distribución más probable de los principales flujos subterráneos en los acuíferos del sector noreste del Campo de Dalías (Almería): Entorno del año 1965

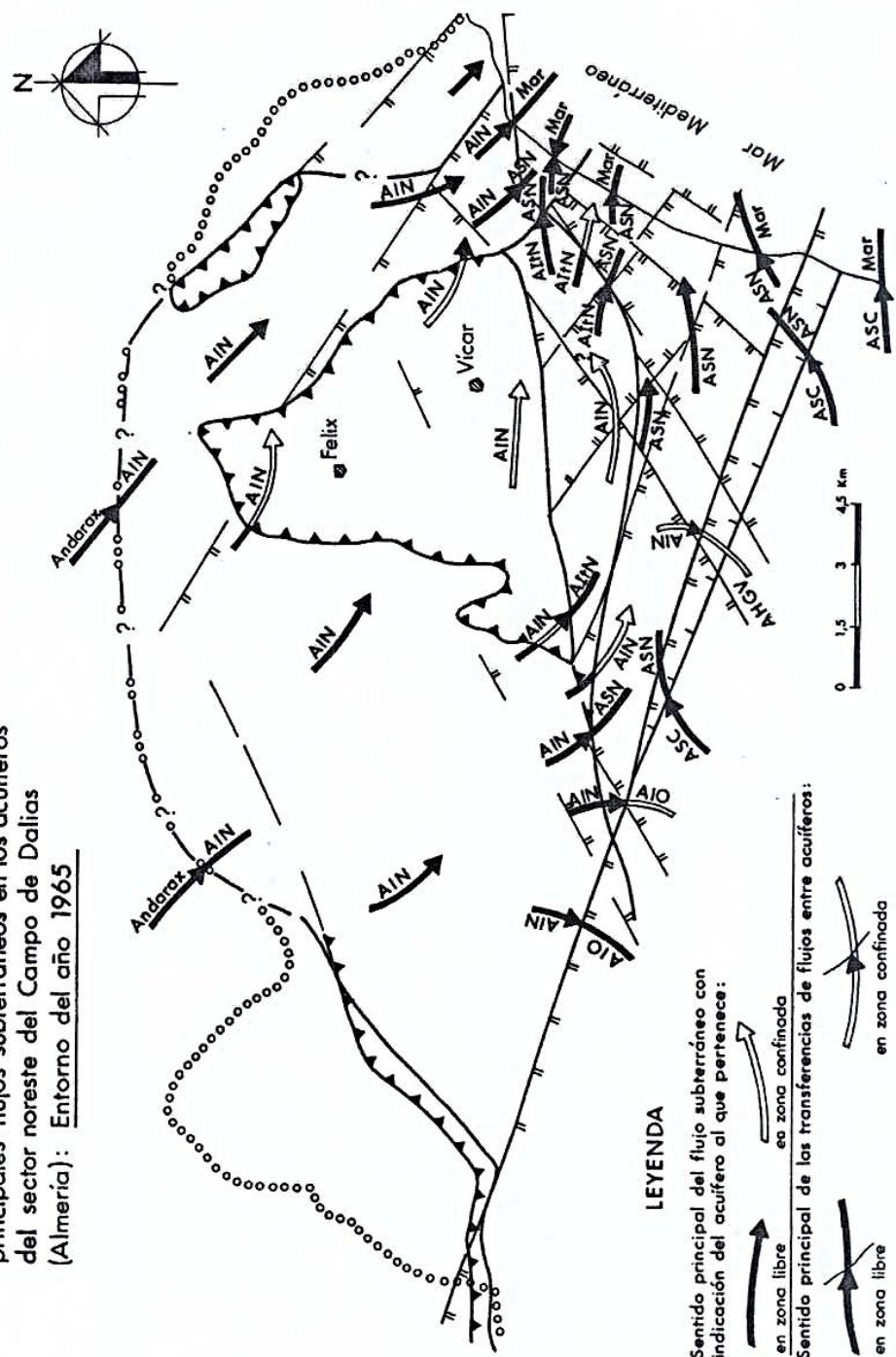


Figura 3.6.9: Esquema de distribución más probable del sentido resultante de los principales flujos subterráneos en los acuíferos del Sector Noreste del Campo de Dalías para el entorno de 1965. Del documento Ref. 155: ITGE (1996): Síntesis de los cambios en la distribución de flujos subterráneos en los acuíferos del sector NE del Campo de Dalías. IV SIAGA, I, 239-249, incluido en Anexo 1.5.

Esquema de distribución más probable de los principales flujos subterráneos en los acuíferos del sector noreste del Campo de Dalías (Almería): Entorno del año 1975

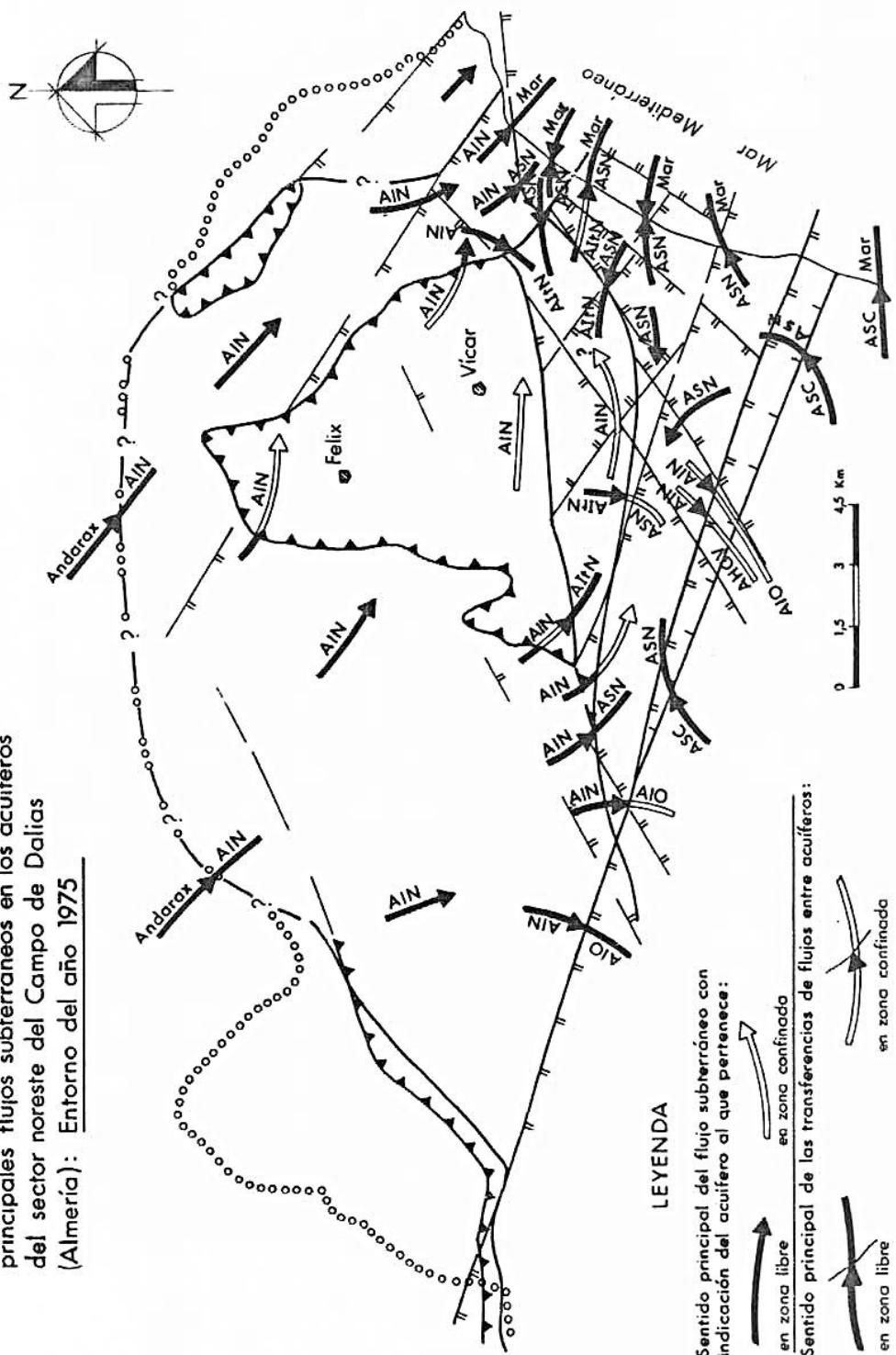


Figura 3.6.10: Esquema de distribución más probable del sentido resultante de los principales flujos subterráneos en los acuíferos del Sector Noreste del Campo de Dalía para el entorno de 1975. Del documento Ref. 155: ITGE (1996). Síntesis de los cambios en la distribución de flujos subterráneos en los acuíferos del sector NE del Campo de Dalías. IV SIAGA, I, 239-249, incluido en Anexo 1.5.

Esquema de distribución más probable de los principales flujos subterráneos en los acuíferos del sector noreste del Campo de Dalías (Almería): Entorno del año 1985

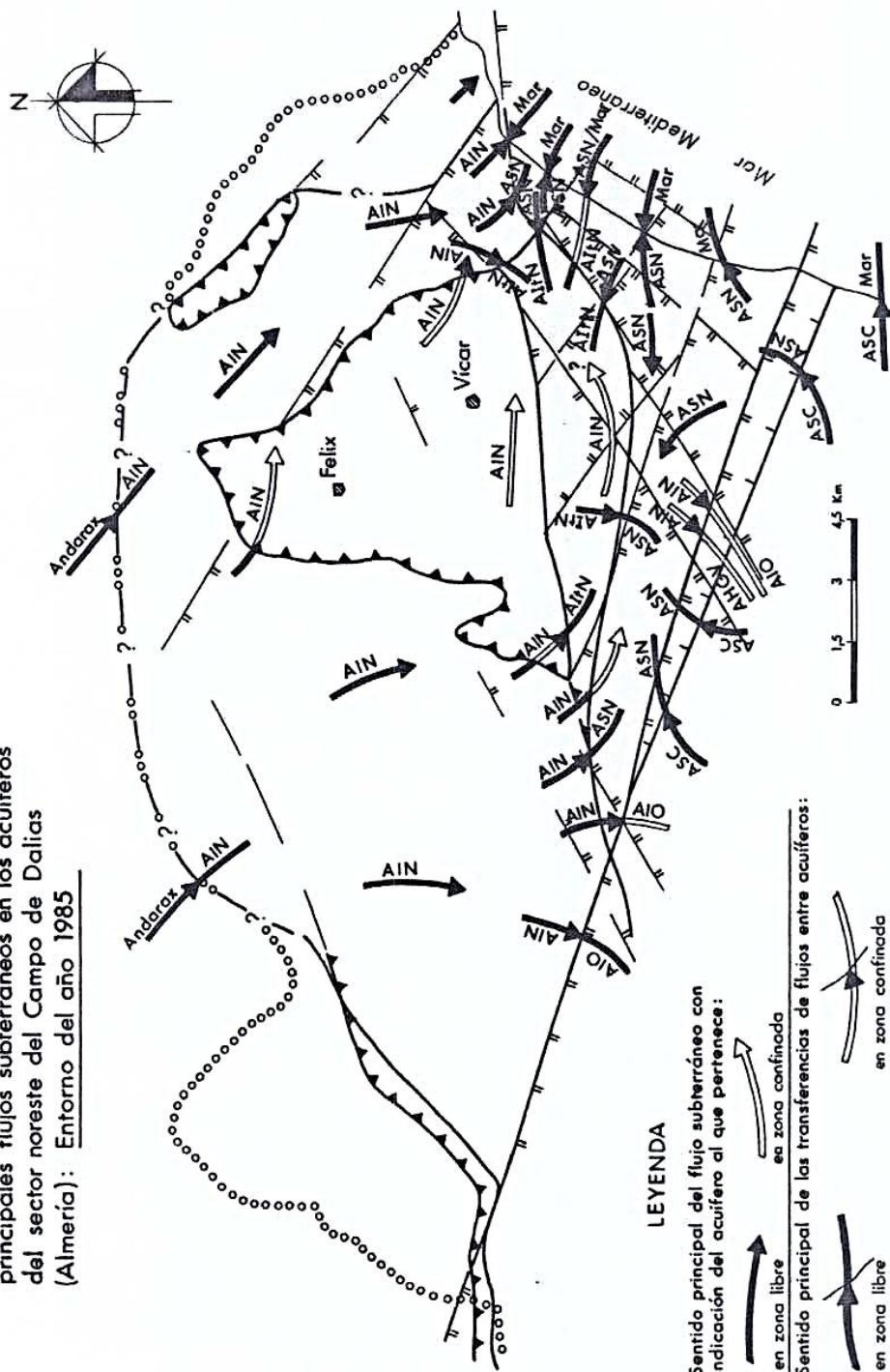


Figura 3.6.11: Esquema de distribución más probable del sentido resultante de los principales flujos subterráneos en los acuíferos del Sector Noreste del Campo de Dalías. Entorno de 1985. Del documento Ref. 155: ITGE (1996). Síntesis de los cambios en la distribución de flujos subterráneos en los acuíferos del sector NE del Campo de Dalías. IV SIAGA, I, 239-24, incluido en Anexo 1.5.

Esquema de distribución más probable de los principales flujos subterráneos en los acuíferos del sector noreste del Campo de Dalías (Almería): Entorno del año 1995

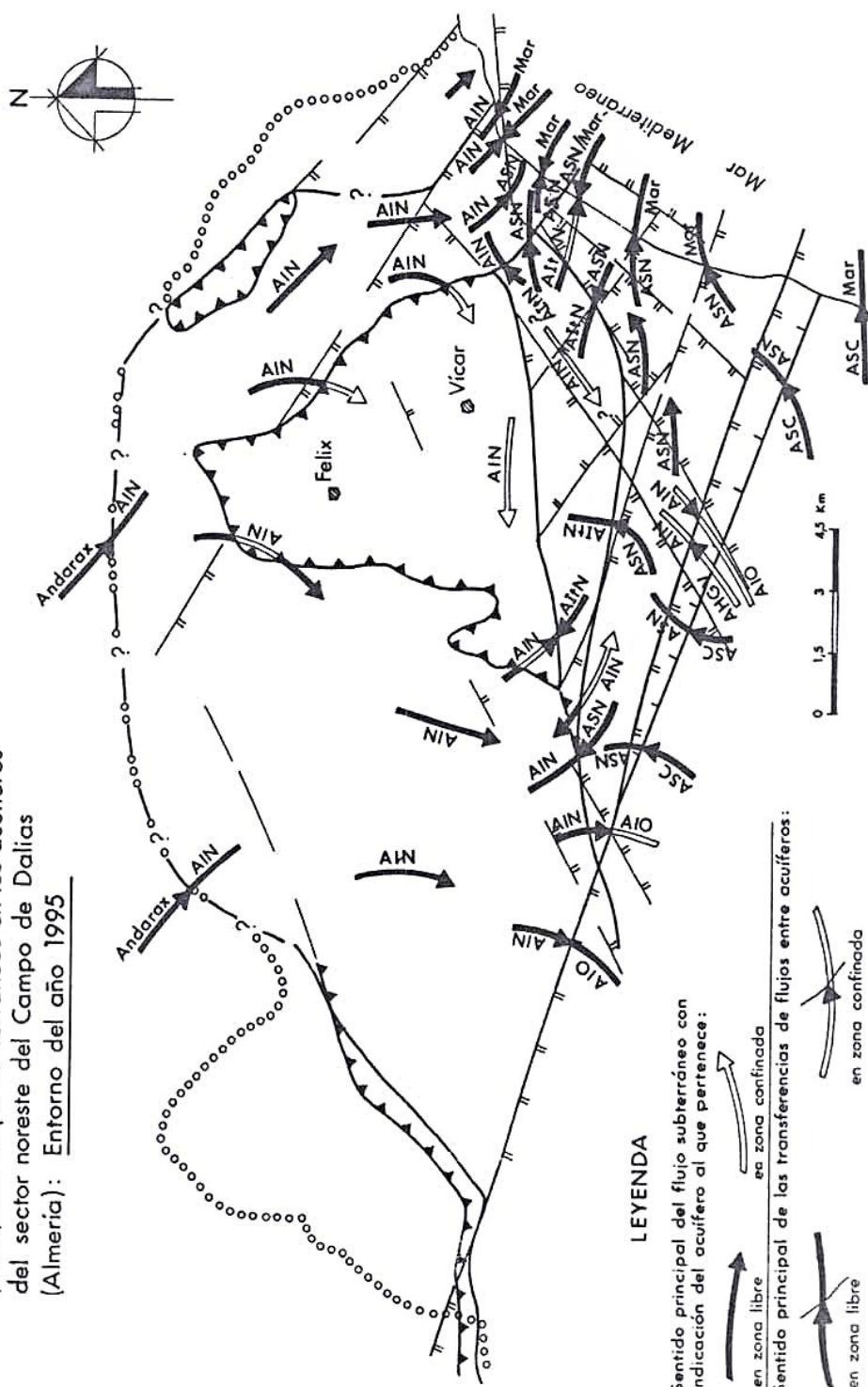


Figura 3.6.12: Esquema de distribución más probable del sentido resultante de los principales flujos subterráneos en los acuíferos del Sector Noreste del Campo de Dalías. Entorno de 1995. Del documento Ref. 155: ITGE (1996). Síntesis de los cambios en la distribución de flujos subterráneos en los acuíferos del sector NE del Campo de Dalías. IV SIAGA, I, 239-249, incluido en Anexo 1.5..

3.6.2- Observación y ejemplos de representación de los cambios en las características físico-químicas generales de los acuíferos con referencia a las deducidas de su régimen natural

En cuanto al conocimiento de las características físico-químicas generales de las aguas de los distintos acuíferos y su evolución, cabe señalar, como se expresa en la **Figura 3.6.13**, que ya en las fases iniciales de la investigación del IGME (PIAS) –incluso en los estudios del INC / IRYDA sobre la calidad del agua extraída para el riego durante los primeros años de la transformación agrícola en la zona, aunque aún sin referirlas a los acuíferos captados- se sabía que existían en este ámbito facies químicas muy diferentes, correspondientes, prácticamente, a las condiciones del régimen natural de funcionamiento, y algunos rasgos de la distribución espacial existente, aunque aún muy incipientes, lo que representaba ya una incertidumbre de primer orden para evaluar la viabilidad de la explotación proyectada en este Campo.

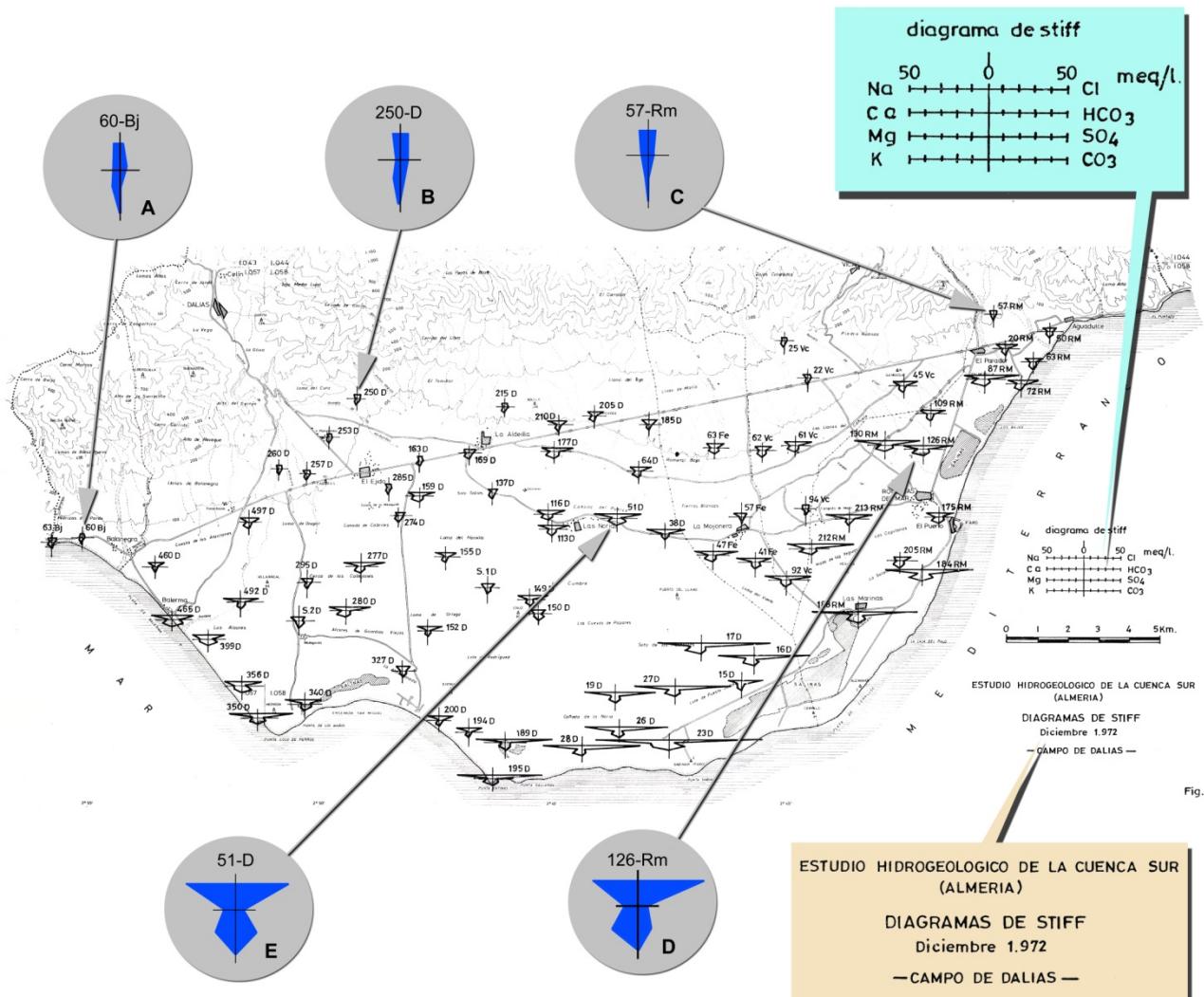


Figura 3.6.13: Plano de distribución de la composición química del agua de los acuíferos del Campo de Dalías: ejemplo de trabajos de caracterización hidroquímica de estos acuíferos (Proyecto PIAS, 1975). Se han ampliado algunos diagramas de aguas correspondientes a los acuíferos inferiores (casos B y C) y a acuíferos de cobertura (casos: A -cuando era recargado por el AIO- ,D y E) para su mejor observación. De Ref. 469.00 IGME (2003) en Anexo 1.1.

Esta circunstancia, que añadía complejidad al estudio de este medio, contribuyó al tipo de planteamiento adoptado por el IGME para la investigación y comprensión de las causas de esta “diversidad de aguas”, que rechazó caminos inmediatos –demasiado usuales pero hidrogeológicamente improcedentes- para resolver la heterogeneidad de orígenes de este problema (como limitarse a caracterizar las aguas de la diversidad de pozos existentes sin asignarlas a los distintos acuíferos de donde procedían).

Era imprescindible identificar la procedencia del agua muestrada (no de la captación únicamente, sino del acuífero captado por la misma) **si no se quería relacionar aguas de medios diferentes**, lo que sólo podía generar mayor confusión a esta incertidumbre. **Hubo que esperar a la obtención de dichas identificaciones sobre los acuíferos captados para poder alcanzar este objetivo parcial.**

Dicha identificación presentó dificultades en las ocasiones (frecuentes en la llanura) de superposición de dos, y hasta tres acuíferos, no resueltas satisfactoriamente por este Estudio en todos los casos durante años, aunque se deducía la existencia de dichas superposiciones por el avance en el conocimiento de la geometría (se reflejaba capas permeables e impermeables superpuestas, prácticamente, en la cobertura neógena y en determinadas áreas del sustrato). Las dudas en ocasiones sobre la penetración real de los sondeos preexistentes y, con mayor frecuencia, las relativas a los acondicionamientos (tanto de su diseño como de su eficacia real) necesitaron operaciones especiales para determinar la existencia o no de flujos verticales, así como el sentido de los mismos, lo que en gran parte se fue consiguiendo avanzada la década de 1980.

Con las informaciones acumuladas **tras resolverse suficientemente los problemas de identificación de acuíferos** del Campo, se conoció (salvo en algunos sectores sin sondeos de referencia) **la distribución de calidades aproximadas del agua en los mismos**, que se resumen a continuación.

Las **calidades naturales del agua en los acuíferos inferiores son buenas en general para los usos de abastecimiento urbano y riego** (concentraciones de sales menores de 0,5 g/L y con valores próximos a 0,6 mS/cm de conductividad eléctrica); tiene **facies bicarbonatadas magnésico – cálcicas** que vienen sufriendo modificaciones principalmente por mezclas de agua, las cuales con frecuencia han sido potenciadas por el uso, como ocurre, por ejemplo, en el AIO en su zona de recarga desde el ASC, donde aumentan las concentraciones de iones Cl y Na, lo que sucedió siempre, aunque cada vez se fuera manifestando más claramente por el incremento de esta trasferencia de flujos, al aumentar las diferencias de potencial hidráulico entre ellos.

En los acuíferos de cobertura, sus características naturales vienen estando cada vez más alteradas, por la influencia de una mayor variabilidad en la procedencia de sus aguas de recarga (desde el AIO, Pantano de Beníñar, inyección de aguas pluviales, efluentes líquidos, etc.) o en la magnitud y velocidad del flujo subterráneo circulante según los sectores de los mismos: las menores salinidades (del orden de 0,5 a 1 g/L) se encontraron siempre en sus zonas de recarga desde los acuíferos inferiores y en las de infiltración preferente de escorrentías superficiales que, esporádicamente, les alcanzan procedentes de la Sierra, cuyas **mezclas originan aguas con predominio de facies mixtas bicarbonatado – cloruradas a cloruradas cálcico-magnésico-sódicas**. Por otra parte, **las mayores concentraciones** (superiores a 2,5 g/L) se dan en compartimentos de escasa recarga, en áreas más alejadas de la Sierra a donde no llegan sus

escorrentías, y en zonas menos permeables (de circulación muy lenta o incluso nula) y localmente más influenciadas por el aerosol marino, las cuales **presentan facies clorurada sódica**.

En el Sector Noreste del Campo, la variabilidad de facies químicas del agua de bombeo es mayor en general. Los datos más antiguos de las características físico-químicas del agua bombeada (correspondientes a captaciones relativamente someras y aún sin caracterización de los acuíferos existentes ni referencias a las condiciones del muestreo acerca de los tiempos de reposo o de bombeo previos al mismo) **mostraron grandes variaciones de la calidad química de unos puntos a otros**, incluso en sondeos muy próximos entre sí, **lo que señalaba una diversidad imponderable**, que creaba incertidumbre sobre la utilidad potencial del agua disponible para abastecer a los nuevos regadíos.

Al estar la mayoría de las captaciones en las coberturas, dominaban los rangos mediocres de calidad en la mayor parte de las capas pertenecientes al plioceno – cuaternario y a los miocenos postvolcánicos, **incluso también en los tramos carbonatados triásicos del área de La Gangosa (contrariamente a lo que se observaba en otros carbonatos triásicos**, como los que empezaban a captarse **en Aguadulce y en el AIO**, donde se obtenían muy buenas calidades para la nueva demanda agrícola. Además, mientras en éstas se mantenían sus características hidroquímicas, pasada una década de explotación intensiva en las mismas, **en los bombeos de captaciones en carbonatos triásicos de La Gangosa se iban produciendo empeoramientos claros**, como en el caso de los sondeos 37VC, 40VC, 41VC, etc.

En todo el Campo, **las explotaciones llevadas a cabo de estos acuíferos empeoraron notablemente la calidad de su agua en extensos sectores de los mismos, que han hecho que sus aguas sean intolerables para uso directo de riego o abastecimiento urbano.** La importante **recarga por retornos** de los usos **en las capas libres de los acuíferos de cobertura ha venido produciendo contaminaciones en éstos, con concentraciones de nitratos superiores a 100 mg/L** cada vez más frecuentes (con valores superiores a 400 mg/L) localizados en pozos próximos a poblaciones. **La intercomunicación entre acuíferos que se produjeron entre acuíferos, vía sondeo, viene suponiendo también contaminaciones puntuales que tendrían que evitarse** (especialmente las que perforan tramos volcánicos o evaporíticos miocenos para captar los acuíferos inferiores).

Las inversiones de flujo subterráneo entre acuíferos relacionados, y entre ellos y el mar, han modificado también las transferencias de sólidos disueltos entre los mismos con respecto a las que existían en el régimen natural de funcionamiento. Y, como **las masas de agua de mejor calidad inicial**, han sido **las más sometidas a la presión del bombeo** y, por tanto, las que han experimentado **los mayores descensos piezométricos**, **recayó en ellas la recepción de flujos contaminados** (y/o también los de peor calidad natural) desde otras masas inaceptables para el uso **con carga hidráulica creciente** –con alguna excepción- **debidas al crecimiento de retornos del uso** y, eventualmente, a recuperaciones residuales que provocaron bombeos en etapas anteriores y que son casi inexistentes desde hace décadas, ya que nunca tuvieron las cotas posteriormente alcanzadas. Sobre **este problema viene llamando la atención por su necesidad de control**.

Como ejemplo de resultados de estos estudios están las **Figuras 3.6.14 a 3.6.17** del informe realizado por el IGME en 1995, para la C.H.Sur, (Ref. 150, incluido íntegramente en el **Anexo 1.5**) sobre la situación de los acuíferos del Campo de Dalías en relación con su declaración de sobreexploitación, así como en otros trabajos de las décadas de 1980 a 2000, referenciados en el **Anexo 1.4**.

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).

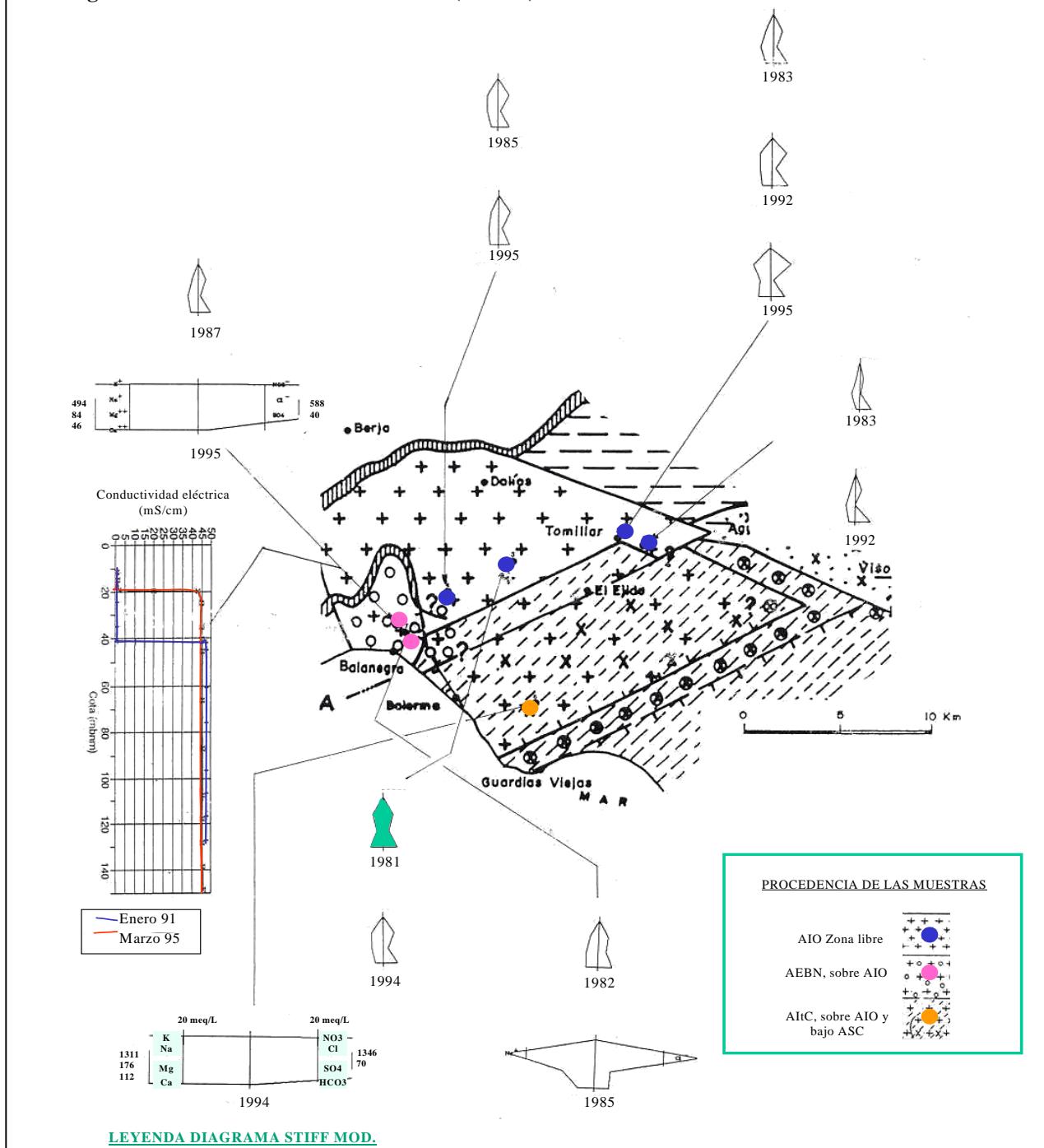


Figura 3.6.14 Evolución de la calidad química (diagramas de Stiff) de los acuíferos del sector occidental: AIO, AEBN y AItC en algunos puntos de la red disponible. Valores extremos del intervalo de observación del registro histórico, disponible entonces (hasta 1995), de mezclas de bombeo y de registros con sonda conductivímetro. Incluye leyenda de diagrama de Stiff modificado. De Ref. 150: ITGE (1995): Situación de los acuíferos del Campo de Dalías en relación con su declaración de sobreexplotación, Informe a la Confederación Hidrográfica del Sur.

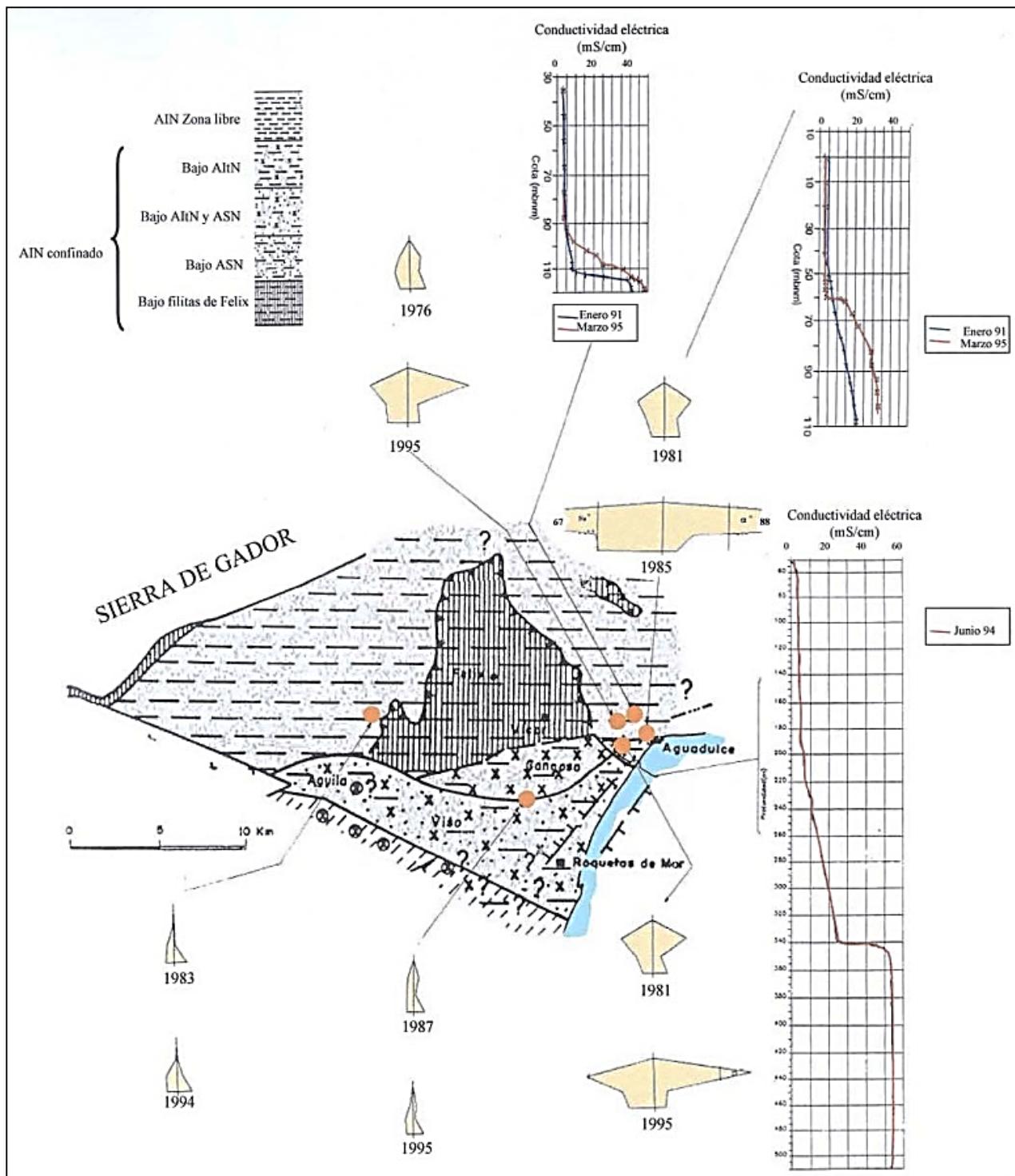


Figura 3.6.15: Evolución de la calidad química (diagramas de Stiff) del acuífero inferior AIN en algunos puntos de la red disponible. Valores extremos del intervalo de observación del registro histórico (hasta 1995), de mezclas de bombeo y de registros con sonda conductivímetro. Ver leyenda de Stiff en **Figura 3.6.14**. De Ref. 150: ITGE (1995): Situación de los acuíferos del Campo de Dalías en relación con su declaración de sobreexplotación, Informe a la Confederación Hidrográfica del Sur.

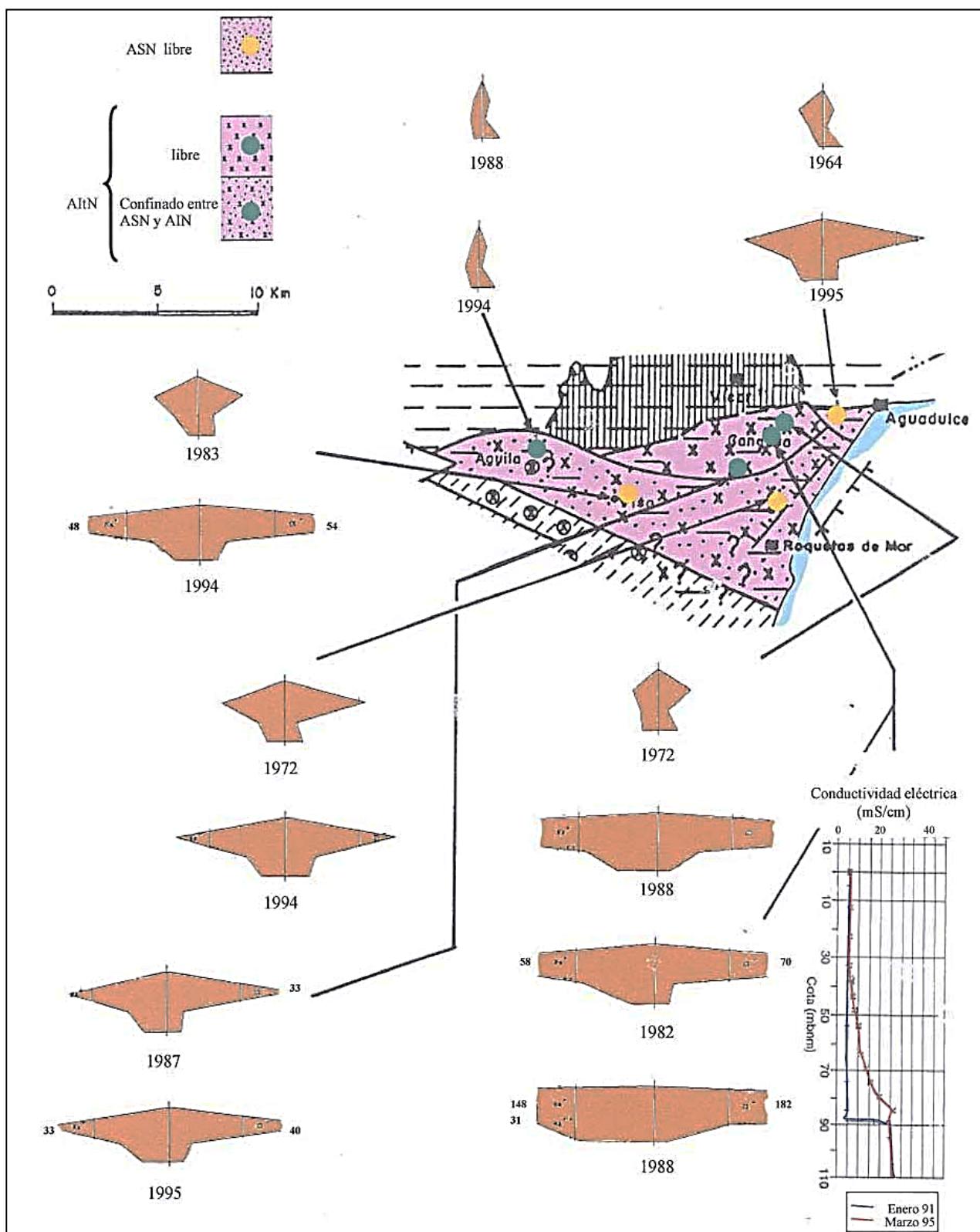


Figura 3.6.16: Evolución de la calidad química (diagramas de Stiff) en algunos puntos de la red disponible de los acuíferos de cobertura del sector noreste (AIQN y ASN). Valores extremos del intervalo de observación del registro histórico entonces (hasta 1995), de mezclas de bombeo y de registros con sonda conductivímetro. Ver leyenda de Stiff en [Figura 3.6.14](#). De Ref. 150: ITGE (1995): Situación de los acuíferos del Campo de Dalías en relación con su declaración de sobreexplotación, Informe a la Confederación Hidrográfica del Sur.

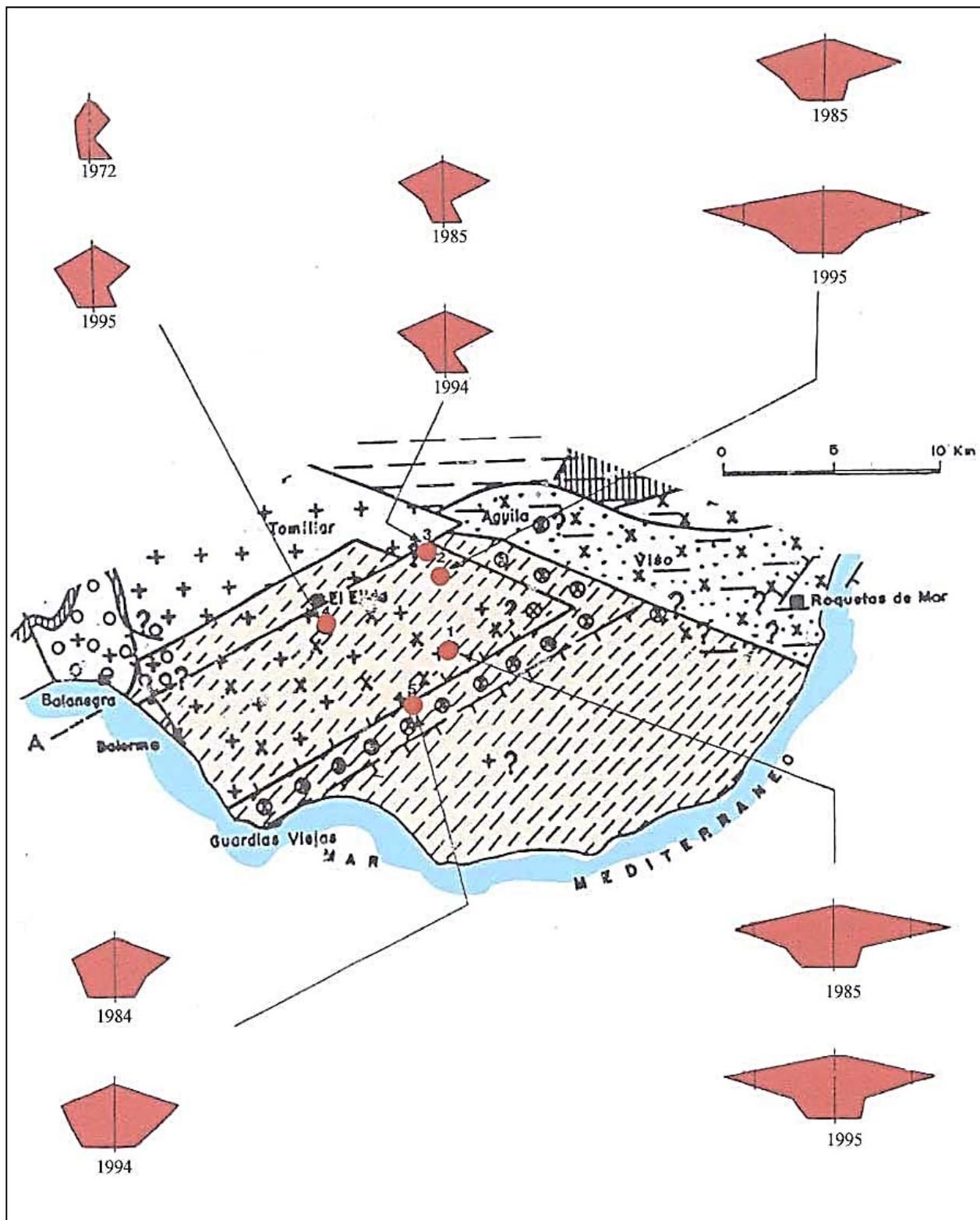


Figura 3.6.17: Ejemplos de datos hidroquímicos de mezclas de bombeo del ASC. Valores extremos del intervalo de observación del registro histórico (hasta 1995). Ver leyenda de Stiff en [Figura 3.6.14](#). De Ref. 150: ITGE (1995): Situación de los acuíferos del Campo de Dalías en relación con su declaración de sobreexplotación, Informe a la Confederación Hidrográfica del Sur.

En la **Figura 3.6.14** se muestran, para la fecha de observación (1995) los problemas detectados en las características hidroquímicas de los acuíferos de la zona occidental: la evolución de la salinidad por la entrada de agua de mar al AEBN en Balanegra (reflejada en los datos de registros sucesivos y muestreos en profundidad, puntos en rosa en la figura).

La intercomunicación vía sondeo del AItC (conteniendo salmueras) con el acuífero profundo AIO (punto naranja en la figura), mientras que, para la fecha señalada, no se observó un incremento apreciable en las muestras de bombeo de los puntos disponibles del AIO (puntos en azul en la figura) salvo, quizás, un ligero incremento en la salinidad junto al borde de descarga del ASC.

En cuanto al AIN, en la **Figura 3.6.15** se advierte el incremento de salinidad en profundidad en su área costera, reflejados también en las muestras disponibles de mezclas de bombeo, por la evolución de la entrada de agua de mar, lo que no se detectó en las áreas interiores. Algunos ejemplos del empeoramiento de la calidad en el agua de las coberturas de este sector noreste se muestran en la **Figura 3.6.16**, tanto en el acuífero superior como en el intermedio, se apreciaron aumentos en la composición química derivados de la mezcla con agua de mar (como causa principal) a excepción de sus zonas de borde con el AIN del área de El Águila, donde no llegó a observarse ninguna modificación.

En el caso del ASC, la **Figura 3.6.17** muestra algunos ejemplos de datos hidroquímicos recogidos hasta 1995, de mezclas de bombeo en captaciones muestreadas. Como más adelante se comenta, la representatividad de los puntos de observación ha venido resultando muy poco satisfactoria, por la conjunción de varias causas (inherentes al propio acuífero, de las mezclas de aguas infiltradas de distintas procedencias, las diferentes profundidades de las captaciones, las diversas condiciones de muestreo, etc.), siendo una de ellas la carencia de sondeos específicos adecuados para la observación de estas características.

Aparte del esfuerzo especial realizado para profundizar en aspectos concretos del seguimiento de la evolución de la calidad química del agua en este Estudio –como ha ocurrido con el correspondiente a la intrusión de agua de mar que provocó dicha inversión de transferencia de flujos entre acuíferos y el mar- **no se avanzó mucho más en** cuanto al conocimiento general de **dicha evolución de características físico-químicas generales** en todo el ámbito de los distintos acuíferos, debido, como se ha señalado anteriormente, a diversos problemas que lo complican: **en gran parte de las coberturas es baja la representatividad de los datos**, que con frecuencia están muy afectados por diferentes mezclas en los sondeos muestreados (dependientes de las variaciones de la geometría, de la penetración de los distintos puntos de muestreo, del tiempo de bombeo previo al muestreo de éstos o de su entorno de influencia, de la cantidad y variedad de los retornos del uso, etc.) y **por la inexistencia o lo inadecuado de los puntos de captación de datos en amplios sectores de estos acuíferos**. 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**.

No obstante, el principal y más apremiante de estos procesos de contaminación viene siendo, sin duda, **la intrusión marina**, por inversión de los flujos naturales de descarga al mar (directa o indirectamente) en algunos sectores de acuíferos costeros, estando algunos de ellos ya muy afectados desde hace décadas por las mezclas con agua marina, habiendo alcanzado concentraciones muy elevadas de sales.

3.7- SEGUIMIENTO ESPECIAL DE LA INTRUSIÓN MARINA

Como se ha destacado en párrafos anteriores, **el proceso más limitante para la sostenibilidad del uso de estos acuíferos del Campo fue**, desde el principio, **el de la intrusión marina**, cuya investigación, por sus requerimientos de medios económicos y dificultades técnicas, representó para el IGME la mayor dedicación de esfuerzos, **al considerarlo**, sin duda, **el factor de incertidumbre con mayor peso para la continuidad de la trasformación en regadío de la zona, acometida a expensas de los mismos**. En el **Anexo 1.5** se presentan documentos del IGME de especial relevancia sobre este importante problema, así como referencias a varios de los trabajos difundidos a lo largo de esta investigación.

Las circunstancias de partida en esta investigación (un bajo conocimiento de la geometría y funcionamiento de este sistema de acuíferos costeros; la aridez del sureste peninsular y la intensa explotación que se había emprendido en ellos con un bombeo creciente de los mismos) hacían previsible la ocurrencia de intrusiones de agua de mar en éstos. **Esto generaba una razonable inquietud al considerar, además, la inexistencia en la zona de otros recursos de sustitución, a corto plazo, para suplir parte del bombeo que abastecía a tan sensibles demandas**. (Los más cercanos se situaban en la Cuenca del Adra –que tal vez, se pensaba, podrían incrementarse mediante un trasvase a su cabecera desde la subcuenca más oriental del Guadalete-).

En cuanto a los primeros avances en la investigación general de la intrusión marina, con las mejoras del conocimiento que se fueron alcanzando (para establecer la geometría y la evolución del funcionamiento de los distintos acuíferos del Campo, como elementos de conocimiento determinantes de la relación entre éstos, y entre ellos y el mar), con la ejecución por el IGME de una decena de sondeos mecánicos en la costa, **a finales de la década de 1970 y principios de la de 1980 ya quedó descartada la posibilidad de intrusión marina por la franja litoral meridional –hasta el entorno de Roquetas de Mar- y por la occidental –hasta la Rambla de Balanegra-** dada la relación del agua marina con la disposición espacial de los acuíferos implicados entre estos límites (ASC y AIO) y las tendencias piezométricas observadas en éstos con el bombeo practicado en los mismos. Pero **también se dedujo lo contrario**, sin posibilidad de error: **la relación directa / indirecta con el mar en los sectores costeros noroccidental y noreste de la llanura**.

Tanto en el frente oriental de penetración de flujos de agua de mar desde Roquetas - Aguadulce, como en el occidental al AIO, no se dispuso de puntos de observación adecuados para seguir el avance de la intrusión marina hacia las zonas de extracción de los acuíferos inferiores, situadas más en el interior, más allá de las áreas costeras de Aguadulce-Roquetas y AEBN.

3.7.1- Investigación, con los medios disponibles, del proceso de intrusión por Balanegra

Por la franja costera de Balanegra, en los años finales de la década de 1970 **se suponía**, como hipótesis más probable -en IGME- IRYDA (González, A.), 1979: Campo de Dalías, recopilación de datos de sondeos del IRYDA. Esquema de dispositivo hidrogeológico del Campo- **que la descarga del AIO al mar se producía sólo a través de un medio poroso interpuesto**, dado el brusco cambio de gradiente hidráulico existente entre las captaciones de la orla costera (en materiales neógenos y cuaternarios, dominantemente porosos) y los sondeos que alcanzaban el techo de los carbonatos triásicos, muy fisurados, situados más al interior.

Al principio de la década siguiente se detectó la inversión del flujo subterráneo entre el AIO y el mar, provocada por el descenso, con cotas negativas, del nivel en el acuífero (ver Fig. 3.6.6, piezómetro 10). Los datos conocidos indicaban que tal inversión del flujo de descarga imponía la entrada de agua de mar tierra adentro, cuyo proceso sólo pudo observarse en las captaciones costeras, a través de los materiales de cobertura, ya que no existían sondeos suficientemente profundos en los que, tanto en la orla litoral como en las áreas interiores, pudiera observarse su influencia en los carbonatos triásicos.

Se trataba de un problema importante al que, por falta de medios para determinar todos los mecanismos por los cuales podía estar penetrando el agua salada al AIO, no era posible dar un diagnóstico con garantía. Aunque todo parecía indicar, como se ha dicho, una relación únicamente indirecta con el mar (a través de los materiales porosos miocenos y plioceno/ cuaternarios), aún no se conocía, con la certeza requerida, la naturaleza y la geometría del medio físico relacionado con estos procesos ni, por tanto, los rangos posibles de permeabilidades de este sector de transferencia de flujos (en el que se acababa de observar el cambio de sentido de circulación: antes de descarga de agua dulce desde el AIO al mar, y después de recarga de agua salada desde éste a los materiales porosos de la cobertura neógena, y de éstos al acuífero inferior. En éste, el nivel piezométrico descendía progresivamente, con cotas negativas similares en toda su extensión, reflejo de su elevada conductividad hidráulica.

El conocimiento geométrico de esta franja costera, mejorado en 1981-83 por el Estudio mediante una batería de sondeos mecánicos de investigación (sondeos B1 a B8) con profundidades limitadas, y el seguimiento de datos piezométricos y de calidad (en éstos y en los pozos privados asequibles), aseguraban el inicio del proceso de salinización -que poco después dio lugar al abandono de captaciones utilizadas en este sector de la franja costera- aunque sólo a través de los materiales de la cobertura neógena. No podía descartarse la ocurrencia del proceso por vía directa: mar - AIO.

Para determinar con garantía el conocimiento de los posibles mecanismos de entrada de agua de mar por esta zona, en los años 1985-1986 el IGME realizó dos sondeos profundos de investigación (B9 y B10, ver Fig. 3.7.1) que resolvieron las dudas sobre la geometría y el funcionamiento de este segmento de la franja costera noroeste. Esta actuación permitió definir el pequeño acuífero de la llamada “Escama de Balsa Nueva” (AEBN) -ya muy intruido de agua de mar- constituido por los referidos materiales de cobertura, esencialmente porosos (miocenos, pliocenos y cuaternarios) y sustentado en una base de varios centenares de metros de metapelitas permotriásicas, impermeables en su conjunto, que dejan aislados hidráulicamente en la vertical el techo carbonatado del acuífero AIO, tanto del pequeño acuífero AEBN como del propio fondo marino (Figuras 3.7.2 y 3.7.3), hallazgo que supuso el conocimiento de una acotación del proceso de intrusión del agua de mar a este acuífero inferior, limitada a una relación indirecta únicamente, mediante la cual se viene transfiriendo el agua salada lateralmente al AIO, en sentido Oeste - Este, pero sólo como parecía más probable: a través de los materiales porosos del AEBN. Dadas las características hidrodinámicas de los carbonatos triásicos en este sector, si éstos hubieran tenido una relación directa con el mar, la salinización total del AIO habría sido una realidad, por su gran permeabilidad hidráulica y los niveles piezométricos que se fueron alcanzando que, en 2005/06, se acercaban a -40 msnm (Fig. 3.6.7).

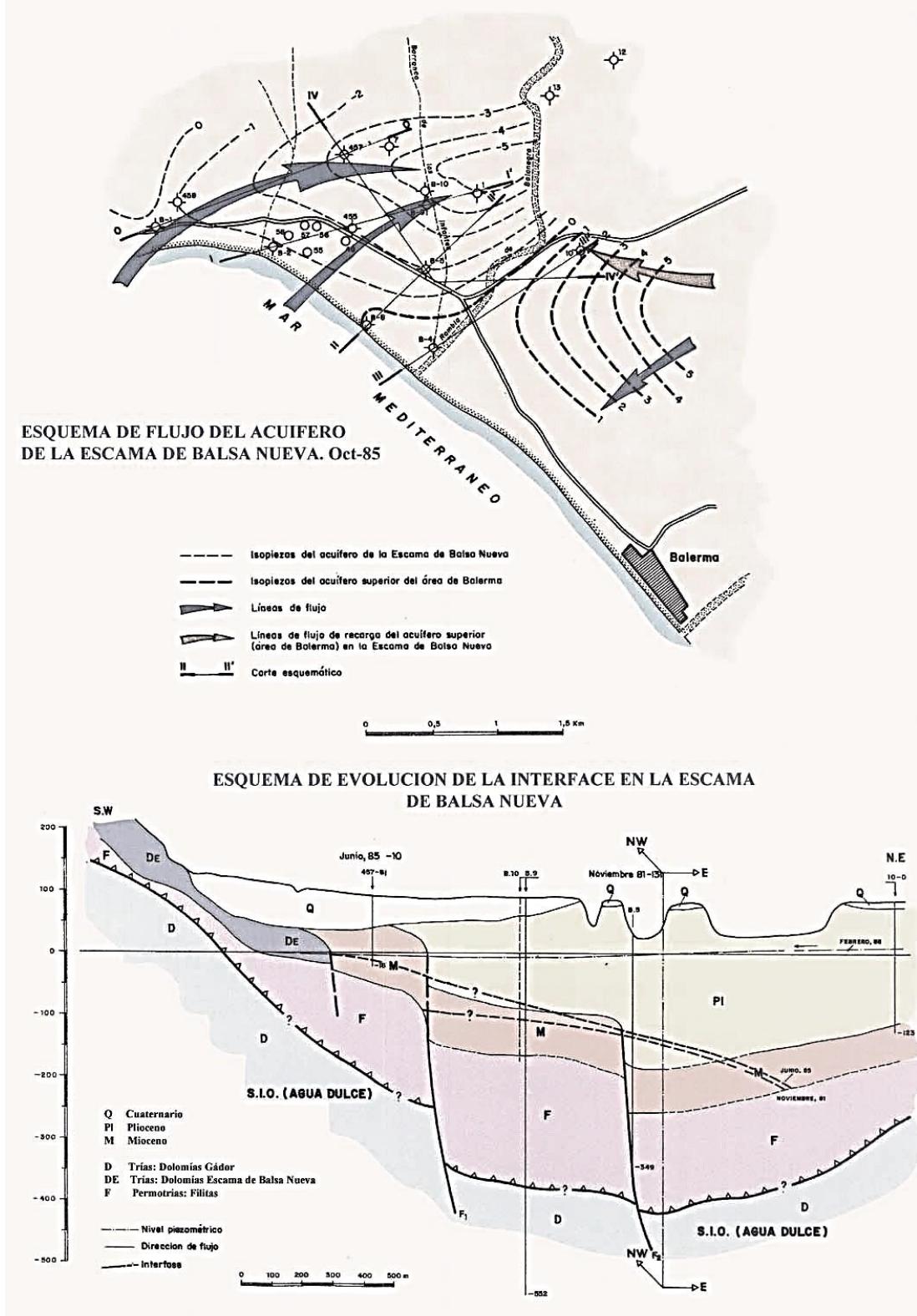


Figura 3.7.1: Esquemas de flujo del Acuífero AEBN (a octubre de 1985) y de la evolución de la interface en el mismo (entre noviembre de 1981 y junio de 1985). Se observan las litologías penetradas por los sondeos de investigación B-9 y B-10 realizados por el IGME a mediados de la década de 1980. De Ref. 86 IGME (1986). Intrusión marina en el Campo de Dalías. Seminario Interfase agua dulce – salada. Servicio de Estudios del IARA, Granada.

Este hallazgo en 1985 no cabía interpretarlo como la desaparición del problema, pero sí como el conocimiento de una menor velocidad de propagación del proceso de salinización, así como una posible ventaja para afrontar la corrección o reducción de sus efectos: además de evitar en lo posible el descenso del nivel piezométrico en el AIO (origen del proceso de contaminación) cabía analizar la posibilidad de combatirlo directamente en el propio acuífero AEBN con las técnicas utilizadas en acuíferos costeros de carácter poroso.

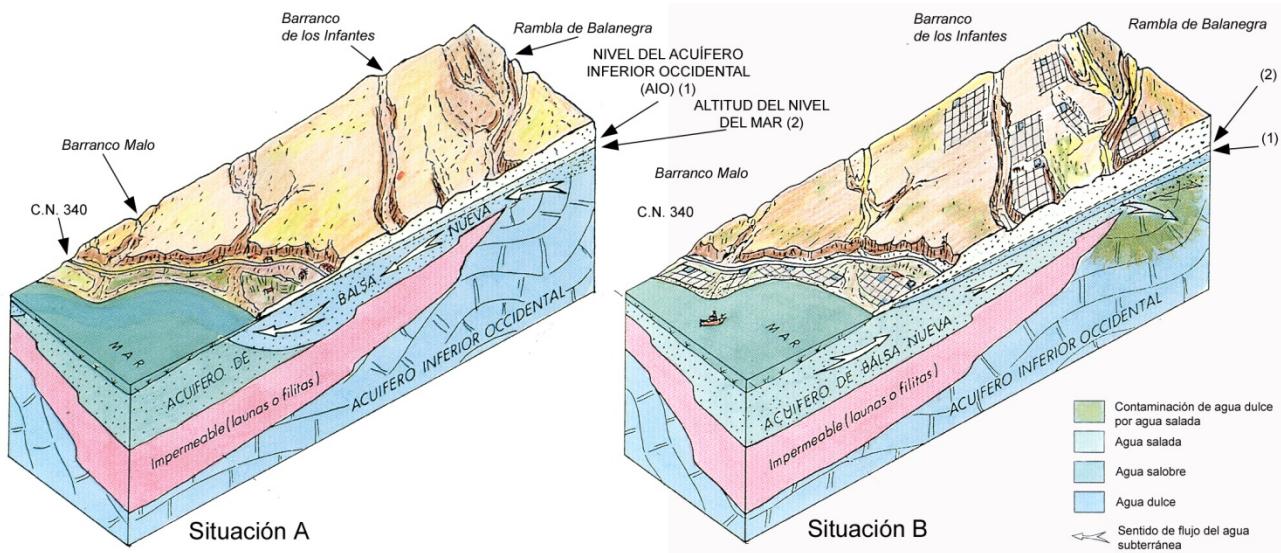


Figura 3.7.2: Esquema de la relación agua dulce - agua salada en los acuíferos del área de Balanegra, antigua zona de descarga a través del AEBN, del AIO al mar (situación A, régimen natural) y actual zona de entrada de flujos salados, por mezcla con agua de mar, a dicho acuífero (situación B: régimen de bombeo) desde principios de los años 80, trasmisitidos al AEBN y, de éste, al acuífero carbonatado (AIO). Modificada de Ref. 355 IGME (1988): Las aguas subterráneas y los acuíferos del Campo de Dalías, IGME, 35pp.

Para ello, se precisaba de acuerdos entre administraciones que, en 1988, se pusieron en marcha con la colaboración de técnicos de este Instituto y del entonces SGOP, con el propósito común de progresar en la investigación y seguimiento del grave proceso de intrusión en este importante acuífero del Campo, enfocado a facilitar el análisis de viabilidad técnico-económica de alternativas de su corrección en el AEBN del entorno de Balanegra. El motivo de colaboración entre estos técnicos de ambas instituciones tenía potencialmente la virtud de reunir la experiencia científico - técnica del IGME sobre estos acuíferos y el conocimiento y participación experta del SGOP en el proyecto de regulación de las aportaciones del Río Adra (mediante el dispositivo integrado por: el Embalse de Benízar, Fuente Marbella y el Canal de Benízar al Campo de Dalías) llevado a cabo por el Ministerio de Obras Públicas, que precisamente en el año hidrológico 1987/88 suministró la primera dotación (de 5 hm³) a la zona, y que potencialmente podría ser utilizado para trasvasar excedentes no regulables por el embalse (ni utilizables aguas abajo del mismo) para ser usados en esta llanura, incluyendo la recarga al AEBN y, en todo lo posible al AIO, para favorecer las posibilidades de corrección del proceso de intrusión, ya que, en este acuífero inferior, se trataba de un embalse subterráneo en el que no existía ningún riesgo de pérdida de los volúmenes recargados.

En tal acuerdo, adoptado en un clima de aportación de informaciones y discusión de propuestas muy en sintonía con la moderna concepción de integración del recurso agua en la nueva Ley, el SGOP podría asumir la ejecución de perforaciones de distinto diámetro –según los objetivos particulares de las mismas- y el IGME las campañas de geofísica, ensayos de bombeo, seguimiento

de redes y de obras, etc. De estas últimas, **este Servicio asesor del MOPU llegó a ejecutar** (antes de interrumpirse la actuación conjunta en marcha) **tres sondeos de gran diámetro** (puntos 485BJ, 486BJ y 506BJ) entre 1988 y 1991, los cuales mejoraron el detalle de la geometría del límite AEBN – AIO, y podrían utilizarse en el futuro para realizar ensayos de bombeo en el estudio hidrodinámico previo a la modelación de flujos de este entorno, **para investigar la viabilidad de establecer una barrera o umbral que redujera la transferencia de agua salada al AIO y, en su caso, como infraestructura de recarga**.

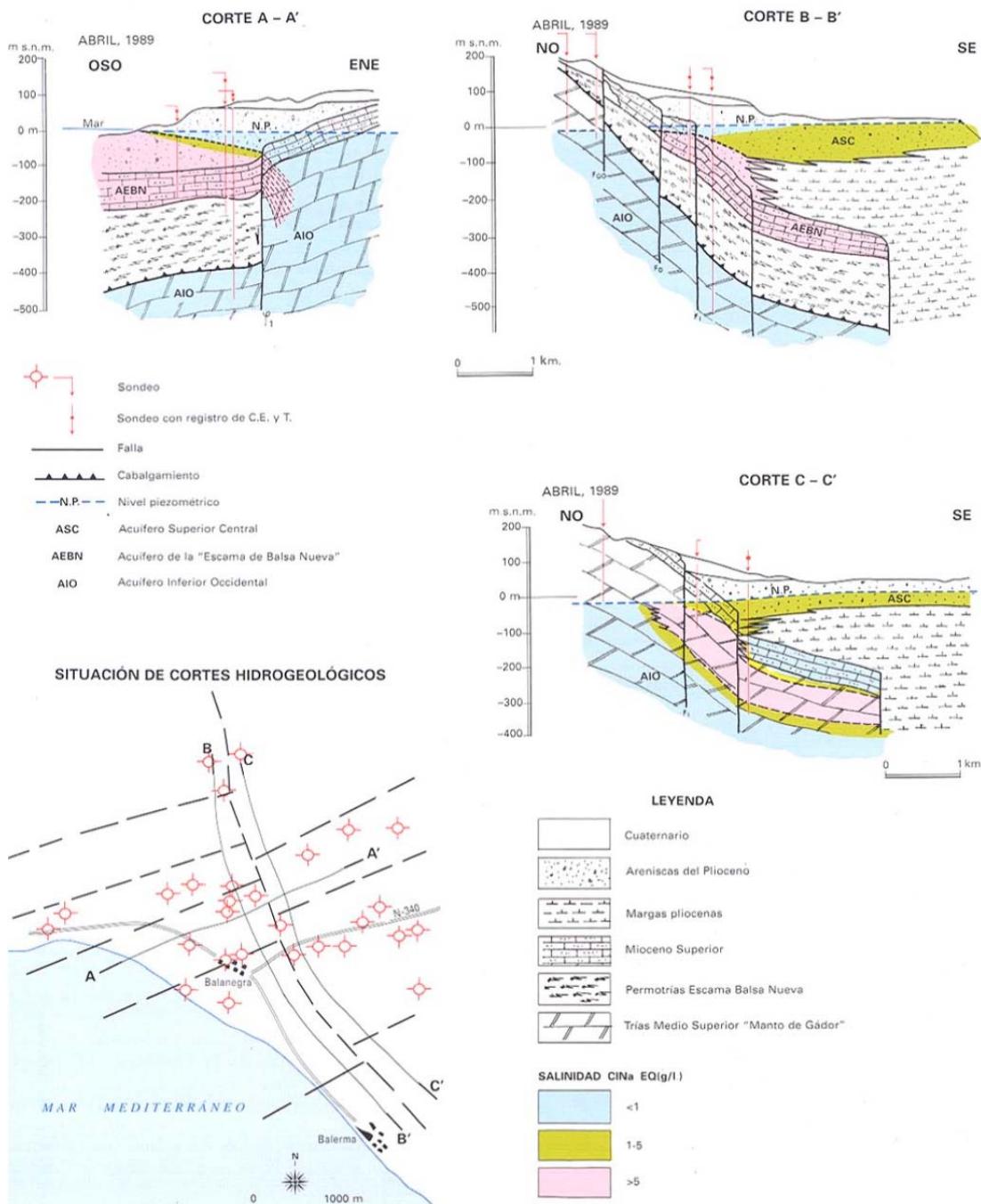


Figura 3.7.3: Esquema de funcionamiento de la intrusión marina en el entorno de Balanegra, según observaciones de la salinidad en profundidad obtenidas en 1989. De ITGE (1997): Hojas Auxiliares. Hoja Hidrogeológica de Roquetas de Mar (1058). E: 1:50.000. IGME, Madrid.

El seguimiento del proceso de salinización del AIO en los años posteriores a esta interrumpida colaboración, hasta la formulación del Programa de sostenibilidad en 2006, se encontró, como se ha dicho, con una dificultad insalvable para llevarlo a cabo directamente, por faltar puntos adecuados donde tomar los datos necesarios: sondeos mecánicos específicos con suficiente profundidad, en los que pudiera observarse la progresión tierra adentro y su ascenso hacia el fondo de las captaciones de explotación, como único medio racional para prevenir con tiempo la ocurrencia del proceso salinizador, antes de que alcanzase las citadas captaciones, relativamente someras por sus importantes rendimientos, con reducidas penetraciones en la zona saturada del acuífero inferior.

Se sabía que el espesor medio del AIO alcanza muchos centenares de metros en las zonas centrales del macizo carbonatado de la Sierra, pero podía ocurrir que, por razones tectónicas, al tratarse de una zona del borde suroeste del mismo, este espesor fuera muy inferior, lo que implicaba (ante la ausencia de datos) que nada se pudiera asegurar a priori sobre la transmisión de mezclas con agua de mar a la parte alta explotada de este acuífero, pues faltaba información científico-técnica para resolver esta incertidumbre, tanto en el seno de esta investigación como fuera de la misma. También podían suceder trasferencias más rápidas en la horizontal de lo que en realidad se supo posteriormente (como uno de los regalos imponderables de la Naturaleza, además del que ya venía proporcionando con la llamada “Escama de Balsa Nueva”).

Es decir, hasta el final de este período anterior al Programa, el proceso de salinización del AIO, que era incuestionable, quedó oculto a la observación por el Estudio y le incapacitó para informar sobre su estado de avance y características de su progresión (Fig. 3.7.4).

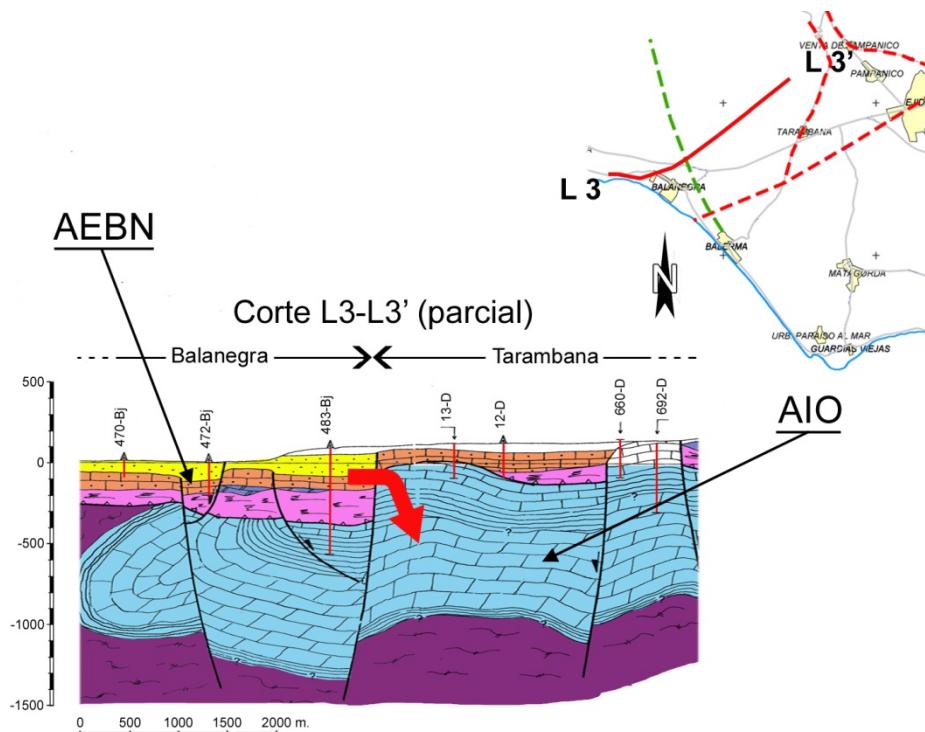


Figura 3.7.4: Esquema de inicio de la transferencia de agua salada al AIO (área de Tarambana) desde el AEBN (área de Balanegra). La flecha roja indica la zona y sentido de transferencia. En plano de situación: línea roja continua= traza del corte; líneas discontinuas rojas= límites de áreas de explotación del AIO (Tarambana, Pampánico y Profunda); línea discontinua verde= límite entre el área de Balanegra, donde aflora el AEBN, y las de Tarambana y profunda. De IGME (2001-2006): Resultados del proyecto: “Síntesis Hidrogeológica del Campo de Dalías”. Ver leyenda de materiales del corte en Figura 3.7.5.

LITOLOGIA		EDAD	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
	Aluvial, depositos de piedemonte, conos de deyección, terrazas marinas.	CUATERNARIO	ALTA-MEDIA PERMEABILIDAD
	Calcareitas conglomeráticas, arenas y conglomerados.	PLIOCENO	ALTA-MEDIA PERMEABILIDAD
	Margas y margas arenosas (Margas con "Lepra").	PLIOCENO	BAJA-MUY BAJA PERMEABILIDAD
	Calcareitas calcirruditas y areniscas calcáreas bioclásticas, arenas, conglomerados calcáreos con cantos volcánicos y localmente andesitas y aglomerados volcánicos	MIOCENO	ALTA-MEDIA PERMEABILIDAD (excepto volcánico)
	Margas, limos, conglomerados y areniscas, localmente margas yesíferas, yesos.	MIOCENO	MUY BAJA PERMEABILIDAD (excepto localmente)
	Dolomías, calizas y calcoesquistos. Unidad Superior	TRÍAS	ALTA PERMEABILIDAD
	Filitas, micaesquistos y cuarcitas. Unidad Superior	PERMOTRÍAS Y MAS ANTIGUO	MUY BAJA PERMEABILIDAD-IMPERMEABLE
	Calizas y dolomías muy fracturadas	TRÍAS	ALTA PERMEABILIDAD
	Calcoesquistos y margas, muy tectonizadas	TRÍAS	MEDIA-BAJA PERMEABILIDAD
	Dolomías, muy fracturadas y brechificadas, y en la base calcoesquistos inferiores	TRÍAS	MUY ALTA PERMEABILIDAD. EN LOS ESQUISTOS BAJA (a localmente ALTA)
	Filitas y cuarcitas. Unidad Inferior	PERMOTRÍAS	MUY BAJA PERMEABILIDAD-IMPERMEABLE

Figura 3.7.5: Leyenda de los perfiles hidrogeológicos representados en las distintas figuras del texto de esta memoria. De IGME (2001-2006): Resultados del proyecto: "Síntesis Hidrogeológica del Campo de Dalías"

3.7.2- Investigación del proceso de intrusión marina por la franja costera de Roquetas - Aguadulce

Por la franja litoral noreste del Campo, entre Roquetas y Aguadulce, se conocía desde siempre la relación directa de los materiales carbonatados triásicos del AIN con el mar: el acantilado, en carbonatos triásicos, y el manantial de esta última localidad –incluso las surgencias de agua dulce en el fondo marino próximo a su costa- constataban esta evidente relación. **También desde los últimos años de la década de 1960** se conocía por el Estudio la relación hidráulica entre dichos carbonatos del borde meridional de la Sierra y los materiales de cobertura de la llanura del Campo adosados a los mismos (miocenos, pliocenos y cuaternarios), y entre éstos y el mar, es decir, **se conocía también la relación indirecta del AIN por el área de Aguadulce con el mar.**

En el borde sur del área de Aguadulce (al Sur de carretera nacional C.N.340) hay que señalar la existencia de un sector del acuífero plioceno (ASN, ver [Fig. 3.3.2](#)), de materiales de origen

marino integrados por las barras de gravas y arenas litorales de notable permeabilidad – por su escasa matriz- en las que el INC ejecutó, en las décadas de 1950 y 1960, una serie de pozos y pozos-sondeo para abastecer los riegos de su Sector I (Fig. 3.5.1). Se limitaron las penetraciones de estos puntos en atención al riesgo de intrusión marina desde su cercana costa, y se explotaron con caudales de 20-60 L/s, controlando las calidades del agua y, al parecer, los tiempos de funcionamiento y reposo.

Estos tramos permeables pliocenos se apoyan en un predominio de limos margosos poco permeables, también pliocenos, que representan aquí la cobertura marina postvolcánica adosada al margen sureste del llamado “Horst de Guardias Viejas”, un relieve positivo de carácter tectónico que cruza la llanura diagonalmente, desde la localidad que le da nombre hasta la de Aguadulce; en ésta los carbonatos del AIN llegan a aflorar, mostrando unos tramos muy permeables y otros esquistoso-margosos muy tectonizados, de escasa permeabilidad, sobre los que, precisamente, se apoya gran parte del tramo litoral del plioceno explotado por las referidas captaciones cercanas a la costa, de manera que la relación hidráulica con los tramos muy permeables de los carbonatos triásicos puede estar limitada. En cualquier caso, las diferencias de características hidráulicas entre este acuífero de cobertura (ASN) y el AIN han originado la independencia entre ambos.

En este entorno de Aguadulce del ASN, salvo localmente en depresiones de bombeo temporales o estiajes severos –en los que pudieron producirse penetraciones de mezclas saladas en éste- no se generó una intrusión de importancia, según puede deducirse por las situaciones piezométricas conocidas del mismo.

Con la batería de sondeos de investigación y seguimiento de la franja costera de Aguadulce – Roquetas (sondeos A1 a A7 realizados, con limitaciones en su profundidad, por el IGME en 1981-82) quedaron confirmadas ambas formas de relación, por determinadas zonas, de dichos intercambios de flujos entre el AIN y el mar. El primero de estos sondeos (A1) registraba entonces el sentido del flujo directo de los carbonatos del AIN hacia el mar. En los restantes puntos no se pudo alcanzar el sustrato triásico; el A3 (259RM) captó el mioceno calcarenítico prevolcánico (bajo un paquete impermeable de materiales volcánicos) relacionado con el acuífero triásico, que conecta directamente –o a través de los materiales pliocenos- los flujos subterráneos entre el AIN y el mar, los cuales, inicialmente eran también de descarga del agua dulce al agua salada. Los restantes puntos no pasaron de los materiales pliocenos que, con su cobertura de cuaternario, están en conexión hidráulica con el AIN (por los bordes meridionales de la Sierra correspondientes a las áreas de El Águila y de Aguadulce) y con el mar por toda la franja costera entre Roquetas y Aguadulce.

La Figura 3.7.6, realizada por el IGME en 1988, representa un esquema de la distribución espacial de la interface en una sección vertical ideal del acuífero (entre el mar y la Rambla de Las Hortichuelas, coincidente con el antiguo sector II del IRYDA) en 1972 y 1988, con el avance tierra adentro del agua marina en este último año, que afectó ya al campo de bombeo y fue provocando el abandono de los sondeos más profundos y costeros por salinización.

Para poder mejorar la observación de este proceso de intrusión marina, **con el apoyo de la Junta de Andalucía** – a través de su Dirección General de Minas, preocupada por las consecuencias de la salinización de estos acuíferos- **entre 1987 y 1988 se hicieron cuatro sondeos profundos** (puntos 263RM, 264RM, 265RM y 266RM). Su ejecución y **seguimiento** permitieron **una mejor comprensión de la complejidad del funcionamiento del AIN, dada su estructuración**, por fallas, **en bloques y su constitución en capas** dentro de los mismos (con tramos de muy diferente permeabilidad que podían incluso independizar capas dentro de los

bloques, Figura 3.7.7) generando flujos verticales entre ellas, de forma natural cuando se comunicaban por fallas, o artificialmente en comunicación mediante sondeos que atravesaban el material aislante, como se observó que ocurría en el sondeo 265RM.

Esta disposición del AIN en bloques empeoraba el problema que suponía la trasmisión, tierra adentro, de la salinización, en el ámbito de este complejo sistema acuífero, y dificultaba su seguimiento, ya que la propagación del agua salada de un determinado tramo litológico, en un bloque afectado, podía trasmitirse lateralmente a un tramo estratigráficamente más alto o más bajo de un bloque estructuralmente contiguo, lo que no garantizaba una trasmisión exclusiva a través de capas estratigráficas equivalentes.

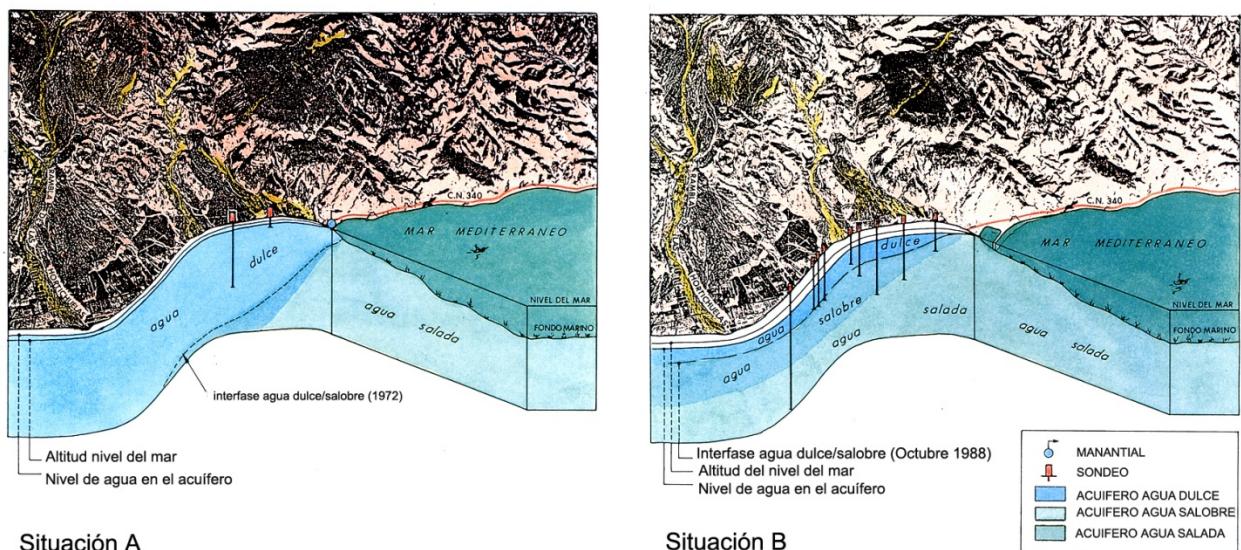


Figura 3.7.6. Relación entre el agua dulce del AIN y el agua marina, en el área de Aguadulce, en una sección vertical ideal del acuífero entre el mar y la Rambla de Las Hortichuelas, coincidente con la alineación de sondeos del antiguo sector II del IRYDA. Las situaciones A y B: corresponden a 1972 y 1988, respectivamente. En la primera se aprecia aún la existencia de un importante flujo de agua dulce al mar, manifestado en el manantial de Aguadulce y en las surgencias submarinas del entorno. En la situación B, de octubre de 1988, ya habían desaparecido el manantial y gran parte de las surgencias submarinas de agua dulce: el agua de mar había penetrado tierra adentro, y había provocado el abandono de los sondeos más penetrantes y cercanos a la costa por salinización, desde inicio de la década de 1980. De Ref. 355 IGME (1988): Las aguas subterráneas y los acuíferos del Campo de Dalías, IGME, 35pp.

Durante los años siguientes, el seguimiento del avance hacia el Oeste del proceso de salinización del AIN, iniciado en Aguadulce, se encontró con una dificultad similar a la referida en el caso del AIO, que impedía la necesaria captación de datos para su estudio por no existir puntos fiables de observación que confirmaran la interpretación del funcionamiento hidrogeológico y que penetraran suficientemente por debajo del fondo de las captaciones de explotación existentes, con los que pudiera controlarse el avance del proceso de contaminación y permitieran prevenir, con la antelación suficiente, la inevitable afectación de éstas si no se tomaban medidas para evitar o detener su ocurrencia.

No se contó con la financiación adecuada para ejecutar algunos sondeos específicos que favorecieran este seguimiento. Con los medios disponibles para esta investigación, fue únicamente posible recoger informaciones en captaciones de los usuarios acerca del problema y observar la aparición, ya en las mismas, de mezclas de agua salada, lo que pronto empezó a ocurrir en

algunos sondeos de explotación (en su mayoría facilitados por la CR Sol y Arena –heredera de la infraestructura que creó el INC / IRYDA en la zona- que venía acusando el avance de este proceso).

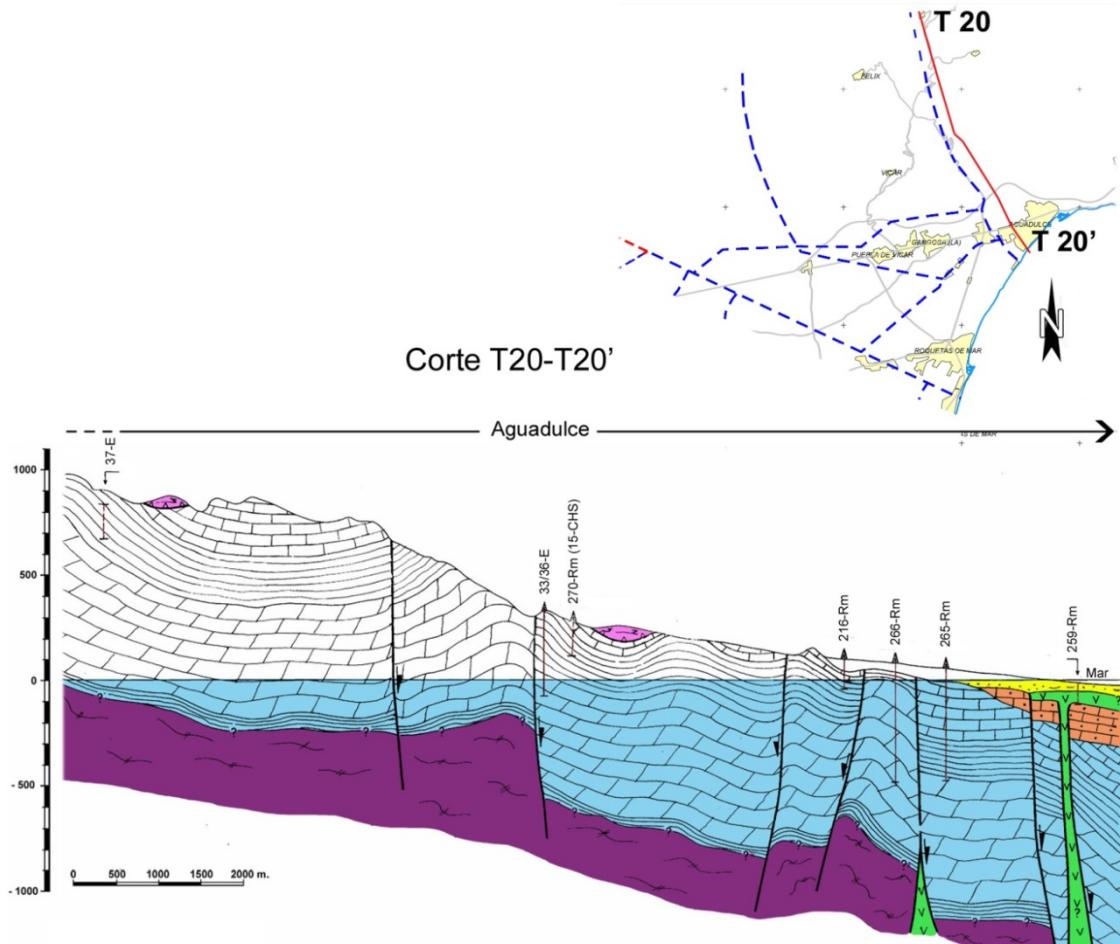


Figura 3.7.7. Detalle de la geometría del área de Aguadulce. En plano de situación: línea roja continua= traza del corte; líneas discontinuas azules: límites de las áreas de explotación de Aguadulce, La Gangosa, Vícar, El Águila, El Viso y Roquetas. De IGME (2001-2006): Perfil T 20, versión 2004. Resultados del proyecto: “Síntesis Hidrogeológica del Campo de Dalías”. Ver leyenda de materiales del corte en [Figura 3.7.4](#).

También existió una especial dificultad de carácter natural (añadida a la precariedad de medios) relativa a la **gran heterogeneidad estructural del Sector Noreste** del Campo, que complicó más la **investigación de la propagación del proceso de salinización en este ámbito**. Así, fue conveniente llevarla a cabo, mediante la observación posible, individualizándola en las **distintas áreas definidas en este sector (Fig. 3.7.8)** para facilitar el análisis de sus posibles vías de penetración del agua de mar.

El conocimiento ya alcanzado a principios de la década de 1980 sobre la geometría ([Fig. 3.7.9](#)) y el funcionamiento general de este conjunto de acuíferos, aconsejó subdividir en áreas su territorio, en función de: sus características estructurales y litoestratigráficas; su grado de explotación mediante captaciones por pozos y sondeos (reflejo de las características hidrodinámicas e hidroquímicas de los acuíferos perforados); las relaciones conocidas entre la explotación – como principal causa del cambio de su funcionamiento natural observado en las mismas; y los efectos que venían acusando en su piezometría y en las características físico-químicas del agua de sus acuíferos. **Se mejoró, en lo posible**, con los nuevos datos, **el conjunto de todos estos aspectos**, y se abordó el análisis de la

información asequible que pudiera reflejar indicios sobre el avance del proceso de salinización.

Además de la citada **área de Aguadulce**, las otras áreas establecidas (ver **Figuras 3.7.7 y 3.7.8**) por el Estudio fueron:

- el **área de Vícar** (en la falda de la Sierra en torno a este pueblo) caracterizada por su recubrimiento del llamado Manto de Gádor por el Manto de Félix (con su dominio de filitas permotriásicas impermeables que minimizaron en ella la existencia de captaciones).

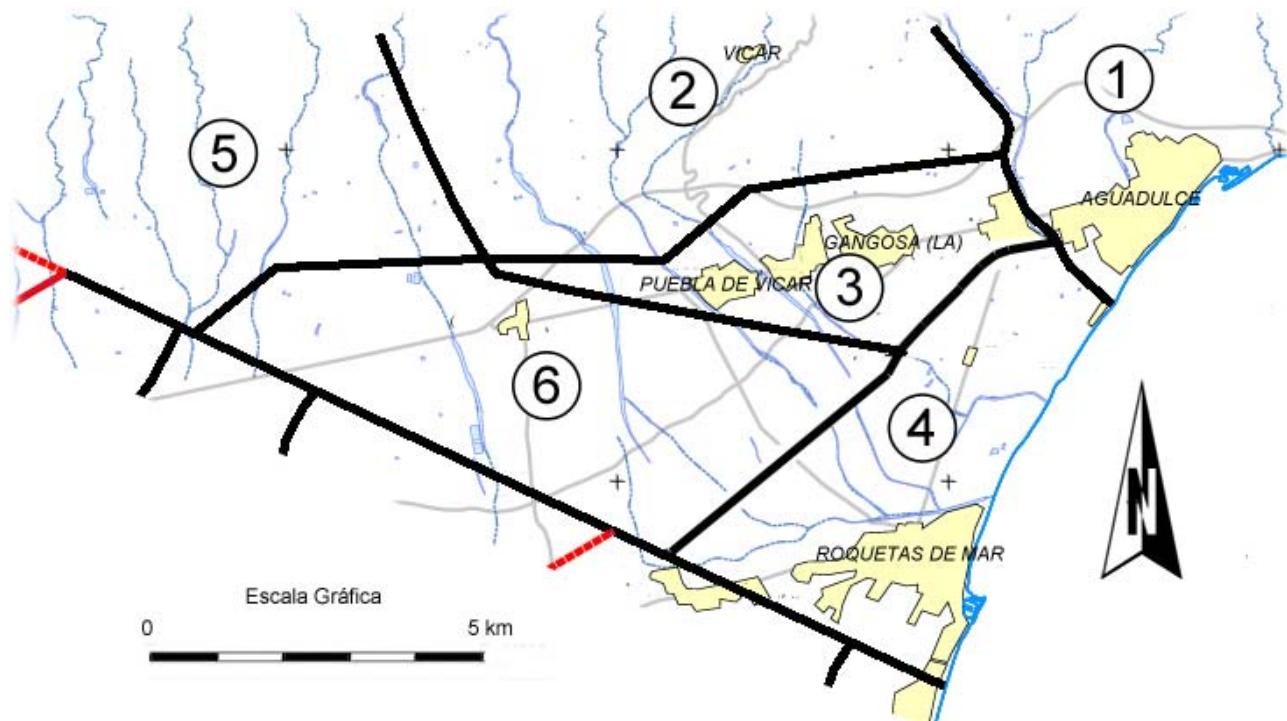


Figura 3.7.8: Distribución espacial de las áreas de observación de los acuíferos del Sector Noreste del Campo de Dalías, según los resultados del Estudio en 1991. **Leyenda:** 1=área de Aguadulce; 2=área de Vícar; 3=área de La Gangosa; 4= área de Roquetas; 5=área de El Águila; 6=área de El Viso. Modificada de Ref. 125.02: IGME – Consejería de Economía y Hacienda de la Junta de Andalucía (1991): Control de explotación del Campo de Dalías (Almería) 1989-1990.

- el **área de La Gangosa** (que corresponde aproximadamente a la parte oriental del término municipal de Vícar dentro de la llanura, entre las ramblas de El Aljibe y Las Hortichuelas) la cual contiene los núcleos de población principales formados en el último medio siglo en dicho término; fue también objeto de un notable foco de intenso bombeo.

- el **área de El Águila** (que esencialmente ocupa la parte aflorante del AIN en la falda sur de la Sierra, entre el área de Vícar y el AIO, con una estrecha franja de llanura al pie del macizo) y cuya incorporación a la explotación fue tardía.

- el **área de El Viso**, contigua a la anterior por el noroeste, fue objeto de fuertes bombeos; también está limitada: al Noreste por la de la Gangosa, al Suroeste por el ASC y al Sureste por la franja costera.

- esta franja costera, denominada **área de Roquetas** (donde el bombeo siempre fue testimonial), limita por su borde noroeste y norte con las tres áreas de la llanura antes citadas (El Viso, La Gangosa y Aguadulce) en las cuales se produjo, antes de salinizarse sus aguas, el mayor bombeo del Sector Noreste del Campo, dos hechos que, obviamente, no fueron independientes.

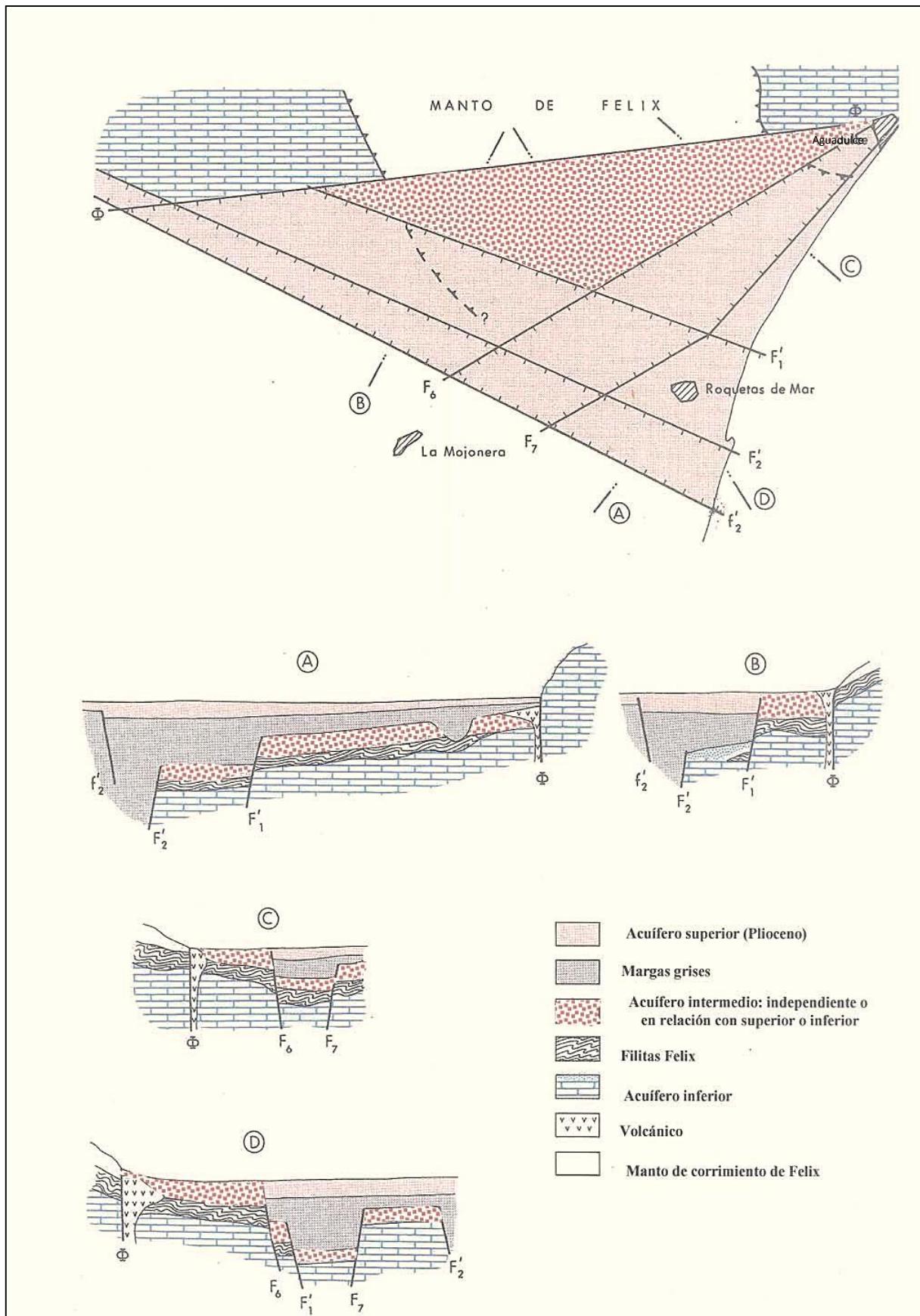


Figura 3.7.9: Estructura hidrogeológica esquematizada del Sector Noreste del Campo de Dalías, según los resultados alcanzados por el Estudio hasta el año 1982.

Como ocurrió en todo el Campo, en las primeras décadas de la transformación agrícola se siguieron criterios de fácil accesibilidad y de expectativas de buenos rendimientos en las captaciones. Más tarde, se utilizaron las informaciones sobre la estructura hidrogeológica del terreno en profundidad (cortes hidrogeológicos elaborados y publicados por el IGME), que recogían los datos que iban proporcionando los primeros sondeos profundos de investigación: sondeos S-1D a S-4D, realizados por el INC (dentro de la colaboración de este Organismo en el proyecto PIAS) y los que, más tarde, resultaron de los llevados a cabo por la iniciativa privada. Debe hacerse referencia a que, en contra de la atención que se prestó a las informaciones que proporcionaba el IGME (que orientaban sobre la estructura de los acuíferos, especialmente de los inferiores), no ocurrió lo mismo en general sobre las advertencias desde el Estudio que hacían referencia a los riesgos –o ya realidades- del avance tierra adentro del agua de mar, por el volumen y la forma de explotación de estos acuíferos, y la necesidad de protegerlos para su adecuada conservación, aunque la percepción del problema fue extendiéndose con el tiempo ante la evidencia del mismo.

Debe resaltarse que, a falta de puntos específicos de observación adecuados a esta investigación, muchas de las captaciones realizadas por los particulares (cuando fueron accesibles a esta investigación) permitieron detectar avances de las mezclas saladas, tanto en los carbonatos triásicos y miocenos asociados como en las coberturas neógenas (miocenas y pliocenas) de las áreas de La Gangosa y El Viso, mediante la realización de sucesivos análisis de sus aguas obtenidas con muestreos en profundidad y en bombeo, así como de nueve campañas de diagraffas detalladas entre 1989 y 1996. **Destacaron por su apoyo a esta investigación los gestores y técnicos de la CR Sol y Arena** (heredera de la infraestructura de sondeos del IRYDA, como se ha dicho), así como **los de la Junta Central de Usuarios del Acuífero del Poniente Almeriense (JCUAPA), que fueron observando**, durante el proceso que ellos mismos experimentaban con la evolución del agua en sus propios pozos, **el cumplimiento que se fue produciendo de las interpretaciones y previsiones resultantes de la misma, y preocupándose por la progresión hacia el interior del deterioro y abandono total de sus captaciones.**

Con la idea de **hacer más comprensible el pormenorizado relato de este estudio**, se trató, según se ha dicho, **de establecer, para cada área, la relación de la causa principal (bombeo) con los efectos producidos (en la piezometría y en la salinidad del agua captada en cada acuífero).**

En cuanto a la repercusión de la explotación en la piezometría de las capas captadas, en las distintas áreas del Sector Noreste, la respuesta al bombeo en los materiales acuíferos captados (reflejada en los hidrogramas representativos de las distintas zonas) fue la que se expone seguidamente.

3.7.2.1- Descripción sintética del proceso de seguimiento de la intrusión en el área de Aguadulce

En el **área de Aguadulce**, los datos del seguimiento del intenso bombeo y los controles de la evolución piezométrica pronto plantearon la necesidad de acentuar la atención a la que se preveía inminente intrusión marina, por su proximidad a la costa y la gran permeabilidad de los materiales acuíferos captados. La discreta implantación temprana del bombeo en la misma fue intensificándose y, ya hacia 1980, se extraían 17 hm³/a, alcanzándose en 1986/87 casi **25 hm³/a** (Fig. 3.5.6 y 3.5.7) un foco de bombeo muy concentrado en tan reducido espacio, cercano a la costa (a 1 o 2 km del mar), y en materiales que, con muy discretas penetraciones y mínimas depresiones se alcanzaban

caudales puntuales que superaban los 200 L/seg (o los 6 hm³/a por punto o batería de captaciones), una peligrosa forma de uso intensivo, al menos muy poco informada, que no podía tardar mucho en provocar la entrada de agua de mar.

En efecto, ya en los años 1982/83 – 83/84, empezaron a dejar de usarse captaciones, al ser alcanzadas por la presencia de mezclas con agua salada, y la progresión del proceso (reflejado entre 1985 y 1989 en la Figura 3.7.10), con los datos salinidad obtenidos periódicamente de muestras en profundidad en una de las captaciones privadas abandonada por su salinización a mediados de la década de 1980) obligó en los años siguientes a disminuir las extracciones (principalmente las de la C.R. Sol y Arena), que fueron emigrando a las áreas interiores del AIN (El Águila y El Viso), quedándose este área costera con un bombeo de sólo unos 4 hm³/a (Fig. 3.5.6), o aún menor. Como se ha dicho, se dispuso de sondeos de investigación (A1, A3 y A5 en 1981-82, y A-8, A-9, A10 y A-11 en 1987-88) así como de captaciones particulares con los que pudo seguirse, con suficiente antelación, el proceso de salinización previsible.

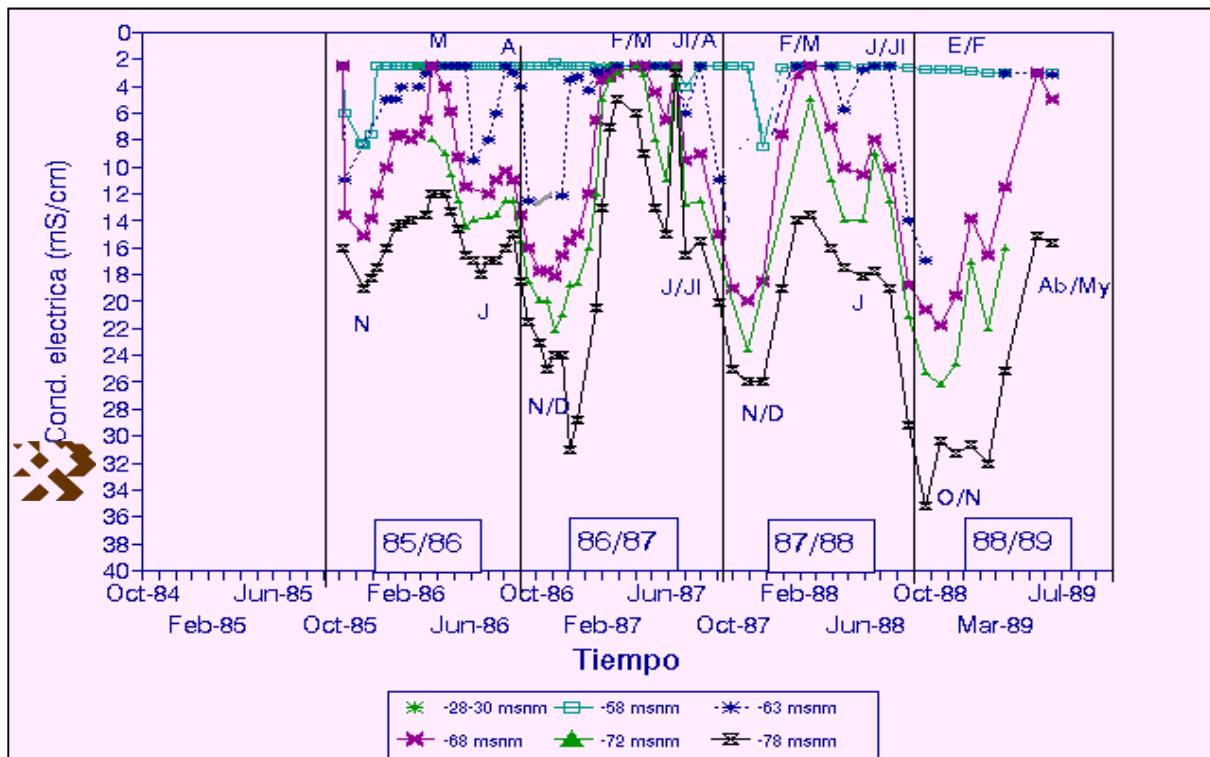


Figura 3.7.10: Evolución detallada de la salinidad en profundidad del AIN en el área de Aguadulce 1985/86 – 1988/89: sondeo 224RM (del sector II de Sol y Arena), seguimiento de la salinización (conductividad eléctrica del agua) en profundidad mediante los datos obtenidos de muestras realizados a profundidades específicas, con periodicidad de quincenal a mensual, entre 1985/86 y 1988/89. Se observó la tendencia ascendente de la salinidad y su carácter estacional (asociado a la variación mensual del bombeo y a las características de la captación, según trabajos de Ref. 198 IGME - UPC (Dominguez, P.) 2000: Funcionamiento hidrogeológico y mecanismos de intrusión marina en sistemas carbonatados de estructura compleja: aplicación al Acuífero Inferior Noreste (AIN) del Campo de Dalías. Tesis doctoral. ITGE – UPC, 417pp (incluida en formato digital en Anexo 1.5).

3.7.2.2- Dificultades y resultados del seguimiento de la salinización en el área de La Gangosa

En el **área de La Gangosa**, de los materiales acuíferos captados – esencialmente carbonatos triásicos y calcarenitas / conglomerados miocenos- en los primeros años de la década de 1980 se alcanzaban unos 10 hm³/a de extracción, que fue creciendo desde el año 1984/85 hasta su máximo (**15-16 hm³/a**) en el año 1990/91, tras el que se inició una tendencia descendente, con una caída brusca del bombeo en 1993/94 (por la cancelación del bombeo para Almería capital) hasta valores de 2-3 hm³/a que se mantuvo durante el tramo final del período previo al Programa (Fig. 3.5.7).

De todas las áreas (Fig. 3.7.8), la de la Gangosa es la de mayor complejidad geológica y, por tanto, también hidrogeológica, requiriendo una breve reseña ilustrativa. Está situada precisamente en primera línea de paso desde la franja costera de Aguadulce – Roquetas (por lo que se consideraba desde el principio la primera receptora de los entonces previsibles flujos salados hacia el interior del Sector) y enfrentada por el norte al afloramiento en el área de Vícar de las metapelitas permotriásicas impermeables del Manto de Felix (cabalgante sobre los carbonatos del bloque de la Unidad de Gádor más hundido en esta zona de la Sierra), circunstancia que, como se había comprobado en la Escama de Balsa Nueva, era factible encontrar el mismo rasgo estructural también en este área de La Gangosa, que restringía sus entradas por este límite. Además, en esta última, con la reconstrucción de la columna litoestratigráfica de sondeos existentes y observaciones del entorno geológico, se pusieron de manifiesto, por un lado, la existencia de una intensa fracturación, generadora de una compleja geometría de bloques muy fragmentados de carbonatos triásicos que, en la frontera con la contigua área de Vícar, están visiblemente afectados por una extrusión de materiales volcánicos intramiocenos, poco o nada permeables (con algunos afloramientos de lava, presencia de coladas y otros productos eruptivos) que, en parte, habían levantado o interpenetrado dichos bloques de carbonatos triásicos. En la abundante representación de sedimentos permeables del mioceno marino, dentro del área, también se encuentran localmente capas de estos materiales volcánicos impermeables, integrados en ellos durante su génesis.

Este conjunto preplioceno aflora o subaflora (bajo una somera cobertura formada por depósitos cuaternarios y, sólo ocasionalmente, también por una cuña de materiales detríticos del plioceno marino) en prácticamente todo el área de La Gangosa, desde la cual se va hundiendo hacia el SE y SO (en las respectivas áreas de Roquetas y El Viso) bajo una cobertura, creciente en espesor, de arenas, areniscas y gravas más o menos cementadas del plioceno marino, ya con un importante desarrollo.

La complejidad geológica del área y la precariedad de los datos asequibles con suficiente fiabilidad (sobre los terrenos captados por los sondeos y los acondicionamientos de éstos, y su eficacia, la evolución de sus niveles piezométricos desde la ejecución de las captaciones existentes, etc.) presentaron una importante barrera para la interpretación del funcionamiento hidrogeológico en este área de La Gangosa (en la que se encontraban capas libres y confinadas a semiconfinadas) que realmente resultó muy problemática y llena de incertidumbres, por lo que necesitó una atención constante a la aparición de nuevas informaciones y al análisis de las mismas.

La capa libre del área de La Gangosa, que es la que soportó el grueso del bombeo (especialmente en su zona oriental), a mediados de 1960 presentaba niveles piezométricos próximos

a +5 msnm con una tendencia decreciente de éstos que, hacia el año 1976/77 continuaron su hundimiento, ya bajo el nivel del mar (con cotas de -1 a -3 msnm), que alcanzaron -4 a -6 msnm hacia el año 1987/88, desde el que experimentaron un cambio de tendencia al alza hasta 1992/93 (Fig. 3.7.11), en el que se inició una recuperación brusca que trascendió en su ascenso la cota cero en 1993/94, y llegó a alcanzar cotas positivas próximas a +3 msnm en el 1996/97-97/98 (para volver a valores de 1,5 a 0 msnm hasta el final de esta etapa de control). Es decir, **durante unos 18 años, el nivel piezométrico se mantuvo en cotas negativas estables, en un medio fisurado o poroso, con facies muy permeables en ambos casos, circunstancias que representaron una situación favorable para la penetración de mezclas con agua de mar.**

En el grupo de captaciones de **la “capa” confinada del área de La Gangosa** (de carácter discontinuo) tanto en materiales dolomíticos triásicos como en los miocenos porosos prevolcánicos (bajo volcánicos intramiocenos, o confinados bajo margas pliocenas) la respuesta piezométrica al bombeo presentó peculiaridades, aunque existen conexiones más o menos retardadas que la enlazan con desfases a la de la capa libre (como se aprecia en el esquema piezométrico de la Figura 3.6.4) por las relaciones laterales entre bloques de la estructura.

En el caso de los carbonatos triásicos hasta entonces captados –en la capa libre o en la confinada- esta respuesta piezométrica resultaba anómala si se comparaba con la de otros materiales similares sometidos a bombeos equivalentes (Fig. 3.7.11), lo que, unido a su relación con la estructura del área contigua de Vícar, entre otras coincidencias, indujo al error de considerarlos, en un principio, como carbonatos del Manto de Félix (Fig. 3.7.9 y perfiles A y C de la Figura 3.7.12), hasta que informaciones de dos sondeos profundos particulares (puntos 163VC y 164VC) realizados a finales de la década de 1990 -cuyas columnas litoestratigráficas fueron interpretadas directamente durante su ejecución- evidenciaron la pertenencia a la Unidad de Gádor de los materiales carbonados triásicos que venían explotándose, aunque de un tramo superior de esta unidad que quedó deficientemente conectado con el resto del AIN en la vertical y horizontal, por razones estratigráficas y tectónicas (Fig. 3.7.13). Además, en algunas zonas estas capas confinadas están conectadas lateralmente con distintas capas de las coberturas del mioceno postvolcánico y del plioceno, incluso mediante sondeos.

Se denominó a este acuífero como AItN por diferenciarse sus respuestas al bombeo de las del AIN, aunque más tarde se demostraría también la relación hidráulica retardada entre ambos, nada extraño si se consideran los efectos de las fallas y el material volcánico involucrado en las permeabilidades horizontales entre bloques.

En el esquema piezométrico de 1987/88 (Fig. 3.6.4) se mostraron las depresiones generadas en este área por los bombeos, tanto en la capa libre (zona oriental) como en la confinada (zona occidental), conectadas hidráulicamente por hundimiento relativo de este último bloque (ver Figura 3.7.13)

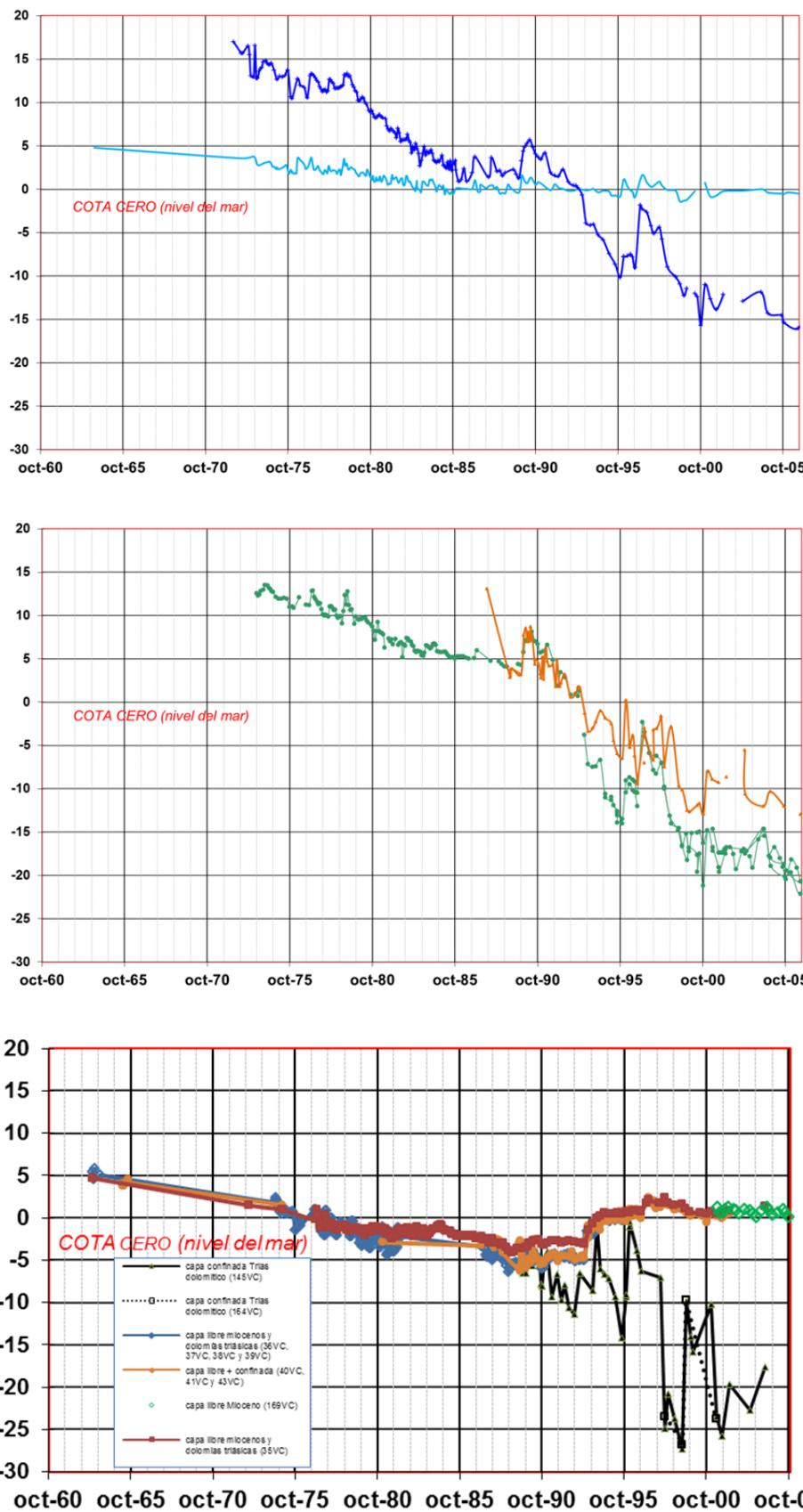


Figura 3.7.11: Piezometría en áreas de los acuíferos AIN y en el AItN de La Gangosa. **Superior:** AIN: azul oscuro= Águila Occidental; azul claro= Aguadulce. **Media:** AIN: verde= Águila Oriental; naranja= El Viso. **Inferior:** AItN área de La Gangosa: capa libre miocena (169-VC), capas libre y confinada (40VC, 41VC y 43VC), capa libre miocena y dolomías triásicas (36VC, 37VC, 38VC y 39VC); la capa confinada de dolomías triásicas (145VC y 164VC) De IGME (2001-2006): Resultados del proyecto “Síntesis Hidrogeológica del Campo de Dalías”.

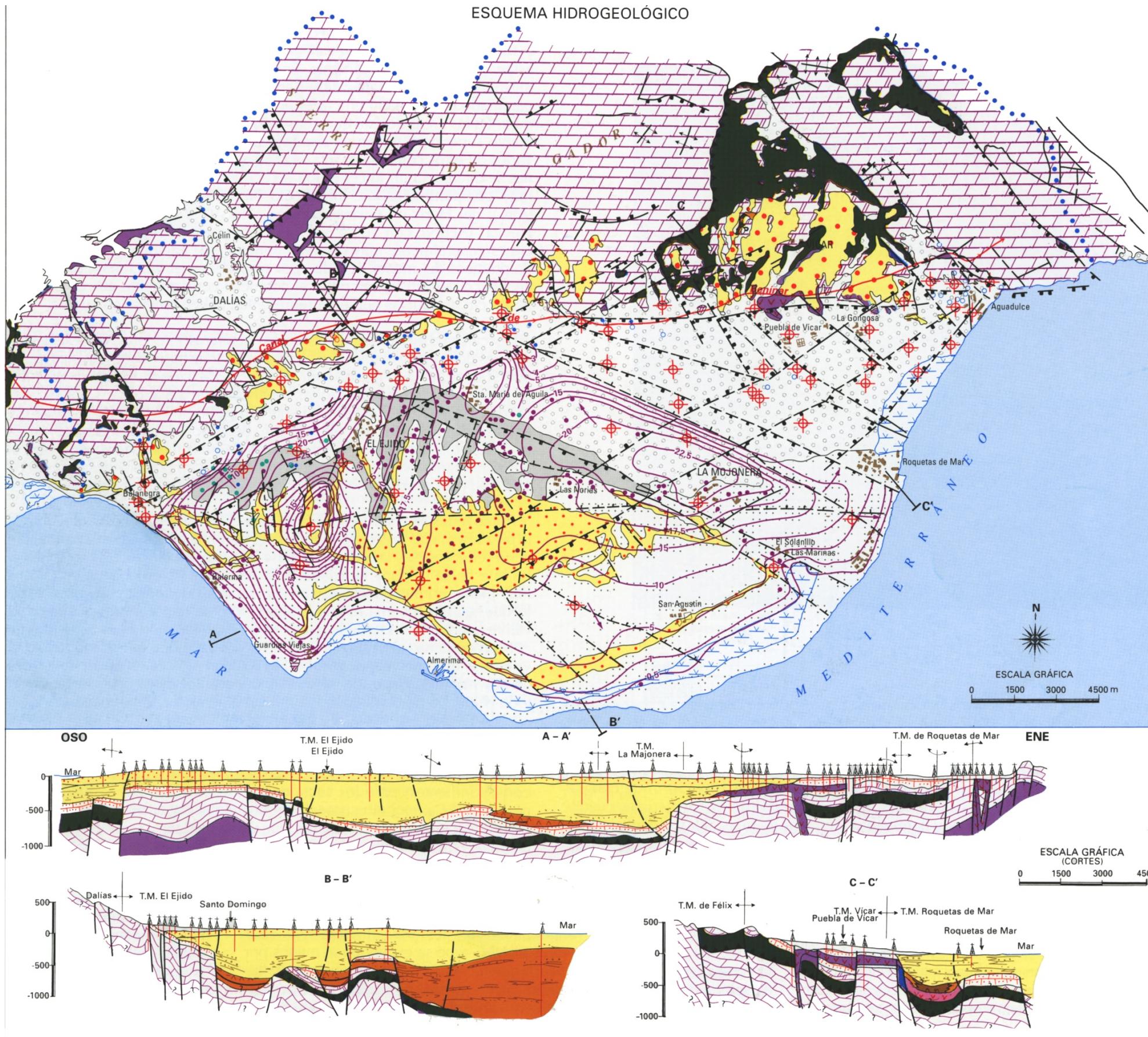
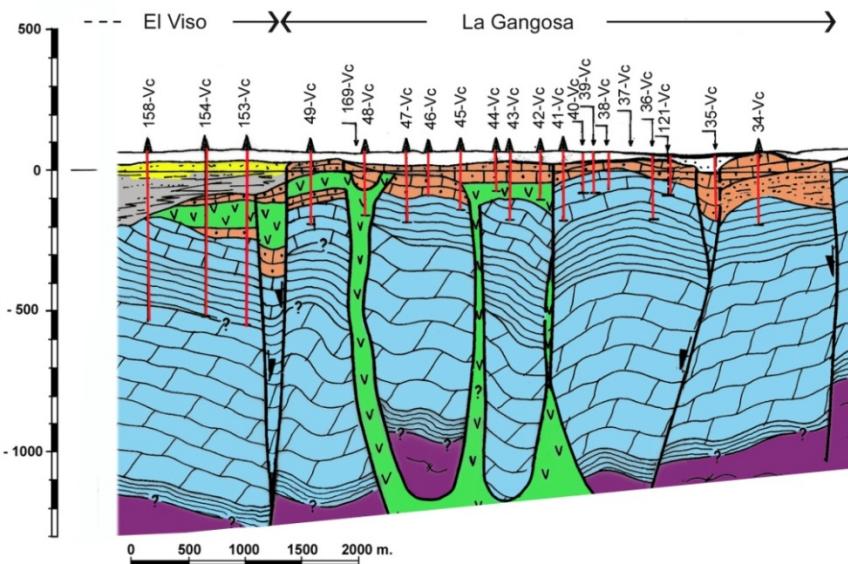
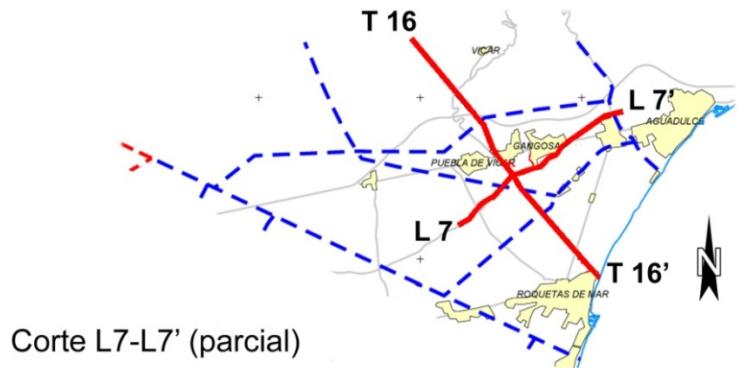


Figura 3.7.12. Esquema hidrogeológico del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías y perfiles representativos, según versión incluida en los trabajos realizados en 1992 para el Atlas Hidrogeológico de Andalucía (IGME – Junta de Andalucía, 1998)



Corte T16 - T16'

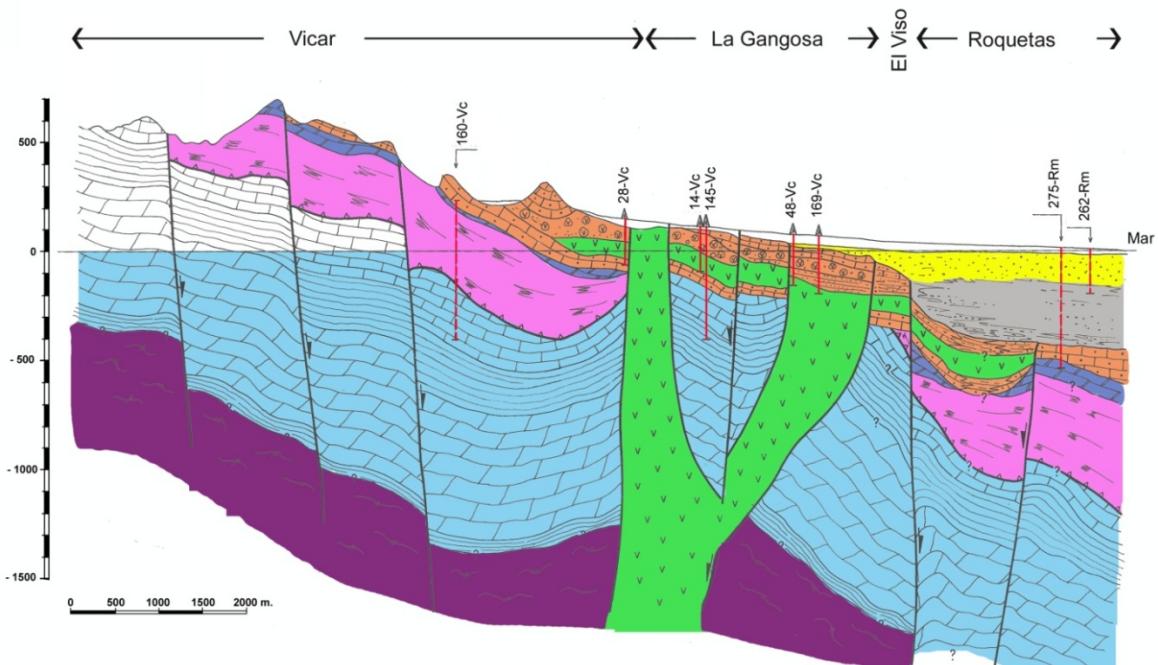


Figura 3.7.13: Detalle de la geometría de áreas de los acuíferos del Sector Noreste. **Superior:** parcial de perfil L 7 (área de La Gangosa y extremo oriental de la de El Viso). **Inferior:** perfil T 16 (áreas de Vícar, La Gangosa y Roquetas, esencialmente). De IGME (2001-2006): Perfiles T-16 y L7, versión 2004. Resultados del proyecto: "Síntesis Hidrogeológica del Campo de Dalías". Ver leyenda de cortes en [Figura 3.7.5](#).

3.7.2.3- Seguimiento de la salinización por mezcla de agua de mar en el área de El Viso

En el **área de El Viso**, el acuífero más bombeado inicialmente fue el de las areniscas, arenas y conglomerados pliocenos, en el que se extraían ya 8-9 hm³/a en 1980/81, bombeo que fue creciendo hasta valores de **12-13 hm³/a** en 1982/83 – 1984/85 (Fig. 3.5.7), en que se inició un descenso posteriormente, que fue brusco en 1989/90, ya sólo con 4-5 hm³/a en 1990/91 y aminorándose hasta 2-3 hm³/a en 1999/00, debido a la migración de las extracciones al acuífero profundo (AIN) por lo inaceptable del agua de estas coberturas para la demanda (Fig. 3.6.16).

Estos materiales de la cubierta pliocena (coronados por cuaternarios de espesores notables) se relacionan lateralmente (Figura 3.7.14) con sus equivalentes del área de Roquetas (por el sureste), del ASC (por el suroeste), con los carbonatos triásicos del AIN de El Águila por el noroeste y, eventualmente, con el mioceno calcarenítico prevolcánico (por el norte). También con los carbonatos triásicos y miocenos pre y postvolcánicos y, cuando existen, con sus cubiertas plioceno-cuaternarias del área de La Gangosa, por el noreste.

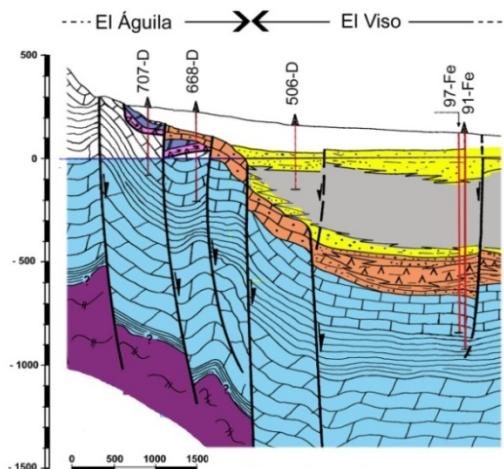
Por su parte, el bombeo en **materiales del mioceno calcarenítico de El Viso** se inició con baja intensidad (2-2.5 hm³/a) en 1987/88 y, con discretas variaciones, **se mantuvo en todo el período referido** (2 hm³/a en 1988/89, 1995/96 y 1999/00, 1 hm³/a en 1993/94).

Hasta 1986/87 no se había iniciado el bombeo en el AIN de El Viso, el cual, ya en 1989/90, era de 4 hm³/a y **alcanzaba su máximo registrado** en este período (**18 hm³/a**) en **1999/00** (Fig. 3.5.6)

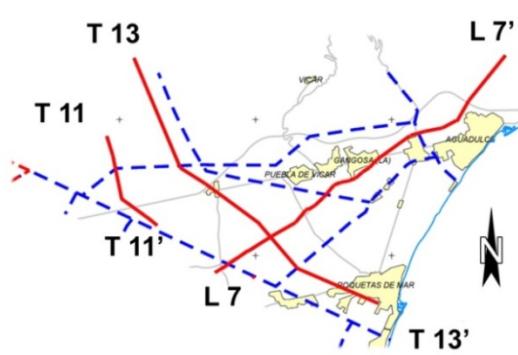
Dadas las múltiples relaciones hidráulicas del acuífero plioceno – cuaternario en el área de El Viso con las capas de su entorno, la afectación del régimen de funcionamiento natural del conjunto por el bombeo practicado en cada una de las capas de materiales y zonas del Sector Noreste del Campo (en lo concerniente al menos a las capas más someras de materiales pliocenos y cuaternarios de su cubierta, o más antiguos) reflejó influencias de todo tipo, debidas a las características naturales de las mismas (con facies litológicas muy variadas entre sí) y a las diferencias relativas de los tipos de captación en cada entorno, empleados históricamente por los usuarios. A falta de mejores datos, las características que provocaron estos cambios de funcionamiento (sus causas y sus efectos) tenían que dar pistas sobre las vías preferentes de relación hidráulica, y, por tanto, de trasmisión de la salinidad, por lo que se partió del estado inicial de funcionamiento del acuífero plioceno – cuaternario.

La reconstrucción más probable de la situación natural del funcionamiento de este acuífero plioceno-cuaternario, reproducida a partir de los datos piezométricos y el conocimiento estructural alcanzado, mostró la existencia de un **manto libre** (con eventuales capas confinadas) en el que, desde el límite con el área de El Águila (con cotas piezométricas de 12-15 msnm) el nivel descendía progresivamente hacia toda la franja costera, alimentado principalmente desde la Sierra -subterráneamente por el AIN- en las fronteras con las áreas de El Águila (esencialmente) y de Aguadulce, y por infiltración de las escorrentías superficiales que esporádicamente alcanzaban la llanura, y de la lluvia útil resultante de unas precipitaciones directas muy escasas. (También recibía una discreta aportación subterránea desde el ASC). Este manto libre manifestaba una cierta conexión hidráulica, o continuidad piezométrica con las capas libres de La Gangosa, Aguadulce y Roquetas, con zonas preferentes debido a la circulación por facies más permeables, como las de la franja oeste – este del borde norte del plioceno, en el límite entre las áreas de Roquetas y las otras dos.

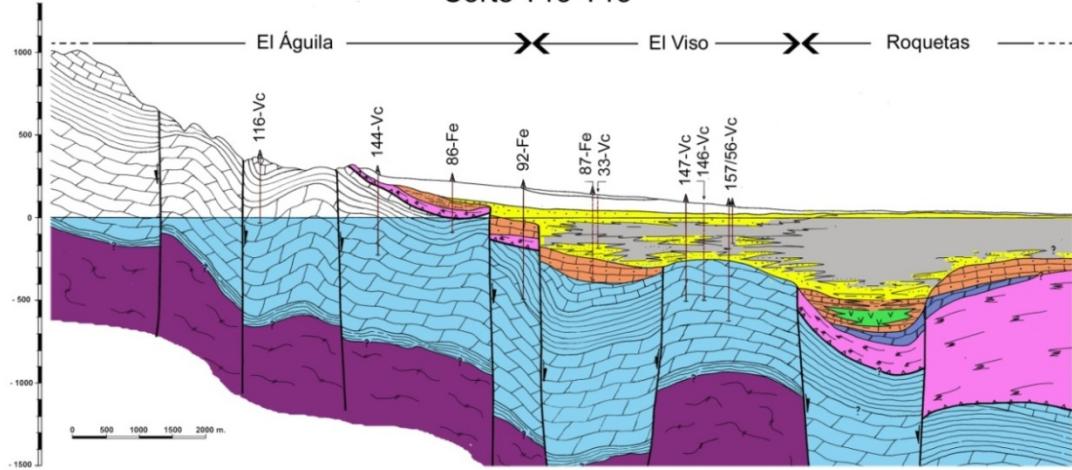
Corte T11-T11' (parcial)



T 13



Corte T13-T13'



Corte L7-L7' (parcial)

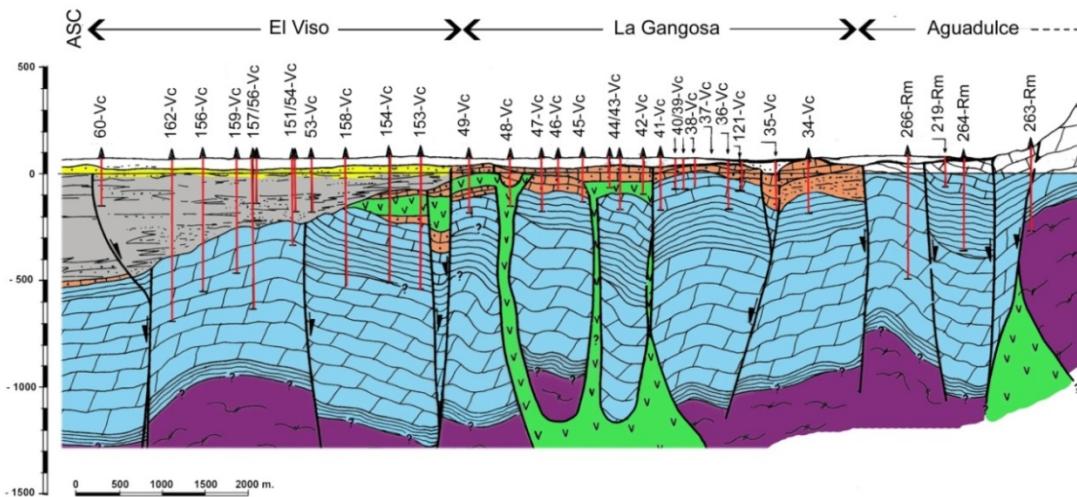


Figura 3.7.14: Geometría del Sector Noreste. **Superior:** perfil T11(parcial): áreas de El Águila y El Viso. **Medio:** Perfil T 13: áreas de El Águila, El Viso y Roquetas. **Inferior:** parcial de L 7: extremo este del ASC, áreas de: El Viso, La Gangosa y Aguadulce. En T-13 se observa la Fosa Interior y el Horst de Guardias Viejas (HGV), y en la de Roquetas, la Fosa Exterior y el Horst de Roquetas; el perfil L 7 discurre por el HGV. De IGME (2001-2006). Perfiles T11, T13 y L7 versión 2004. Resultados del proyecto: “Síntesis Hidrogeológica del Campo de Dalías”. Leyenda de cortes en Figura 3.7.5.

La evolución piezométrica observada en las distintas capas del Sector Noreste de la llanura (en los carbonatos triásicos y en los miocenos pre y postvolcánicos, y en los pliocenos) cuando se dispuso de sondeos para su seguimiento, fue mostrando diferencias relativas en sus respuestas al bombeo entre las distintas áreas, que resultaron muy significativas de su funcionamiento hidrodinámico, consecuentes con sus litologías locales y su afectación (en varios aspectos) por la tectónica (Figuras 3.6.7 y 3.7.11).

En el área de El Viso, el acuífero plioceno (ASN), influenciado originalmente sólo por los niveles del AIN (en el Águila), del ASC en su frontera suroeste, y por la carga hidráulica del plioceno de Roquetas (inducida por la recarga en su zona suroccidental desde el ASC), como respuesta al relativamente importante volumen de bombeo, se produjo una profunda y creciente depresión piezométrica permanente que, adosada al límite con el área de La Gangosa, alcanzó más de 20 m bajo el nivel del mar, la cual, aunque con diferencias de profundidad, se prolongaba hacia el NE por las capas libres del mioceno (con o sin plioceno) de esta última área (Fig. 3.6.4), a su vez conectada hidráulicamente con la prolongación más oriental de estas capas libres, tanto a nivel de mioceno (con o sin plioceno a su techo) como de carbonatos triásicos, en los que, a su vez, con el bombeo se habían alcanzado unos metros bajo el nivel del mar.

Estos carbonatos **siempre mostraron**, además, **una relación hidráulica** (más o menos retardada) **con el AIN del área de Aguadulce**, manifestada como intercambio de flujos, en la frontera de contacto, en función de sus relativos potenciales hidráulicos coyunturales.

Así, en el Sector Noreste del Campo, a través del borde norte de la llanura, se encontró **una componente importante de relaciones abiertas de circulación del flujo subterráneo a través de sus acuíferos libres** que, tanto en régimen natural como en el influenciado por el bombeo, se producía **entre el AIN de El Águila y el de Aguadulce**. A nivel del AIN confinado no existía continuidad de datos piezométricos de confianza que permitieran pronunciarse sobre si esta vía de circulación del flujo era preferente. En las condiciones originales los niveles pasaron, desde cotas medias superiores a 13-15 m sobre el nivel del mar, a cotas de 2-4 msnm, a través de las capas libres de las áreas interpuestas (El Viso y La Gangosa), con alteraciones del sentido del flujo en función del grado de afectación que produjo el bombeo en los diferentes materiales de tránsito por dichas áreas (Fig. 3.7.11 y 3.6.4). Relacionando estos datos con el conocimiento adquirido sobre la geometría del Sector, y las características hidrogeológicas de los materiales involucrados en la misma, y a falta de sondeos mecánicos que lo refrendaran, **se consideró esta vía Oeste – Este de relaciones hidráulicas en la franja norte de la llanura, como preferente**. En cuanto a la penetración de masas con mezcla de agua de mar, que ya habían alcanzado la cobertura pliocena – cuaternaria de El Viso, se atribuyó originada, principalmente, en el entorno costero de Aguadulce, y trasmisida por distintos materiales litológicos muy permeables.

No obstante, **la costa norte de Roquetas también tuvo que contribuir con aportaciones de mezclas de agua de mar** (incluso de lixiviados de la explotación salinera de San Rafael) **a las áreas de El Viso – La Gangosa**, aunque sólo deducidas (por las situaciones piezométricas observadas) para el acuífero libre pliocuaternario del área de Roquetas, como trasmisor. Aunque parecen más problemáticas, no se pueden descartar aportaciones de mezclas salinas desde esta zona hacia La Gangosa – El Viso a través de capas confinadas del área de Roquetas, pero ésta es sólo una hipótesis sin refrendar por ningún sondeo mecánico, incertidumbre que, por otra parte, sólo tiene un interés secundario.

En la “capa” confinada de El Viso (en general, los carbonatos triásicos del AIN) **la afección registrada debida al bombeo más tardío provocó** situaciones continuas de descenso en los

niveles desde los 13 msnm (del año 1987) a los -14 msnm del 2005 (con las oscilaciones propias de los períodos secos y húmedos de la recarga), en **una tendencia general descendente que alcanzó en este período unos 27 m de depresión** (Fig. 3.7.11). Otros compartimentos de esta “capa”, constituidos por calcarenitas miocenas confinadas o semiconfinadas por margas pliocenas, presentaron fluctuaciones de nivel similares a las del AIN, pero con mayores amplitudes debidas al bombeo (por la menor trasmisividad de los materiales porosos captados por los sondeos) y, tal vez, por afecciones en la permeabilidad de paso por el contacto (mecánico) con los carbonatos triásicos del AIN, su fuente de recarga.

Es decir, **en el área de El Viso** -tanto los carbonatos confinados del AIN, como los compartimentos libres miocenos que se captaron en la fosa intermedia entre El Águila y el Horst de Guardias Viejas (ver cortes de la Figura 3.7.14)- **el bombeo provocó situaciones piezométricas duraderas con niveles bajo el mar que pudieron demandar flujos subterráneos desde áreas vecinas con niveles más altos**. Cuando estos flujos incluyeran mezclas con agua de mar (por procesos de intrusión marina activa o antigua), el AIN del área de El Viso los recibiría, y muy probablemente por distintas vías de trasmisión.

3.7.2.4- Salinidad observada en el área de El Águila

En el **área de El Águila** (más el anexionado bombeo del AIN en el área de Vícar) la explotación fue tardía, y su crecimiento discreto durante la primera década: se bombeaban del orden de 2-3 hm³ en el año 1980/84 y de 9 hm³ en 1990/91 iniciándose, desde entonces, un crecimiento rápido que llegó a 29 hm³ en 1993/94 y a **31-32 hm³** en 1999/00, máximo del período registrado en esta etapa previa al Programa (Fig. 3.5.6).

En los primeros años de la década de 1970 hay datos de niveles piezométricos de El Águila (aún en un estado de funcionamiento natural) en torno a los 15 msnm, con oscilaciones métricas relativas a años secos o húmedos (Fig. 3.7.11). Con la explotación del AIN de este área, la evolución del nivel se mantuvo muy “en sintonía”, independizada claramente del comportamiento del nivel en su contigua por el oeste (área de El Tomillar del AIO), aunque con diferencias hasta de varios metros en la amplitud de las oscilaciones, en función de la intensidad de los bombeos, entre el Águila Occidental y el Águila Oriental.

De los niveles del régimen natural se pasó en 1980/81 a cotas piezométricas de 8-9 msnm, alcanzando entre 1 y 4 msnm en el año 1988/89 en que se produjo una recuperación (por su mayor humedad) el año 1989/90, que alcanzó cotas de 5 a 8 msnm; retomando la tendencia decreciente en 1992/93, pasó a cotas bajo el nivel del mar, ya con un bombeo intenso que marcó oscilaciones más amplias (según los focos de extracción) las cuales se mantuvieron entre -15 y -20 msnm (para El Águila oriental) entre 1999/00 y 2005/06, mientras que en El Águila occidental se situaron, como media, entre -9 y -15 (en 1999/00) y -13 a -16 en 2005/06. La relación de niveles, entre las zonas este y oeste de El Águila, se invirtió a partir del año 1992/93, como consecuencia del mayor incremento del bombeo en El Águila Oriental al incorporarse a la misma, entre otros, el abastecimiento a Almería capital (Fig. 3.7.11).

Desde el año 1992/93 hasta el 2005/06 (final de la etapa previa al Programa), **el nivel del agua permaneció casi 13 años bajo el nivel del mar, por lo que se convirtió en otro foco demandante de flujos subterráneos desde áreas vecinas con mayor carga hidráulica, entre ellos los que, potencialmente, podían contener aguas con mezclas de agua de mar de procesos activos o antiguos.**

3.7.2.5- Alcance de las observaciones en el área de Roquetas

En el **área de Roquetas** no se ha dispuesto de sondeos con suficiente profundidad y, por tanto, no se ha llegado a reconocer el Manto de Gádor; sólo un sondeo (piezómetro de Cuenca Mediterránea Andaluza) situado en la franja costera, en las cercanías del pueblo, cortó materiales triásicos alpujárrides (punto 275RM, **Fig. 3.7.13**) que se atribuyen a una unidad tectónica superior (**formando parte del alto fondo del sustrato conocido como Horst de Roquetas**) estructura que se encontró en algún otro sondeo mecánico (238RM, **Fig. 3.7.15**; 257RM) cercano a la costa. Entre ésta y las zonas también elevadas de carbonatos triásicos del Manto de Gádor en el Horst de Guardias Viejas (en El Viso – La Gangosa, hasta Aguadulce) se detectó una fosa paralela a este último horst, cuyo sustrato alpujárride no ha sido alcanzado por ninguna perforación (**Figuras 3.7.13, 3.7.14 y 3.7.15**).

En este área, el prácticamente único tramo captado para explotar el agua subterránea ha sido el plioceno detrítico (con su montera de cuaternarios) aunque por sus bajos rendimientos y deficientes calidades **el bombeo ha sido muy poco relevante** (un máximo de 1 hm³ en 1980/81, que descendió a valores de 0.1-0.2 hm³/a hasta el último control realizado en 1999/00, **Fig. 3.5.7**).

Las captaciones en este área, además, son muy poco penetrantes y la información litológica pareció indicar notables variaciones de facies, desde las más potentes y groseras, en el borde norte de la fosa, en continuidad con el detrítico plioceno – cuaternario del límite sur de El Viso – La Gangosa, a las más finas (y, en general, con más matriz) hacia el sureste, donde parecen existir capas alternantes con muy diferentes contenidos de arenas y limos, incluso cemento carbonatado, que **pudieran constituir un manto acuífero multicapa insuficientemente caracterizado**.

En la referida zona de fosa, bajo el conjunto plioceno permeable (**Fig. 3.7.14** y **Fig. 3.7.15**), cabe encontrar un potente tramo de materiales poco a nada permeables, constituido dominante por margas limosas y arenosas, sobre un **sustrato mioceno de calcarenitas permeables** (más complejo e indeterminado en esta fosa) **que puede constituir una “capa” independiente de relación de flujos entre El Viso - La Gangosa y el mar** (directamente o a través del plioceno del Horst de Roquetas) “capa” que, sólo con datos indirectos, se supone aislada en la vertical hacia el muro, de la posible existencia de una prolongación hacia el Sur del manto de carbonatos triásicos de Gádor, cada vez más hundido, con una dominante cobertura impermeable de metapelitas permotriásicas y más antiguas, de una unidad tectónica superior, incluso de eventuales mantos de material volcánico también impermeable. Se trata de unas incertidumbres sin resolver, aunque sin relevancia para los objetivos de estas investigaciones.

De las capas profundas sobre las que se carece de información, sólo caben deducciones sobre eventuales intercambios de flujos subterráneos posibles entre las dos áreas de La Gangosa / Viso y el mar (por la costa norte de Roquetas), a través del tiempo, en base a las evoluciones piezométricas de los primeros y el potencial fijo impuesto por el segundo.

Del seguimiento piezométrico relativo a las capas libres del plioceno – cuaternario del área de Roquetas, casi el único tramo captado, como se ha dicho, cabe señalar –como puede reconocerse en el esquema piezométrico de 1987/88 (**Fig. 3.6.4**)- que se mostró siempre, en las relaciones con su exterior, muy dependiente de sus entradas laterales desde el ASC por el suroeste, con carácter permanente y con tendencia a un discreto crecimiento; por el noreste, a las discontinuas entradas laterales desde el AIN, cada vez más distanciadas; por su frontera norte, con las áreas de El Viso y La Gangosa, este manto libre ha dependido de la demanda de flujos subterráneos desde al menos las depresiones de niveles generadas por su bombeo en estas áreas.

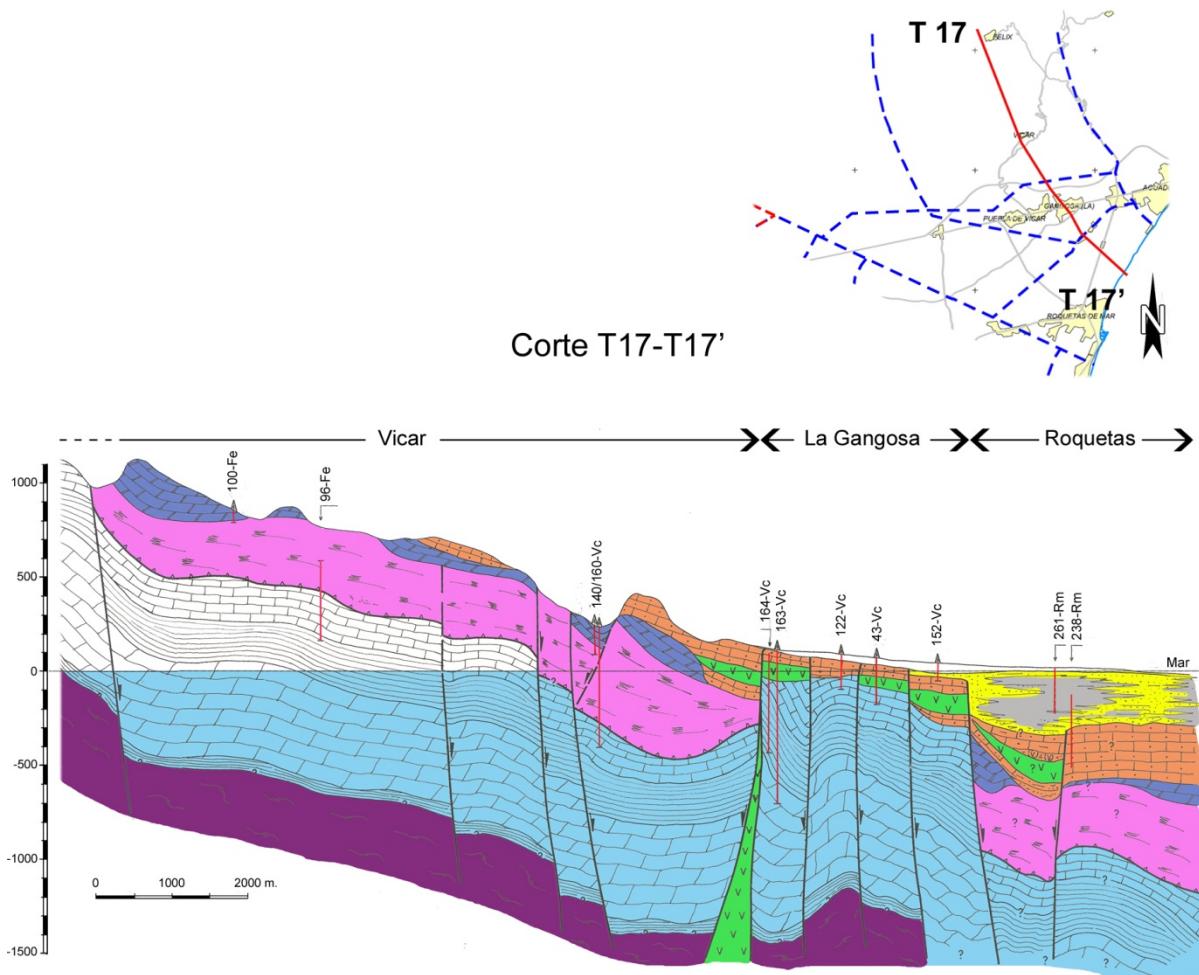


Figura 3.7.15: Geometría de las áreas del Sector Noreste. Perfil T 17, que incluye las áreas de Vícar, La Gangosa y Roquetas. De IGME (2001-2006): Perfil T 17, versión 2004. Resultados del proyecto: “Síntesis Hidrogeológica del Campo de Dalías”. Ver leyenda de cortes en **Figura 3.7.5**

Como consecuencia de las extracciones en estas últimas áreas, desde el comienzo de sus bombeos intensivos se produjeron **inversiones del flujo subterráneo desde el plioceno – cuaternario** (capas libres) del área de Roquetas y, potencialmente, **desde el mioceno prevolcánico, subyacente al mismo en la franja costera** (Fig. 3.6.4). Pudiera haber existido también, sin ninguna evidencia sobre ello, a través de eventuales capas confinadas de dicho plioceno y/o del mismo mioceno bajo las margas pliocenas y las vulcanitas que, posiblemente, existan bajo el acuífero plioceno.

Estas inversiones del flujo –como la representada en el esquema piezométrico de 1987/88- **provocaron el hundimiento, bajo la cota cero**, del umbral previamente formado en la costa entre Aguadulce y Roquetas, **que dio lugar a prolongadas condiciones hidráulicas generadoras necesariamente de penetración de agua de mar hacia el interior**, aunque no pudiera ser comprobado adecuadamente en su desplazamiento hacia el Norte por ausencia de puntos representativos con la penetración requerida para la observación de la misma.

El avance hacia el interior de la salinización tuvo lugar, desde Aguadulce, tanto por el AIN / AItN, como por las coberturas –pliocuaternaria y miocena relacionadas en la costa norte de Roquetas- hacia una depresión de bombeo situada en las áreas de El Viso y La

Gangosa (que llevó a sobrepasar los -20 msnm en la primera) manteniendo, al menos 18 años, cotas negativas. En la capa libre de El Viso (ASN) ya a inicios de la década de 1980 se observaba el efecto de la salinización del acuífero en el agua de bombeo de sus captaciones, en progresión, habiendo sido ya abandonadas del orden del 50% de ellas en 1989/90. Por otra parte, entre 1985 - 1995 se produjeron importantes incrementos en las salinidades de las captaciones utilizadas de la capa única del AItN del área de La Gangosa para abastecimiento a Almería (como las del agua de bombeo, entre otros, del 40VC, con incremento de 1,8 a 4,9 g/L de cloruros, de 1985 a 1990), mientras que en las muestras de bombeo de los sondeos profundos existentes desde 1986/87 en el AIN de El Viso se observaban valores de salinidad muy bajos. **En este AIN, al final del período de estudio previo al Programa de sostenibilidad aún no se habían detectado las mezclas saladas a unos 8 km de la costa, las cuales ya estaban presentes en su cobertura, dentro del área.**

3.8- OTROS PROBLEMAS DERIVADOS DE LA FORMA DE USO

Además del problema principal de contaminación que afecta al Campo, la intrusión marina, en sus acuíferos, existen otros problemas de afecciones a la calidad del agua, provocados por el uso, derivados de: excedentes agrícolas, vertidos líquidos de origen urbano, vertederos de residuos sólidos (agrícolas y urbanos), intercomunicación de acuíferos mediante sondeos, etc. Muchos de ellos son evitables, o al menos mejorables. Todo ello se esquematiza en la Figura 3.8.1

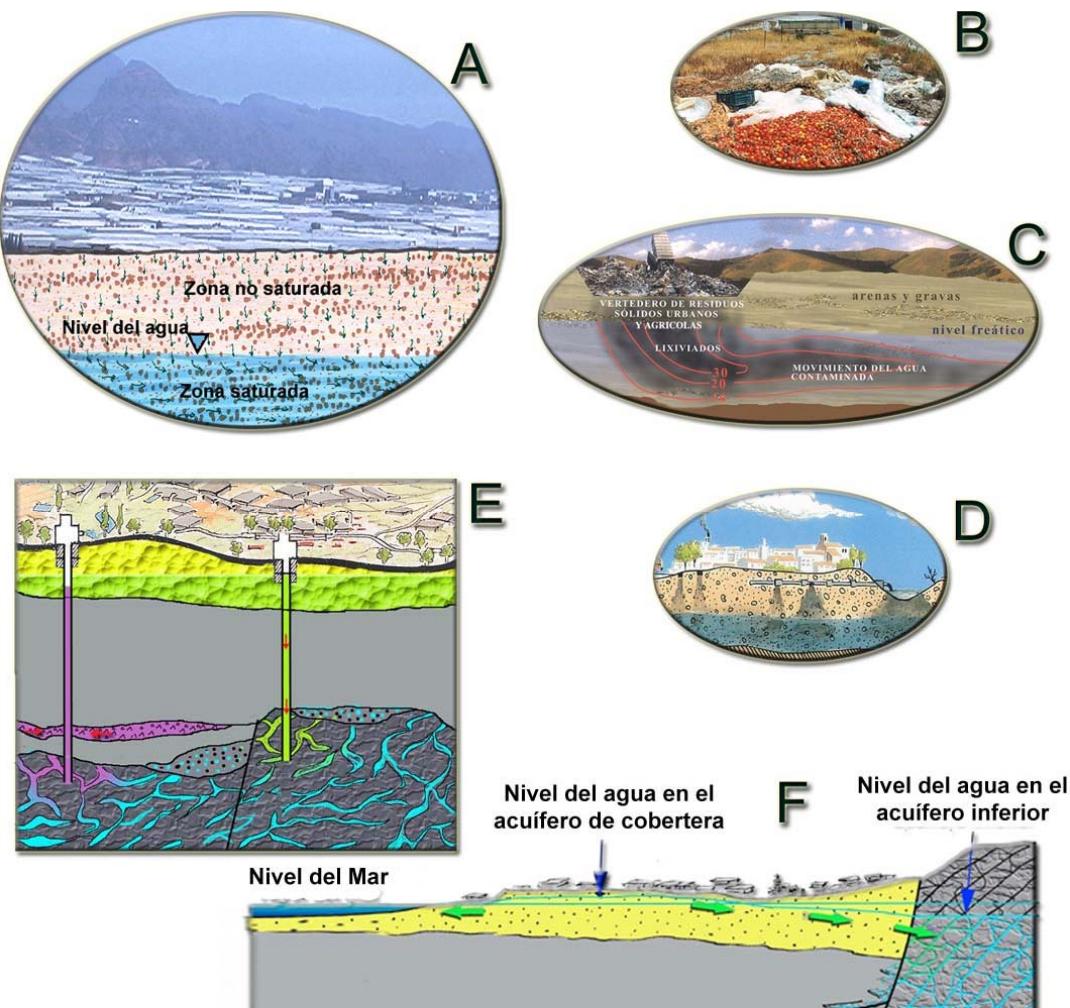


Figura 3.8.1: Algunas actividades antrópicas o procesos que pueden contaminar, o contaminan, a los acuíferos del Campo de Dalías. Se diferencian: los retornos de riego (A), residuos agrícolas no controlados (B), vertederos de residuos sólidos, agrícolas y urbanos (C), vertidos en puntos y redes de saneamiento urbano (D), comunicación de acuíferos mediante sondeos profundos, desde tramos acuíferos de elevada salinidad natural (izquierda) o desde acuíferos de cobertura contaminados por el uso (E), descargas subterráneas de flujos de peor calidad, desde unos acuíferos a otros, forzadas por el bombeo (F). Del documento Ref. 469.00: IGME (20003), incluido íntegramente en el Anexo 1.1.

Estos procesos afectan, o pueden hacerlo, tanto a las características cuantitativas como cualitativas de los acuíferos implicados

3.9- RESUMEN DE APORTACIONES HISTÓRICAS MÁS DESTACABLES DEL IGME AL CONOCIMIENTO DE ESTOS ACUÍFEROS, EN APOYO A SUS GESTORES Y USUARIOS PARA FAVORECER UN USO SOSTENIBLE DE LOS MISMOS.

Se expone una síntesis de las aportaciones más destacables del IGME, entre 1969 y 2005, por intervalos temporales.

3.9.1.- El periodo 1969 – 1980

Es la fase PIAS de la zona de estudio (s.l.), apoyada notablemente por el INC / IRYDA. Se centró casi exclusivamente en las **coberteras neógenas de la llanura**, aportando el primer **inventario general de puntos de agua**, informaciones de bombeo, piezométricas, hidrodinámicas, orientación sobre la distribución de la calidad, etc., de gran valor para la época. Se obtuvo la **primera y muy incipiente interpretación de la geometría general**, apoyada en una copiosa información geofísica (SEV, sísmica en mar y tierra en 1972-76 y 1980 del INI - Adaro/ USGS, etc.). Se destacan ya **bombeos**: unos 15 hm³/a en el ASC, un volumen similar en el AIO libre y unos 30 hm³/a en el Sector Noreste del Campo (15 hm³/a en el área de Aguadulce, 4 hm³/a en la de El Águila y unos 10 hm³/a en las de El Viso – La Gangosa), señalando una **depresión piezométrica creciente en la cobertura de estas últimas áreas que podía estar provocando en la misma intrusión de agua de mar por la costa de Roquetas**.

Al final del período se concibieron ya como inseparables hidrogeológicamente la **llanura del Campo de Dalías y la Sierra**, y se consideró como hipótesis más probable la **relación sólo indirecta AIO-mar**, por el neógeno – cuaternario de Balanegra.

3.9.2- El período 1980 -1985

Se inició la profundización en la investigación, con máxima exigencia en el contraste directo de los datos básicos, avanzando las interpretaciones sólo a partir de éstos, priorizando la utilización de las metodologías que aportaban la máxima fiabilidad a los resultados. Con los métodos más clásicos se fueron identificando los **tramos litoestratigráficos captados, punto a punto** (apoyados en diagrafías eléctricas y de gamma natural y, sobretodo, en sondeos paramétricos, etc.) **sus históricos del bombeo, piezométricos y de características hidroquímicas, flujos verticales, etc.**

Se definieron los principales acuíferos del Campo: los inferiores (AIO y AIN), prolongación –bajo el relleno neógeno- del flanco meridional de carbonatos triásicos de la Sierra; por otro lado los de **cobertera neógena, ASC y ASN** (pliocena), y AItN esencialmente miocena, con lo que, al final del período, quedó diseñado en sus rasgos principales el **modelo conceptual de geometría y funcionamiento del sistema**, contrastado y mejorado permanentemente desde entonces con la aparición de nuevos datos.

Por la aún insuficiente depuración de la identificación de acuíferos captados por gran número de puntos, no se abordó en este período el estudio exhaustivo de las características fisicoquímicas de los diferentes acuíferos, para evitar errores básicos de comparación de datos.

Con la ejecución de 10 sondeos mecánicos de investigación en la franja costera del Campo, al final de este período, se **descartó la posibilidad de intrusión marina entre Roquetas y la Rambla de Balanegra**. Por otra parte, se **confirmó el intercambio de flujos entre Balanegra y el**

mar, por el noroeste, y entre Roquetas – Aguadulce y el mar por el noreste. En el segundo caso se llegó a comprobar que, además de la relación directa entre los carbonatos (AIN) y el mar, también ésta se producía de forma indirecta por la cobertura neógeno – cuaternaria. En la zona de Balanegra, se resolvió la incertidumbre de la relación AIO – mar al final de esta etapa de trabajos, con la ejecución por el IGME de los sondeos profundos B-9 y B-10 que demostraron el aislamiento directo del AIO con el mar, por la interposición de centenares de metros de permotriás impermeable y margas pliocenas, definiéndose el pequeño acuífero neógeno de la “Escama de Balsa Nueva” (AEBN), ya entonces afectado por intrusión marina, que lateralmente venía trasfiriendo al AIO (deducido por las evoluciones piezométricas).

Aunque con serias dudas sobre la fiabilidad de estas cuantificaciones, tras los tratamientos de datos climáticos y estimaciones de infiltración de lluvia útil en los diferentes acuíferos, se hicieron evaluaciones de recarga por precipitación, que posteriormente serían desestimadas en su conjunto por su escasa fiabilidad.

3.9.3.- El período 1985 – 1995

Fue la **continuación y mejora**, en lo posible, del conocimiento de la geometría de este sistema de acuíferos, con seguimiento directo de nuevos sondeos profundos en la llanura y reconocimientos de superficie en la Sierra, revisión de datos de puntos de agua en los márgenes del macizo, seguimiento de sus redes, etc., consolidándose cada vez más el modelo conceptual del conjunto con sucesivos ajustes por la incorporación de los nuevos datos, de todo tipo. Se mostraba ya la gran coherencia entre causas modificadoras del funcionamiento y sus respuestas, observadas en los acuíferos, tanto en la calidad química como en las relaciones de flujos. En esta etapa se admitió ya como muy probable el trasvase subterráneo al AIN desde El Alto Andarax, lo que restó garantía a cualquier estimación de entradas a este acuífero (el más importante del Campo) y por tanto a las tentativas del balance hídrico del conjunto. Con la proliferación de las perforaciones profundas para captar el AIN y el AIO, las nuevas informaciones permitieron un trabajo exhaustivo de correlaciones entre sondeos bien conocidos mediante una densa red de sucesivas series de cortes hidrogeológicos entrelazados que aportaron un conocimiento de notable detalle del tramo acuífero profundo. Se mejoró la comprensión de su estructuración en bloques (por fallas), con repercusión hidrogeológica muy variable (aumento o descenso de la permeabilidad hidráulica entre ellos), deducida de las evoluciones piezométricas observadas.

Con la ejecución de los sondeos profundos A-8, A-9, A-10 y A-11 para el seguimiento de la intrusión marina en el área de Aguadulce (dos de ellos financiados por la Dirección General de Minas de la Junta) se mejoró el conocimiento de este proceso y se aportaron muy interesantes informaciones, sobre la estructura en capas del paquete carbonatado triásico (localmente formando “subacuíferos”) superpuesta a la de bloques, de gran relevancia para comprender la transmisión de flujos con agua de mar procedentes de intrusión marina activa o no, y también el conocimiento de la circulación subterránea en el seno del macizo y de sus discretas acumulaciones colgadas.

En relación con el AEBN, y dada la reciente entrada en servicio del canal de Beníñar – Aguadulce (que podía permitir trasvasar excedentes no utilizables del Río Adra al Campo) se inició una interesante colaboración entre técnicos del IGME y del SGOP, en principio para ensayos previos al estudio de viabilidad de medidas correctoras de la entrada de flujos salados al AIO desde el AEBN. Para el citado estudio, entre 1988 y 1991 este último Organismo ejecutó los sondeos 485BJ, 486BJ y 506BJ en Balanegra y se realizaron ensayos hidrodinámicos; estos

puntos se añadieron a los dos ya realizados por el IGME para formar parte de una eventual infraestructura de recarga en el AEBN con objeto de aminorar/frenar la entrada de agua marina al acuífero inferior. Esta colaboración no prosperó, pero mejoró mucho el conocimiento de la geometría del AEBN y la relación entre el ASC y el AIO.

Tanto en el frente oriental de penetración de flujos de agua de mar desde Roquetas - Aguadulce, como en el occidental al AIO, no se dispuso de puntos de observación adecuados para seguir el avance de la intrusión marina hacia el interior, donde fueron emigrando las principales zonas de extracción de los acuíferos inferiores. **En el AIO, las relativamente discretas penetraciones de sus captaciones** (frente al importante espesor de este acuífero) **impidieron su observación, aunque era seguro el avance del proceso desde 1980/81.** Ya se conocía que el potente AIO, con su situación piezométrica, está inmerso en “un fondo de saco” impermeable, con el AEBN como única conexión con el mar, y con una piezometría negativa mucho más profunda que la de otros acuíferos de su entorno. Podría haber funcionado como un embalse, en este caso subterráneo, receptor de eventuales excedentes del Río Adra, cuya viabilidad se supone descartada por el Organismo de cuenca.

En el Sector Noreste del Campo, las captaciones realizadas por los particulares permitieron detectar avances de las mezclas saladas, tanto en los carbonatos triásicos y miocenos asociados como en las coberturas neógenas (miocenas y pliocenas) de las áreas de La Gangosa y El Viso, mediante la realización de muestreos en profundidad y en bombeo, así como de diagrafías detalladas de nueve campañas entre 1989 y 1996. Destacaron por su apoyo al Estudio los gestores y técnicos de la C. R. Sol y Arena (heredera de la infraestructura de sondeos del IRYDA) que, como los de la Junta Central de Usuarios del Acuífero del Poniente Almeriense, que fueron observando el cumplimiento de las interpretaciones y previsiones resultantes del mismo, y preocupándose por la progresión hacia el interior del deterioro de sus captaciones.

Ya en este período previo al Programa, el avance de la salinización se produjo tanto en el AIN (a través de carbonatos triásicos y los materiales de cobertura relacionados, vía Aguadulce - Gangosa - Vícar), y en parte por la cobertura -pliocuaternaria (y miocena relacionadas en la costa norte de Roquetas) hacia una depresión de bombeo situada en las áreas de El Viso y La Gangosa (que llegó a sobrepasar los -20 msnm en la primera) manteniéndose al menos 18 años con cotas negativas. **Se produjeron importantes incrementos en las salinidades del agua de bombeo de las captaciones utilizadas en la capa libre del AItN del área de La Gangosa** (especialmente usadas para abastecimiento a Almería) hasta del orden del 272% en el contenido en cloruros desde 1985 A 1990, mientras que en las muestras de bombeo de los sondeos profundos entonces existentes en el AIN de El Viso aún se observaban valores de salinidad muy bajos: al final del período, a unos 8 km de la costa no habían llegado las mezclas saladas al acuífero inferior.

Como consecuencia de los cambios en el bombeo (con abandono del que se practicó en el AIN de áreas cuando se salinizaron, y de gran parte del de las coberturas, y el incremento correlativo en el del AIN de las áreas más interiores de El Viso y El Águila) **se fueron produciendo recuperaciones del nivel en las áreas abandonadas, superando sus cargas hidráulicas a las cotas piezométricas permanentes del AIN** por su régimen continuo de extracciones, cada vez más bajas, con niveles negativos desde el año 1993/94, produciéndose la consiguiente inversión del flujo, desde las áreas abandonadas con ascenso de niveles hacia el AIN.

3.9.4.- El período 1995 - 2005

Representó una continuidad del período anterior, concentrando los insuficientes medios disponibles en el sistemático contraste / ajuste del modelo conceptual de geometría y funcionamiento de acuíferos, destacando las mejoras que siguieron aportando los nuevos sondeos profundos (y reprofundización de captaciones existentes). **Se contrastó una vez más el aislamiento del AIO del mar en el suroeste del denominado Horst de Guardias Viejas** (recubierto por impermeables paleozoico-triásicos y margas neógenas) **entre otras mejoras de detalle de la geometría y funcionamiento de los acuíferos inferiores, ya con más del 85% del bombeo global del Campo, para atender a un 80% del total de las demandas de éste y Almería ciudad.**

Se continuó el seguimiento de la evolución piezométrica, así como del bombeo de detalle y de las características físico-químicas del agua (en estos dos últimos casos sólo hasta 1999-2001 por falta de disponibilidad de medios económicos y de equipo técnico). **En el AIO continuaba sin detectarse la influencia del avance de la salinización tierra adentro y hacia el techo de su zona saturada**, dada su gran potencia y la relativamente baja penetración de sus captaciones por sus grandes rendimientos, **aunque el proceso de contaminación avanzaba**, sin dudas, **dado el incremento del gradiente mar – AEBN -AIO. En el Sector Noreste, la explotación del AIN ya se había abandonado prácticamente en las zonas libres y confinadas de Aguadulce y La Gangosa, así como en las coberteras del área de El Viso**, con la inversión del flujo ya señalada. **Las zonas salinizadas de estos acuíferos serían, en su mayor parte, irrecuperables, al menos en un plazo muy largo.**

Desde 1997 se advirtió el empeoramiento del agua en algunas captaciones profundas del área de El Viso, proceso que se interpretó, como **efecto de la entrada de flujos salados procedentes de los acuíferos de cobertura**, atendiendo a los datos hidroquímicos obtenidos de mezclas de bombeo, teniendo en cuenta la compleja geometría de la zona, las características constructivas conocidas de las captaciones y las relaciones de flujos entre los acuíferos de cobertura e inferiores, con recarga desde los primeros a los segundos desde el inicio del período. **El sondeo de investigación 167VC, de 1200 m de profundidad**, ejecutado por la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía, **mostró aún agua dulce en toda su penetración en el AIN**. Hay que destacar la atención prestada al Estudio, en esta etapa, por la citada Consejería, como también el apoyo prestado por la JCUAPA.

CAPÍTULO 4: EL PROGRAMA DE ACTIVIDADES DE APOYO A LA PROTECCIÓN – REGENERACIÓN DE LOS ACUÍFEROS DEL SUR DE SIERRA DE GÁDOR – CAMPO DE DALÍAS

Dada la importante pérdida creciente de las únicas reservas de agua aún dulces de los Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías, por el proceso activo de salinización progresiva de sus acuíferos más importantes, **la Agencia Andaluza del Agua (AAA), ACUAMED y la JCUAPA, solicitaron al IGME en 2006 un Programa de actividades de apoyo a la protección – regeneración posible de estos acuíferos** (que, como se ha dicho, durante décadas vienen siendo intensamente explotados para abastecer a la mayor parte de la pujante agricultura de primor de esta Comarca y a una población de unos 400.000 habitantes, estando considerados entre los más importantes del área mediterránea ya que, pese a su carácter predominantemente carbonatado y costero, vienen dando el soporte principal al desarrollo social y económico de la provincia de Almería). El Programa fue elaborado y presentado por el Instituto en junio de dicho año.

La propuesta de este tipo de programa fue acogida positivamente por el IGME, no sólo por los objetivos de sostenibilidad que se proponía, sino por la integración de instituciones que conllevaba una actitud de abordar el problema planteado en estos acuíferos con puntos de vista multidisciplinares y de conjunción de sus responsables y usuarios, única forma realmente viable para solucionarlo, en lo posible, acorde con la nueva cultura y las políticas vigentes del agua. Además, respondía a las recomendaciones históricas expuestas por el Organismo a lo largo de años de investigación y asesoramiento sobre estos acuíferos, que quedaron plasmadas, entre otros documentos, en las consideraciones incluida en el folleto de divulgación difundido en 2003 (Ref. 469-00, incluido en el **Anexo 1.1**) con apoyo de la JCUAPA, el cual, en su página 24, incluye el texto siguiente:

- La evolución continua de la tendencia descendente de los niveles del agua en los acuíferos inferiores -los principales del conjunto de acuíferos del Campo- constituye una situación de “sobreexplotación” de la cantidad, sin necesidad de señalar otros problemas existentes que hacen insostenible el uso que se hace actualmente del mismo. Pero, conviene destacar que, en sí misma, esta realidad no ha sido negativa, en su conjunto, sino todo lo contrario, en la medida que ha hecho posible la transformación socio-económica de la Comarca (y de la provincia) de todos conocida.

- No obstante, debe añadirse también que no todos los efectos acusados por los acuíferos han sido inevitables. En ocasiones, y en distintos aspectos, su utilización parece haberse despreocupado del funcionamiento de los mismos, de manera que, para el futuro, se requiere un planteamiento consecuente de actitudes por parte de administraciones y de usuarios. Las actividades agrícolas y urbanas generan, en distinto grado, contaminaciones en los acuíferos sobre los que se asientan, que deben ser controladas, minimizadas o evitadas en lo posible.

- **La forma de uso actual** de estos acuíferos, y el historial de la misma, viene generando una tendencia creciente a la no utilización directa del agua extraída, por la excesiva salinidad alcanzada de las mezclas que se van generando. **Este proceso se inició hace décadas en los acuíferos de cobertura** -ya por ello, en buena medida, muy poco explotados- y **más tarde en algunas áreas** -que serán cada vez más extensas si no se pone remedio- **de los acuíferos inferiores, de los que se extrae un 85% del agua bombeada.** En estas áreas, **la calidad natural de sus aguas** (muy aceptable inicialmente para los usos tradicionales) está sufriendo transformaciones por distintos procesos contaminantes que, aunque son aún incipientes, en general, en algunos casos ya exceden los límites de admisión para las demandas (áreas de Aguadulce, La Gangosa, Vícar, etc.); algunas de estas contaminaciones podrían afectar a las zonas de captación de aguas para uso urbano. Por todo ello, **es necesario prestar atención a la corrección de estas tendencias, abordando cuanto antes las medidas adecuadas.**
- **El uso sostenible** del subsistema (que hoy reclama la política de aguas) precisa adoptar medidas contempladas desde perspectivas multidisciplinares para su regeneración y protección -contando inexcusablemente con los usuarios-, fundamentadas en la información hidrogeológica ya disponible. Con lo que se conoce, ya pueden discutirse y decidirse los tipos de actuaciones de gestión; el diseño concreto de éstas necesitará realizar investigaciones complementarias y actualizadas, de carácter específico, en cada caso.
- **Para avanzar en el conocimiento de estos procesos de contaminación,** actualizar el estado de éstos, y controlar la eficacia de las medidas correctoras y protectoras que se implanten en los acuíferos, **se necesitará partir del profundo conocimiento ya alcanzado sobre el funcionamiento de los mismos.**
- **La gestión a realizar deberá hacer compatibles** (para su buen fin) **la atención a la actual situación de demandas, con la mejor solución posible de los problemas planteados.** Exige: **la disminución de bombeos en los acuíferos inferiores** (para llegar a la recuperación necesaria), y **la sustitución racional de parte de los mismos por nuevos recursos.** Los más asequibles se obtendrían de la desalación de agua de mar -al parecer ya decidida-, y de aguas regeneradas, complementados con las extracciones ponderadas, en acuíferos de cobertura, que sean necesarias para corregir las tendencias indeseables ya conocidas (sin generar otros problemas). Para el uso de estos recursos complementarios se precisará de tratamientos previos para adecuar sus calidades.
- **Estas extracciones de acuíferos de cobertura deberán ubicarse en zonas estratégicas, basadas en el modelo conocido de su funcionamiento,** atendiendo a la mitigación - corrección de los procesos indeseables que se vienen originando (transferencias de contaminantes a los acuíferos inferiores, inundación de zonas bajas, intrusión marina, afección en vertederos, etc.) respetando, todo lo posible, humedales naturales y provocados por el hombre (caso de Las Norias).

- *En relación con sus problemas concretos, ayuntamientos, comunidades de usuarios y particulares se han interesado por las medidas más adecuadas para solventarlos. La respuesta siempre ha sido la misma: las soluciones pasan por un planteamiento global, dada la interrelación de acuíferos, la magnitud del coste de las operaciones, la necesidad de implicación de todos los interesados, etc..*

- *Debe abordarse la puesta en práctica del contraste de opiniones, abriendo el debate multidisciplinar para depurar la información que deba fundamentar las decisiones que se adopten, cuyo éxito, se insiste, exige la implicación responsable de los usuarios. El grado de implicación de los interesados en dichas decisiones debería plasmarse en documentos o convenios suscritos por las partes, que incluyeran actuaciones concretas.*

El citado Programa, consideró viable **la corrección del proceso activo de destrucción de dichas reservas dulces**, cambiando el uso que se está haciendo de los mismos a una forma sostenible con el siguiente condicionante: **era viable si se actuaba en coherencia con la evolución bien contrastada del funcionamiento, pasado, presente y futuro, de este conjunto de acuíferos**, eliminando cuanto antes, en todo lo posible, las causas que han provocado hasta ahora su continuo proceso de salinización. Ello requería:

- a) dada la naturaleza y progresión del proceso de contaminación, realizar, con la mayor urgencia técnicamente posible, una importante **reducción de bombeos en los acuíferos inferiores, adecuadamente aplicada**. Ésta sería posible con la provisión a las demandas de la zona de los correspondientes recursos de sustitución previstos: los obtenidos por la **desalación de agua de mar** –que estarían disponibles en 2010-, complementados con los necesarios volúmenes procedentes de **bombeos en zonas estratégicas de los acuíferos de cobertura y con aguas regeneradas, en ambos casos convenientemente tratados**.

- b) teniendo en cuenta la complejidad hidrogeológica de este sistema de acuíferos y sus cambios de funcionamiento, **para la viabilidad del Programa** también se requería la **provisión de un equipo humano, muy especializado en este medio y su problemática, necesariamente integrado por personal permanente, muy interesado en su estudio y adiestrado durante los primeros años de rodaje del Programa, que permitiera, de manera adecuadamente informada, desarrollar el seguimiento continuo del estado de evolución de estos acuíferos**, atendiendo, con conocimiento de causa, a: los cambios a provocar en los mismos para alcanzar el objetivo de corrección deseado; a los efectos conseguidos con los que evaluar la idoneidad de las medidas de corrección – protección que se adoptaran; a las necesidades de mejora / adecuación de las infraestructuras de observación. En definitiva: **atendiendo a las necesidades requeridas en el proceso de seguimiento de datos, y la interpretación correcta de la evolución del funcionamiento del conjunto de estos acuíferos, para su gestión y utilización racional**.

La formulación del Programa que se puso en marcha, **con voluntad unánime de las Partes en cuanto a la continuidad en su desarrollo, planteó**, como imperativo lógico, **la necesidad que le fue impuesta de llevar a cabo una primera fase (Fase I) con duración máxima de dos años**, en la que obtener unas primeras conclusiones destinadas a gestores y usuarios, derivadas de la actualización máxima posible del funcionamiento de los acuíferos, **atendiendo a las disponibilidades de tiempo y equipo humano**. Se trataba de concluir en dicho plazo una orientación preliminar para iniciar la aplicación de las reducciones de bombeos en los

acuíferos inferiores y el aumento de extracciones en las coberturas (como volúmenes complementarios antes citados, que podrían requerir el adecuado tratamiento), entre otras recomendaciones que pudieran alcanzarse.

Este Programa fue aprobado por la AAA, ACUAMED, la JCUAPA y el IGME (las Partes) con el **Acuerdo de Intenciones firmado en enero de 2007** (Documento 240-06, incluido en el **Anexo 13**). El compromiso en 2008 de iniciar el Programa de sostenibilidad mediante la llamada Fase I, se plasmó en el **Convenio de colaboración suscrito por las cuatro entidades citadas** (Documento 240-7, en **Anexo 13**). En éste, cada una de ellas se hacía cargo de una parte de las actividades que incluía, todas interrelacionadas y coparticipadas. Además, la dirección de los aspectos hidrogeológicos correspondió al IGME, como también las funciones de coordinación de la Fase I y de secretaría de la Comisión de Seguimiento del Convenio.

La programación inicial de actividades de esta colaboración (impuesta por la previsión de disponibilidad del agua desalada) quedó amparada económicamente para su ejecución, durante los dos primeros años, y su diseño se llevó a cabo en el contexto asumido por las Partes que incluía **tres aspectos**:

- la **estrecha colaboración entre Administraciones y usuarios** para su buen fin.
- la **necesidad de contar con inversiones adecuadas a la importancia de estos recursos subterráneos**: una financiación de 2,4 millones de Euros **para los dos años de duración prevista de la Fase I**.
- su **concepción acordada para todas las fases del Programa, como actuación permanente y experimental**, fundamentada en la exigencia técnica de mantener y actualizar el conocimiento acumulado sobre estos acuíferos, por la necesidad de un **seguimiento continuo de los efectos provocados por el uso y por las acciones que se decidiera implantar**, para su contraste permanente y corrección en su caso.

Así, por la naturaleza del problema esta concepción experimental y permanente se concibió para todas las fases del Programa: las operaciones que se fueran aplicando en apoyo a la protección – regeneración provocarían cambios de tendencias en el funcionamiento presente de los acuíferos, de manera que fueran disminuyendo progresivamente los problemas existentes en la situación de partida. En este sentido, su **diseño inicial deberá modificarse** a medida que se vayan alcanzando objetivos, para llegar a un **equilibrio** que permita el uso sostenible sin pasar a cambios no deseados. Se trata de una **gestión adaptativa**, cuyas actuaciones fundamentales y objetivos de cada una de ellas se presentan en la **Figura 4.1**.

La **Figura 4.2** muestra los términos principales de atención por parte de los gestores. Como punto de partida se conoce, ya desde hace décadas, que: las demandas de la zona son mucho mayores que las entradas a los acuíferos inferiores y de cobertura, lo que trae consigo la sobreexplotación y pérdida progresiva de reservas dulces de los acuíferos inferiores, y la necesidad de obtener recursos ajenos a los acuíferos y de preservar la utilidad de los procedentes de los acuíferos inferiores del Campo en proceso de destrucción. Así, la Atención a las demandas (D) debe suministrarse con los términos (a), (b), (c), (d) y (e) del balance.

A lo largo de este proceso experimental (Fase I y siguientes) se podrá ir acotando de manera más fiable la cuantía de las **aportaciones sostenibles de los acuíferos inferiores** (término **c** de la **Figura 4.2**), que **irán en disminución durante el tiempo que permanezcan estos acuíferos con el**

uso actual. Éstas deberán complementarse con las que puedan obtenerse (con el necesario tratamiento: mezclas, desalobración, desinfección, etc.) mediante bombeos en los **acuíferos de cobertura** y, en su caso, de **zonas ya salinizadas de los acuíferos inferiores** (término **d**), que precisan estabilizarse para evitar, según los casos, su capacidad contaminante a las zonas aún dulces de los acuíferos inferiores o los problemas de inundación, en zonas bajas, por el ascenso de niveles, en casi todos los superiores, a consecuencia del uso; todo ello para acopiar volúmenes que complementen la necesaria sustitución de bombeos en dichas zonas dulces. **El Programa tiene como objetivo principal estabilizar la cuantía de los términos c y d**, a sabiendas de que la suma de ambas aportaciones de los acuíferos es insuficiente, con mucho, para abastecer las demandas, pero entendiendo que la conservación de los recursos naturales de estos acuíferos supone una garantía más segura para la sostenibilidad que se persigue de la zona.

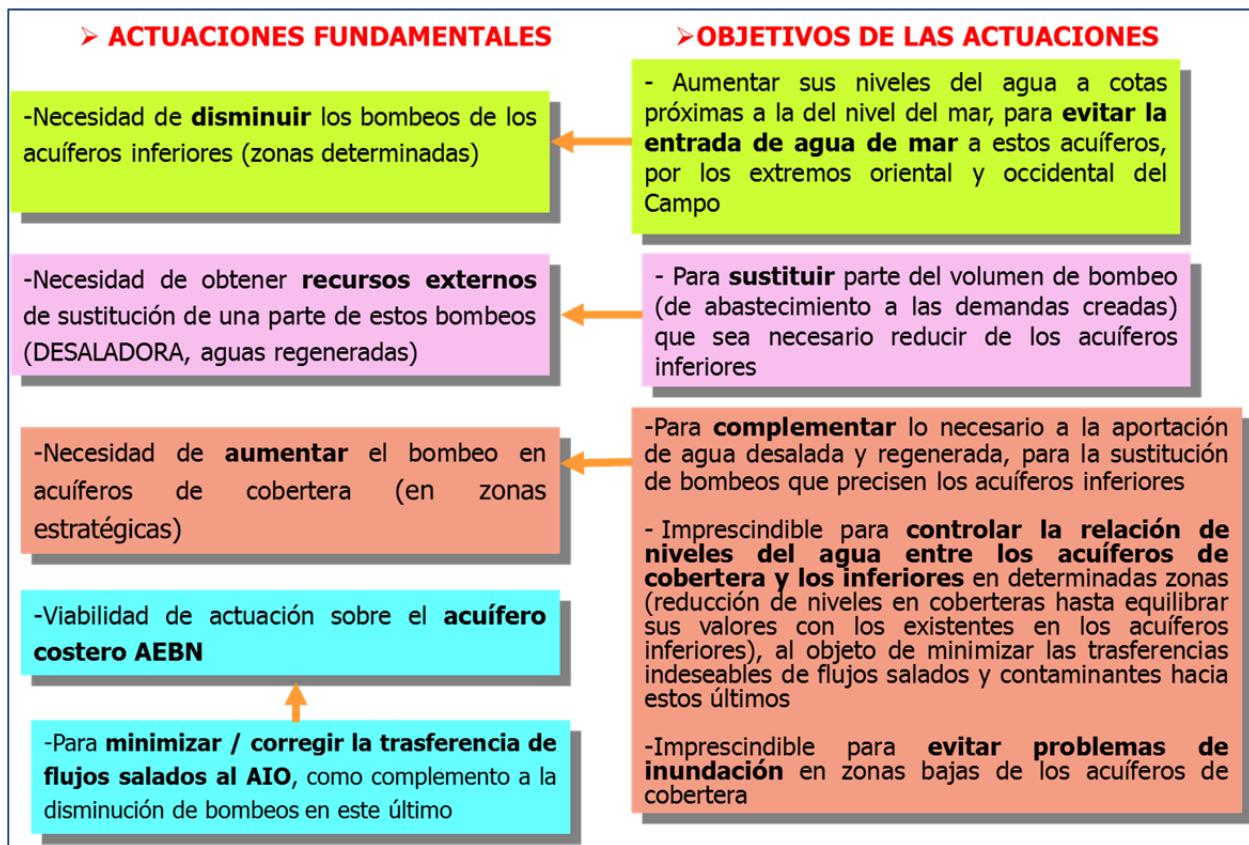


Figura 4.1: Actuaciones fundamentales del Programa de sostenibilidad y sus objetivos.

El Organismo gestor tomó la decisión de obtener los recursos externos con la desalación de agua de mar (término **a** del cuadro), así como con la reutilización de recursos regenerados (término **e**) y con el concurso del agua importada procedente del Embalse de Beníñar (término **b**). La previsión actual de dichos recursos según dicho Organismo es: **“para el horizonte de 2015, está proyectada la utilización de 32 hm³ de agua desalada y 15 hm³ de agua regenerada, mientras que, para el 2027, se trata del uso de 54 hm³ de agua desalada y 20 hm³ del otro origen citado para la atención a las demandas hídricas”** (según quedó recogido en el Acta 5 de la reunión de la Comisión de Seguimiento del Convenio celebrada en Julio de 2010, Documento 240-5, en **Anexo 13**).

De acuerdo con estos datos, la situación del suministro de agua a las demandas, presenta hasta ahora las siguientes circunstancias para sus diferentes términos (ver cuadro anterior):

- **término c** (reservas aún dulces de los acuíferos inferiores): en tendencia decreciente hasta que se alcance la estabilización, que irá obteniéndose, si se aplican las medidas correctoras que se decidan, durante la Fase II. Las pérdidas de estas reservas dulces (entendiéndolas como recursos no renovables y renovables) por salinización, en gran parte serán irreversibles a largo plazo (en AIO, AIN de El Viso, coberteras de las áreas de El Viso – La Gangosa, etc.).
- **término d** (reservas de acuíferos de cobertura que precisan tratamientos): no se ha iniciado aún su utilización con este enfoque, que deberá ser máxima y llegar después a su estabilización, aminorando su aportación en lo que aconseje el imprescindible seguimiento a llevar a cabo, en cada zona y acuífero, durante la puesta en práctica de las medidas de protección - regeneración.

Las demandas de la zona son mucho mayores que las entradas a los acuíferos inferiores y de cobertura, lo que trae consigo la sobreexplotación y pérdida progresiva de reservas dulces de los acuíferos inferiores, y la necesidad de obtener recursos ajenos a los acuíferos y de preservar la utilidad de los procedentes de los acuíferos inferiores del Campo en proceso de destrucción. Así, la Atención a las demandas (D) debe suministrarse con los términos (a), (b), (c), (d) y (e) del balance:

$$D = (a) + (b) + (c) + (d) + (e)$$

Siendo:

APORTACIONES AJENAS A LOS ACUÍFEROS DEL CAMPO:

(a): Desalación de agua de mar; (b): Agua importada al Campo de Dalías (Pantano de Beníñar y otras posibles)

APORTACIONES PROPIAS DE LOS ACUÍFEROS DEL CAMPO:

(c): Reservas aún dulces de acuíferos inferiores; (d): Reservas de acuíferos de cobertura e inferiores, que precisan de tratamientos para ser utilizables por las demandas; (e) Recursos regenerados de distinto origen

El Objetivo del Programa de sostenibilidad es ESTABILIZAR LOS TÉRMINOS (c) y (d), dado que cuanto más tiempo pase sin corregir el actual funcionamiento, el (c) será menor – por su tendencia progresiva a la salinización-, y el término (d) que tiende a crecer en cantidad –ascenso de niveles del agua- seguirá dando lugar al deterioro de la calidad de los acuíferos inferiores y producirá problemas de inundación en zonas bajas, de manera que irá aumentando el volumen necesario de Recursos Ajenos al Campo para equilibrar el balance.

Figura 4.2: Términos principales de atención por parte de los gestores.

- **término a** (agua desalada): el proyecto de desaladora está actualmente en ejecución, con terminación de una primera fase prevista para el final de 2014.
- **término e** (aguas regeneradas): el volumen previsto de agua regenerada para el primer horizonte ya está disponible, pero aún sin utilizar.

- **término b** (aguas del pantano de Benínar, etc.): la importación desde el Embalse de Benínar es muy irregular. Otras posibles fuentes de suministro desde la Cuenca del Adra están aún sin concretar (aparentemente). Se estimó en su día que podrían alcanzar, con las de Benínar, hasta 20 hm³ al año.

Sobre las **características de las fases que en su día se definieron para este Programa de sostenibilidad de gestión adaptativa** se tiene que (Fig. 4.3):

- **la Fase I, formulada para desarrollarla en dos años**, fue iniciada a mediados de 2008 para terminarla a mediados de 2010. Su diseño comprendió una actualización de datos básicos del estado de partida de los acuíferos referido a 2007/08 y una mejora de conocimientos que permitiera ir orientando las actuaciones sobre los mismos, a realizar en el contexto de la gestión de todos los recursos aplicables a la zona (atendiendo al planteamiento ya descrito en el cuadro anterior). **El retraso de la disponibilidad del agua desalada**, que condicionó el periodo de observación definido inicialmente para los trabajos de la Fase I, **ha generado una falta de medios para proseguir de forma adecuada con las actividades que requiere la evolución activa del funcionamiento de estos acuíferos, desde 2011**, hasta que se disponga de la dotación presupuestaria necesaria para realizarlas, con la continuación del desarrollo del Programa.

La organización administrativa de la Fase I correspondió con el ya citado Convenio de colaboración. Con un presupuesto de 2.4 millones de Euros, fue financiada por ACUAMED (50%), la AAA (29%) y el IGME (21%), con la colaboración de los principales usuarios de la zona (JCUAPA) que facilitaron accesos a sus instalaciones y apoyaron la obtención de nuevas informaciones entre 2008 y 2012.



Figura 4.3: Los tres bloques principales de objetivos del Programa y sus actividades esenciales y desarrollo a lo largo de las tres fases del mismo. Del documento 58 del IGME, 2007 (incluido en el **Anexo 13**).

- la **Fase II** debía suponer la **implantación experimental** de las operaciones de reordenación del bombeo que se establecieran preliminarmente en la fase anterior: disminuciones en zonas de los acuíferos inferiores (seleccionadas por su mayor riesgo de salinización) y aumentos de bombeos en zonas estratégicas preferentes de los acuíferos de cobertura. Se utilizaría, en lo posible, la infraestructura de extracción y almacenamiento preexistente (modificada o actual). Otros estudios tendrían que plantearse posteriormente, como complementos necesarios de información y reconducción de las desviaciones observadas. Los efectos provocados con las medidas implantadas deberían observarse y analizarse permanentemente, desde su inicio, para comprobar su efectividad, con una infraestructura de control principalmente de captaciones preexistentes, pero que precisaría complementarse con nuevos puntos de observación y/o captación. Como se ha comentado, **esta fase no llegó a gestionarse**.

- la **Fase III** es la de **modificaciones experimentales por ajustes sucesivos en las operaciones** de reducción de bombeos de los acuíferos inferiores y de extracciones en los acuíferos de cobertura. Puede requerir nuevas captaciones de extracción y de control de la efectividad de estas operaciones, cuya idoneidad deberá analizarse permanentemente. En caso necesario, habrá que llevar a cabo simulaciones y selección de nuevas alternativas de modificación del bombeo, hasta alcanzar los objetivos de equilibrio perseguido de forma permanente en los términos c y d definidos.

Los tres bloques principales de objetivos del Programa, sus actividades esenciales y desarrollo a lo largo de las tres fases se exponen en la **Figura 4.3**.

CAPÍTULO 5: OBJETIVOS DE LA FASE I Y DEFINICIÓN DE SUS PRINCIPALES TRABAJOS PROYECTADOS

Los objetivos principales de la Fase I, en su definición y financiación inicial, han sido dos: la **actualización del conocimiento del estado de partida del funcionamiento del subsistema y de su infraestructura de uso** (Objetivo Primero) y la **propuesta de primeras alternativas de reordenación de bombeos: reducción en acuíferos inferiores y aumentos en coberturas en zonas estratégicas** (Objetivo Segundo). La **Figura 5.1** expone los trabajos principales para cada uno de ellos. A cada Trabajo se le dio un nombre abreviado (1A, 1B...2D, 2E..6A, etc.), formado por una letra mayúscula consecutiva, precedida del número del objetivo al que correspondía, y es con esa nomenclatura como se refieren los distintos trabajos en los cuadros de control de los documentos generados.

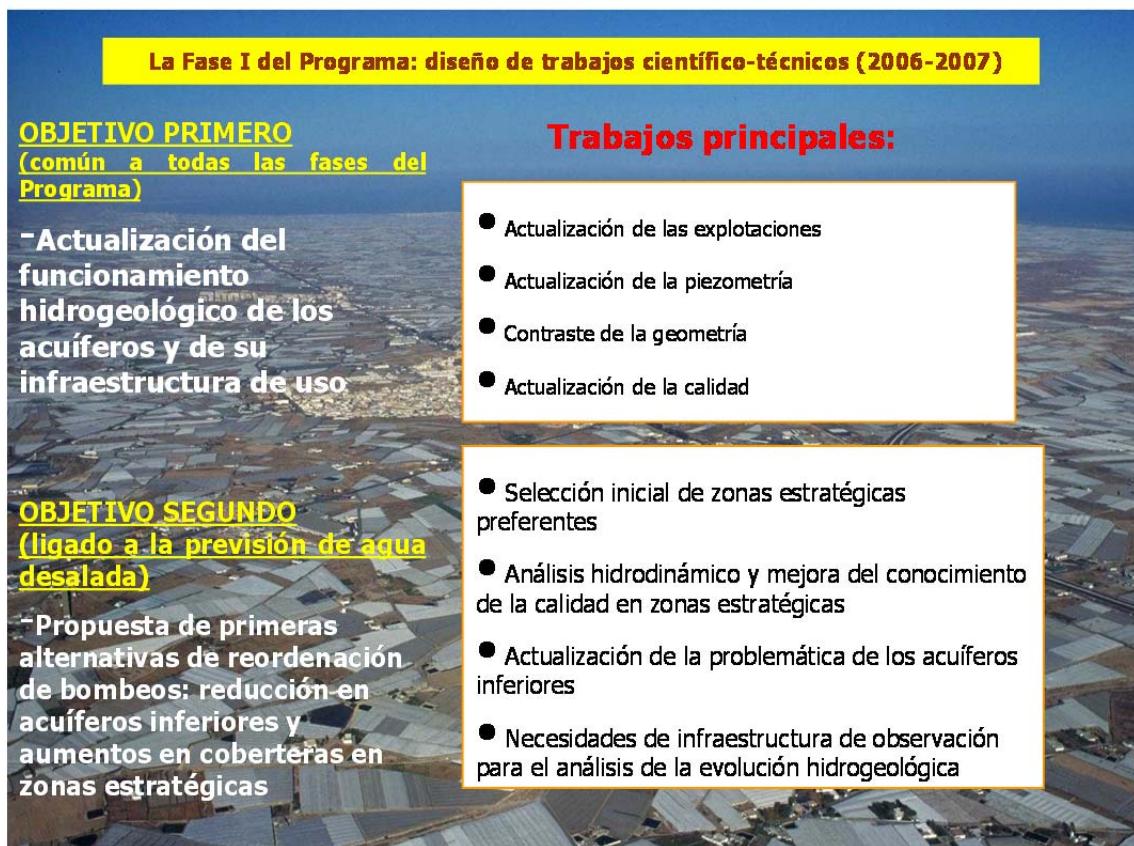


Figura 5.1: Los dos objetivos principales de la Fase I y sus principales Trabajos. Modificada de [IGME \(2007\)](#)

En las partes 1 y 2 del **Cuadro 5.1**, se exponen las tareas de detalle llevadas a cabo de cada uno de los trabajos de este **Objetivo Primero** de la Fase I: actualización de explotaciones, actualización del conocimiento de la piezometría, contraste / modificación del modelo geométrico del subsistema y detección de principales focos de contaminación potencial por su influencia en los acuíferos inferiores, y actualización del conocimiento de la calidad general. Como ya se ha dicho, este primer objetivo es **común a todas las fases del Programa**, es una actividad permanente.

Por su íntima relación -con base en el mismo tipo de variables y coincidencia en gran parte de sus tareas- se incluyeron juntos los trabajos: Actualización del conocimiento de la calidad general del agua en los principales acuíferos (1E) y Mejora del conocimiento de la calidad del agua en las zonas estratégicas preferentes de los acuíferos (2B), cuyas tareas se muestran en la parte 2 de dicho cuadro.

Cuadro 5.1: Objetivo Primero. Trabajos y detalle de sus tareas

TRABAJOS	TAREAS
1A Actualización de explotaciones.	Obtención de nuevos datos (horas y volúmenes de bombeo) 2007/08 y 2008/09.
	Realización de aforos en puntos de interés para 2007/08 y 2008/09.
	Seguimiento de los nuevos datos 07/08, documentos de revisión; Seguimiento de datos 08/09; documento preliminar de 07/08
	Seguimiento de explotaciones 07/08, documentos de revisión preliminar 07/08
	Obtención de datos 2000/07 en acuíferos inferiores y su encuadre histórico.
	Seguimiento explotaciones 08/09. Documentos finales del trabajo.
1B Actualización del conocimiento de la piezometría.	Carga de datos piezométricos en bases: 07/08-2010 y de los controles 2011- 2013.
	Diseño de campañas de nuevos datos piezométricos: 2008- 2010, y del control 2011-2013
	Ejecución de campañas de campo: 2008- 2010, y controles 2011, 2012 y 2013
	Seguimiento/comprobación de nuevos datos de las campañas y controles
	Documentos de campañas piezométricas realizadas entre 2008 y 2010
	Distribución espacial piezométrica 2007/08 a 2010/11: ejecución y su seguimiento
1C Contraste/modificación del modelo geométrico del subsistema.	Actualización de la evolución temporal piezométrica hasta 2013: ejecución y su seguimiento
	Síntesis de la variación espacial histórica de la piezometría
	Propuesta, seguimiento y revisión del diseño hidrogeológico de la mejora de la red piezométrica general
	Documentos preliminares, de revisión, parciales y finales del trabajo
	Nuevos datos/informaciones sobre la infraestructura de sondeos desde 1999/00 a 2010; controles mínimos 2011-13.
	Seguimiento y revisión de los nuevos datos sobre sondeos existentes.
1D Detección preliminar de los principales focos de contaminación por su potencial influencia en los acuíferos inferiores.	Informatización de las nuevas informaciones / modificaciones.
	Contraste/modificación, con los nuevos datos, del modelo de geometría.
	Documentos preliminares sobre el resultado del seguimiento de los nuevos datos
	Documentos de síntesis del contraste/ actualización de la geometría
	Detección y descripción de focos potenciales de contaminación. Informe descriptivo
	Seguimiento, documentos de revisión. Ponderación de su potencial influencia: documentos finales del trabajo.

Cuadro 5.1. Objetivo Primero. Trabajos y detalle de sus tareas

TRABAJOS	TAREAS
	Ejecución de calibraciones de aparatos a utilizar en las campañas y controles, y su correspondiente gestión, y su seguimiento: 2008 – 2013
	Gestión de ejecución de análisis externos al IGME: 2008 - 09
	Gestión de ejecución de análisis en el laboratorio del IGME: 2008-2013
	Comprobación previa y primeras elaboraciones de resultados analíticos externos al IGME: 2008-2009
	Gestión de apoyos de la JCUAPA a la planificación y ejecución de campañas.2008-2010 y controles 2011-2013
	Diseño preliminar de campañas de ejecución de registros y muestreos con botella, con comprobación previa de puntos en campo y otros apoyos. 2008-2012

Cuadro 5.1: Objetivo Primero. Trabajos y detalle de sus tareas	
TRABAJOS	TAREAS
1E Actualización del conocimiento de la calidad general del agua en los principales acuíferos	Gestión previa de materiales necesarios para el desarrollo de las campañas /controles, y su seguimiento. 2008-2013
	Gestión de apoyo en campo a la ejecución de las campañas/controles de registros y muestreo con botella. 2009-2012
	Seguimiento de las muestras obtenidas de las campañas/controles y su contraste con lo previsto. 2008-2013
	Ejecución de registros geofísicos y muestreos en profundidad: campañas y control 2009-2012.
	Seguimiento geofísico de registros y muestreo en profundidad: campañas y controles.2008-2012
	Seguimiento hidrogeológico de registros y muestreo en profundidad. 2008-2012
	Diseño de campañas /controles de muestreo en bombeo, y sus apoyos: 2008-2013
	Ejecución del muestreo en bombeo y su seguimiento: 2008-2010 y controles 2011-13
	Diagnóstico de adecuación de puntos de observación, como apoyo a su interpretación. 2010-2011
	Ejecución de análisis del laboratorio del IGME: 2008-2013
2B Mejora del conocimiento de la calidad del agua en las zonas estratégicas preferentes de los acuíferos.	Informes de campañas de registros geofísicos e informe de evolución de la salinidad según el archivo histórico de testificaciones, y sus informes de revisión.
	Ejecución de análisis de laboratorio externos (LAB).
	Comprobación previa, validación y carga de resultados de análisis del laboratorio del IGME.
	Ejecución de análisis isotópicos del agua en el laboratorio CEDEX. 2008-2009
	Comprobación previa, validación y carga de analíticos isotópicos (CEDEX). 2010
	Planteamiento de la captación, tratamiento e interpretación hidrogeológica de datos necesarios para el estudio de la calidad general y su mejora en las zonas estratégicas preferentes. 2008-2010
	Ánálisis preliminar de la incidencia de plaguicidas en la zona saturada de áreas estratégicas preferentes.2008-2010
	Complementación/rectificación del registro histórico analítico preexistente.2009
	Selección de puntos representativos de mayor interés, con datos en el registro histórico (asequible o no en la actualidad). 2008-2012
	Resultados del análisis de la variación temporal de la calidad del agua.2010-2011
	Resultados del análisis de variación espacial de la calidad general.2010-2011
	Actualización del conocimiento sobre procesos entrada de agua de mar. 2008-2013
	Resultados del análisis de la calidad del agua en las zonas estratégicas preferentes: distribución espacial y temporal. 2010-2011
	Clasificación previa de zonas estratégicas preferentes por objetivos de protección-regeneración.2010-2011
	Documentos preliminares, de revisión y finales de actualización de la calidad general, y de la mejora en las zonas estratégicas preferentes.

En el **Cuadro 5.2** se exponen las tareas de detalle realizadas de los principales Trabajos del **Objetivo Segundo**. Por su relación (con coincidencia en gran parte de sus tareas) se incluyeron juntos los trabajos: Análisis del conocimiento hidrodinámico de las zonas estratégicas y su mejora en las preferentes (2D), y Análisis de la conveniencia/viabilidad de recargas en el AEBN como medida protectora del AIO (2F).

Cuadro 5.2: Objetivo Segundo. Trabajos y detalle de sus tareas

TRABAJOS	TAREAS
2A Selección preliminar de zonas estratégicas preferentes para la reorientación de extracciones.	Análisis y redacción del informe. 2008
2C Clasificación documental de nuevas informaciones / elaboraciones en relación con la Fase I	De informaciones (distintos formatos) sobre funcionamiento general. Incluye estadillos actualizados fondo documental. Seguimiento e informes de estado. 2009-2013
	De informaciones (distintos formatos) sobre zonas estratégicas. Incluye estadillos actualizados fondo documental, seguimiento, informes parciales de estado e informe final. 2009-2013
	Clasificación de resultados derivados del Trabajo 6A (de difusión, coordinación, dirección hidrogeológica, etc.)
2D Análisis del conocimiento hidrodinámico de las zonas estratégicas y su mejora en las preferentes.	Estudio preliminar hidrodinámico (EPH), incluye informes parciales. 2009-2010
	Diseño, seguimiento e interpretación de pruebas y ensayos hidrodinámicos (E). 2009-2010
	Seguimiento EPH y E, con revisión de sus informes parciales. 2009-2010
	Ánalisis de la viabilidad de alternativas (VA). Informe parcial, informe preliminar, informe final del trabajo. 2011
2F Análisis de la conveniencia/viabilidad de recargas en el AEBN como medida protectora del AIO.	Seguimiento de VA, revisión de informe preliminar Trabajo 2D e informe del trabajo. 2011
	Planteamiento, seguimiento y discusión de operaciones en el AEBN, con revisión del informe preliminar del Trabajo 2F, e informe del trabajo. 2009-2011
	Cálculos de operaciones en el AEBN y para el análisis VA, informe preliminar de los Trabajos 2D y 2F. 2010 - 2011
2E Actualización del análisis de la problemática de los acuíferos inferiores.	Síntesis de informaciones históricas de mayor interés y generadas sobre la problemática del uso de los acuíferos inferiores.
	Diseño de obras para la Red de Observación de la salinización en profundidad de acuíferos inferiores (ROPSAI). 2009-2010
	Documentos finales sobre los trabajos.

Los cuatro Trabajos principales formulados para el **Objetivo Segundo** estaban muy ligados a la previsión de tiempo para llevarlos a cabo. Al estar impuesta su realización en sólo dos años - 2008-2009, inicialmente- sus resultados podían suponer únicamente una orientación preliminar (como primer apoyo a los gestores sobre la disminución de bombeos en los acuíferos inferiores y el aumento de extracciones en los acuíferos de cobertura, en zonas determinadas).

La organización de la Fase I del Programa se completó **con otros tres objetivos**, reflejados en el **Cuadro 5.3** junto **con sus Trabajos y tareas principales en cada caso**.

Cuadro 5.3: Otros Objetivos (Tercero a Sexto). Trabajos y detalle de sus tareas

OBJETIVO	TRABAJOS	TAREAS
3 Investigaciones en apoyo al seguimiento de los cambios en la calidad por efecto de las operaciones de protección-regeneración que se consideren, relacionadas con el intercambio de flujos entre acuíferos.	3A Primeras investigaciones de multitrazadores en apoyo a la evaluación cualitativa de los cambios en las tendencias negativas de la calidad del agua de los acuíferos inferiores	Planteamiento de la investigación Selección de las zonas de investigación. 2009-2010 Aplicación de metodologías de análisis de la influencia en la calidad del agua de la existencia de flujos desde las coberturas a los acuíferos inferiores. 2010-2012 Documentos de resultados
4 Coordinación entre el estudio hidrogeológico y las actuaciones de gestión a llevar a cabo	4A Integración del estudio hidrogeológico en el manejo de recursos disponibles	Coordinación del estudio hidrogeológico-ingenierías e infraestructuras, gestiones previstas, documentos de estado de los trabajos e informes preliminar y final. 2010-2011
5 Resultados de la Fase I.	5A Memoria Final	Redacción del documento
6 Dirección y coordinación hidrogeológica general.	6A Dirección, gestión y coordinación de equipos técnicos y de la información	Gestión, dirección general y coordinación de equipos técnicos del Programa. 2008-2013 Gestión informativa del estado técnico y económico-administrativo del Programa al IGME y a la Comisión de Seguimiento, y Coordinación del Convenio. 2008-2010; 2011-2013

Como **Tercer Objetivo** se planteó **el desarrollo de investigaciones en apoyo al seguimiento de los cambios futuros en la calidad del agua por efecto de las operaciones de protección-regeneración** que se considerasen relacionadas con el intercambio de flujos entre acuíferos. Se pretendía analizar la viabilidad de utilización de trazadores múltiples como apoyo para la evaluación cualitativa de los cambios en las tendencias negativas de la calidad del agua de los acuíferos inferiores (Trabajo 3A).

La necesaria **Coordinación entre el estudio hidrogeológico y las actuaciones de gestión a llevar a cabo** formó parte de la definición del Trabajo 4A, que implicaba la puesta en común, entre entidades, de las gestiones previstas y desarrollo de las obras, con difusión de los documentos de estado de los trabajos de las ingenierías.

El objetivo de **Dirección y coordinación hidrogeológica general** de la Fase I contempló la Dirección, gestión y coordinación de equipos técnicos y de la información, en sus tareas de Gestión, dirección general y coordinación de equipos ejecutores del Programa (2008-2010) y de sus prórrogas (2011-2013), además de la Gestión informativa del estado técnico y económico-administrativo del Programa al IGME y a la Comisión de Seguimiento, y la Coordinación del Convenio en todo este período.

CAPÍTULO 6.- TRABAJOS DEL OBJETIVO PRIMERO: ACTUALIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LOS ACUÍFEROS Y DE SU INFRAESTRUCTURA DE USO

A continuación se expone un resumen de los objetivos, desarrollo y resultados de los trabajos correspondientes al **Objetivo Primero de la Fase I**. Para ampliación de esta información se remite a los anexos de dichos trabajos (Anexos 2 a 6). En el **Anexo 12** (Trabajo 2C, destinado a la clasificación documental de nuevas informaciones / elaboraciones generadas durante el período de la Fase I) se incluye la relación de todos los documentos, ordenados con número de dicha fase (referenciado, por ejemplo, como documento 213 de la Fase I); a dichos números se hace mención a lo largo del texto en este **capítulo 6** y posteriores de esta memoria.

Estos trabajos de actualización, correspondientes al primer objetivo de la Fase I precisaron de la obtención de nuevos datos / informaciones, con el consiguiente planteamiento de análisis y selección de puntos y áreas de especial interés, así como de validación y contraste de las informaciones obtenidas durante el desarrollo del proyecto y de las consideradas externas al mismo. Las nuevas mediciones e informaciones, gran parte de las cuales se utilizaron, además, para llevar a cabo los siguientes objetivos de esta fase, quedaron recogidas en documentos, listados y en la base de datos del IGME (AGPZ, AGAQ, de explotaciones, etc.), según se expone en el **Anexo 14**.

Teniendo en cuenta la falta de puntos específicos de seguimiento de la piezometría y prácticamente la ausencia de éstos en relación con el de las características físico-químicas / calidad del agua, como en los estudios previos a la Fase I, los nuevos datos e informaciones hubieron de recogerse, básicamente, de los sondeos particulares. La importante modificación en la infraestructura de uso ocurrida desde la década de 2000 (con la realización de numerosos cambios de captaciones en los acuíferos inferiores y la progresión del abandono de las preexistentes en las coberteras) hizo especialmente compleja la selección de los puntos de observación necesarios para los trabajos de la Fase I y sus prórrogas.

Las nuevas campañas de obtención de datos se llevaron a cabo teniendo en cuenta los resultados del análisis realizado al final de 2008 sobre las Zonas Estratégicas Preferentes (ZEP) – escogidas por su mayor interés para los objetivos de sostenibilidad fijados en la Fase I- Trabajo 2A del Objetivo Segundo del que trata el **apartado 7.1**.

Las metodologías aplicadas en la obtención de los necesarios datos e informaciones, y de su contraste, para la actualización del funcionamiento hidrogeológico de estos acuíferos, fueron básicamente las mismas ya ensayadas en los trabajos precedentes del IGME (cuyas características se expusieron en el **capítulo 3**, complementadas en el **Anexo 1** de esta memoria) necesariamente adaptadas a la existencia de una compleja geometría de acuíferos (superpuestos, y relacionados entre sí y con el mar), con intenso y cambiante bombeo, rápida variación de sus características cuantitativas y de la calidad del agua por efecto del uso, etc..

Dado que, desde finales de 2010, el periodo de observación de los trabajos de este objetivo fue ampliándose (según diversas circunstancias expuestas en el **capítulo 9**), en 2011-2012, en la medida de lo posible, se llevó a cabo un seguimiento mínimo selectivo de la piezometría y la intrusión marina, los aspectos más necesarios para mantener un conocimiento testimonial de la evolución del funcionamiento del conjunto de acuíferos, que durante 2013 tuvo un carácter muy precario.

6.1.- ACTUALIZACIÓN DE EXPLOTACIONES POR BOMBEO (TRABAJO 1A)

Se trataba de obtener **nuevos datos de explotaciones por bombeo en los principales acuíferos del subsistema para los años 2007/08 y 2008/09**, un control extensivo de las explotaciones mensuales y anuales por puntos, áreas y acuíferos principales de este conjunto, partiendo de las últimas informaciones y elaboraciones de detalle preexistentes del IGME (de 1999/00, ver **apartado 3.5.2**), cuando se contaba con una red de captaciones de extracción significativa de 230 puntos. Además, para las grandes Comunidades de Regantes (CR) y abastecimientos urbanos, se recogieron las informaciones disponibles del período 2000/01 a 2006/07, y, en algunas de ellas, también de 2009/10.

Teniendo en cuenta las metodologías diseñadas en los citados trabajos del Instituto, la cuantificación del volumen mensual bombeado en los puntos de extracción significativa se llevó a cabo atendiendo a las características de las captaciones y de los dispositivos de seguimiento del uso en las mismas. De esta manera, los datos correspondieron tanto a contadores volumétricos, como al control horario de bombeo en puntos carentes de dichos contadores. En este último caso, para el cálculo de volúmenes de bombeo, se recogieron informaciones representativas del caudal de extracción de cada captación. Dichas informaciones, dependiendo de las características del punto, de la variabilidad temporal y espacial de su caudal y de la cuantía de su bombeo, se obtuvieron mediante la realización de: aforos directos, estimaciones directas o encuestas procedentes de los propietarios del sondeo. Todas ellas quedaron reflejadas en fichas de campo por punto y año hidrológico que se realizaron a semejanza de las preexistentes para estos objetivos en los trabajos anteriores; estos documentos integran toda la información necesaria para la valoración de la actividad (método de control seguido, periodicidad de la información obtenida, problemática de la captación, información actualizada sobre su caudal, tipo de datos del caudal, cálculo anual del bombeo para 2007/08 y 2008/09, etc.).

Como era preceptivo, al inicio del trabajo se elaboró el diseño anual de aforos directos a realizar, con una previsión inicial de 110 unidades, que no pudo llegar a cubrirse en su totalidad por la negativa de una parte de las CR –no dependientes de la JCUAPA- a dar acceso a sus instalaciones y a suministrar informaciones. Por estas circunstancias tuvieron que analizarse en detalle las informaciones históricas por puntos de bombeo, de 2000 a 2008, así como las recogidas durante el desarrollo de las actividades de campo de los distintos trabajos de la Fase I (de 2008 y 2009) para estimar algunos caudales de bombeo. En el **Anexo 2** se muestran los documentos específicos de especial relevancia sobre este trabajo, seleccionados entre todos los catalogados durante su desarrollo (recogidos en el cuadro del Documento 230, en **Anexo 12**).

Para **analizar la evolución de las extracciones hasta 2008/09** fue necesario el estudio de los datos históricos de volúmenes anuales del IGME (1980/81 a 1999/00, por puntos, áreas y acuíferos) con identificación en gabinete y campo de las captaciones por áreas, realizando el

encuadre de las nuevas obras en el modelo conceptual de acuíferos. En el año 2010 se terminaron todas estas tareas, evaluándose la extracción en los **190 puntos de bombeo significativo, y tratándose 378 datos anuales** de dichos volúmenes. Para el caso de aquellas CR que, como ya se ha dicho, se negaron a suministrar informaciones sobre sus captaciones, hubo que estimar los valores por medios indirectos, tomando como base el registro histórico de informaciones y los datos de los trabajos de campo realizados en esta fase. (Se trató de evitar la indagación del consumo eléctrico de estas instalaciones, por considerarse inapropiada para el carácter de este proyecto tal función de control).

La Figura 6.1.1 muestra la localización de los puntos que bombearon entre 2007/08 y 2008/09, por grupos principales de acuíferos (inferiores y coberteras), así como las captaciones que quedaron abandonadas entre 2000/01 y 2007/08.

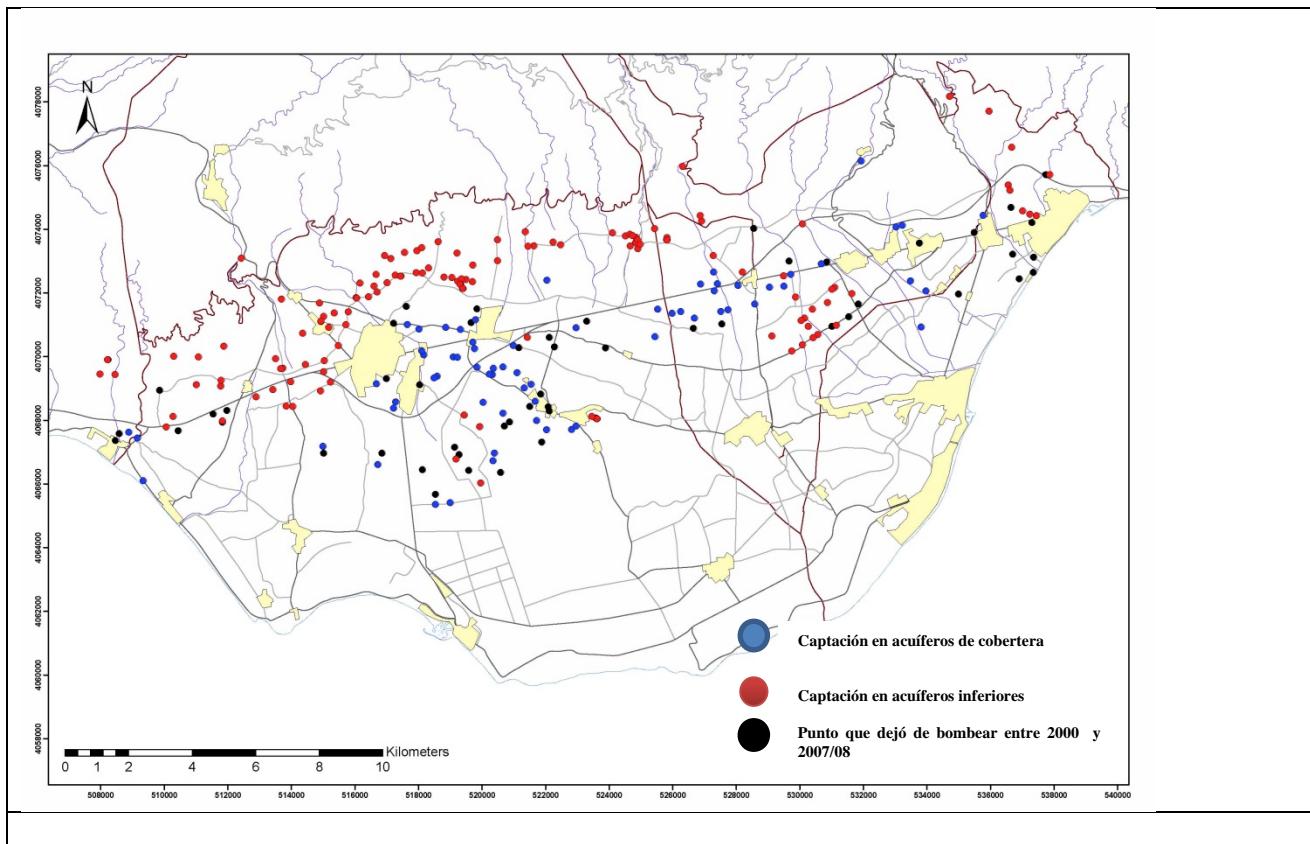


Figura 6.1.1: Localización de los puntos de la red de bombeo 2007/08 – 2008/09, con diferenciación de los que captan acuíferos inferiores (rojo) y coberteras (azul). Incluye también puntos de esta red que dejaron de utilizarse entre 2000/01 y 2007/08 (en color negro). Del documento 113 de la Fase I de IGME, 2010, en **Anexo 2**.

Teniendo en cuenta el análisis realizado de las informaciones y elaboraciones por puntos, áreas y acuíferos (de mayor detalle para las captaciones de las grandes CR y abastecimientos urbanos, por contarse, en la mayoría de ellas, con los datos anuales desde 2000/01 a 2008/09), así como el de las informaciones recogidas en campo durante el desarrollo del Programa, las **principales variaciones del bombeo** que tuvieron lugar **en la infraestructura de captaciones entre 2000/01 y 2011/12** se recogen en los **Cuadros 6.1.1 a 6.1.3**. Las modificaciones más importantes que afectaron a los acuíferos inferiores fueron **la realización de 46 nuevas captaciones**, con su puesta en funcionamiento, y **el abandono de 20 antiguas localizaciones de extracción**. Respecto a estas captaciones nuevas, cuya identificación se incluye en el **Cuadro 6.1.1**, pueden diferenciarse tres circunstancias, como se expone a continuación.

1) Los **nuevos sondeos realizados en los acuíferos inferiores para sustituir obras antiguas en estos mismos acuíferos**, casi en su totalidad conservando la localización inicial, pero con un aumento en la penetración del acuífero, menor de 100 m como media para las del AIO (variando entre algunos metros y 250 m), y con incremento en la penetración de 100 a 700 m en los que perforaron el AIN. Fueron **34 sondeos**, 30 de ellos en el AIO, y 4 en el AIN; al área de El Tomillar de este acuífero correspondió el mayor número de estas nuevas obras (el 41% del total). Se realizaron en todas las áreas de explotación del AIO, y en tres de las cuatro del AIN (El Águila, Vícár y El Viso), no ejecutándose sondeos de este tipo en el área de Aguadulce del AIN.

2) Sondeos de **nueva explotación en los acuíferos inferiores: 3 puntos**, 2 nuevas obras en el AIN -en El Águila y Aguadulce- y una antigua captación (que no había sido nunca utilizada hasta entonces) en el área de Pampanico del AIO.

ACUÍFERO	ÁREA	SUSTITUCIÓN DE OBRAS ANTIGUAS DE LOS ACUÍFEROS INFERIORES POR SONDEOS NUEVOS EN EL MISMO ACUÍFERO			
		NUMERO	Captaciones sustituidas	Captaciones nuevas	OBSERVACIONES
AIO	Tomillar	14	66D, 73D, 74D, 75D, 76D, 228D, 229D, 230D, 232D, 233D, 247D, 526D, 535D, 717D	768D, 767D, 769D, 771D, 754D, 759D, 760D, 764D, 785D, 786D, 789D, 766D, 758D, 791D	535D cambio de área
AIO	Tarambana	8	468BJ, 268D, 533D, 608D, 660D, 692D, 711D, 765D	513BJ, 763D, 783D, 794D, 770D, 765D, 792D, 797D	711D cambio de área y de acuífero (mezcla AIO y AItC). 765D dejó de utilizarse en 2009/10
AIO	Pampanico	7	2D, 88D, 258D, 589D, 609D, 690D, 725D	782D, 781D, 787D, 756D, 784D, 770D, 793D,	
AIO	Profunda	1	697D	762D	
AIN	Águila-Vícár	3	536D, 83FE, 160VC	773D, 102FE, 172VC	el 172VC dejó de usarse en 2008/09
AIN	Viso	1	151VC	173VC	el 173VC dejó de usarse en 2011

ACUÍFERO	ÁREA	CAPTACIONES DE NUEVA EXPLOTACIÓN EN LOS ACUÍFEROS INFERIORES		
		NUMERO	IDENTIFICACIÓN	OBSERVACIONES
AIO	Pampanico	1	696D	era antigua pero sin uso
AIN	Águila	1	171VC	sustituye parcialmente al 172VC
AIN	Aguadulce	1	36E	

ACUÍFERO	ÁREA	CAPTACIONES NUEVAS EN LOS ACUÍFEROS INFERIORES Y CAPA PROFUNDA DEL AITN EN SUSTITUCIÓN DE BOMBEOS PREEXISTENTES EN ACUÍFEROS DE COBERTERA		
		NUMERO	Captación nueva	OBSERVACIONES
AIO	Tarambana	1	533BJ	sustituye al 8BJ del AEBN
AIO	Profunda	3	734D, 735D, 737D	sustituyen a cuatro puntos del ASC
AIN	Viso	4	149VC, 166VC, 170VC, 174VC	sustituyen a cuatro puntos del ASN o AItN (capa superior)
Capa profunda del AItN	Viso	2	97FE, 98FE	sustituyen a dos puntos del ASN

Cuadro 6.1 1: Los tres grupos principales de nuevas captaciones en uso en los acuíferos inferiores entre 2000 y 2012.

ACUÍFERO	ÁREA	LOCALIZACIONES DE EXTRACCIÓN ABANDONADAS EN LOS ACUÍFEROS INFERIORES		
		NUMERO	IDENTIFICACIÓN	OBSERVACIONES
AIO	Tarambana	5	5D, 8D, 12D, 607D, 724D	5D, 8D y 724D explotaban AIO y ASC
AIO	Profunda	4	535D, 702D, 703D, 711D	en la obra del 711D se produce la conexión entre el AIO y el AItC
AIN	Vícar	2	160VC, 172VC	
AIN	Viso	4	151VC, 157VC, 158VC, 173VC	sustituidas por captaciones preexistentes del AIO (CR Sol y Arena)
AIN	Aguadulce	5	58RM, 215RM, 230RM, 243RM 249RM	

Cuadro 6.1.2: Localizaciones de extracción abandonadas en los acuíferos inferiores, entre 2000 y 2012.

3) Nuevas captaciones en los acuíferos inferiores destinadas a sustituir bombeos preexistentes en acuíferos de cobertura. En este grupo se contó con **10 captaciones**: 4 en el AIO (con cambio de bombeo desde el AEBN -1 punto- o desde el ASC, el resto de ellos), 4 puntos en el AIN, y 2 en la capa profunda del AItN, asociada al acuífero anterior; en estos dos últimos acuíferos se sustituyeron bombeos del ASN o de la capa superior del AItN.

Para este período de estudio de las circunstancias de la infraestructura del bombeo, el **abandono de localizaciones de extracción en los acuíferos inferiores se produjo en 20 casos (Cuadro 6.1.2)**: 9 afectando al AIO (en sus áreas de Tarambana y Profunda) y 11 a las áreas de Aguadulce, El Viso y Vícar del AIN. Estas modificaciones estuvieron directamente relacionadas con la evolución experimentada en la calidad del agua en dichas áreas de los acuíferos inferiores, dejando de resultar de interés para algunas demandas asociadas a las mismas, lo que se analiza en el **apartado 6.5**. La extracción inicialmente realizada en estas localizaciones fue sustituida, por una parte, con el aumento en otras preexistentes en diferentes sectores o áreas del mismo acuífero inferior, como en el caso de las del AIO o las pertenecientes al área de Vícar del AIN. Pero también se dio la circunstancia de que estas localizaciones abandonadas fueron sustituidas por bombeos en el otro acuífero inferior; esto ocurrió en las señaladas del área de El Viso del AIN (puntos 151VC, 157VC, 158VC y 173VC, pertenecientes a la CR Sol y Arena): el abandono de su bombeo supuso el aumento en el de las captaciones de dicha CR localizadas en el AIO.

De esta manera, **durante la década de 2000 e inicios de la de 2010, la modificación de la infraestructura de uso de los acuíferos inferiores estuvo esencialmente destinada a la realización de nuevas captaciones para sustituir puntos preexistentes en estos mismos acuíferos, mientras que el proceso de cambio de extracciones desde los acuíferos de cobertura a los inferiores sólo supuso el 21% del total de estas obras nuevas realizadas**. Por otra parte, **el abandono de localizaciones en estos acuíferos inferiores puso de manifiesto el empeoramiento de su calidad del agua**, que incluso hubo de soslayarse mediante la **disminución del bombeo en el AIN a expensas del incremento en el del AIO**.

Con respecto a **los acuíferos de cobertura**, entre el año 2000 y 2012 las **principales variaciones en la infraestructura de uso se refirieron**, como ya venía pasando desde la década anterior, **al cese del bombeo en parte de sus captaciones** contabilizándose este proceso en **31 puntos (Cuadro 6.1.3)**, principalmente del ASC (con 22 localizaciones abandonadas). Según los casos, la extracción fue sustituida con el aumento del bombeo en otros antiguos sondeos de las CR o ayuntamientos o, incluso, pudo desaparecer por la trasformación de terrenos agrícolas en urbanizables.

Los resultados obtenidos sobre el peso relativo del **agua suministrada a las demandas del Campo de Dalías y la ciudad de Almería**, en 2007/08 -2008/09, se exponen en la **Figura 6.1.2** conjuntamente con el registro histórico de este tipo de datos, indicando el origen de estas aportaciones para su abastecimiento (cada uno de los acuíferos del Campo de Dalías y el agua superficial del Embalse de Benízar).

ACUÍFERO	ÁREA	CAPTACIONES ABANDONADAS EN COBERTERAS		
		NUMERO	IDENTIFICACIÓN	OBSERVACIONES
AltN	Aguadulce	1	57VC	
AltN	Gangosa	4	1VC, 34VC, 111VC, 122VC	34VC, sustituido con otros puntos de CR Sol y Arena
ASN	Aguadulce	2	12RM, 70RM	sustituidos con puntos de CR Sol y Arena
AEBN	Balanegra	2	8BJ, 13BJ	8BJ (abastecimiento urbano), sustituido por 533BJ en el AIO
ASC	El Ejido – Sta. María	7	159D, 223D, 227D, 240D, 245D, 284D, 285D	227D, sustituido por 758D en el AIO
ASC	Las Norias	15	114D, 118D, 143D, 156D, 176D, 178D/ 774D, 182D, 186D, 510D, 552D/775D, 560D, 562D, 631D, 641D, 642D	148D, 631D y 641D/642D sustituidos por puntos del AIO (737D, 734D y 731D, respectivamente)

Cuadro 6.1.3: Captaciones abandonadas en los acuíferos de cobertura, entre 2000 y 2011/12.

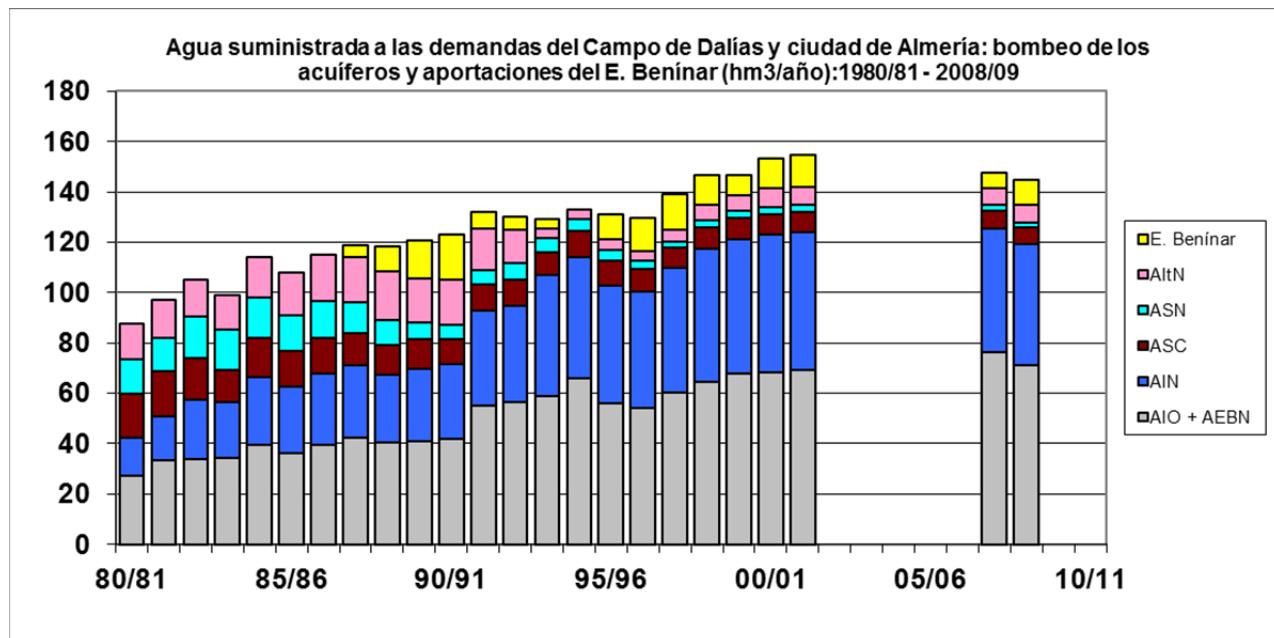


Figura 6.1.2: Agua suministrada a las demandas del Campo de Dalías y Almería capital, con indicación (mediante diferentes colores) de la aportación de los distintos acuíferos y del Embalse de Benízar. AIO: Acuífero Inferior Occidental. AIN: A Inferior Noreste. AltN: A. Intermedio Noreste. ASN: A. Superior Noreste. ASC: A. Superior Central. AEBN: Acuífero de la Escama de Balsa Nueva. E. Benízar: Embalse de Benízar

La demanda global que, como se dijo, había mostrado una tendencia creciente en el período con información previo a la Fase I, según los datos aportados en ésta pudiera mantenerse en unos 145-147 hm³/año para el bienio 2007-09 (Cuadro 6.1.4). Son **las aguas subterráneas** las que **han seguido soportando más del 90% del total abastecido**, correspondiendo al E. Benízar una

aportación de 11 hm³/año como media (menor al 10%) y una importante variabilidad anual. Para la zona, en el período de estudio de la Fase I, **los acuíferos constituyen** como mínimo el 93% del origen del suministro global a las demandas, y **el 100% del abastecimiento destinado a la demanda urbana** (del Campo y la mayor aportación a la de la ciudad de Almería).

El **bombeo global del conjunto de acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías** (Cuadro 6.1.4) fue del orden de **142 hm³ en 2007/08, el 89% del cual correspondió a los acuíferos inferiores**, el 60% de ellos en el AIO. En el año hidrológico siguiente, la extracción llegó a **135 hm³**. Las aportaciones del Pantano de Beníñar a los riegos del Campo de Dalías en los tres años hidrológicos considerados estuvieron entre 6 y 10 hm³ por año, es decir del orden del 5-6% del abastecimiento a la demanda global.

ACUÍFEROS	VOLUMEN (hm ³ /a)		
	AÑOS HIDROLÓGICOS		
	1999/2000	2007/2008	2008/2009
AIO + AEBN	68,11	76,15	71,30
AIN	54,70	50,21	49,06
TOTAL Inferiores + AEBN	122,81	126,36	120,36
Coberteras (excepto AEBN)	16,74	15,21	14,31
TOTAL EXTRACCIONES: Sur S^a de Gádor-C. Dalías	139,55	141,57	134,67
PANTANO DE BENÍNAR			
Aportaciones de Beníñar	7,84	5,84	9,93
DEMANDA GLOBAL	147,39	147,41	144,60

Cuadro 6.1.4: Extracciones globales y por grupos principales de acuíferos para 1999/00 (año de referencia) y 2007 – 2009. Se incluyen también aportaciones del Pantano de Beníñar y cálculo de la Demanda global del Campo de Dalías y parte de la ciudad de Almería. Del documento 113 de la Fase I.

Con respecto a la evolución de **la extracción de cada uno de los cinco acuíferos principales del sistema**, el Cuadro 6.1.5 muestra sus valores anuales en 1999/00 y los años 2007/08-2008/09. Destaca el aumento de la extracción en el AIO en relación con el año de referencia. En el caso del AIN, para el mismo período, se observó un descenso; éste estuvo ocasionado por el cambio de suministro del abastecimiento a Almería capital: dejaron de bombarse 5 hm³/a de este acuífero, sustituyéndolos, desde 2006/07, por agua de la Desaladora de Almería. Por otra parte, respecto a los acuíferos de cobertura, en el AEBN, el ASC y el ASN los volúmenes

de bombeo descendieron, siguiendo la tónica histórica, mientras que en el conjunto del denominado AItN - AIN, se mantuvieron, debido principalmente al aumento de la extracción en la capa profunda (asociada al sustrato carbonatado triásico) de El Viso que contó aún con una salinidad adecuada para las demandas, muy inferior a la de su capa superficial o única de este área y de la de La Gangosa, prácticamente sin utilización por su falta de idoneidad para éstas.

ACUÍFEROS	1999/2000	2007/2008	2008/2009
AItN	4,91	5,89	5,84
ASN	3,42	2,32	2,03
AEBN	1,15	0,33	0,33
ASC	8,41	7	6,44
AIN	54,70	50,21	49,06
AIO	66,96	75,82	70,97

Cuadro 6.1.5: Comparación de las extracciones anuales (hm³/a) por acuíferos para 1999/00, 2007/08 y 2008/09. Del documento. 113 de la Fase I, IGME, 2010 en [Anexo 2](#).

En los grupos de las [Figuras 6.1.3 y 6.1.4](#) y de las [Figuras 6.1.5 y 6.1.6](#), que corresponden respectivamente al AIN y al AIO, se incluyen **los datos de extracciones anuales (por áreas de explotación) de los acuíferos inferiores**, deducidos en este trabajo para el período 2000/01 a 2006/07, con el apoyo obtenido de las grandes CR y abastecimientos, y de los resultados del control directo para 2007/08-2008/09, conjuntamente con los datos del registro histórico preexistente de este tipo de control llevado a cabo por el IGME desde 1980/81 (al que colaboró, algunos años, el Servicio de Minas de la Junta de Andalucía). **Entre el año 2000 y el 2009**, se produjeron los siguientes **cambios significativos**:

- en **el área de El Águila del AIN**, la disminución referida (de 5 hm³) en el bombeo para el abastecimiento a la ciudad de Almería, desde 2006/07, tras el aprovechamiento parcial de la capacidad de producción, al entrar en funcionamiento su Desaladora. También se detecta una ligera tendencia al aumento de la extracción global del resto de las captaciones de este área; la resultante de todo ello es **una disminución del bombeo** en el área, algo inferior a 5 hm³.
- el **descenso** (hasta valores residuales) del bombeo en el **área de Aguadulce del AIN**, y un **aumento global en el AIN del área de El Viso** (con incremento para el uso urbano, y disminución del uso agrícola en captaciones del sector III de la CR Sol y Arena) para el mismo período.
- un **ligero descenso** en el bombeo global del **área Profunda del AIO**.
- el **aumento de la extracción global en las áreas de El Tomillar, Pampanico y Tarambana del AIO**. Sin embargo, teniendo en cuenta el destino de estos bombeos, se llevó a cabo un incremento de la extracción para uso agrícola de la CR Sol y Arena (riegos del Sector IV) en El Tomillar, mientras que el bombeo para estos usos se conservó o bajó en el área de Pampanico y disminuyó, hasta anularse, en el área de Tarambana ([Figuras 6.1.5 y 6.1.6](#)).

Con respecto a **los acuíferos de cobertura, la evolución de su bombeo anual por áreas en la década de 2000** se presenta en la [Figura 6.1.7](#), en la que se advierte que:

- en cada una de **las áreas del ASC**, con extracción aún significativa (**Las Norias y El Ejido – Santa María**) continúa la tendencia al descenso iniciada varias décadas antes.
- el bombeo del **ASN** también desciende con la tendencia de la década anterior, restringido únicamente **al área de El Viso**.
- una tendencia contraria a las comentadas anteriormente se produce en el bombeo global del conjunto heterogéneo de capas que integran el llamado **Alto Nivel**, de manera que, mientras ya queda como residual en el área de **La Gangosa**, aumenta en la de **El Viso**, mediante captaciones en el tramo mioceno que explotan el agua de su **capa profunda**, por su mejor calidad debida a su relación con los carbonatos del **AIN**.

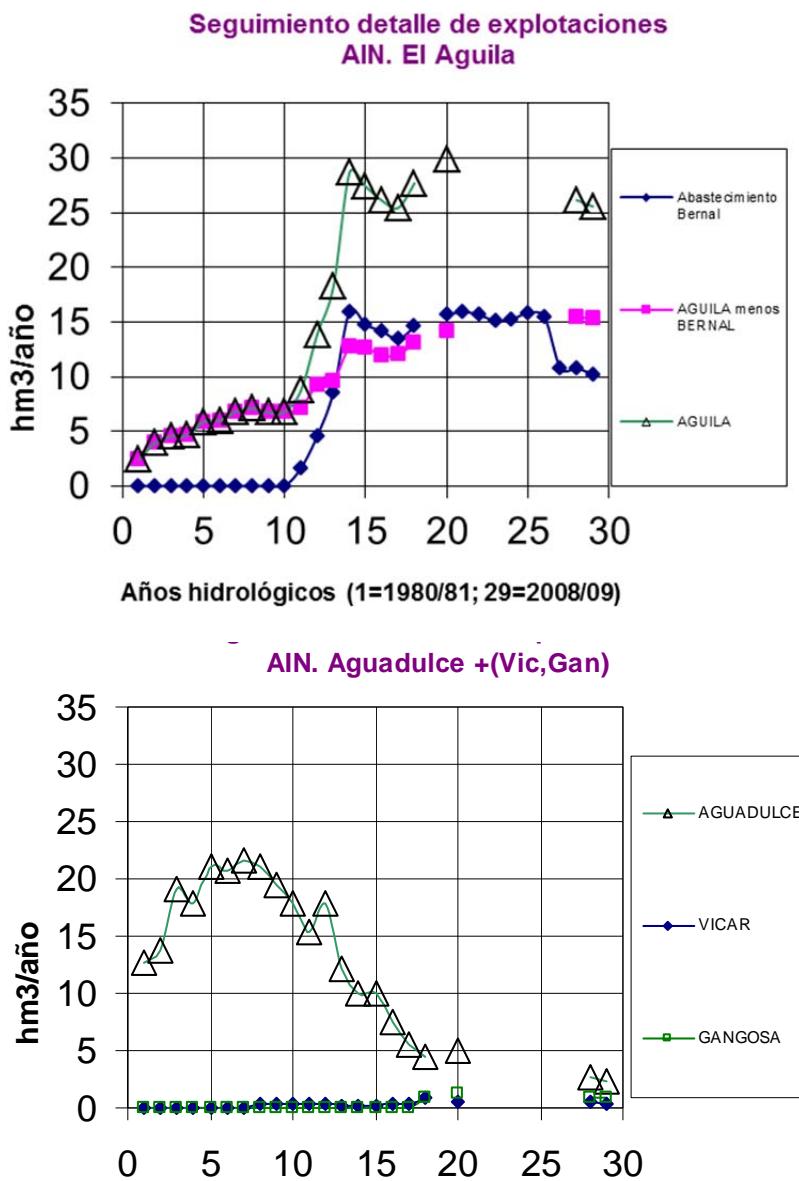


Figura 6.1.3: AIN: Evolución temporal (Año 1: 1980/81, año 29:2008/09) del bombeo anual para las áreas de El Águila y de Aguadulce – Vícar – Gangosa (de arriba a abajo) en 2007/08 - 2008/09, con indicación de grupos de extracciones de interés para el caso de la de El Águila. Incluye la serie histórica del IGME (1980/81 a 1999/00) y los datos obtenidos en la Fase I, y el detalle del abastecimiento a Almería capital aportado desde el AIN (2000/01 – 2008/09). Del documento 113 de la Fase I.

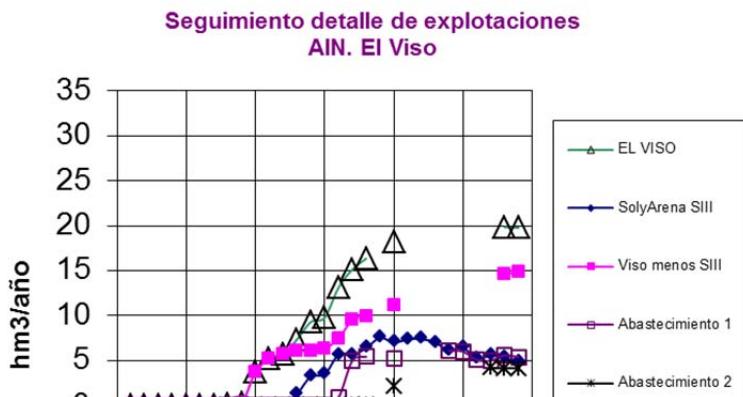


Figura 6.1.4: AIN: Evolución temporal (Año 1: 1980/81, año 29:2008/09) del bombeo anual del área de El Viso en 2007/08 - 2008/09, con indicación de grupos de extracciones de interés destinadas a riego y a abastecimiento urbano. Incluye la serie histórica del IGME (1980/81 a 1999/00) y los datos de detalle de los pozos de la CR Sol y Arena, de 2000/01a 2008/09. Del documento 113 de la Fase I.

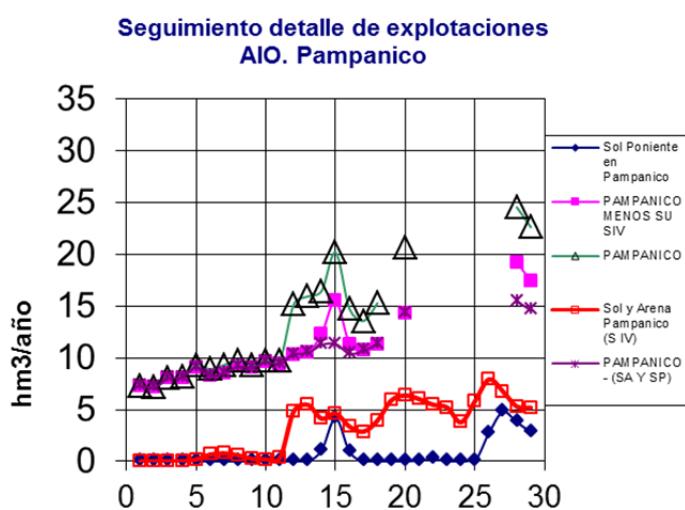
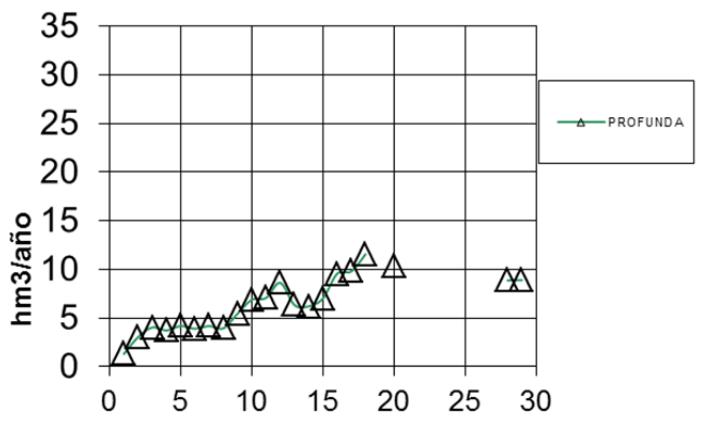


Figura 6.1.5: AIO: Evolución temporal (Año 1: 1980/81, año 29:2008/09) del bombeo anual del área de El Tomillar y Pampanico en 2007/08 - 2008/09, con indicación de grupos de extracciones de interés destinadas a riego y a abastecimiento urbano. Incluye la serie histórica del IGME (1980/81 a 1999/00) y los datos de detalle de los pozos de la CR Sol y Arena (Sector IV) y Sol Poniente, de 2000/01a 2008/09. Del documento 113 de la Fase I.

Seguimiento detalle de explotaciones AIO. Profunda



AIO. Tarambana

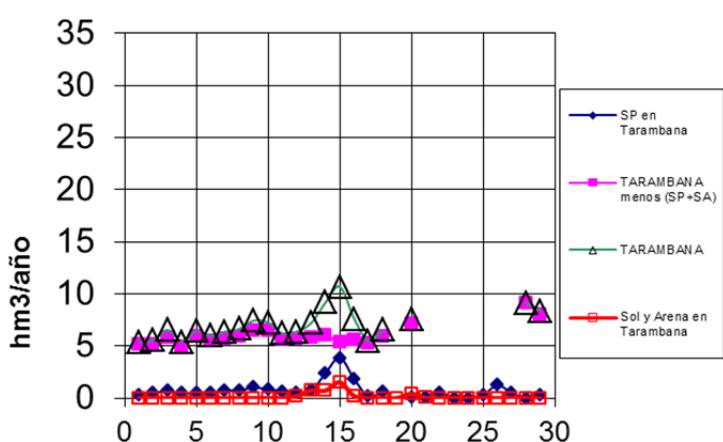


Figura 6.1.6: AIO: Evolución temporal (Año 1: 1980/81, año 29:2008/09) del bombeo anual del área Profunda y de Tarambana (de arriba abajo) en 2007/08 - 2008/09, con indicación de grupos de extracciones de interés destinadas a riego en el área de Tarambana. Incluye la serie histórica del IGME (1980/81 a 1999/00) y los datos de detalle de los pozos de la CR Sol y Arena y Sol Poniente de 2000/01a 2008/09 en dicha área. Del documento 113 de la Fase I.

Seguimiento detalle de explotaciones ASC

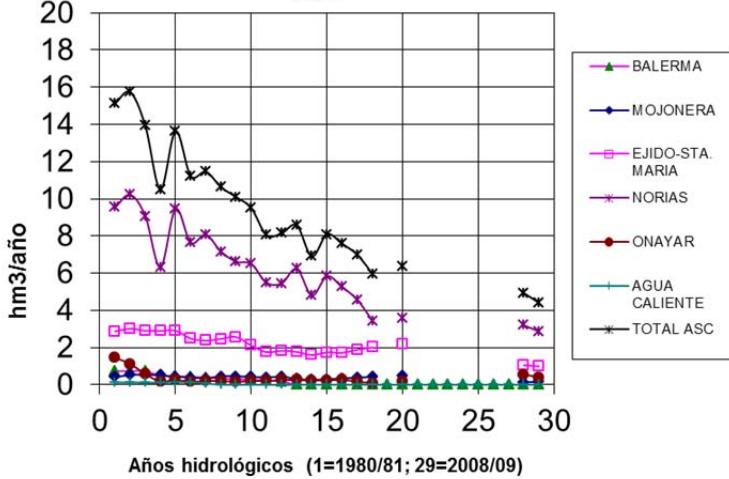
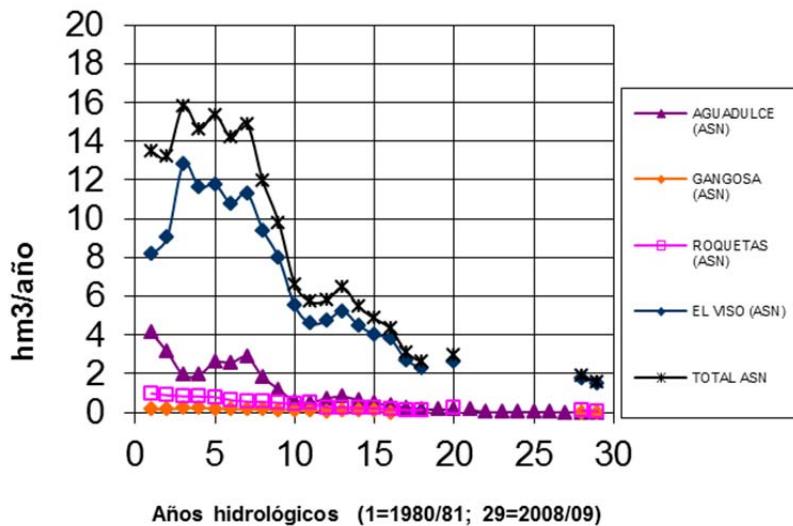


Figura 6.1.7: ASC: Evolución temporal del bombeo anual global y de sus áreas. Datos de la Fase I y de la serie histórica del IGME. Del documento 113 de la Fase I.

Seguimiento detalle de explotaciones ASN



Seguimiento detalle de explotaciones AltN

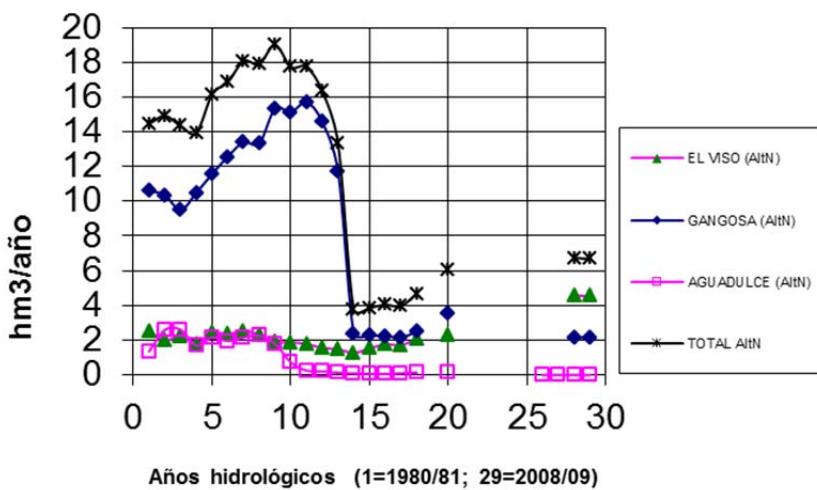


Figura 6.1.8: Coberturas del Sector Noreste del Campo: evolución temporal del bombeo anual global y de cada una de las áreas por acuíferos (parte superior ASN, inferior AltN). Datos de la Fase I y de la serie histórica del IGME. Del documento 113 de la Fase I.

Además de las cuantificaciones de bombeos mensuales por puntos, áreas y acuíferos de 2007/08 – 2008/09, se obtuvieron las informaciones disponibles sobre las aportaciones del Embalse de Beníñar a los principales sectores de riego de la zona, desde 2002/03 a 2011/12. La Figura 6.1.9 muestra los valores anuales, integrados con el historial preexistente. Para el período 1987/88 (primer año de este tipo de aportaciones al Campo de Dalías) a 2011/12, el valor medio fue de 11 hm³/año, con un coeficiente de variación del 57%, y valores extremos de 0 a 29 (para 1994/95 y 2010/11, respectivamente). Se destaca dicho “valor medio” como una referencia optimista, al integrar las aportaciones correspondientes a 2009/10, cuyas precipitaciones excepcionales en la zona fueron del orden del 300% de la media de los últimos 68 años (anteriores a este año hiperhúmedo).

Por otra parte, se recogieron y analizaron las informaciones disponibles de las precipitaciones ocurridas desde 2008, por su incidencia en el uso del agua para la demanda agrícola y utilización en otros trabajos de la Fase I. La [Figura 6.1.10](#) presenta el detalle de la evolución del módulo pluviométrico anual en la Estación de Felix desde 1980/81 a 2011/12. **Cuatro de los cinco años del período de desarrollo de la Fase I (2007/08 a 2011/12) registraron valores iguales o superiores a la media de 1940/41-2011/12, siendo 2009/10 casi tres veces dicho valor.**

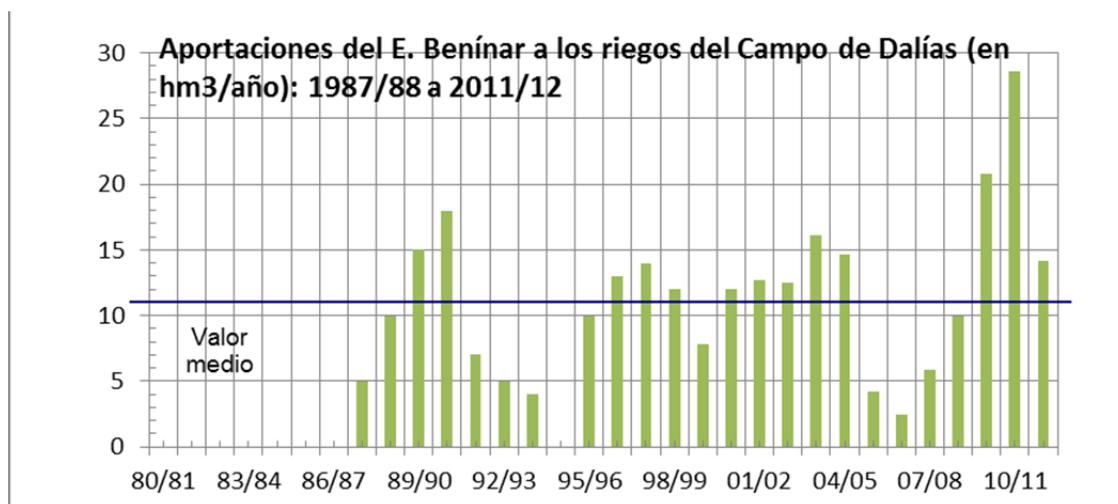


Figura 6.1.9: Aportaciones del Embalse de Benínar a los riegos del Campo de Dalías: 1980/81 – 2011/12, con valor medio de 11 hm³/año para dicho período, especialmente incrementado por las extraordinarias aportaciones del año 2009/10. Datos: del registro históricos del IGME (1986/87 a 2001/02) y nuevos para la Fase I (2002/03 – 2011/12).

Con respecto al análisis de las tendencias interanuales de las precipitaciones (ciclos húmedos y secos) se actualizaron distintos gráficos, como los de [Figura 6.1.11](#) de desviaciones acumuladas respecto a la media de 1940/41-2010/11 y de 1940/41-2011/12, en las estaciones representativas de la llanura, la vertiente sur y la vertiente norte de la Sierra de Gádor (siempre con los datos disponibles).

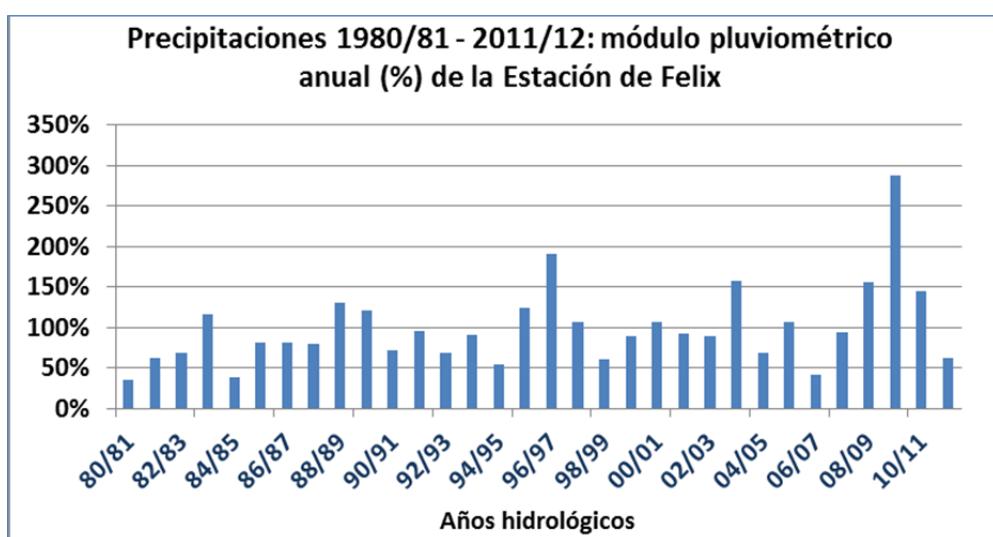
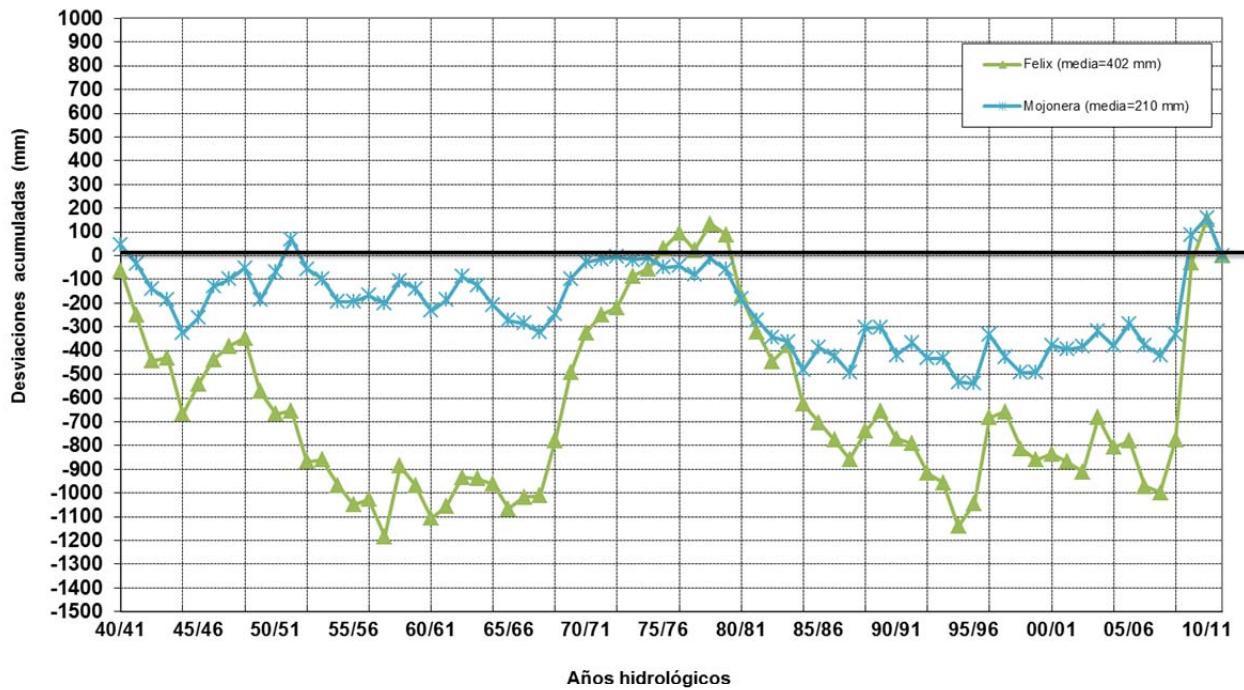


Figura 6.1.10: Módulo pluviométrico anual para la Estación de Felix, entre 1980/81 y 2011/12; datos históricos del IGME y de la Fase I (2007/08 - 2011/12). El valor medio (402 mm/año) corresponde al período 1940/41 – 2011/12. El año 2009/10 resultó el 286% de esta media.

**Precipitaciones anuales:1940/41 - 2011/12
desviaciones acumuladas respecto a la media**



**Precipitaciones anuales:1940/41 - 2010/11
desviaciones acumuladas respecto a la media**

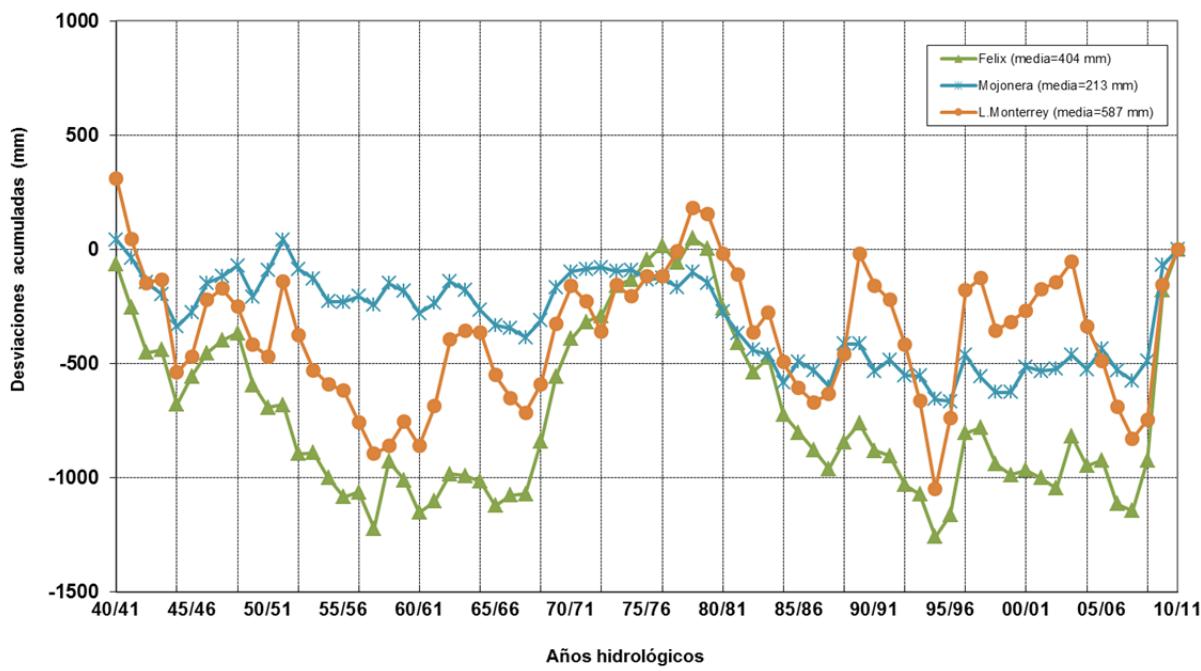


Figura 6.1.11: Desviaciones acumuladas respecto a la media para las estaciones pluviométricas de la zona. **Inferior:** período 1940/41-2010/11, estaciones de Felix, Laujar Monterrey y La Mojonería, representativas de la vertiente sur y norte de la Sierra, y de la llanura, respectivamente. **Superior:** Para Felix y La Mojonería de Felix, desde 1940/41 a 2011/12.

Según estas desviaciones acumuladas, en la Mojonería y en Felix, se observaron dos tendencias ascendentes y una descendente, entre mediados de los años 60 –inicio del registro

histórico de datos hidrogeológicos- y el año 2011/12. En Laujar Monterrey, por otra parte, las tendencias interanuales de las precipitaciones fueron más complejas, con un mayor número de ellas para el mismo intervalo temporal (**Cuadro 6.1.6**).

Estación pluviométrica	Tendencia ascendente	Sin tendencia	Tendencia descendente
La Mojonera de Felix	<u>68/69 – 70/71</u> 3 años Sube 300 mm hasta el valor 0 mm	<u>71/72 - 78/79</u> 7 años	<u>79/80 – 83/84</u> 5 años Baja hasta -400 mm
	<u>09/10 – 10/11</u> 2 años Sube 500 mm, y se queda en +200 mm	<u>84/85 – 08/09</u> 25 años Como media: -400 mm Varía de -300 a valores de - 500 mm	
Felix	<u>67/68 - 76/77</u> 10 años Sube 1100 mm hasta el valor +100 mm	<u>88/89 – 08/09</u> 20 años Como media -850 mm Varía de -400 mm a valores de – 1100 mm	<u>79/80 - 87/88</u> 9 años Baja hasta -900 mm
	<u>09/10-10/11</u> 2 años Sube 1000 mm, y se queda en +200 mm		
Laujar Monterrey	<u>68/69 – 78/79</u> 11 años Sube 800 mm		<u>79/80 – 86/87</u> 8 años Baja 800 mm
	<u>87/88 – 89/90</u> 3 años Sube 700 mm		<u>90/91 – 94/95</u> 5 años Baja 1000 mm
	<u>95/96 – 97/98</u> 3 años Sube 900 mm <u>99/00 – 03/04</u> 5 años Sube 300 mm		<u>04/05 – 07/08</u> 4 años Baja 700 mm
	<u>08/09 – 10/11</u> 3 años Sube 800 mm		

Cuadro 6.1.6: Mediados de la década de 1960 a 2011/12: tendencias interanuales de las precipitaciones en la zona de llanura (La Mojonera), vertiente sur de la Sierra (Felix) y vertiente norte de ésta (Laujar Monterrey). Para esta última estación sólo se ha contado con datos anuales hasta 2010/11. Se indican los período de tendencias, su número de años y valores alcanzados de desviaciones acumuladas respecto a la media de 1940/41 – 2011/12 (o 2010/11 para L. Monterrey). Los períodos temporales prácticamente coincidentes se indican con el mismo color.

En las estaciones analizadas del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías, desde 1980/81 (el período de inicio del seguimiento detallado de las extracciones) las precipitaciones presentaron una tendencia decreciente hasta mediados de la década de 1980 (1983/84 y 1987/88 para La Mojonera y Felix, respectivamente). Los siguientes 20 - 25 años, hasta 2008/09, no pareció observarse tendencia interanual, con valor promedio de la desviación respecto a la media de -400 mm y de -850 mm en cada estación referida (variando unos 200 mm para la de la llanura y 700 mm en la Felix). En los años 2009/10 -10/11 se produjo una muy importante tendencia ascendente, con un incremento de 500 y de 1000 mm para La Mojonera y la otra estación, respectivamente (**Fig. 6.1.11**).

Durante el período de datos 1980/81 – 2010/11, la estación de Laujar Monterrey, representativa de las precipitaciones en el Alto Andarax (probable zona de flujos subterráneos hacia el AIN) presentó cambios de tendencias más acusadas que en la vertiente meridional de la Sierra y en parte coincidentes con las de ésta. Como en las zonas referidas, hasta mediados de la década de 1980 se tuvieron tendencias descendentes de las precipitaciones, pero éstas también tuvieron lugar en los intervalos: 90/91 - 94/95 (con la mayor bajada del registro de datos, hasta 1000 mm de la desviación acumulada respecto al valor medio) y en 04/05 – 07/08. Respecto a sus tendencias ascendentes, se produjeron en 87/88 – 89/90, 95/96 – 97/98 / 03/04, 95/96 y 97/98 (con el máximo incremento, correspondiente a 900 mm), y en 2008/09 – 10/11.

6.2.- ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LA PIEZOMETRÍA (TRABAJO 1B)

Como en el caso del resto de los trabajos definidos para llegar al Objetivo Primero de la Fase I, la actualización del conocimiento de la piezometría se pudo llevar a cabo mediante la obtención de nuevas informaciones, en este caso piezométricas, tomadas de los principales acuíferos del subsistema, obtenidas principalmente entre 2008 y 2010 y, de forma mucho menos detallada y más esporádica, en los períodos de prórroga: 2011-2013. En el Anexo 3 se incluyen documentos seleccionados con todos estos trabajos (cuyo catálogo completo corresponde al Documento 230, en Anexo 12), estando todos los datos cargados en la base AGPZ del IGME.

Se llevaron a cabo mediciones comparables sobre la cota del nivel del agua en puntos de agua de los principales acuíferos, destinadas a la interpretación de la evolución de su funcionamiento hidrogeológico, así como a la ampliación del conocimiento sobre los aspectos cuantitativos de zonas preseleccionadas por su especial interés (Zonas Estratégicas Preferentes, ZEP, definidas con el Trabajo 2A, apartado 7.1) tendente a alcanzar los objetivos de apoyo a la gestión incluidos en este Programa.

Entre 2008 y 2013 se recogieron del orden de 3100 medidas de los distintos acuíferos, unas 1100 de los acuíferos inferiores y unas 2000 de las coberturas.

Además de los nuevos datos piezométricos obtenidos específicamente para este Trabajo 1B, se incorporaron las medidas resultantes de otras actividades de la Fase I (campañas de ejecución de registros geofísicos en sondeos para el estudio del avance de la intrusión marina, ensayos hidrodinámicos para el análisis de ZEP, etc.), así como datos contrastados externos a este Programa (de las medidas mensuales asequibles de la red de piezometría de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas -CMA- de 1999 a 2013; algunos datos suministrados por los usuarios; etc.).

También se incluyeron, en 2011, 2012 y 2013, medidas procedentes de otros proyectos del IGME que constituyeron un complemento que alivió en parte -en algunos sectores de acuíferos inferiores- el carácter muy discontinuo de la información piezométrica obtenida en los períodos de prórrogas de la misma Fase I. En la Figura 6.2.1 se muestra un ejemplo del análisis simultáneo de informaciones de distinto origen, destinado a conocer la evolución piezométrica de los acuíferos inferiores hasta diciembre de 2013 (en este caso del AIN, en el sector oriental del área libre de explotación de El Águila, donde se encuentra un piezómetro de la red de observación de CMA, y donde el IGME tiene instalado un limnígrafo).

El diseño de estas nuevas campañas piezométricas fue llevado a cabo básicamente desde la actividad 12 (apoyado en parte por las Actividades 3 y 1) atendiendo al conocimiento previo del IGME (tanto del modelo más actualizado de geometría y evolución del funcionamiento de estos acuíferos, como al conocimiento de los puntos de agua preexistentes) así como a los resultados del estudio de la nueva infraestructura de sondeos mecánicos privados realizados hasta 2011 (de los Trabajos 1A y 1C de la Fase I). En lo posible, los períodos de realización de campañas de piezometría se adaptaron a las circunstancias hidrogeológicas y al estado del uso entonces existente de los acuíferos, así como a la coordinación con otras actividades y tareas de esta Fase, y a las necesidades de los usuarios (los propietarios de la gran mayoría de los puntos de observación).

Según el Plan de Trabajo inicial, se precisaba obtener en campo, por campaña, nuevos datos del nivel piezométrico mediante puntos de la red piezométrica utilizada históricamente por el IGME (de los cuales ya era conocida su representatividad) en unos 95 piezómetros de los **acuíferos inferiores** y un máximo de unos 285 puntos de los **acuíferos de cobertura** (e inferiores en sus áreas de relación) en las ZEP. Sin embargo, surgieron diversas circunstancias que dieron lugar a la modificación del desarrollo previsto de estas operaciones.

**Estudio de datos simultáneos de distinto origen:
ejemplo en la zona oriental del Área de El Águila del AIN**

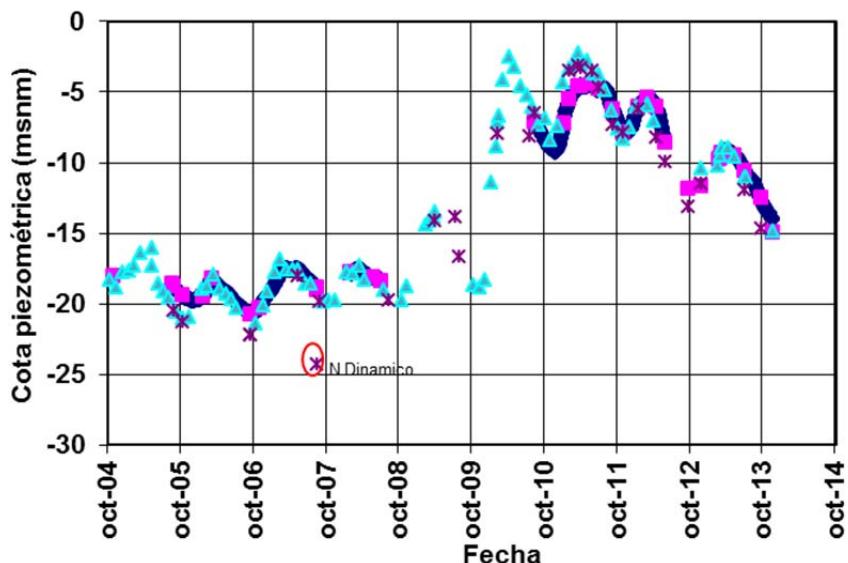


Figura 6.2.1: Análisis simultáneo de datos piezométricos de distintos orígenes: ejemplo para la zona oriental del área libre de El Águila del AIN. Con los diferentes colores se indica cada origen: en **azul oscuro**: medidas del limnógrafo (localizado en el sondeo particular 691-D), registro histórico del IGME y datos, 2011-2013, del proyecto “Actividades técnicas y mantenimiento de infraestructura hidrogeológica del Dto. Investigación y Prospectiva Geocientífica” de este Instituto. En **azul claro**: datos del piezómetro 777D de la red de CMA; en **rosa y morado**: contrastes y campañas piezométricas del registro histórico del IGME (2004-2007), de la Fase I (2008-2010) y de sus prórrogas (2011-2013). Modificada de IGME:”Resultados del proyecto de Actividades técnicas y mantenimiento de infraestructura hidrogeológica del Dto. Investigación y Prospectiva Geocientífica, parte almeriense”, 2014. Del documento 237, en Anexo 3.

Los piezómetros, como los puntos de observación para la obtención de las otras variables necesarias para la Fase I -hidroquímicas, hidrodinámicas, etc.-, son en un 95% o más **captaciones privadas**, como se ha dicho, por lo que la medición del nivel del agua en los distintos acuíferos y sus áreas estuvo supeditada a la **disponibilidad o no de estas captaciones**, así como a **las necesidades y requerimientos de sus propietarios**. De esta manera, se careció de los puntos de observación necesarios en diversos sectores de los principales acuíferos (como en el caso de la zona occidental del área de El Águila del AIN y de amplias zonas de los acuíferos de cobertura) principalmente por la **inexistencia de obras y/o de puntos adecuados** y, en menor medida, por la **negativa de algunos de los propietarios** (no integrados en la JCUAPA) a **facilitar su acceso** para que se llevaran a cabo las tareas necesarias, que derivó en la pérdida de la posibilidad de medición de algunos piezómetros históricos de especial interés.

Para el caso de los **acuíferos inferiores** hay que destacar que **la sustitución de numerosas de las antiguas captaciones existentes en los mismos por nuevas obras** (realizadas entre 2000-2011) complicó la obtención de nuevos datos, por la necesidad conocer las **características de su acondicionamiento y validar la representatividad de estas últimas obras** (que se fueron estudiando durante la Fase I con el análisis conjunto de las medidas de distinto tipo obtenidas en las mismas (explotaciones, piezométricas, hidroquímicas, registros geofísicos en su caso, etc.).

En los **acuíferos de cobertura**, por su parte, debido al **progresivo abandono de su utilización**, cada vez fue resultando más difícil encontrar donde poder llevar a cabo estas mediciones (numerosos de sus piezómetros históricos quedaron inservibles) problema especialmente relevante para el conjunto de los acuíferos Superior e Intermedio del Sector Noreste, y para zonas extensas del ASC.

La captación de nuevos datos piezométricos siguió, como era preceptivo en el Plan de trabajo diseñado, las metodologías de las investigaciones precedentes del IGME -como se ha dicho adaptadas principalmente a la explotación intensa, la compleja estructura y al cambiante funcionamiento hidrogeológico de estos acuíferos, así como a la necesidad de comparación de las nuevas medidas con las muy numerosas preexistentes en el registro histórico- recogiéndose en campo **con el detalle suficiente** todas aquellas **informaciones complementarias de interés** en cada campaña (de actualización de croquis de referencias de medidas, sobre las condiciones del tiempo de parada de los piezómetros para hacer la medición, las características del bombeo en el entorno del mismo, etc.) que quedaron reflejadas en los listados de las distintas campañas y en las bases de datos.

Estas informaciones complementarias resultaron de gran importancia para **la valoración de los datos piezométricos obtenidos**, conjuntamente con los resultados del estudio de las informaciones hidroquímicas, etc., aportadas desde otros trabajos de la Fase I. Con ello se seleccionaron los **piezómetros representativos de cada acuífero**: es decir los puntos básicos para la interpretación de la evolución de su funcionamiento hidrogeológico, de las relaciones entre acuíferos y de éstos con el mar, etc.

La **Figura 6.2.2** ilustra la **importancia y necesidad de esta valoración de la representatividad de medidas piezométricas y puntos** con el ejemplo del estudio de los datos históricos del sondeo 697D. Esta obra (localizada en la zona confinada del AIO) perforó materiales del ASC y del AIO, quedando inicialmente acondicionada para explotar únicamente las calizas y dolomías alpujárrides del acuífero inferior. El estudio de sus medidas históricas detectó, por un lado **la existencia de conexión en la obra entre el acuífero superior y el AIO, para 1993/94**: expresada con valores positivos medidos de las cotas piezométricas aparentes y con el estudio simultáneo de la modificación producida en las características físico - químicas de su agua de bombeo. Por otra parte, la información complementaria recogida durante las mediciones mostró la gran influencia del bombeo del punto y/o de su entorno, midiéndose niveles dinámicos del orden de 25 m menores que los existentes en condiciones estáticas. Así, la evolución piezométrica del AIO para este período temporal sólo “puede entenderse” cuando se utilizan las medidas representativas (quitando los datos del punto correspondientes a períodos con mezclas de acuíferos en la obra, y los afectados por su extracción).

Dentro de la Fase I, entre 2008 y 2010 se llevaron a **cabo cinco campañas extensivas** de obtención de nuevos datos (la localización de los puntos medidos en estas campañas se refleja en la **Figura 6.2.3**). Su secuencia temporal fue la siguiente: una campaña al final de 2007/08 (agosto de

2008), dos en 2008/09 (en abril y julio/agosto de 2009), y dos campañas en 2009/10 (en febrero y agosto de 2010).

Sólo las tres primeras campañas citadas correspondieron al diseño original de la Fase I, mientras que el resto se ejecutó a expensas de la **reformulación del Plan de trabajo**, eliminando algunas tareas inicialmente programadas, consideradas de menor prioridad. Pese a no estar prevista la realización de más campañas piezométricas que las de 2008 y 2009, **las prórrogas del tiempo de ejecución de los trabajos obligaban a la inclusión de algunos controles esenciales para mantener el conocimiento del estado de funcionamiento de los acuíferos principales**, entre ellos, de la evolución de los niveles piezométricos.

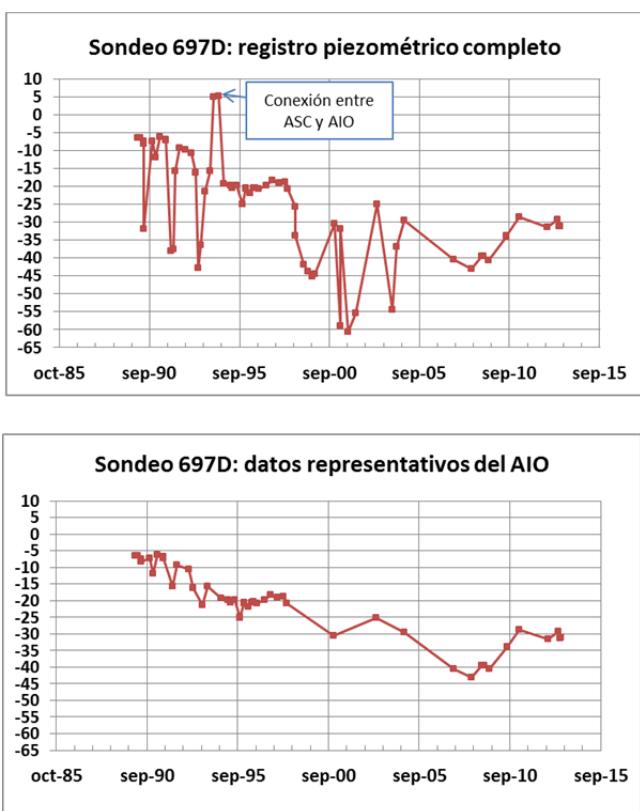


Figura 6.2.2 Análisis de la representatividad de puntos y medidas piezométricas. Ejemplo del estudio del sondeo 697-D, en la zona confinada del AIO. **Superior:** registro histórico completo de medidas de la captación: se detectó conexión entre el ASC y el AIO en la obra durante 1994, así como la gran influencia del bombeo (con descensos de 20 m o más en el nivel del agua) en parte de su historial. **Inferior:** gráfico realizado sólo con los datos representativos, que aportan información sobre las tendencias en el AIO entre 1989/90 y 2012/13.

A las consideraciones anteriormente expuestas (en relación con la realización de otras campañas extensivas piezométricas) se añadió la favorable circunstancia de iniciarse en diciembre de 2009 (Fig. 6.2.4) el período de lluvias que hicieron del **año hidrológico 2009/10 el más húmedo del registro histórico de las últimas siete décadas para este territorio** (según se reflejó en las Figuras 6.1.1 y 6.1.2), con módulos de precipitación anual que, para las estaciones que sirven de referencia, llegaron al 200% - 300% de la media histórica anual, tanto en el ámbito de la Sierra de Gádor – Sierra Nevada como en el de la llanura del Campo de Dalías.

Para registrar el efecto piezométrico de estas precipitaciones más copiosas se inició la ejecución de estas campañas complementarias. La primera de 2010 se llevó a cabo en febrero, siendo la de julio-agosto del mismo año algo más reducida. Su objetivo fue, como se ha dicho, conocer la influencia de las precipitaciones en los distintos acuíferos. La estrecha relación de la cantidad de precipitación caída sobre este medio físico con la cantidad de entradas por infiltración a los acuíferos que nos ocupan (carentes, como es sabido, de escorrentías superficiales más o menos continuas de las que puedan recargarse) suponía una oportunidad de añadir conocimiento (en muchos aspectos sobre los mismos) que no podía ser desatendida. Se trataba de detectar las respuestas en cantidad, de recuperación de niveles en los distintos acuíferos, y sectores de los mismos (en la horizontal y vertical de sus secuencias litoestratigráficas, su disposición libre o confinada, etc.) y su relación con la ocurrencia de los picos de precipitación (para compararlos con registros históricos de este carácter), así como sus características (rapidez de llegada, efecto diferido y su duración, etc.), la mayor o menor relación con la generación de escorrentías en ramblas, duración de éstas, etc., etc.

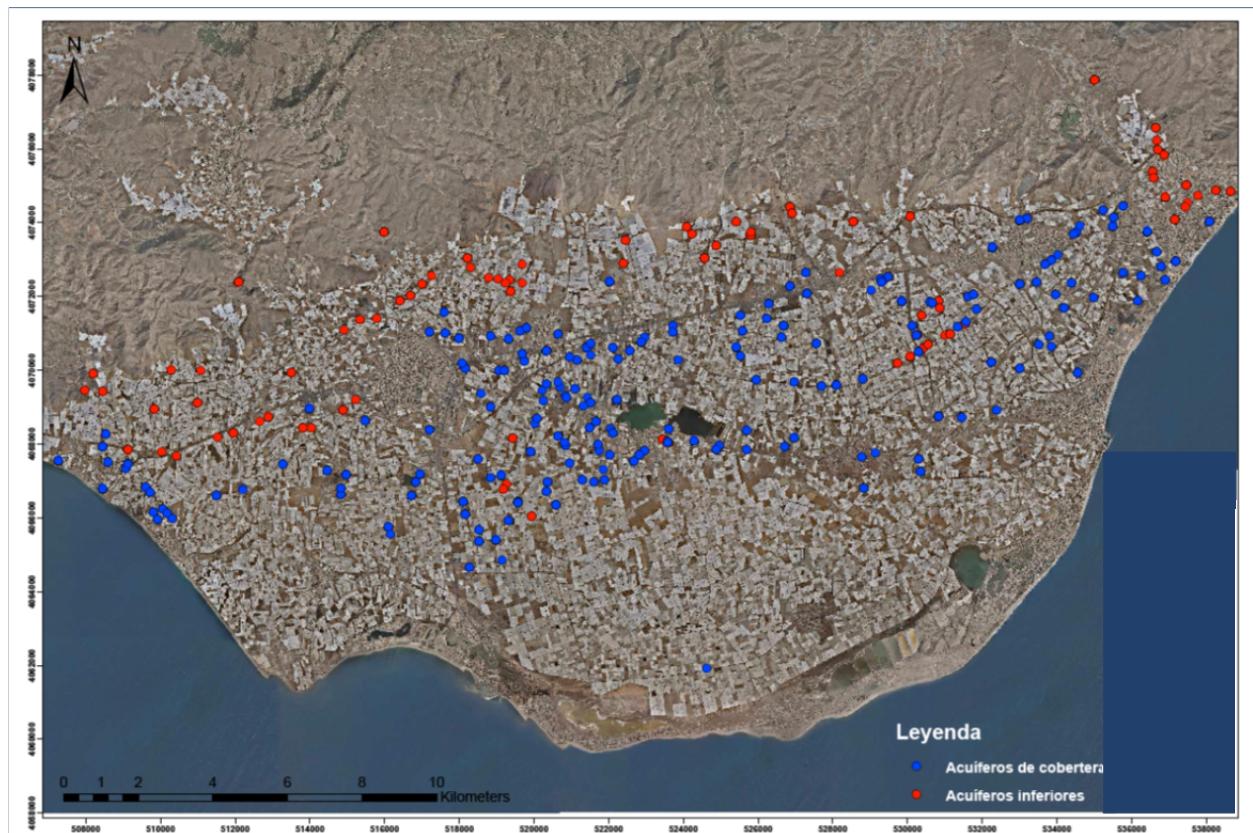


Figura 6.2.3: Localización de los puntos medidos en las campañas extensivas de piezometría de 2007/08 – 2009/10, con diferenciación de los que captan acuíferos inferiores (rojo) y coberturas (azul). Se advierten las amplias zonas de las coberturas en las que no se tienen puntos para la observación. Del documento 102, en Anexo 13.

Durante los períodos de prórrogas de la Fase I (2011-2013), la información piezométrica recogida en campo fue muy inferior: **en 2011 se obtuvieron medidas en un número menor de puntos de los diferentes acuíferos** (en febrero y en julio de 2011), que llegaron a ser **controles mínimos en los dos años siguientes** (realizados por el IGME en noviembre 2012 y julio de 2013).

Las interpretaciones de la información recogida en esta actualización de la piezometría, para los acuíferos de cobertura, se llevaron a cabo en base al estudio de la distribución espacial de la misma con datos representativos, llevando a cabo esquemas de isopiezas y de distribución

de flujos en períodos de interés, mientras que, para el caso de los acuíferos inferiores, las observaciones contrastadas se estudiaron en el tiempo por áreas de explotación. No se considera de interés la realización de esquemas de isopiezas para estos últimos acuíferos dado que, como ya se sabía por los estudios precedentes, las modificaciones que tienen lugar en su nivel del agua por efecto del entorno de bombeo (reflejadas en el ejemplo de la Figura 6.2.2) en el momento de llevar a cabo las medidas resultan superiores a la variación espacial del nivel del agua de unas zonas a otras del acuífero.

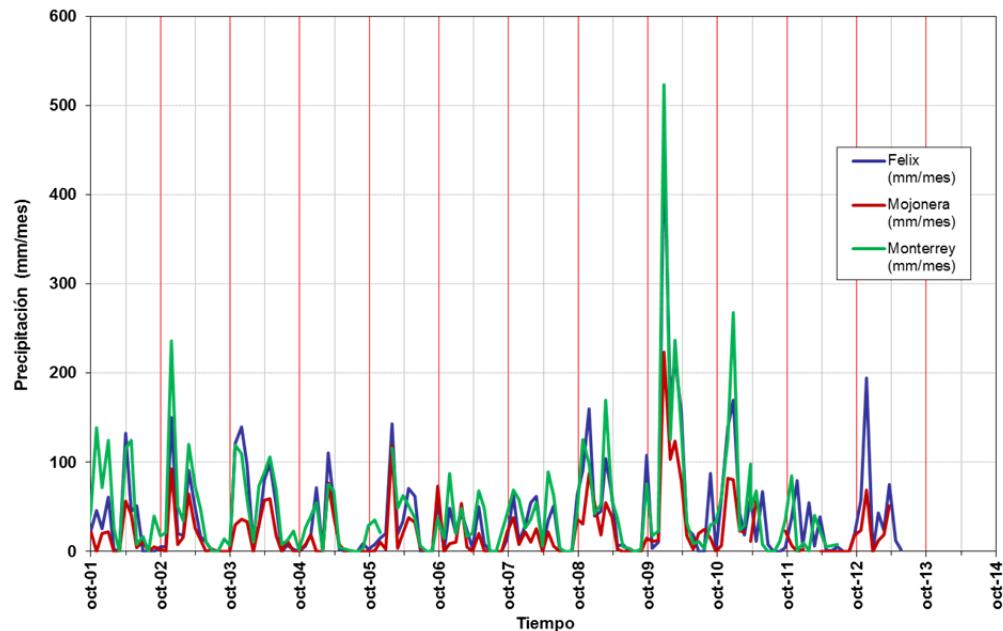


Figura 6.2.4-: Precipitaciones mensuales (2001/02 – 2012/13) en las estaciones de La Mojonera de Felix, Felix y Laujar Monterrey. Se observa la importancia de las lluvias caídas en 2009/10. Gráfico realizado con datos de CMA.

Las primeras elaboraciones correspondieron al análisis de una campaña extensiva realizada por este IGME en agosto de 2007 (Figura 6.2.5) plasmadas en un esquema de isopiezas y de distribución de flujos entre estos acuíferos, los inferiores y el mar, para el AEBN, ASC, ASN y capa libre del AItN. Cada año, siguieron estudiándose estas distribuciones piezométricas, incorporando las nuevas mediciones realizadas y el análisis de su contraste. Las Figuras 6.2.6 y 6.2.7 muestran estos esquemas para distintos períodos temporales, posteriores a las lluvias excepcionales citadas.

Además de los datos contrastados obtenidos durante el Programa, o del registro histórico del IGME, para el análisis detallado de la distribución espacial de la piezometría de las coberturas, se tuvieron en cuenta las informaciones deducidas por extrapolación de campañas de piezometría históricas en áreas de interés con falta de información más actual al respecto, y las medidas de la red mensual de la CMA de puntos de los acuíferos de cobertura obtenidas durante el mes de ejecución de cada campaña.

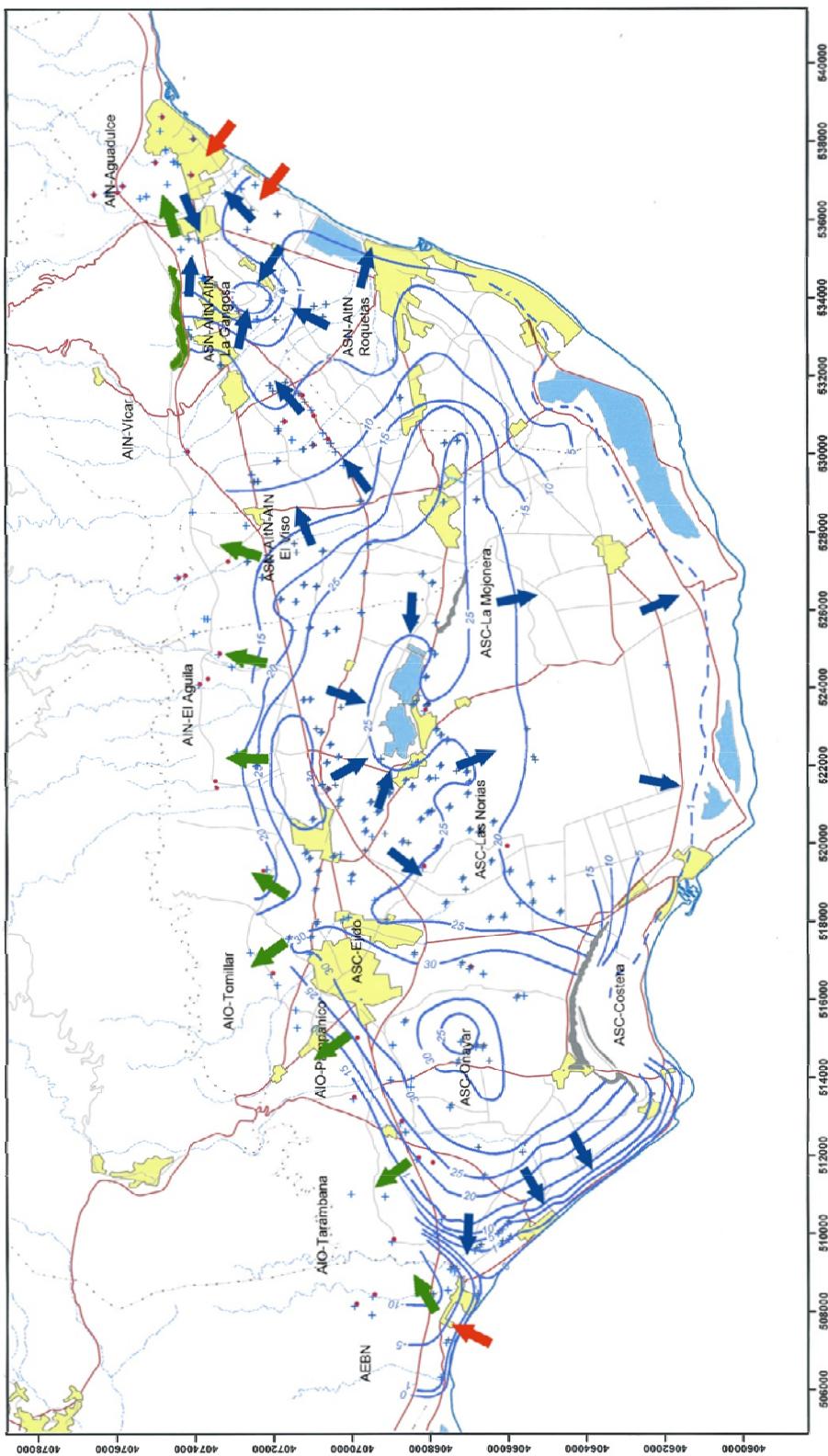


Figura 6.2.5: Esquema de isopiezas de los acuíferos de cobertura y de distribución de flujos entre éstos, los acuíferos inferiores y el mar, en Agosto de 2007. Para el caso del AltN incluye su capa libre. **Leyenda:** líneas azules: isopiezas de las coberturas; cruces: piezómetros de éstas; puntos rojos: puntos medidos en los acuíferos inferiores. Flechas: color azul: flujos en coberturas; verdes: sus relaciones con los acuíferos inferiores; rojas: intrusión marina (directa o indirecta) a estos últimos acuíferos. Modificado de documento 111 de la Fase I en [Anexo 7](#).

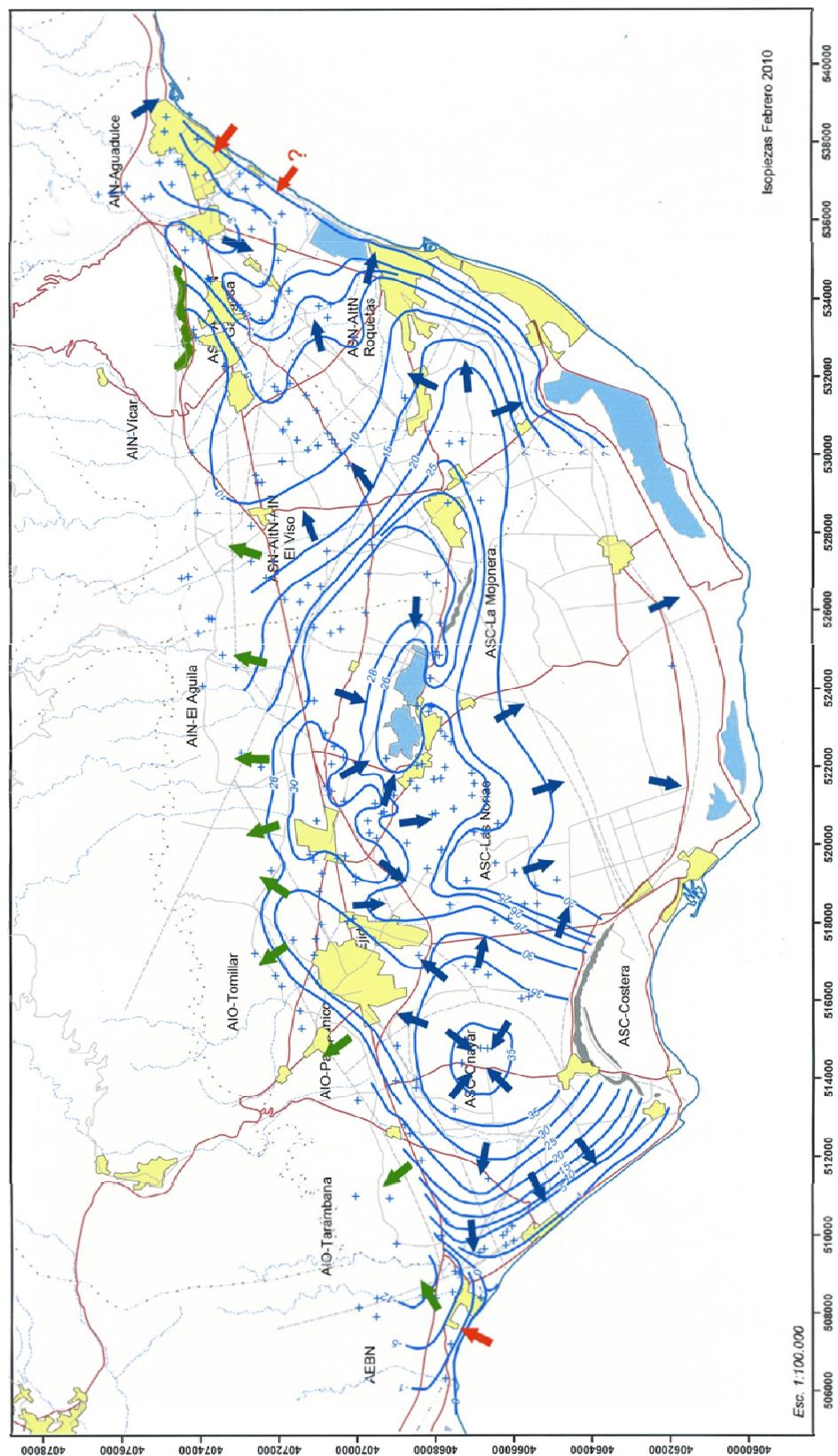


Figura 6.2.6.- Esquema de isopiezas de los acuíferos de cobertura y de distribución de flujos entre éstos, los acuíferos inferiores y el mar. Febrero de 2010. Para el caso del AItN incluye su capa libre. Ver leyenda en [Figura 6.2.5](#) Modificada del documento 113 en [Anexo 3](#).

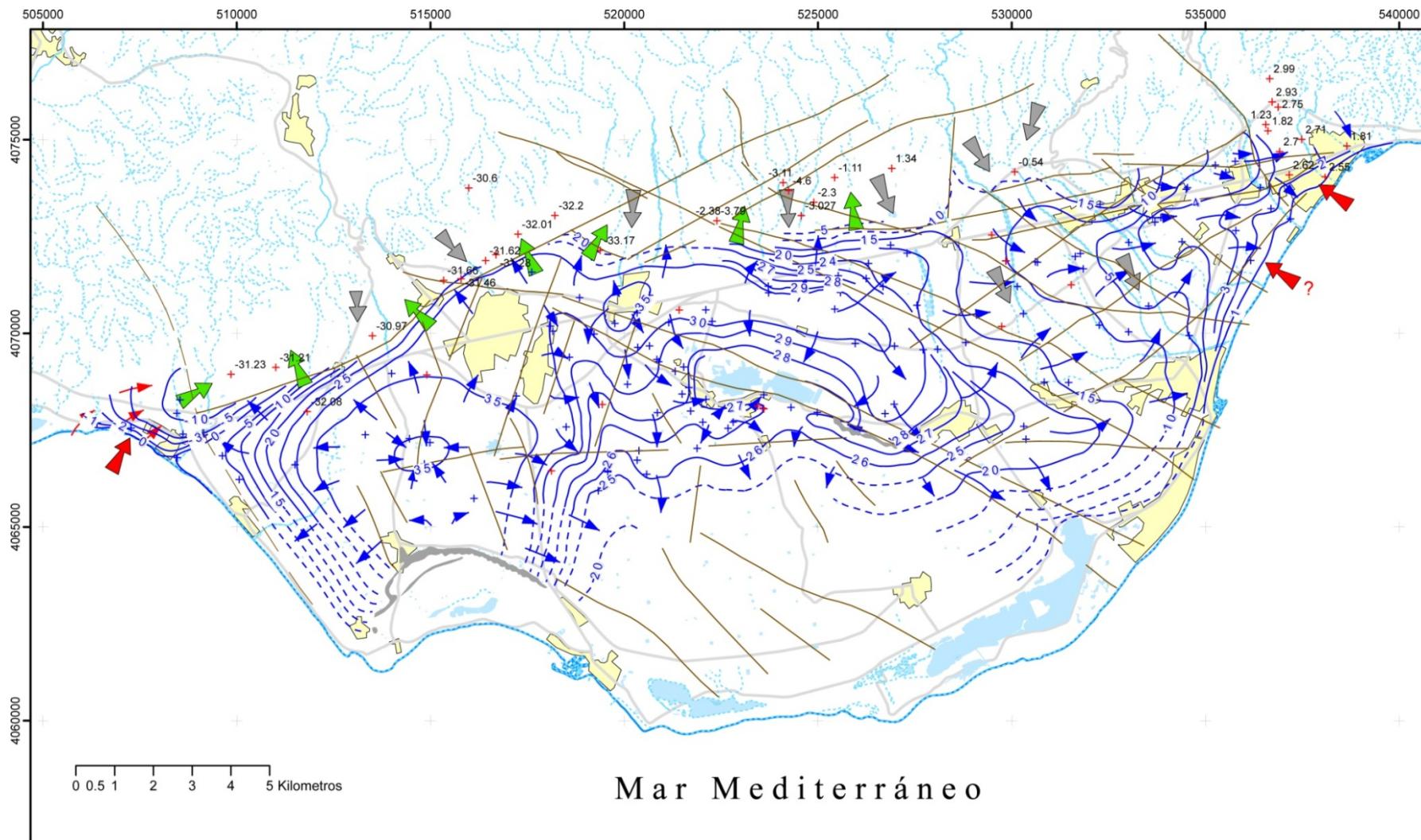


Figura 6.2.7: Esquema de isopiezas de los acuíferos de cobertura y de distribución de flujos entre éstos, los acuíferos inferiores y el mar. Marzo de 2011. Para el caso del AItN incluye su capa libre. **Leyenda:** líneas azules: isopiezas de las coberturas; cruces azules: piezómetros utilizados de estos acuíferos en el esquema; cruces rojas: puntos medidos en los acuíferos inferiores (se indica su valor de cota piezométrica en msnm para los situados en zonas libres). Flechas: color azul: flujos en coberturas; verdes: sus relaciones con los acuíferos inferiores; rojas: intrusión marina (directa o indirecta). Flechas grises: entradas importantes desde las escorrentías superficiales a las coberturas.

Como ejemplo del esfuerzo de las tareas que fue necesario realizar para estos análisis y elaboraciones de medidas, se describen las asociadas a la citada campaña de agosto de 2007: del total de 338 puntos incluidos en su diseño, resultaron medibles 235, depurándose los datos con influencia del bombeo, los puntos con dudas sobre el acuífero captado por posible presencia de mezclas por reprofundización del sondeo, falta de información confiable, hasta el momento, sobre sus características constructivas, y en los que se pusieron en evidencia cotas del agua aparentemente anómalas en relación con el resto de las obtenidas en las distintas zonas, con presencia de recargas puntuales de agua en sondeos, etc..

Las incidencias ocurridas a lo largo de la Fase I **sobre los puntos medibles de los acuíferos de cobertura** (sondeos o pozos abandonados, desaparecidos o enterrados, algunos de los cuales dejaron importantes lagunas de información espacial) **pusieron aún más de manifiesto la necesidad** (ya señalada en estudios previos) **de complementación de la red de observación piezométrica**, principalmente en zonas de interés (ZEP) en las que esta falta de infraestructura resultó muy patente.

Las características de estos acuíferos detriticos y de su funcionamiento en los últimos años originaron una morfología resultante de este manto libre muy similar a la que se construyó para agosto de 2007. Mostró una reconstitución de reservas generalizada, siguiendo la pauta general de ascensos piezométricos lentos en casi toda su extensión.

Puede comentarse que este conjunto de acuíferos, cuya recarga natural se produce esencialmente por infiltración de la lluvia caída sobre su superficie y, de manera muy especial, de la que provocan las avenidas torrenciales de los cauces que, procedentes de la Sierra, se adentran en su ámbito, se descarga por casi todo su contorno. A las recargas referidas hay que añadir las forzadas por el uso agrícola y urbano, cuya importancia es muy notable como es sabido.

De Oeste a Este, del funcionamiento de este manto, que en parte descarga al mar por una importante franja costera, cabe destacar por su mayor interés la continuidad de su descarga subterránea hacia el AEBN y el AIO; la recuperación de la antigua depresión piezométrica de Onáyar; la alimentación subterránea a la laguna generada en la Balsa del Sapo (afloramiento de su nivel piezométrico); la continuación de su descarga subterránea hacia los extremos noroeste y suroeste del ASN; y la recarga recibida en sus bordes septentrionales (por los cauces de las ramblas cuando le alcanzan sus escasas escorrentías y por los aluviales de dichas ramblas más importantes) destacando la que provoca en su extremo noreste la Rambla de las Hortichuelas (sobre el ASN), y en el sector central de dicho límite, las del Águila, Bernal, Carcáuz, El Cañuelo, etc..

La disminución de los bombeos en los acuíferos de las coberturas – como ya se reflejó en el apartado 6.1 (del Trabajo 1A) 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, provocaron 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 (esquemas 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.

La serie histórica, desde 1972, de estas situaciones de saturación del manto libre de los acuíferos de estas coberturas, así como el registro más o menos detallado de la evolución de los usos que se fueron 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,

comparado con el correspondiente del entorno en cada caso, permitió 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, el conocimiento general del funcionamiento es sólido, aunque la heterogeneidad del medio haya impedido conocer en detalle las características particulares del mismo en cada sector espacial, dependiendo además en cada caso del nivel de información que ha podido estar disponible (en cantidad y representatividad de datos) en estos sectores.

En el Documento 113_1B (en [Anexo 3](#)) se integra un análisis pormenorizado de la evolución espacial de la piezometría de cada una de las ZEP de las coberturas hasta el final del año 2010, y en el Trabajo 2D ([apartado 7.2](#)) se hace un análisis hidrodinámico detallado de cada una de ellas (resumido en el Documento 181, en [Anexo 8](#)). Se exponen, seguidamente, características de la evolución sufrida por las principales zonas de las coberturas del Sector Centro – Occidental del Campo.

Respecto a la **ZEP a** (AEBN y extremo noroccidental del ASC en Los Alacranes y Onáyar), la situación de flujos analizada con los estudios previos a la Fase I se mantiene hasta mediados de 2009/10 con valores mínimos -de -12 msnm- en el piezómetro 508-BJ ([Figura 6.2.8](#)), antes de las precipitaciones extraordinarias ocurridas en dicho año, y, tras la recarga ocasionada por éstas, con una recuperación de niveles máximos de -10 msnm (en marzo de 2012) para el citado piezómetro, y tendencia descendente posterior de 1 a 2m hasta diciembre de 2013. Estas variaciones en el nivel del agua del AEBN fueron concordantes con las experimentadas correlativamente por el AIO, al que está lateralmente conectado, que presentó sus niveles mínimos (de -47 msnm) en octubre de 2009, con ascenso de 19 m hasta marzo de 2012, y tendencia posterior descendente hasta alcanzar, en octubre de 2013, los -36 msnm. En ambos acuíferos, los valores registrados al final del período de estudio fueron similares a los detectados en 1998/99.

En el extremo noroccidental del ASC, que corresponde con la ZEP a, se continuó ganando reservas a lo largo de todo el período, con un ascenso de 6 m en el piezómetro 602-D, entre octubre de 2001 y julio de 2013.

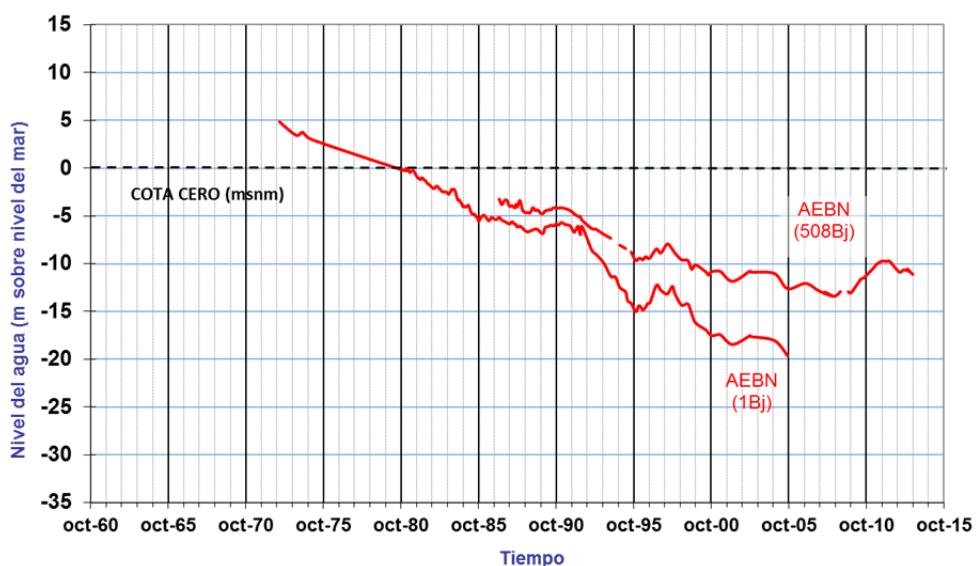


Figura 6.2.8: Evolución piezométrica en el AEBN (1972- 2013), además del piezómetro histórico (1-BJ) se incluye el 508-BJ dado que el primero de ellos, un sondeo particular abandonado por su salinización, desapareció en 2005.

En esta **ZEP b** (Entorno de Onáyar en el ASC) existe una reconstitución de reservas desde inicios de la década de 1980 (Figura 6.2.9). El mismo funcionamiento del ASC observable en los años previos a la Fase I se advierte durante 2008-2013. Sigue mostrando una morfología de altos piezométricos (con una depresión central –el cono de Onáyar–) que ya ha llegado a valores mayores de 38 msnm en julio de 2013. A este cono confluyen los flujos subterráneos que vienen provocando la recuperación histórica de su antigua depresión. Y, hacia el exterior, dichos márgenes presentan una distribución de flujos de descarga subterránea hacia el Oeste, Norte y Este (es decir hacia el mar, hacia el AEBN y el AIO, y hacia el sector occidental de la ZEP c “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.

Los altos piezométricos superiores a 35 msnm casi se han generalizado en la zona, de manera que las descargas hacia el mar y hacia el sureste del propio ASC (ZEP c) han aumentado –al igual que lo han hecho hacia el cono central en recuperación, como era previsible desde que cesaron los bombeos que lo provocaron. La Figura 6.2.9 muestra la evolución piezométrica en cuatro piezómetros de esta ZEP, donde se detecta un aumento de 65 m en el nivel del agua en los últimos 33 años.

Evolución piezométrica en el área de Onáyar del ASC: 1972-2013

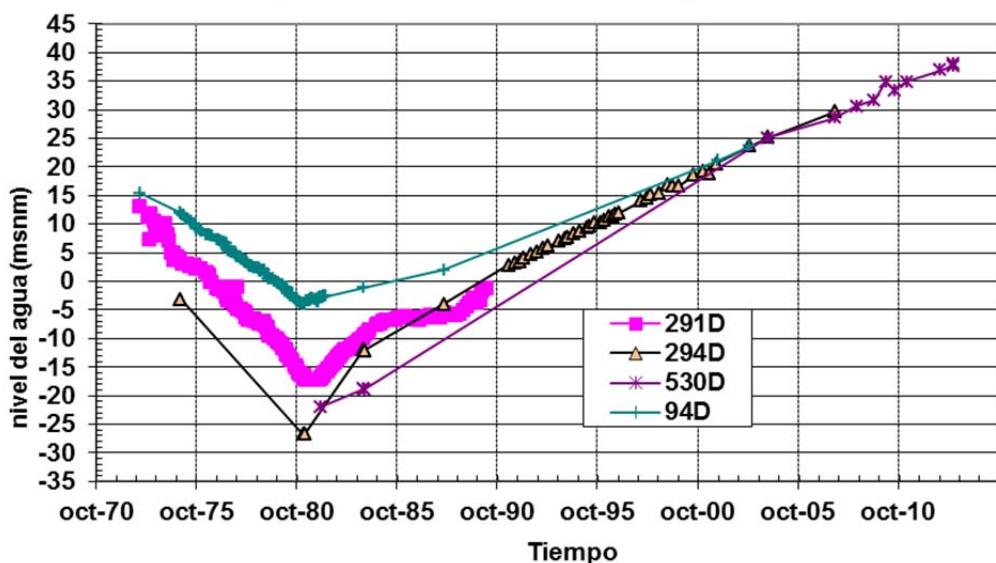


Figura 6.2.9: Hidrogramas de puntos del ASC en el área de Onáyar, período: 1972 – 2013. Tras el descenso registrado en la década de 1970, se observó el aumento progresivo en el nivel hasta la actualidad, que ha supuesto un incremento del orden de 25 m (hasta cotas de 38 msnm) con respecto a los primeros valores medidos en esta área en 1972.

Sobre la **ZEP c** (Entorno de Balsa del Sapo, ASC), en el Documento 146 (en Anexo 3) se incluye un informe detallado, realizado por el IGME en 2011, sobre el funcionamiento hidrogeológico de esta zona a solicitud de la AAA. Como para el caso del resto de las ZEP de las coberturas, el Trabajo 2D analiza, a partir de datos disponibles, las características hidrodinámicas de esta zona, incluidas en el Documento 181, en Anexo 8.

El alto piezométrico existente en la misma (en el sector centro – noreste del ASC, Figura 6.2.10) ha experimentado una elevación de 17 m desde mediados de 1965 (Figura 6.2.11). Presenta en la actualidad una morfología de domo alargado que alcanza cotas en torno a 30 – 35 msnm.

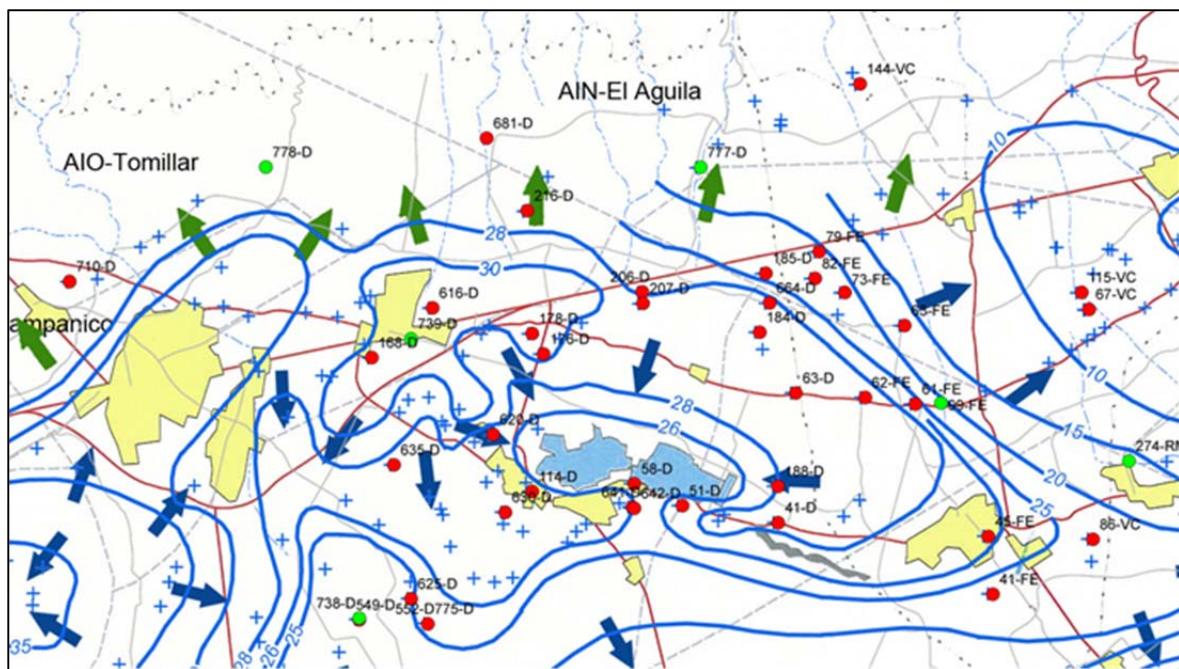
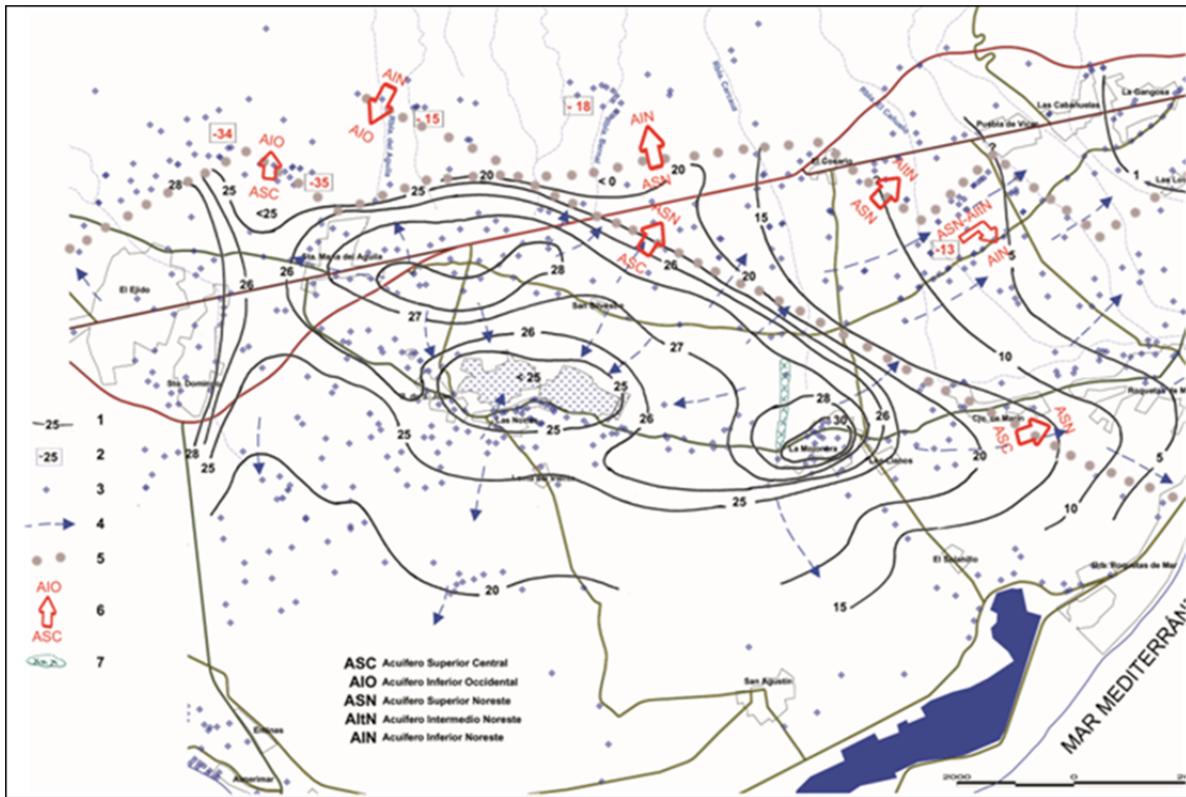


Figura 6.2.10: Detalle de isopiezas y de flujos del entorno de la laguna de la Balsa del Sapo, en la ZEP-c del ASC. **Parte superior:** para Septiembre de 2005: 1= isopieza y su valor (msnm) en los acuíferos de cobertura (ASC, ASN y capa superior de AItN); 2= valor de la cota piezométrica (msnm) en el AIO, y en el AIN en las áreas de El Águila y El Viso; 3= punto de apoyo a la interpretación piezométrica; 4= flujo subterráneo en los acuíferos de cobertura; 5= límite aproximado de la zona de conexión lateral entre acuíferos; 6= relación lateral de flujos entre acuíferos, con indicación del origen y el receptor de los mismos (la relación: del ASN - AItN al AIN semiconfinado del área de El Viso es vertical); 7= divisoria local aproximada de aguas superficiales en el entorno de la Mojonería. **Parte inferior:** para Febrero de 2010. En esta última se indica la situación de piezómetros estudiados para el Documento 146. El contorno de la laguna es aproximado (no incluye los límites actuales de la misma). Los niveles más altos del entorno se observaban en el sector exterior Norte del ASC. Del documento 146, IGME, 2011, en Anexo 3.

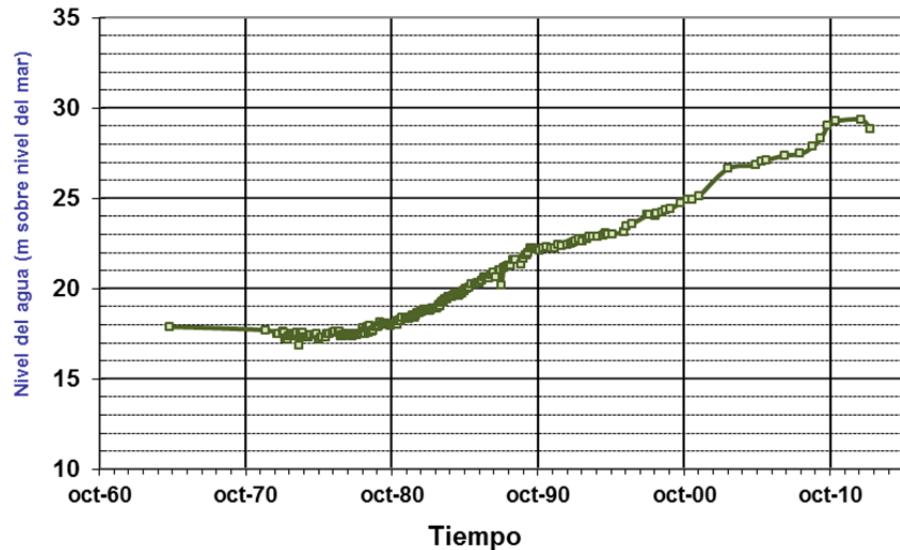


Figura 6.2.11: Evolución temporal del nivel en la ZEP c del ASC, entre 1965 y 2013. Hidrogramas de los puntos 63D y 64-D, localizados en el domo piezométrico al norte de la laguna de la Balsa del Sapo. Se observa ascenso continuo desde 1978. Las recargas extraordinarias de 2010 produjeron un incremento del nivel del orden de un metro. Desde mediados de los 2000 a 2012 se bombeó de la citada laguna 180 L/s que pasaron a 680 L/s a inicios del año 2013; este aumento del bombeo repercute en una tendencia de bajada de los niveles en el ASC en dicho año.

El **afloramiento del ASC constituye la laguna permanente de la Balsa del Sapo**, con crecimiento de su extensión y altura de lámina de agua hasta valores de 27 msnm en enero de 2013 (Figura 6.2.12), previos al aumento de su capacidad de bombeo hasta del orden de 680L/s, para controlar la ocurrencia de inundaciones en instalaciones urbanas y agrícolas del entorno de Las Norias y preservar el humedal; con este último bombeo el nivel de la laguna ha descendido hasta la cota de seguridad, establecida en 22.5 - 23.5 msnm.

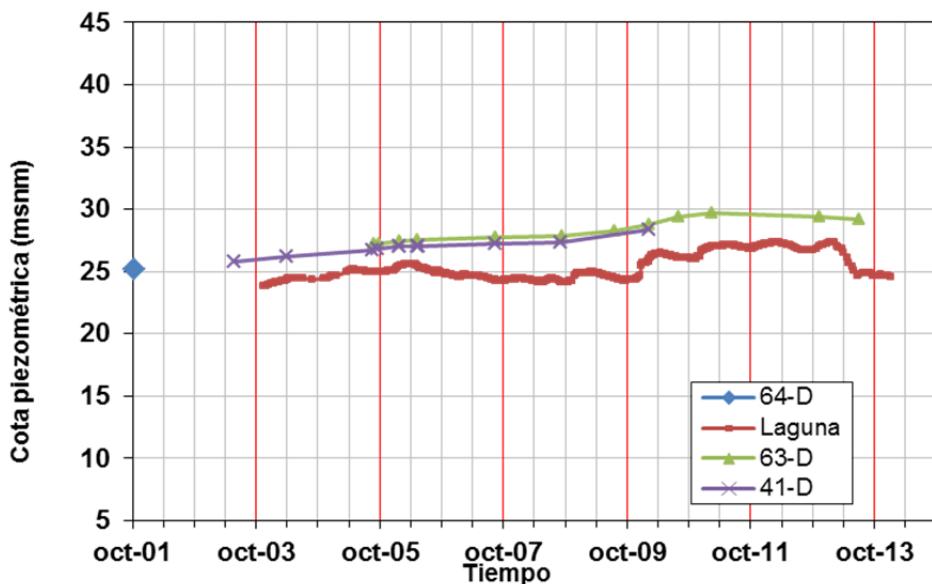


Figura 6.2.12: Detalle de la evolución piezométrica del ASC en la ZEP c: 2001/02 a diciembre de 2013. Se representan los puntos 64-D, 63-D y 41-D, así como el nivel de agua libre en la laguna de la Balsa del Sapo (estos últimos datos suministrados por el Ayuntamiento de El Ejido). Se observa el aumento con las lluvias de 2009/10 – 2010/11 y la bajada por incremento del bombeo en la lámina libre del ASC desde marzo de 2013.

El aumento general de la reserva de agua del ASC, en esta zona, provocó una descarga máxima en 2008/09 hacia sus bordes norte, noreste y sur, es decir hacia los acuíferos AIO y AIN (acuíferos inferiores cuyos niveles se encontraban en torno a 40 y 20 mbnm, respectivamente), al acuífero de cobertura ASN, y hacia el mar, a través de la orla litoral y humedales costeros. A las citadas descargas y a los bombeos aún activos hay que añadir la de nueva generación constituida por la evaporación en la lámina de agua libre en la laguna.

En esta **Zona f** (banda norte de San Agustín en el ASC), 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 privadas, 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 ZEP c, distribuyendo las isopiezas hacia el Sur 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 costera de humedales. Y, por el extremo oriental de la ZEP f, se mantienen además unos flujos de descarga hacia la zona del área de Roquetas del ASN.

Respecto a las **coberteras del Sector Noreste del Campo** (incluidas en las áreas de La Gangosa, El Viso y Roquetas) se han producido **cambios profundos en su funcionamiento a lo largo del tiempo** (en las relaciones entre acuíferos y de éstos con el mar), muy ligados a las grandes variaciones del bombeo en los tramos acuíferos de las distintas áreas, como se expone a continuación, por áreas de explotación, considerando **cuatro intervalos temporales: 1970-1981, 1981-1989, 1989-2009 y 2009- 2013**. La **Figura 6.2.13** muestra hidrogramas de puntos de las capas libres y confinadas de La Gangosa, mientras que la **Figura 6.2.14** lo hace para la capa libre de El Viso, y la **Figura 6.2.15** refleja la evolución en las capas libre y confinada del área de Roquetas.

En el **área de La Gangosa**, en el **primer período** señalado, su bombeo se repartió en la capa libre y la confinada, totalizando unos 14 hm³/a en 1980/81. Desde inicios de 1970 se fue desarrollando una gran depresión piezométrica, con mayores profundidades hacia la cobertura pliocena de El Viso y que se extendió hasta cerca del límite oriental del área con la de La Gangosa y el borde noroeste de la de Roquetas (**Figuras 6.2.13, 6.2.14 y 6.2.15**). Las dos capas (de La Gangosa y la capa libre de El Viso) tenían niveles piezométricos negativos, que se dirigían hacia la capa pliocena de El Viso. La citada depresión piezométrica generada en las capas libres de El Viso – Gangosa supuso la confluencia de flujos hacia las mismas desde todas las áreas y zonas de su exterior (El Águila, borde norte de El Viso – Gangosa, Aguadulce, Roquetas y el ASC).

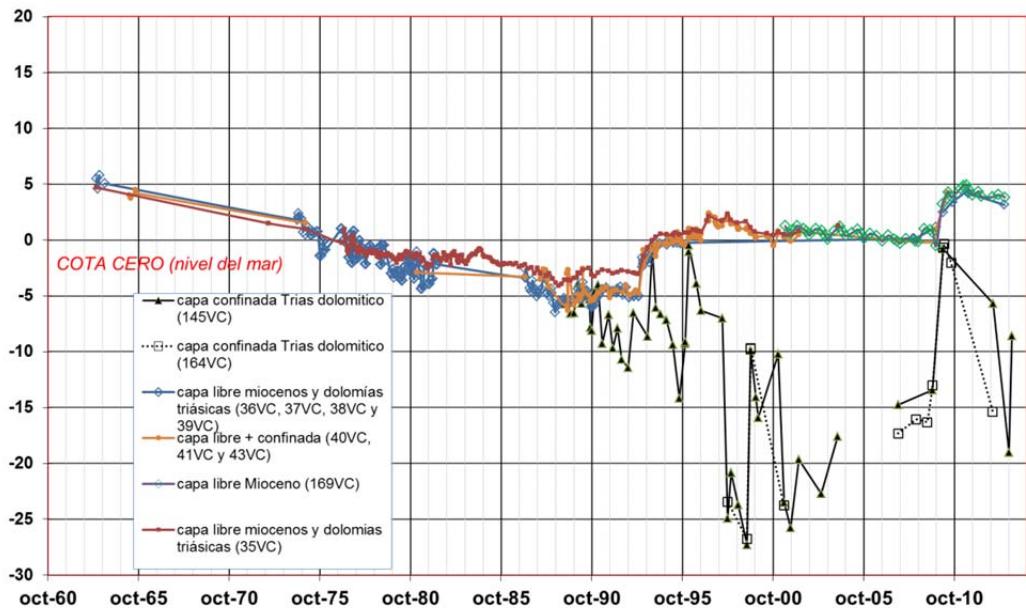


Figura 6.2.13: Evolución temporal de la piezometría en las distintas capas del área de La Gangosa: capa libre miocena, capa libre en materiales miocenos y dolomías triásicas, capa libre más confinada y capa confinada triásica (ver leyenda). Los niveles más bajos durante la explotación del AItN se observaron a finales de la década de 1980. La disminución drástica del bombeo en 1993 produjo el ascenso a cotas positivas (a excepción del tramo confinado explotado en el borde noreste del área). Las importantes lluvias de 2009/10 produjeron ascensos hasta valores similares a los existentes en los años 60.

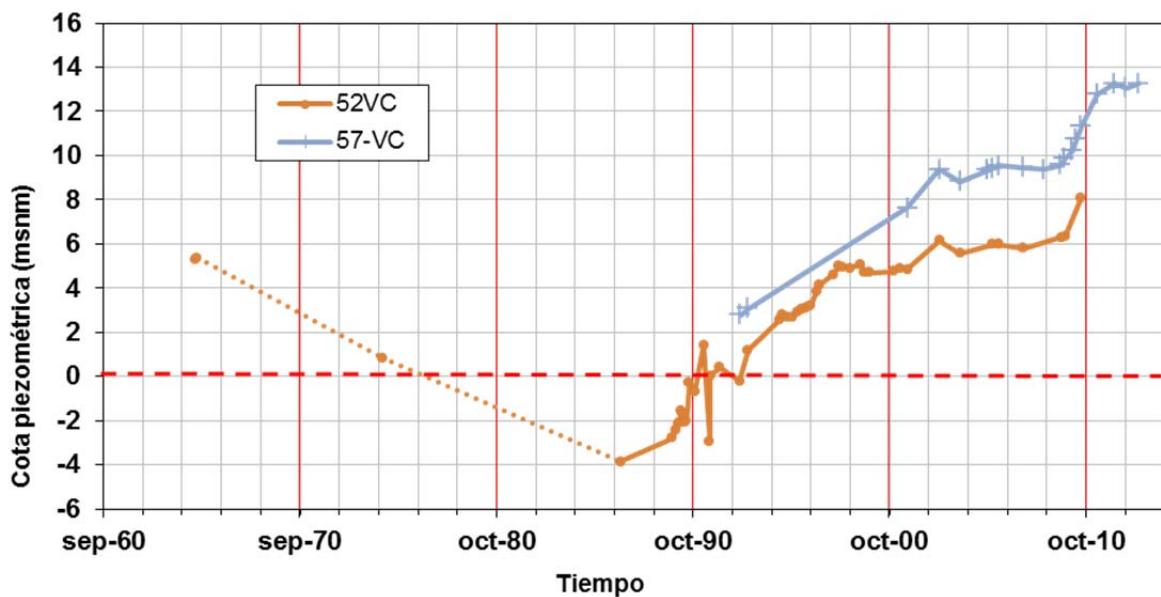


Figura 6.2.14: Evolución temporal de la piezometría en la capa libre (ASN) de El Viso (puntos 52-VC y 57-VC localizados en el campo de bombeo existente en el área en las décadas de 1970 y 1980). Como en La Gangosa, los niveles más bajos durante la explotación se observaron a finales de la década de 1980. La disminución progresiva del bombeo desde entonces produjo el ascenso a cotas positivas. Las excepcionales lluvias de 2009/10 – 2010/11 produjeron ascensos muy importantes (del orden de 3 m entre julio de 2009 y abril de 2012) hasta valores superiores a los que tenía el ASN en 1965.

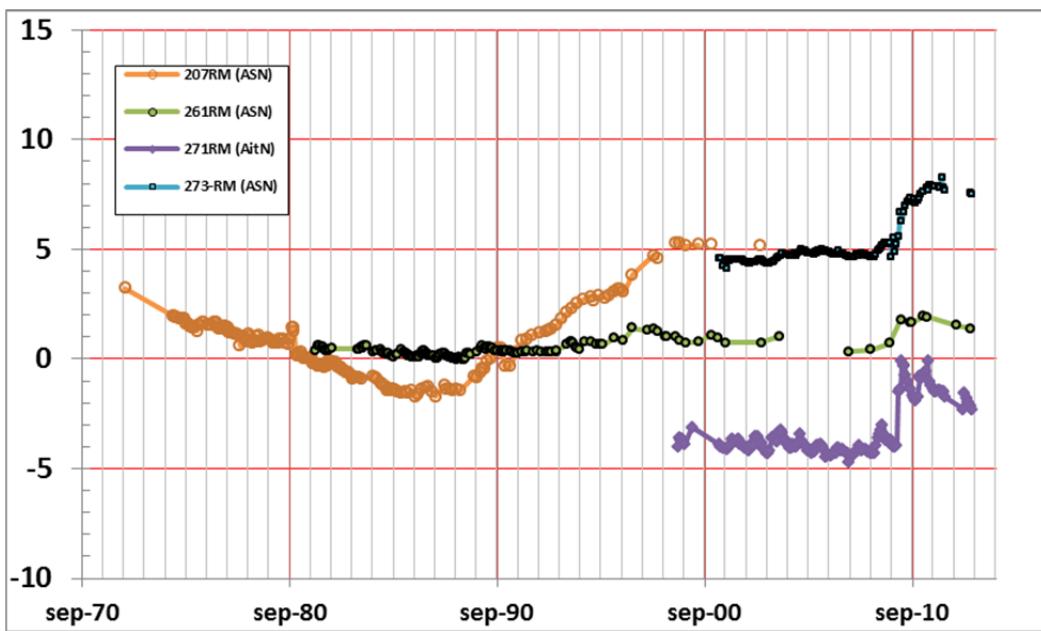


Figura 6.2.15: Evolución temporal de la piezometría (1970 - 2013) en la capa libre (ASN) y confinada (AItN) del área de Roquetas: puntos 207-RM, 261-RM y 273-RM del ASN, y 271-RM del AItN. Se observa la depresión creada en la capa libre en las décadas de 1970 y 1980, que alcanzó valores positivos en el 207-RM en 1989. También las cotas siempre negativas en el 271-RM (del AItN) a pesar de no existir bombeos en el área desde hace décadas. Ambas capas experimentaron un ascenso en 2009/10 – 2010/11 por efecto de las importantes entradas por precipitación, siguiendo tendencia descendente hasta el final de 2013. El piezómetro histórico 207-RM (un sondeo particular) desaparece en 2003.

En el **área de Roquetas**, durante 1970 – 1981, sus bombeos fueron casi testimoniales, localizados en el borde de contacto con las áreas de La Gangosa y Aguadulce. En 1980 se realizó un sondeo (238-RM) que mostró buen caudal y salinidades no aptas para las demandas; captaba conjuntamente los materiales miocenos (y pliocenos) del AItN en el pequeño Horst de Roquetas (donde están en continuidad hidráulica), aunque este AItN se encuentra confinado en la fosa existente hacia La Gangosa y El Viso (ver [Figura 3.7.15](#), en [capítulo 3](#)), y se relaciona con las capas libres y muy posiblemente con las confinadas de estas áreas. En dicho horst, posteriormente se detectaron niveles negativos en piezómetros (sondeos 257-RM y 271-RM, localizados junto a la Rambla de Las Hortichuelas), de hasta -5 msnm en los mismos materiales citados ([Figura 6.2.15](#)) y con contenidos de salinidad de agua de mar, cuando seguían sin existir bombeos en este área de Roquetas, lo que sólo podía ser atribuido a las demandas de flujos subterráneos por el bombeo en la depresión de El Viso – La Gangosa, ya que también explicaba el aumento de la salinidad en dichas áreas por la entrada de mezclas marinas (hacia la depresión piezométrica de la capa libre de ambas áreas y a la confinada de la última de ellas) desde el citado tramo costero de Roquetas. Esto vendría sucediendo ya en 1970-81.

Según se observó con datos posteriores a los del período 1970-1981, en el **área costera de Aguadulce** se produce conexión hidráulica entre los carbonatos triásicos de este área y los de La Gangosa, con mayor o menor dificultad. En este área costera, la imposición del nivel del mar ha dado lugar, según el registro histórico completo de sus datos, a depresiones generalizadas muy bajas, con valores iguales o más altos de -1 msnm, mientras que en las depresiones piezométricas del área de La Gangosa, en contacto lateral, los valores superaron, en el período 1970-1981, los -4 msnm en su límite oriental, crecientes en profundidad hacia el área de El Viso.

Teniendo en cuenta la conexión hidráulica entre La Gangosa y Aguadulce y la relación piezométrica en el período entre ambas áreas, se deduce la existencia de flujos desde el mar en sentido Mar – Aguadulce – La Gangosa, más probablemente por las capas confinadas.

En el **área de El Viso**, en este primer periodo el bombeo era intenso y se desarrolló en las coberturas, como se ha dicho; no existía explotación en los materiales triásicos del sustrato (AIN) confinado en el área. La depresión en esta capa libre tenía los valores más negativos del Sector Noreste (hasta -10 msnm o más profundos) recogiendo todos los flujos de las áreas circundantes. El incremento progresivo observado en la salinidad de su agua, por mezcla con agua de mar, podía proceder de los dos frentes de entrada ya explicados: “Vía Roquetas” y “Vía Aguadulce”.

Para este periodo, el **AIN del área libre de El Águila**, con niveles positivos, aportaba flujos dulces hacia las capas libre y confinada de El Viso y a la libre de La Gangosa.

Durante el **segundo período, 1981 – 1989**, el bombeo fue aumentando o se mantuvo en el conjunto de captaciones en las capas libres de El Viso y La Gangosa, y en la capa confinada de ésta. Por otra parte, hacia el final del periodo ya se había iniciado el bombeo en el AIN de la **capa confinada de El Viso** y en la libre de El Águila. Por ello, continuó la profundización y expansión de la depresión en las capas libres de El Viso – La Gangosa y en la confinada de esta última (hasta valores de -22 msnm y -15 msnm en las capas libres de cada una de las citadas áreas, respectivamente, y de -5 msnm en la capa confinada de La Gangosa), mientras que en capa libre de El Águila y en la capa profunda de El Viso del AIN, los niveles siguieron siendo positivos en este periodo (Figura 6.2.16), de manera que los flujos subterráneos dulces de ésta última frenaron la expansión hacia ella de la profunda depresión de la capa libre de El Viso.

Por otro lado, el bombeo en el **AIN del área de Aguadulce** aumentó considerablemente en este periodo, aunque inició un descenso al final del mismo a consecuencia de la migración de captaciones de explotación hacia las áreas interiores del AIN (El Viso y El Águila). Por este intenso bombeo en el área costera, en baterías de sondeos próximas al mar, se generó una situación piezométrica (desde mediados de la década de 1980) con reducidos picos por encima del nivel del mar y prolongadas permanencias por debajo de éste (Figura 6.2.16), situaciones que produjeron entrada de agua de mar que se trasmitió al área contigua de La Gangosa, tanto desde las capas medias explotadas como desde la más profunda del AIN.

En el **área de Roquetas**, como siempre con un bombeo casi inexistente, excepto en su borde noroeste donde el nivel del agua era negativo, en todo el ámbito de la capa libre los niveles seguían siendo positivos. En cambio, los piezómetros de la franja costera que captan el AItN continuaron presentando cotas negativas y salinidad próxima a la del agua del mar como en el periodo anterior, de manera que siguió la trasferencia de mezclas saladas desde este frente de costa hacia El Viso y La Gangosa (en esta última a nivel de capa libre y confinada y sólo supuestamente por la libre del ASN hacia El Viso).

Como consecuencia de estas situaciones piezométricas y relaciones entre acuíferos y con el mar, se produjo un flujo subterráneo en sentido Este – Oeste: Mar – Aguadulce – La Gangosa – El Viso.

El **tercer período** estudiado corresponde a **1989 – 2009**. En el área de La Gangosa, la extracción, tras aumentar durante unos años, sufrió una reducción brusca hasta unos pocos hm³ al año (particularmente por el cese del bombeo para el abastecimiento a Almería, trasladado al área de El Águila en 1993).

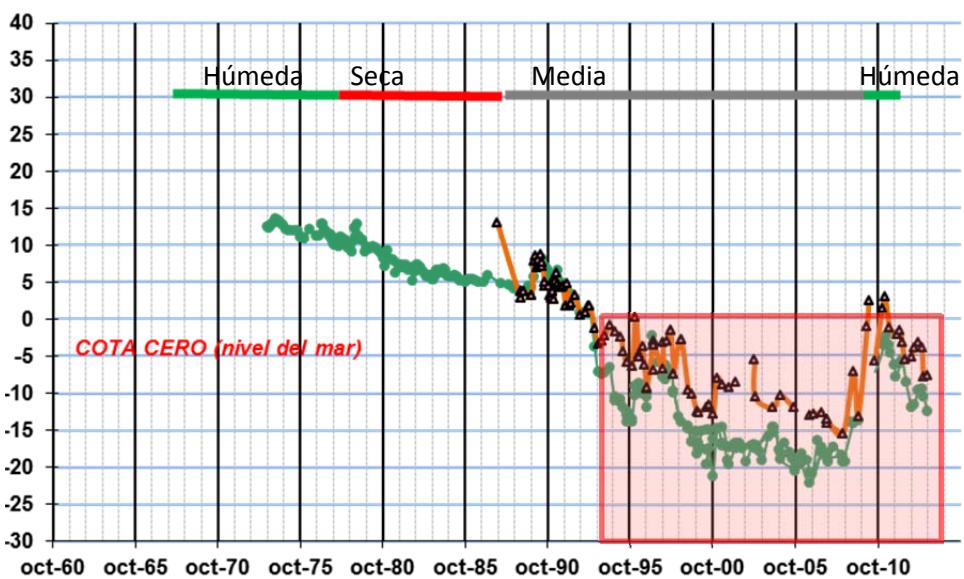
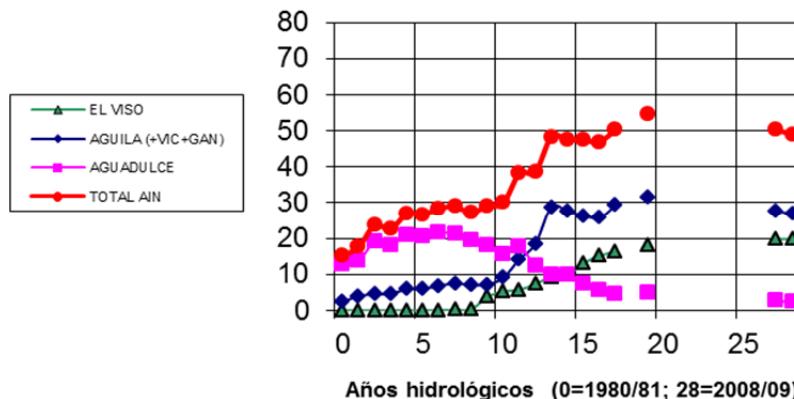
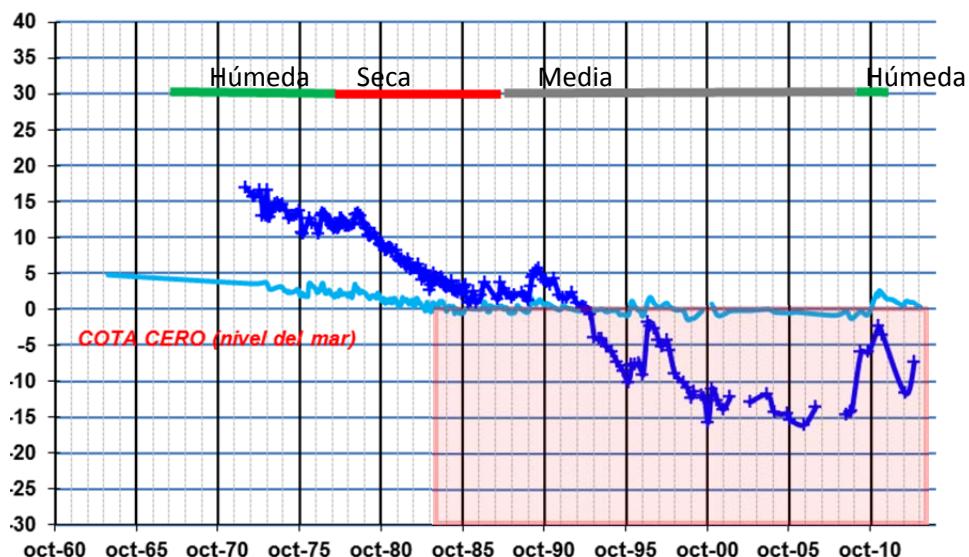


Figura 6.2.16: Evolución piezométrica en las áreas del AIN, y comparación con la de sus extracciones. **Superior:** evolución piezométrica 1963/64 – 2012/13 en las áreas de Aguadulce y El Águila Occidental (hidrogramas en azul claro y oscuro, respectivamente). **Intermedia:** Bombeos por áreas del AIN ($\text{hm}^3/\text{año}$) entre 1980/81 – 99/00 y 2007/08-08/09. **Inferior:** evolución piezométrica 1963/64 – 2012/13 en las áreas de El Viso y del Águila Oriental (en marrón y verde, respectivamente). Los rectángulos rojos indican los períodos con cotas del agua bajo la cota cero. Para cada grupo de hidrogramas se indican las tendencias de las precipitaciones en el período considerado, según la estación de Félix (húmeda: 67/68 a 76/77; seca: 79/80 a 87/88; media: 88/89 a 08/09; y húmeda: 09/10 a 10/11).

Las extracciones en **las capas libres de El Viso**, que habían iniciado una reducción al final del período anterior, continuaron disminuyendo hasta unos pocos hm³/a, como en La Gangosa. Debido a este abandono de bombeos, se produjo una recuperación de niveles del agua, iniciada en primer lugar en el área de El Viso, que había superado la cota cero en 1993; los niveles en la capa libre de este área fueron desde el principio, y siguen siéndolo, mayores que los de la capa libre de La Gangosa, generándose una inversión del flujo en sentido Oeste – Este, desde El Viso a La Gangosa, y desde ambas a la capa libre del área de Roquetas.

En **La Gangosa** los niveles más bajos se tienen en 1993, antes de la reducción drástica del bombeo, y desde 1994 asciende, por encima de la cota cero, excepto en los últimos años de este período de análisis en que descendieron, con oscilaciones, hasta -1 msnm. La relación entre La Gangosa y Aguadulce resultó de intercambios de flujos alternantes (hasta 1993 recibió agua de Aguadulce y, desde entonces, cedió agua a ésta, menos en los picos de mayor humedad).

La **capa libre de Roquetas**, que continuó sin bombeo significativo, siguió aumentando sus niveles, incluido el de su borde noroeste. Con las recargas desde el ASC y desde el área de El Viso y La Gangosa fue reconstruyendo su sentido de flujo natural continuo hacia el mar, excepto en su sector noreste, donde aporta agua a las capas libres de las depresiones del extremo oriental de La Gangosa y del área de Aguadulce.

Como en el período anterior, en **la capa confinada del AItN** (en la fosa entre el horst costero de Roquetas y las áreas de La Gangosa y El Viso) el nivel piezométrico siguió varios metros bajo el nivel del mar.

La **capa confinada del AIN en El Viso** y la **capa libre de El Águila**, debido al importante crecimiento del bombeo, experimentaron descensos de niveles correlativos que, en 1993 llegaron a rebasar la cota cero, con disminuciones importantes del nivel (hasta del orden de -15 msnm en El Viso y de -20 msnm en El Águila) produciéndose, entre éstas, una inversión del flujo que pasó a dirigirse desde la zona confinada de El Viso, a la libre de El Águila (a la que probablemente también hayan llegado flujos desde el área confinada de Vícar).

En **la capa confinada de La Gangosa**, aunque con un bombeo muy inferior, el nivel en su borde noreste alcanzó los mismos rangos de valores, desconociéndose los de su zona centro – occidental, al estar enmascarados por los flujos verticales descendentes en las antiguas perforaciones abandonadas por la explotación (únicos puntos disponibles para su observación).

A partir de 1993, la depresión piezométrica en la **capa confinada del AIN de El Viso** va generando una demanda cada vez mayor de flujos procedentes del AItN del área de Roquetas y desde la capa confinada de Aguadulce – La Gangosa. Como resultado, **se produjo un flujo generalizado Este - Oeste en la capa confinada, con mezclas de agua de mar, desde Aguadulce a El Viso, en sentido opuesto al de la capa libre Viso – Gangosa – Aguadulce**. Este flujo se transmite desde el AIN de la zona confinada de El Viso hacia el AIN de El Águila, a la que también han podido alcanzar las mezclas con agua de mar que desde Aguadulce afectaron al borde sur del área de Vícar.

El campo de extracción del **área costera de Aguadulce** quedó prácticamente todo el período bajo la cota cero, a excepción de 1995 – 1997 y 2008/09 en que se produjeron subidas del nivel, más permanentes en los primeros años citados.

Durante el período final de análisis, 2009 -2013, en el **área de La Gangosa**, debido a las malas calidades del agua, el único bombeo residual que permanece es el de uno o dos sondeos en el borde noreste de la capa confinada, ya que el de las capas libres ha desaparecido prácticamente (como ocurrió en las capas libres de El Viso y Roquetas, y en la de Aguadulce).

Las importantes precipitaciones ocurridas en 2009/10 y 2010/11 (casi tres veces la media conocida de las últimas siete décadas) generaron en todos los acuíferos las mayores recuperaciones conocidas desde el inicio de la explotación de los acuíferos del Campo.

En **Aguadulce** se llegaron a cotas positivas generalizadas (de hasta +2 a +4 msnm, que en algunos compartimentos colgados de estos carbonatos llegaron hasta +15 msnm) en descenso hasta 2013, aunque aún con valores positivos de +0.4 a +0.2 msnm.

Los niveles en el **área de El Águila** ascendieron hasta cotas de +2 msnm en algunos puntos aislados más próximos al flanco de la Sierra, y a -2 msnm en la mayoría del campo de extracciones, aunque en algunas captaciones ligadas a compartimentos superiores y a cauces importantes se detectaron ascensos espectaculares (hasta valores entre +17 y +36 msnm) que quedaron últimamente en torno a +6 msnm. Posteriormente, en el campo general de bombeo se produce una tendencia descendente de nivel, hasta valores de -13 a -15 msnm al final del periodo.

La **capa confinada del AIN en el Viso** presentó ascensos de niveles comprendidos entre +3 y -3 msnm, quedando con niveles positivos sólo en los dos picos de humedad de 2009/10 y 2010/11 (a cotas negativas entre ambos picos) y el resto de los años, hasta el final del período, todos los puntos con tendencia decreciente hasta valores de -8 a -12 msnm.

En la **capa libre del área de La Gangosa** se produjo un ascenso variable: en el extremo occidental se alcanzaron valores de +7 msnm, y en la parte centro oriental de +4 msnm, con máximos en 2010/11 y un descenso moderado hacia el final del período (con +2 a +4 msnm). En el borde noreste de la **capa confinada** de este área, tuvo lugar un ascenso importante (hasta valores muy próximos a la cota cero en los picos de humedad) presentando valores negativos en el resto del período hasta -20 msnm.

Los ascensos producidos en el borde nororiental de la **capa confinada del AItN en el área de Roquetas** dieron lugar a cotas muy próximas a la del mar en los picos de humedad de 2009/10 – 2010/11, con descensos posteriores hasta valores de -2.5 msnm.

La **Figura 6.2.17** integra la información sobre la **evolución piezométrica del AIO** con la de la evolución de su bombeo por áreas de extracción y la de las tendencias de las precipitaciones durante el período de datos del registro histórico.

Los niveles en el AIO (y en el AEBN en conexión lateral con aquel como se ha dicho) empezaron a ser negativos en 1979/80, con tendencia progresiva al descenso hasta 2008/09 (mínimo de la serie con -47 msnm), coincidiendo con el período sin tendencia en las precipitaciones. Se advierten en esta evolución los máximos y mínimos relativos de las precipitaciones, coincidentes con máximos y mínimos piezométricos (de 1989/90, 1996/97-97/98, en el primer caso y en 1994/95 y 2006/07-07/08 para los mínimos).

Como en el resto de acuíferos, las entradas excepcionales de 2009/10-2010/11 produjeron una subida de niveles en el AIO, hasta los valores relativos de -28 msnm (en febrero de

2012), que fueron descendiendo hasta el final del período de observación. **Desde hace 32 años, el acuífero inferior de la zona occidental (y el costero AEBN con el relacionado) vienen teniendo niveles del agua bajo la cota del mar, con la consiguiente entrada de agua marina desde el citado acuífero costero.**

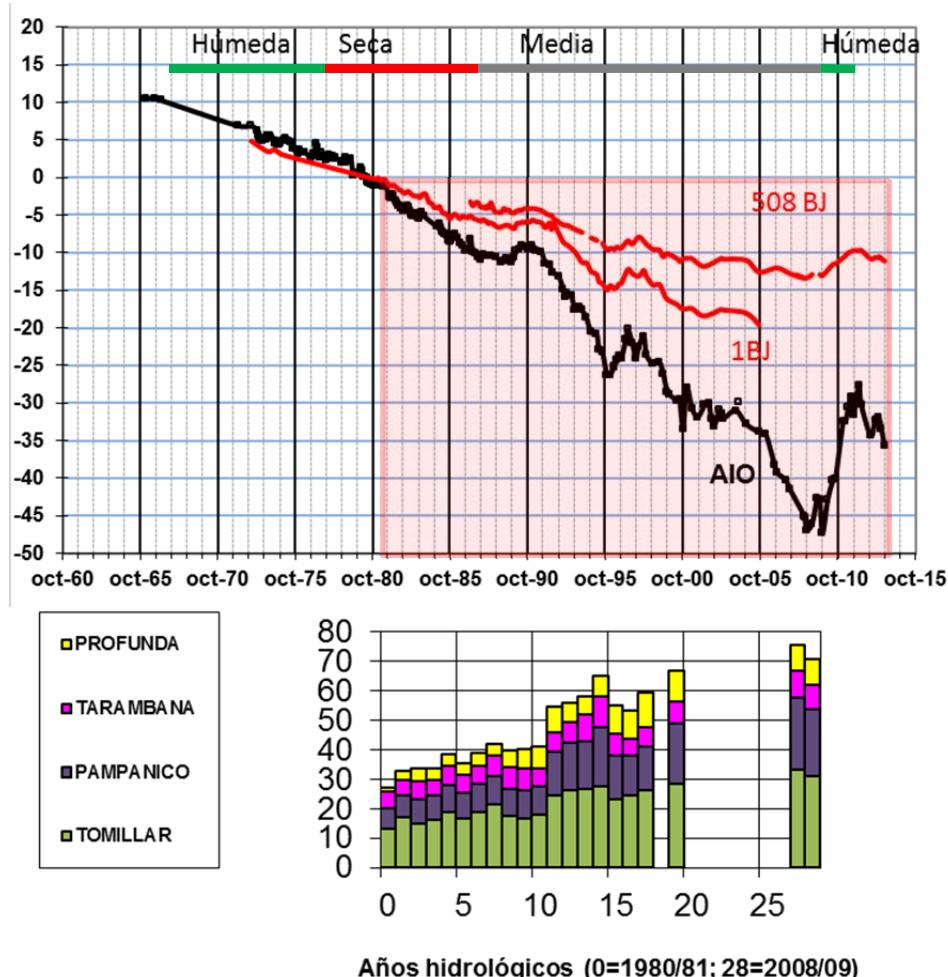


Figura 6.2.17: Evolución piezométrica en el AIO, incluyendo la evolución de bombeos por áreas del mismo. **Parte superior:** evolución piezométrica 1963/64 – 2012/13 en AIO (y en dos piezómetros del acuífero AEBN la vía de conexión del acuífero inferior con el mar). Se indican los períodos con valores bajo la cota cero en un rectángulo rojo, y las tendencias de las precipitaciones según la estación de Felix (húmeda: 67/68-76/7; seca:79/80-87/88; media: 88/89-08/09; y húmeda:09/10-10/11). **Inferior:** Bombeos (hm³/año) entre 1980/81 – 99/00 y 2007/08-08/09, por áreas del AIO.

6.3.- CONTRASTE / MODIFICACIÓN DEL MODELO DE GEOMETRÍA DEL SUBSISTEMA (TRABAJO 1C)

Entre 2000 y 2011, en el Campo de Dalías – Sur de Sierra de Gádor se llevaron a cabo del orden de 60 sustituciones o modificaciones de sondeos mecánicos, principalmente en los acuíferos inferiores (esencialmente en el AIO, aunque también en el AIN, y en la capa profunda del AItN ya considerada de este último) en la mayoría de los casos con aumento de la penetración respecto al sondeo inicial. La Figura 6.3.1 refleja la situación de los puntos nuevos o modificados que han sido estudiados para el control, y en su caso rectificación, del modelo geométrico e hidrogeológico establecido por el IGME para esta zona.

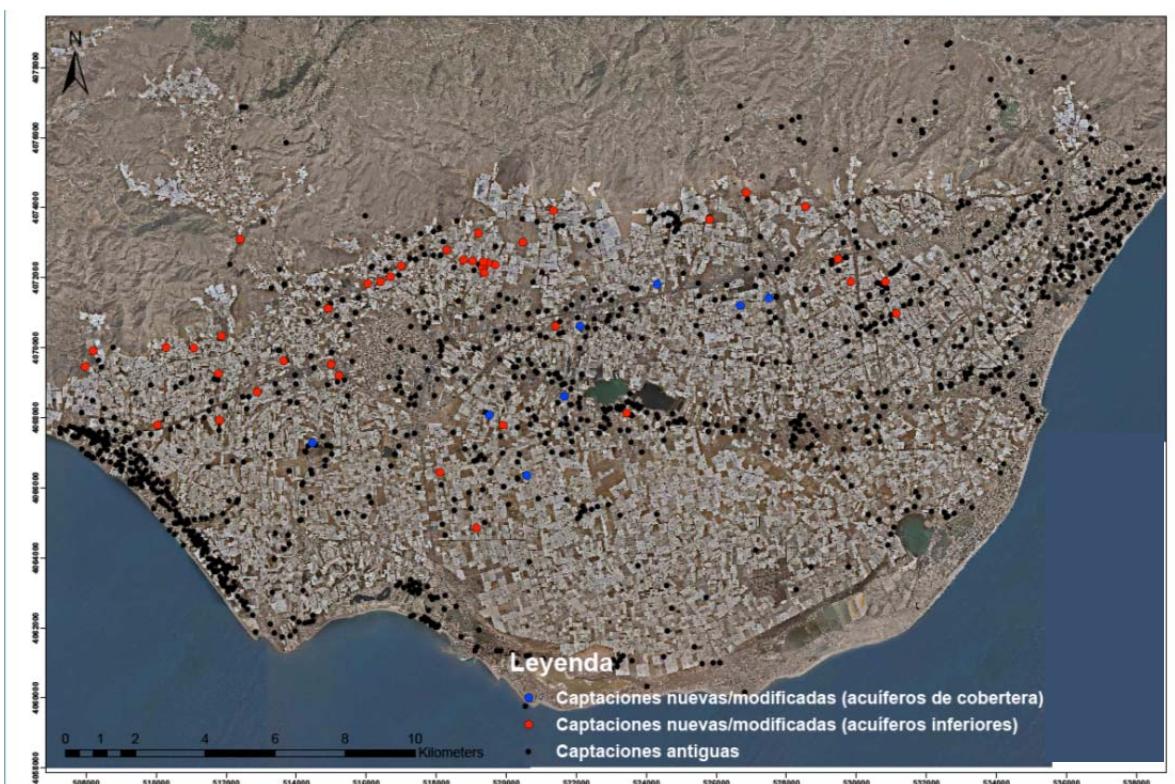


Figura 6.3.1: Localización de puntos estudiados del seguimiento de la modificación de la infraestructura de sondeos mecánicos. Se diferencian en rojo: captaciones nuevas o modificadas de los acuíferos inferiores; en azul: ídem para acuíferos de cobertura; en negro: puntos de agua realizados con anterioridad a 2000. Del documento 110, del IGME, de 2010.

Para cada una de las captaciones ya modificadas o realizadas se recabó -directamente de los titulares de las mismas, de sus relojeros, constructores, etc.- toda la información hidrogeológica esencial de las obras (acorde con las características específicas de estos acuíferos), en cuanto a la construcción de las mismas, columna lito-estratigráfica, informaciones generales sobre los niveles del agua y su variación, sobre la calidad del agua y su problemática, uso de la captación, etc., incluyéndola en la ficha correspondiente de cada una de dichas captaciones, recogidas en el Anexo 4 de esta memoria en formato digital. Se hicieron todos los controles posibles de dichas obras, para interpretar las informaciones conseguidas.

Tal y como se incluía en el diseño original de este trabajo, se recogió (en el documento específico para cada sondeo) la información sobre las características principales de las obras modificadas o de nueva construcción entre los años 2000 y 2008. Sin embargo, como ocurrió con otros trabajos de la Fase I, la prolongación del período de desarrollo del Programa obligó a su reorganización, aumentando el intervalo temporal de observación de nuevos sondeos realizados hasta el año 2010/11 a expensas de eliminar o reducir algunas tareas y actividades previstas en el programa inicial de trabajo. Con toda esta información se llevó a cabo el encuadre de cada punto de agua en el modelo conceptual de acuíferos, para su contraste.

En los Cuadros 6.3.1 (Partes 1 a 3) se identifican las nuevas obras realizadas de mayor interés, con algunas de sus características: acuífero captado, área de explotación, punto al que sustituyeron (en su caso), y materiales en que quedó el fondo del sondeo: pliocenos, miocenos o alpujárrides.

PUNTO DE AGUA	ACUÍFERO	ÁREA DE EXPLOTACIÓN	SUSTITUYE A	La obra quedó en materiales
622 D	AIO	Profunda	--	Alpujárrides
754 D	AIO	Tomillar	076D	Alpujárrides
756 D	AIO	Pampanico	589D	Alpujárrides
758 D	AIO	Tomillar	535D	Alpujárrides
759 D	AIO	Tomillar	228D	Alpujárrides
760 D	AIO	Tomillar	229D	Alpujárrides
761 D	AIO	Pampanico	725D	Alpujárrides
762 D	AIO	Profunda	697D	Alpujárrides
763 D	AIO	Tarambana	268D	Alpujárrides
764 D	AIO	Tomillar	230D	Alpujárrides
765 D	AIO	Tarambana	797D / 692D	Alpujárrides
766 D	AIO	Tomillar	526D	Alpujárrides
767 D	AIO	Tomillar	073D	Alpujárrides
768 D	AIO	Tomillar	066D	Alpujárrides
769 D	AIO	Tomillar	074D	Alpujárrides

Cuadro 6.3.1 Parte 1: Análisis para el posible complemento de la Red de Geometría de los acuíferos del Campo de Dalías: algunas características de las nuevas obras de mayor interés, realizadas entre 2000 y 2011.

PUNTO DE AGUA	ACUÍFERO	ÁREA DE EXPLOTACIÓN	SUSTITUYE A	La obra quedó en materiales
770 D	AIO	Tarambana	660D	Alpujárrides
771 D	AIO	Tomillar	075D	Alpujárrides
773 D	AIN	Águila	536D	Alpujárrides
774 D	ASC	Norias	178D	Pliocenos
775 D	ASC	Norias	552D	Pliocenos
776 D	ASC	Onáyar	289D	Pliocenos
777 D	AIN	Águila	--	Alpujárrides
778 D	AIO	Tomillar	--	Alpujárrides
781 D	AIO	Pampanico	88D	Alpujárrides
782 D	AIO	Tarambana	002D	Alpujárrides
783 D	AIO	Tarambana	533D	Alpujárrides
784 D	AIO	Pampanico	609D	Alpujárrides
785 D	AIO	Tomillar	232D	Alpujárrides
786 D	AIO	Tomillar	233D	Alpujárrides
787 D	AIO	Pampanico	258D	Alpujárrides
789 D	AIO	Tomillar	247D	Alpujárrides
790 D	AIO	Tomillar	Ayunto El Ejido	Alpujárrides
791 D	AIO	Tomillar	717D	Alpujárrides
792 D	AIO	Tarambana	711D	Alpujárrides
793 D	AIO	Pampanico	690D	Alpujárrides
794 D	AIO	Tarambana	608D	Miocenos
795 D	ASC	Norias	148D	Alpujárrides
797D	AIO	Tarambana	765D	Alpujárrides

Cuadro 6.3.1: Parte 2: Análisis para el posible complemento de la Red de Geometría de los acuíferos del Campo de Dalías: Algunas características de las nuevas obras de mayor interés, realizadas entre 2000 y 2011.

PUNTO DE AGUA	ACUÍFERO	ÁREA DE EXPLOTACIÓN	SUSTITUYE A	La obra quedó en materiales
102 FE	AIN	Águila	83FE	Alpujárrides
166 VC	AIN	Viso	168VC	Alpujárrides
171 VC	AIN	Águila	160VC	Alpujárrides
173 VC	AIN	Viso	151VC	Alpujárrides
174 VC	AIN o AltN?	Viso	31VC	Alpujárrides

Cuadro 6.3.1. Parte 3: Análisis para el posible complemento de la Red de geometría de los acuíferos del Campo de Dalías. Algunas características de las nuevas obras de mayor interés realizadas entre 2000 y 2011

En el **Anexo 4** se incluye un plano de detalle de la situación de los sondeos mecánicos particulares interpretados durante la Fase I (las 43 obras de mayor interés) representados sobre la versión de 2005 del plano de isohipsas del techo de los materiales alpujárrides en el Campo de Dalías. 16 de estos sondeos correspondieron a sustituciones de puntos de agua preexistentes localizados en los acuíferos inferiores, y que ya formaban parte de la Red de Geometría (puntos: 760D, 761D, 762D, 763D, 765D, 766D, 768D, 769D, 770D, 771D, 773D, 782D, 784D, 791D, 793D, 794D): **sus informaciones fueron básicamente coincidentes a las ya elaboradas** antes de la Fase I. **La información suministrada por el resto de los puntos estudiados estuvo acorde con el modelo de geometría**, detectándose pequeñas modificaciones en éste.

Así pues, con los resultados de cada una de las obras estudiadas (sus datos litoestratigráficos apoyados con las informaciones -piezométricas y de calidad del agua- obtenidas durante la Fase I) se llevó a cabo el contraste del modelo geométrico del subsistema: **las pequeñas modificaciones detectadas en éste no afectan a la geometría general, y quedaron reflejadas en las fichas específicas de cada punto.**

Este estudio detallado de la nueva infraestructura de captaciones de los acuíferos de la zona proporcionó, además, las informaciones básicas para el posterior **análisis de la representatividad de las mediciones / informaciones hidrogeológicas históricas y que se recogieron o llevaron a cabo en cada una de las obras** (a lo largo de la Fase I), así como las recomendaciones oportunas para la realización de estas tareas en el futuro. Los **cuadros 6.3.2 (Partes 1 a 3)** muestran circunstancias / operaciones llevadas a cabo en estos nuevos puntos que se han considerado para conocer su utilidad en apoyo a la consecución de los objetivos de diferentes trabajos de la Fase I principalmente para la actualización de las explotaciones, del conocimiento de la piezometría, y de los procesos de entrada de agua de mar a los acuíferos inferiores.

PUNTO DE AGUA	Término municipal	FECHA REALIZACIÓN / MODIFICACIÓN	Profundidad (m)	ACUÍFERO	ÁREA DE EXPLOTACIÓN	AÑO PRIMER USO	Disponibilidad de información sobre uso y mediciones	SUSTITUYE A	OBSERVACIONES	Tipo de muestreo / mediciones realizadas
622 D	Ejido	2010	511	AIO	Profunda	--		--	Se reprofundiza	MB /REG-MP, P
754 D	Ejido	2003	250	AIO	Tomillar	2003/04		076D		MB
756 D	Ejido	2001	420	AIO	Pampanico	2001/02?	Niegan datos uso	589D		MB
758 D	Ejido	2004	525	AIO	Tomillar	2003/04	Niegan datos uso	535D	Cambio de uso, desde área Profunda al Tomillar	MB, P
759 D	Ejido	2004	290	AIO	Tomillar	2001/02?	Niegan datos uso	228D		MB, P
760 D	Ejido	2004	250	AIO	Tomillar	2001/02?	Niegan datos uso	229D		MB, P
761 D	Ejido	2005	500	AIO	Pampanico	2005/06?		725D		MB, P
762 D	Ejido	2005	885	AIO	Profunda	2004/05		697D		MB, P
763 D	Ejido	2005	250	AIO	Tarambana	2005/06		268D		MB /REG-MP, P
764 D	Ejido	2005	281	AIO	Tomillar	2004/05?	Niegan datos uso	230D		
765 D	Ejido	2005	400	AIO	Tarambana	2005/06-2006/07	Niegan datos uso	797D / 692D	sustituye a 692D y es sustituido por 797D	MB /REG-MP, P
766 D	Ejido	2004	300	AIO	Tomillar	2003/04?	Niegan datos uso	526D		MB
767 D	Ejido	2007	250	AIO	Tomillar	2006/07		073D		MB
768 D	Ejido	2007	303	AIO	Tomillar	2007/08		066D		MB
769 D	Ejido	2007	301	AIO	Tomillar	2008/09		074D		MB

Cuadro 6.3.2. Parte 1: Algunas características de las nuevas obras, de interés para su utilización en apoyo a la interpretación de los distintos trabajos de la Fase I. Se refleja cuando no se ha podido obtener informaciones de los puntos por la negativa sus propietarios (no pertenecientes a la JCUAPA) a permitir acceso a los mismos para ello. Leyenda sobre Tipo de muestreo, mediciones realizadas: MB: muestreo en bombeo; MP: muestreo en profundidad; REG: diagrafías; P: medida de la piezometría

PUNTO DE AGUA	Término municipal	FECHA REALIZACIÓN / MODIFICACIÓN	Pro-fun-didad (m)	ACUÍFERO	ÁREA DE EXPLOTA-CIÓN	AÑO PRIMER USO	Disponibilidad de información sobre uso y mediciones	SUSTITU-YE A	OBSERVACIONES sobre sustituciones	Tipo de muestreo / mediciones realizadas
770 D	Ejido	2005	303	AIO	Taramba-na	2006/07		660D		MB, P
771 D	Ejido	2008	280	AIO	Tomillar	2009/10		075D		MB /REG-MP, P
773 D	Ejido	2008	420	AIN	Águila	2008/09	Niegan datos uso	536D		MB
774 D	Ejido	2008	71	ASC	Norias	2002/03 - 2005/06		178D	Sustituye al 178D, pero deja de usarse después	--
775 D	Ejido	2008	120	ASC	Norias	--	Niegan datos uso	552D	Refieren contaminación orgánica (agua verde)	MB
777 D	Ejido	1997	300	AIN	Águila	sin uso		--		piezómetro CMA
778 D	Ejido	1997	283	AIO	Tomillar	sin uso		--		piezómetro CMA
781 D	Ejido	2005	380	AIO	Pampani-co	2007/08		88D		MB
782 D	Ejido	2006	282	AIO	Taramba-na	2006/07		002D		MB /REG-MP, p
783 D	Ejido	2003	231	AIO	Taramba-na	2003/04		533D		MB
784 D	Ejido	2004	298	AIO	Pampani-co	2004/05		609D		MB
785 D	Ejido	2002	280	AIO	Tomillar	2001/02	Niegan datos uso	232D		
786 D	Ejido	2001	280	AIO	Tomillar	2000/01	Niegan datos uso	233D		
787 D	Ejido	2009	300	AIO	Pampani-co	2008/09		258D		MB
789 D	Ejido	1999	181	AIO	Tomillar	2000/01		247D		
790 D	Ejido	2009	405	AIO	Tomillar	2003/04		Ayunto El Ejido		P
791 D	Ejido	2010	455	AIO	Tomillar	2010/11	Niegan datos	717D		
792 D	Ejido	2001	480	AIO	Taramba-na	2006/07	Niegan datos	711D	De AIO+AltC profunda a Tarambana (AIO)	P
793 D	Ejido	2001??	???	AIO	Pampani-co	2001/02		690D		MB
794 D	Ejido	2002	308	AIO	Taramba-na	2001/02		608D		MB,REG-MP, P
795 D	Ejido	???	110	ASC	Norias	???		148D		
797D	Ejido	2011	???	AIO	Taramba-na	???	Niegan datos	765D		MB

Cuadro 6.3.2. Parte 2: Algunas características de las nuevas obras, de interés para su utilización en apoyo a la interpretación de los distintos trabajos de la Fase I. (Continuación).

PUNTO DE AGUA	Término municipal	FECHA REALIZACIÓN / MODIFICACIÓN	Profundidad (m)	ACUÍFERO	ÁREA DE EXPLOTACIÓN	AÑO PRIMER USO	Disponibilidad de información sobre uso y mediciones	SUSTITUYE A	OBSERVACIONES sobre sustituciones	Tipo de muestreo / mediciones realizadas
102 FE	Mojone- ra	2010	487	AIN	Águila	2009/10		83FE		MB /REG- MP, P
166 VC	Vícar	1999 - 2001	?? - 300- ??	AIN	Viso	2001/02	Niegan datos	168VC	dos etapas: En 2001 captaba el AltN y en 2002 el AIN	MB, P
171 VC	Vícar	2002	650	AIN	Águila	2002/03		160VC	160VC salinizado	MB, P
173 VC	Vícar	2009 0 2008?	1103	AIN	Viso	2008/09		151VC	Deja de usarse en 2011/12	MB /REG- MP, P
174 VC	Vícar	2002	460	AIN o AltN?	Viso	2002/03	Niegan datos	31VC		P

Cuadro 6.3.2. Parte 3: Algunas características de las nuevas obras, de interés para su utilización en apoyo a la interpretación de los distintos trabajos de la Fase I (Continuación).

6.4.- DETECCIÓN PRELIMINAR DE LOS PRINCIPALES FOCOS DE CONTAMINACIÓN POR SU POTENCIAL INFLUENCIA EN LOS ACUÍFEROS INFERIORES (TRABAJO 1D)

Atendiendo al modelo hidrogeológico conceptual de este conjunto de acuíferos, se recogieron en campo las informaciones básicas sobre aquellas actividades antrópicas susceptibles de tener, en el presente y el futuro, o haber tenido en el pasado influencia, a nivel zonal, en la calidad del agua de los acuíferos inferiores del Campo de Dalías.

Los resultados de esta actividad se presentaron por términos municipales en todo el ámbito del subsistema de acuíferos Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías, y quedaron reflejados en detalle en el Documento 161-4, incluido en el **Anexo 5**.

El objetivo básico de los trabajos fue poder alcanzar una visión previa o inicial para el estudio de la posible incidencia de la contaminación en los acuíferos inferiores del Campo de Dalías, partiendo del número, localización, características y tipo de vertidos posibles en los distintos focos de tipo puntual detectados. Este estudio preliminar se ha centrado en los focos potenciales locales de posible mayor influencia, no habiéndose abordado la contaminación difusa provocada por las actividades agrícolas intensivas, que deberá ser objeto de otros trabajos del Programa, fundamentalmente situadas sobre la plataforma costera del Campo, afectando principalmente a la calidad de las aguas de los acuíferos de cobertura, aunque, cada vez más, a sectores de áreas libres de los acuíferos inferiores con implantaciones de invernaderos, y a las receptoras de los flujos desde acuíferos superiores en sus zonas de contacto.

El trabajo ha sido realizado para poder, en primer lugar, hacer una selección de las actividades necesarias para mejorar el conocimiento de estos focos actuales o antiguos y, en segundo lugar, para poder analizar (en estudios posteriores) los posibles contaminantes asociados, vías de afección directa hacia los acuíferos inferiores e indirecta (mediante afección de los acuíferos de cobertura relacionados con los inferiores, a través de los flujos laterales de los acuíferos superiores hacia el Norte, en las áreas de borde de la cuenca pliocena) y, en tercer lugar, analizar la movilidad de los contaminantes, caracterizando los problemas de la calidad hidroquímica de las aguas subterráneas, derivados, en su caso, de las contaminaciones puntuales o difusas generadas por las distintas actividades desarrolladas en el Poniente Almeriense.

En la **Figura 6.4.1** se presenta, en el plano de Zonas Estratégicas de los acuíferos inferiores, la localización de los principales focos de contaminación detectados; el **Cuadro 6.4.1** refleja la leyenda de tipología de estos focos. La **Figura 6.4.2** incluye, además, la localización de los puntos muestreados durante la Fase I, en este caso sobre el plano de situación de la Zonas Estratégicas de los acuíferos de cobertura. La detección de la influencia de las sustancias derivadas de estas actividades deberá formar parte de trabajos posteriores, ya de la Fase II.

(A2) Focos potenciales de contaminación - Zonas Inferiores

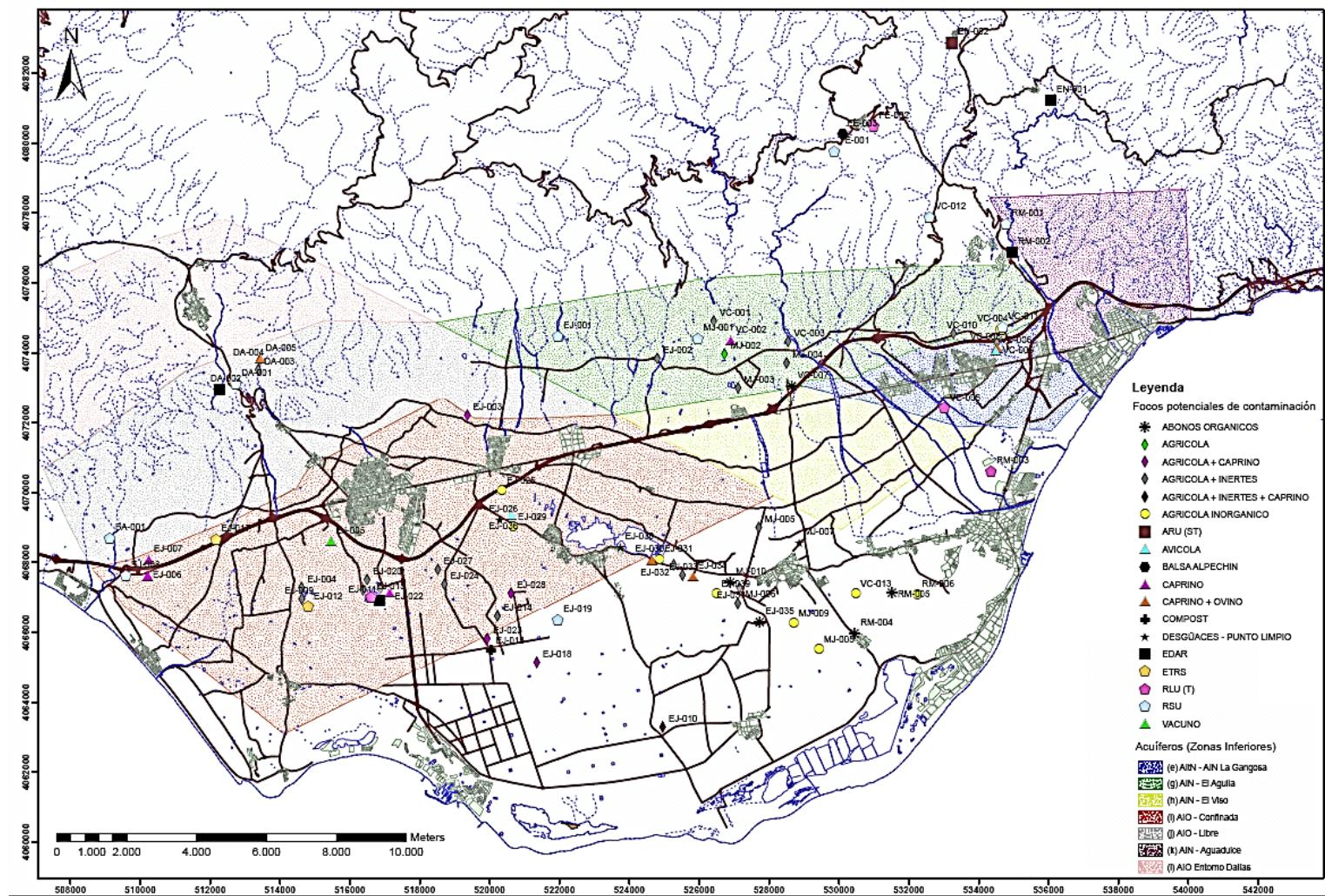


Figura 6.4.1: Detección preliminar de principales focos potenciales de contaminación, por su posible influencia en la calidad del agua de los acuíferos inferiores. Del documento 161-4 en **Anexo 5**. Ver descripción de tipos de focos en **Cuadro 6.4.1**.

(B3) Focos potenciales de contaminación y ensayos de calidad 2008/2009/2010 - Zonas de Cobertura

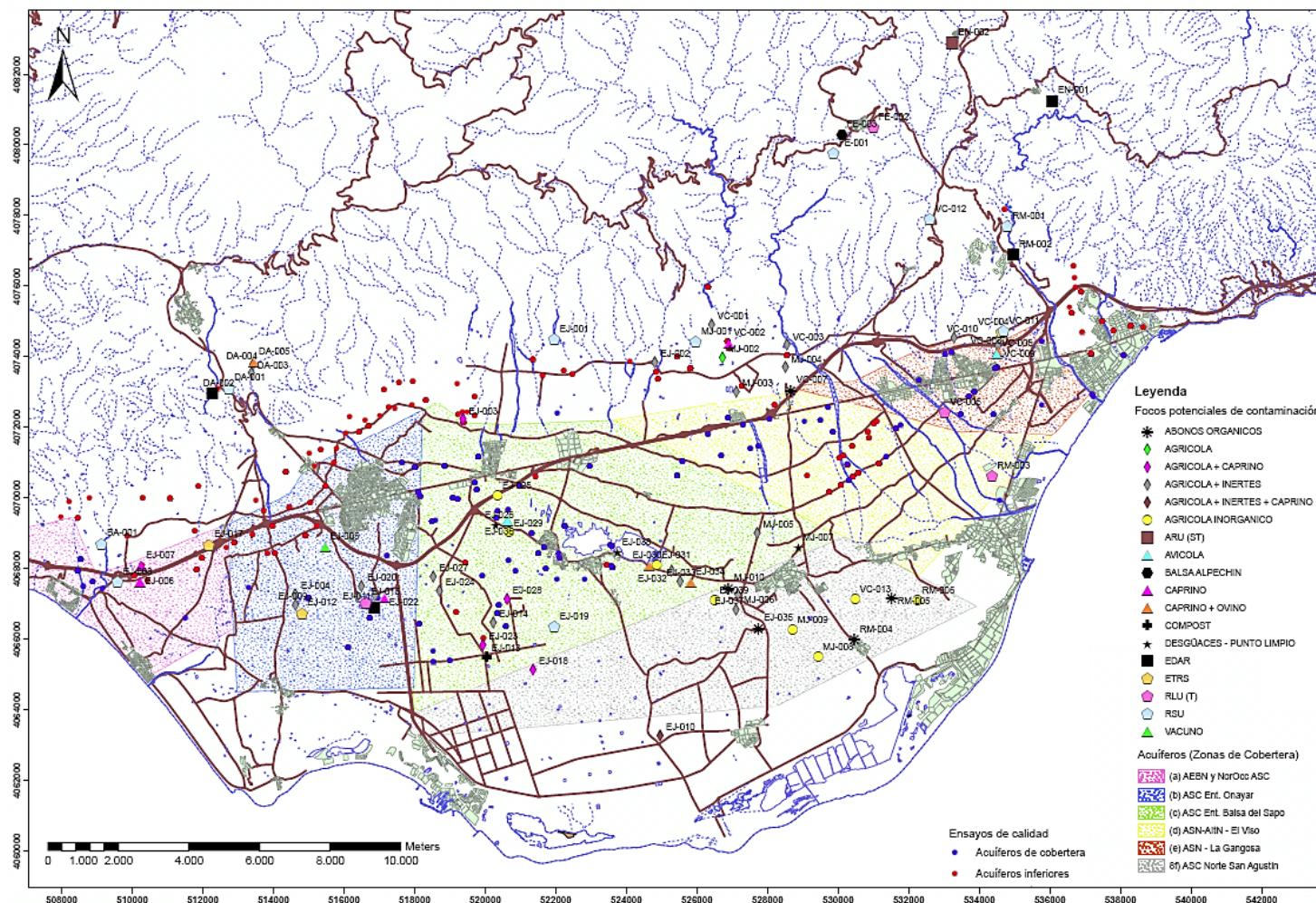


Figura 6.4.2: Principales focos potenciales de contaminación, por su posible influencia en la calidad del agua de los acuíferos inferiores, y puntos muestreados de los acuíferos inferiores y coberturas durante la Fase I. Del documento 161-4. Leyenda de tipos de focos en Cuadro 6.4.1.

ABONOS ORGÁNICOS: Acumulaciones de abonos de origen animal.

AGRICOLA: Residuos agrícolas orgánicos.

AGRICOLA+CAPRINO: Residuos agrícolas y ganado caprino.

AGRICOLA+INERTES: Residuos agrícolas y residuos inertes de la actividad agrícola: plásticos, envases Fitosanitarios, cables de acero..

AGRICOLA+INERTES+CAPRINO: Residuos agrícolas, inertes y ganado caprino.

AGRÍCOLA INORGÁNICO: Residuos inorgánicos procedentes de las Actividades agrícolas intensivas.

ARU (ST): Aguas residuales urbanas, sin tratamiento.

AVÍCOLA: granja de ganado avícola.

BALSA DE ALPECHIN: Balsa de acumulación de Residuos Líquidos procedentes de Almazara.

CAPRINO: Granja de ganado caprino.

CAPRINO-OVINO: Granja de ganado caprino y ovino.

COMPOST: Planta de Compostaje de residuos agrícolas.

DESGUACES: Almacenes de Chatarra y Puntos Limpios.

EDAR: Estación Depuradora de aguas residuales urbanas.

ETRS: Estación de Transferencia de residuos sólidos urbanos.

RLU (T): Residuos líquidos urbanos tratados.

RSU: Residuos sólidos urbanos.

VACUNO: Granja de ganado vacuno.

Cuadro 6.4.1: Descripción de la leyenda de los tipos de focos potenciales de contaminación representados en las Figuras 6.4.1 y 6.4.2.

En la actualidad una posible vía de afección indirecta de contaminación hacia los acuíferos inferiores del Campo de Dalías está relacionada con los flujos de trasferencia que los acuíferos de cobertura ceden lateralmente a los inferiores en todas las áreas del borde NO y N del campo, debido al gradiente hidráulico existente entre ambos tipos de acuíferos.

En este trabajo de detección de focos puntuales no se ha valorado, como se ha dicho, el aporte de aguas subterráneas de peor calidad hidroquímica, al estar relacionada en mayor medida con la problemática de las contaminaciones difusas generadas principalmente por la actividad agraria intensiva que se desarrolla desde los años 60 en la comarca del Poniente Almeriense.

En estas áreas de la parte media e inferior del Campo de Dalías, donde se emplazan los acuíferos de cobertura, se estima que se ha visitado del orden del 60% de la superficie total y que han sido recogidos los datos en torno al 70% de los posibles focos puntuales con interés más significativo, sin tener en cuenta o sin evaluar la contaminación agrícola difusa generada por los riegos a partir de la extensa superficie de invernaderos del Campo, donde una gran proporción de ellos se sitúan directamente sobre los afloramientos calcareníticos permeables del Plioceno superior. Tampoco se ha evaluado la posible contaminación por hidrocarburos derivados del petróleo a partir de la extensa red de gasolineras oficiales de la Comarca (sobre diez puntos) a los que se suman los puntos de distribución de combustible existentes entre las numerosas cooperativas y almacenes de envasado distribuidas por todo el Campo de Dalías.

El alcance de esta actividad técnica, como indica el título de la misma, ha consistido principalmente en una búsqueda o detección de los posibles focos de contaminación existentes en el Campo de Dalías, para realizar una caracterización inicial de los mismos. En ningún caso, ni por su planteamiento ni por los medios empleados durante su ejecución, se trata de un estudio cuantitativo de focos. Este trabajo es pues un punto de partida sobre esta problemática, tanto por ser la primera vez que se aborda de forma sistemática, como por la escasa disponibilidad de información fiable disponible hasta el momento y por la metodología de estimación relativa utilizada para su

valoración. Ha sido abordado utilizando el término: “potencial influencia contaminante” (basado en función de la información disponible hasta el momento, en general escasa) presentando datos con bastantes incertidumbres y, por tanto, se ha utilizado una **metodología de estimación básicamente cualitativa**, ya que se carece, en general, de datos cuantitativos que permitan concretar y definir con precisión el alcance y las características de la posible contaminación.

La **valoración** del potencial contaminante, de cada foco, se ha realizado según una estimación relativa basada en los siguientes factores:

Número y tipo de foco, naturaleza del vertido, estado del mismo: en uso (actuales) y antiguos (abandonados, clausurados).

Horizonte temporal: tiempo de uso o actuación del foco, Superficie ocupada por el foco (en hectáreas) y topografía del área: cota media y pendiente del área (Baja, Media y Alta).

Contaminantes probables: peligrosidad y persistencia relativa de los mismos (Baja, Media y Alta).

Zona no saturada: el espesor en metros de la ZNS, la permeabilidad de los materiales de la ZNS (Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta), y el grado de protección que represente la zona no saturada, principalmente en función del espesor existente. Con este se define la siguiente escala de valores: < 20 m grado de protección Muy Bajo, <50 m, grado Bajo, de 50-100 m: grado Medio y >100 m: grado Alto.

Vías preferentes o posibles para el avance de la contaminación.

Valoración del Potencial contaminante para los acuíferos inferiores y para los acuíferos superiores, con una escala de valores de 1 a 5: (1) Muy Bajo, (2) Bajo, (3) Medio, (4) Alto, y (5) Muy Alto.

La magnitud o importancia de los focos se halla condicionada por los siguientes factores: superficie o área afectada, tiempo de actuación, persistencia y peligrosidad de los contaminantes implicados, permeabilidad y espesor de la ZNS y la existencia o no de vías preferentes para la actuación de la contaminación. En este caso, debido a la falta de información contrastada sobre los tipos de contaminantes movilizados, la variable determinante ha sido el grado de protección en función del espesor de la zona no saturada.

Esta evaluación preliminar acerca de la influencia-riesgo de afección de los focos y la vulnerabilidad del área constituye una clasificación inicial de peligrosidad de estos focos en relación con los acuíferos inferiores y en menor medida con los superiores.

Para la **detección de los focos se ha llevado** a cabo un barrido de campo, realizado durante los primeros 14 meses, **entre Julio de 2008 y Septiembre de 2009**, de forma simultánea con los recorridos llevados a cabo para el análisis de la modificación de la infraestructura y/o los cambios en las características de los sondeos de explotación (Trabajo 1A). Entre los meses de Octubre a Diciembre de 2009 y de Enero a Febrero de **2010**, este barrido fue realizado de forma específica para poder completar esta actividad, con recorridos realizados en algunas zonas no visitadas situadas en la parte meridional del campo, correspondientes al ámbito de los acuíferos de cobertura.

Al objeto de intentar completar la información de los focos detectados en campo y poder conocer los distintos tipos de actividades industriales y agro-ganaderas del área meridional de Sierra de Gádor-Campo de Dalias, que por su naturaleza puedan afectar a los acuíferos locales, se llevaron a cabo, de principios a mediados del año 2009, una serie de **contactos con las administraciones competentes en la materia, tanto organismos locales**: Concejalías de agricultura, medio ambiente e infraestructuras de los Ayuntamientos de la Comarca del Poniente, **como organismos de la Administración Autonómica, dependientes de las Delegaciones provinciales de tres**

Consejerías: Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa: Departamentos de Minas e Industria, Consejería de Agricultura y Pesca: actividades agro-ganaderas y Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. (Ver Documento 161-4 en **Anexo 5**)

De los Ayuntamientos de El Ejido, La Mojonería, Vícar y Roquetas se obtuvieron informaciones parciales sobre los residuos sólidos urbanos generados durante los últimos años en estos términos municipales y los vertederos antiguos.

A la Delegación provincial de la Consejería de Agricultura y Pesca, se pidió mediante oficio (IGME 11 junio 2009) información para conocer las actividades industriales agroalimentarias, agrícolas y ganaderas. Proporciona el listado del censo ganadero y datos puntuales sobre la almazara de Félix. (**Anexo 5**, del Documento 161-4)

A la Delegación provincial de la Consejería de Medio Ambiente se pidió mediante sendos oficios (IGME, 11 junio y 22 julio de 2009) información sobre las actividades descritas, así como ubicación y características de los antiguos vertederos de RSU y Agrícolas, fechas de clausura, tipo de sellado, etc. Del departamento de “Protección Ambiental”, se aportaron varios listados con la información que disponían (con fecha 16 de Julio de 2009) sobre las actividades de su competencia desarrolladas en el Sur de Sierra de Gádor - Campo de Dalías:

- 1) Listado de las instalaciones de gestión de residuos agrícolas.
- 2) Empresas de fabricación de fertilizantes
- 3) Puntos de recogida de envases fitosanitarios.
- 4) Productores de residuos peligrosos.
- 5) Tabla sobre los puntos de vertido de las estaciones depuradoras de las aguas residuales urbanas de la zona, al Dominio Público Marítimo-Terrestre.

Del Servicio de Protección Ambiental de esta Consejería, se intentó repetidas veces obtener información de los expedientes existentes en ese Organismo sobre las características que presentaban los antiguos vertederos del Campo de Dalías y de los trabajos finales de sellado y cierre de los mismos. (Al ser expedientes antiguos se encuentran archivados y no han podido ser documentados). De este servicio solo se obtuvo un listado con la existencia de 6 posibles puntos contaminantes del Poniente Almeriense, y dos planos de áreas de vertido ya observadas en campo.

De los posibles vertidos, de las ARU tratadas, realizados al Dominio Público Hidráulico en el Poniente, no se pudo obtener ninguna información del departamento de vertidos de la Agencia Andaluza del Agua en Almería.

Se han obtenido datos sobre los residuos líquidos urbanos (RLU) y las EDARS del Poniente, que se gestionan en esta comarca en dos zonas diferenciadas: la parte occidental del Campo, que incluye las poblaciones de El Ejido, Balerma, Dalías, Berja, Balanegra y Adra, las gestiona la UTE AQUALIA-INIMA tratando el mayor volumen de efluentes en la EDAR de El Ejido, mientras que en la parte Oriental del Campo de Dalías, las ARU de las poblaciones de: Vícar, La Mojonería, Roquetas de Mar, El Parador y Aguadulce, se tratan en la EDAR de Roquetas gestionada por ACUAGEST SUR-AGBAR, al igual que las aguas residuales de las poblaciones de Enix y Félix, que tienen dos pequeñas plantas de tratamiento.

Toda la información obtenida ha sido organizada y resumida mediante unas fichas para cada uno de los focos detectados, (en **Anexo 5**: Relación de fichas sobre los focos potenciales de contaminación por términos municipales). Estas fichas han sido confeccionadas a partir de un modelo previo del IGME, utilizando como criterio una selección de los campos más idóneos hasta

conseguir un modelo útil y adecuado a los fines propuestos en este trabajo sobre detección e identificación previa de focos potenciales.

En el modelo de ficha obtenido, se ha volcado la información disponible para la caracterización de los distintos puntos, siendo informatizadas entre los meses de febrero a agosto de 2010. Estas fichas sobre los focos potenciales de contaminación se estructuran en dos partes: en la primera se describen los datos genéricos (encuadre, emplazamiento y características hidrogeológicas del área) y en la segunda parte los datos específicos sobre cada foco, en función de las características y tipos de vertidos predominantes.

En la **ficha general** realizada se han recogido los datos siguientes:

Página 1: Focos Potenciales de Contaminación.

Denominación: con designación del foco utilizando: (V-TM-nº), Vertido (V)- término municipal- número de inventario y nombre del foco. Los términos municipales están descritos como: BA.- Balanegra, DA.- Dalias, EJ.- El Ejido, EN.- Enix, FE.- Felix, MJ.- La Mojonera, RM.- Roquetas de Mar, VC.- Vícar.

Vertido/s: naturaleza de los vertidos más significativos acumulados y el tipo de control del mismo (controlado, incontrolado o no se conoce): **residuos sólidos urbanos** (RSU) y estaciones de transferencia de residuos sólidos (ETRS), **residuos sólidos industriales** (dentro de éstos se engloban principalmente los materiales procedentes del desecho de las actividades constructivas, los desguaces y los inorgánicos procedentes de la actividad agrícola intensiva –invernaderos-); **Agricultura** (residuos de naturaleza orgánica procedentes de la actividad agrícola, Plantas de compostaje y Plantas de abonos orgánicos). **Residuos líquidos urbanos** (procedentes de las aguas residuales urbanas, sin tratar y tratadas – EDAR). **Ganadería** (residuos de las actividades ganaderas, purines de ganado caprino, ovino, vacuno y avícola).

Encuadre geográfico: Comunidad autónoma, provincia y término municipal con esquema de localización general del foco sobre el Campo de Dalías (base cartográfica I.C.A).

Encuadre hidrogeológico general: designación Cuenca Hidrográfica, masa de agua, sistema acuífero y área de explotación del Campo de Dalías.

Página 2: Datos del emplazamiento:

Datos geográficos: toponimia, acceso y morfología del área, datos climáticos: temperatura y precipitación anual, direcciones de vientos, con los valores medios, máximos y mínimos.

Impacto ambiental: con una designación relativa para los riesgos de contaminación atmosférica, de contaminación de las aguas superficiales – subterráneas y del impacto paisajístico. Esta designación se hace con una escala de valoración relativa sobre riesgos comprendido entre: nulo (0), muy bajo (1), bajo (2), medio (3), alto (4) y muy alto (5), sobre los riesgos descritos.

Delimitación en coordenadas UTM de la poligonal del vertido, con su cota media y el punto central o centroide del área delimitada.

Observaciones: sobre las características, evolución y estado del foco.

Página 3: Características hidrogeológicas del emplazamiento:

Zona no saturada: permeable o impermeable, espesor y litología de la zona no saturada y el valor cualitativo de su permeabilidad, con una escala relativa comprendida entre: baja, media y alta.

Zona saturada: Su espesor, y litología, valores de permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento cuando se conozcan.

Calidad: calidad natural del agua del acuífero, con una escala básica de calidad entre: mala, mediocre y buena, definida en base al uso de las aguas. Mala: aguas de muy baja calidad química, prácticamente sin uso para el riego

Medioocre: aguas de calidad media con un uso principal para el riego agrícola.

Buena: aguas con buena calidad hidroquímica, aptas para el abastecimiento.

Puntos de agua próximos: Se enumeran las captaciones más cercanas, en orden sucesivo de menor a mayor distancia al foco descrito, y el riesgo de contaminación en pozos y sondeos cercanos.

Observaciones: sobre las características de explotación de las captaciones cercanas del área y uso de las mismas.

Esquema hidrogeológico: Cortes esquemáticos Norte-Sur con escala gráfica horizontal y vertical aproximada. Estos se han realizado básicamente a escalas 1/100.000, siguiendo el esquema de isopiezas del IGME, adjunto en cada ficha y en algunos casos el 1/10.000 en base al plano de emplazamiento del foco (Planos del ICA). Se ha marcado en el perfil la ubicación del foco y el nivel piezométrico local del acuífero superior y del inferior. Todos los datos aportados sobre las características hidrogeológicas de los focos, han sido obtenidos de las fichas de inventario existentes en la oficina del IGME, utilizando los pozos y sondeos más cercanos descritos en la ficha como: puntos de agua próximos.

Página 4:

Plano de emplazamiento a escala 1/10.000, con el área ocupada por el foco y los vértices con coordenadas UTM, utilizados para su delimitación. (Se utiliza como plano base la cartografía digital del I.C.A de las Hojas 1057, 1058 y 1044). Tipo de documentación y bibliografía, instrucción y fecha de inventario.

Página 5:

Otras informaciones sobre el emplazamiento: Valoración de los datos, y Otras informaciones sobre el emplazamiento: Planos de Ubicación del área de vertido y de los cortes N-S, entre las zonas Oriental, Central y Occidental del Campo, dentro del esquema general de isopiezas y distribución de flujos en los acuíferos de cobertura del Campo de Dalías (agosto de 2007, IGME).

Páginas 6-7:

Fotos aéreas verticales del año 2007 y fotos de las áreas observadas en campo e información gráfica existente sobre cada punto.

Además de esta ficha general, para todos los focos potenciales se ha utilizado una **Ficha específica**, en función de las características y tipos de vertidos predominantes generados en la comarca, y asociados en cuatro tipos básicos:

1) **Vertidos de residuos sólidos urbanos.**- Asociados a dos tipos de focos: **L:** (RSU) residuos sólidos urbanos y **J:** (ETRS) Estaciones de transferencia de residuos sólidos urbanos.

Con un primer apartado de “generación de residuos”: la población de procedencia, la distancia al núcleo urbano más cercano, la población fija y estacional (valores tomados del INE), y el volumen anual de residuos en Tm/año (calculado con el valor de la población y un módulo estimado de 1,2 kg/habitantes/día de residuos sólidos). Un segundo apartado con el “método de tratamiento”: en el que se describe si existe un estudio previo del sistema de tratamiento, y si ha existido incineración, compostaje o reciclaje parcial de estos residuos, y el material acumulado en vertedero. En las observaciones generalmente se hace una valoración del volumen anual de residuos comparando los valores iniciales, con los años intermedios y los del último año. Un tercer apartado sobre las “características del vertedero”: con la descripción de la toponomía del área, si existe o no estudio del emplazamiento, la fecha de entrada y de cese en el servicio, el tipo de gestión del mismo, su sistema de vertido: controlado o incontrolado, si dispone de algún sistema de impermeabilización, de recogida

de lixiviados, de control de gases y de sellado del vertedero. En las observaciones de este apartado se describen básicamente los cambios del mismo a lo largo de su vida útil.

2) Vertidos de residuos líquidos urbanos.- Asociados a cuatro tipos de focos: **A:** ARU (ST), aguas residuales urbanas, sin tratamiento, **F:** residuos líquidos de origen agrícola, procedentes de almazara (alpechines). **I:** EDAR, estaciones depuradoras de aguas residuales, **K:** RLU, (T), residuos líquidos urbanos tratados procedentes de las EDAR.

Un primer apartado de “generación de residuos”: la población de procedencia, la distancia al núcleo urbano más cercano, la población fija y estacional (valores tomados del INE), el volumen anual de residuos en m³/año, si existe red de saneamiento local y si se reutiliza estos RLU.

Un segundo apartado con el “método de tratamiento”: en el que se describe la EDAR, el tipo, la fecha de entrada en servicio, quien lleva la gestión de la misma, si tiene sistema de depuración primario, secundario o terciario, si tiene fosas sépticas y tanque Imhoff, así como las observaciones sobre el destino del agua depurada.

Un tercer apartado sobre las “características del vertido”: a) Sólido con el punto de vertido y el volumen en Tm/año y b) Líquido con el punto de vertido en coordenadas UTM y el volumen anual en m³/año, (calculado con el valor de la población y un módulo estimado de 220 l/habitantes/día de RLU).

3) Vertidos de residuos sólidos industriales – agrícolas.- Asociados a seis tipos de focos: **B:** residuos orgánicos procedentes de la actividad agrícola intensiva, **D:** residuos agrícolas orgánicos, y residuos inorgánicos procedentes de los invernaderos e inertes de construcción. **G:** Compost y Planta de Compostaje de residuos agrícolas. **R:** residuos agrícolas inorgánicos. Uno con mezcla de actividades, **E:** residuos orgánicos agrícolas, inertes y ganado caprino, **Q:** talleres de desguace, almacenes de Chatarra, puntos limpios de aceites y grasas minerales.

Un primer apartado de “generación de residuos”: en el que se describen los distintos tipos de residuos vertidos según la clasificación del CNAE con el tipo de actividad que los produce, aquí básicamente ligados a las actividades agrícolas intensivas, a la construcción y en menor proporción a la reutilización de metales. Las materias primas o residuos que producen y a su naturaleza y volumen.

Un segundo apartado con las “características del vertedero”: donde se recoge la toponimia del área, si existe o no estudio del emplazamiento, la fecha de entrada y de cese en el servicio, el tipo de gestión del mismo, su sistema de vertido: controlado o incontrolado, si dispone de algún sistema de impermeabilización, de recogida de lixiviados, de control de gases y de sellado del vertedero. En las observaciones de este apartado se describen los tipos de residuos y su disposición.

4) Vertidos de residuos de actividades ganaderas.- Asociados a seis tipos de focos: **H:** ganado caprino, **M:** ganado vacuno, **N:** ganado caprino-ovino, **P:** ganado avícola, **O:** acumulaciones de abonos orgánicos de origen animal. Y un tipo más con mezcla de actividades agrícolas y ganaderas, **C:** residuos orgánicos agrícolas y ganado caprino.

Un solo apartado de “generación de residuos”: en el que se describe los distintos tipos de ganado, el número de cabezas y su estado estabulado o no. El posible tratamiento y la utilización de los efluentes. En las observaciones se describe el tipo de granja y su emplazamiento local.

Junto a estas fichas, se ha resumido y completado la información obtenida sobre los posibles focos contaminantes en las distintas áreas y términos municipales del Poniente Almeriense, con los siguientes documentos aportados en esta memoria resumen:

1) Listados generales de los focos:

1a) Listado completo de los focos potenciales detectados, ordenados según la fecha de observación de los mismos y por términos municipales.

1b) Listados parciales por términos municipales con los gráficos de distribución sobre los distintos tipos de focos potenciales existentes.

Estos listados se han confeccionado en hojas de excell: En la primera columna se designan los focos utilizando la nomenclatura utilizada para las fichas: (V-TM.-nº), con una leyenda anexa al listado con las siglas utilizadas para cada término municipal. En la segunda columna se marcan los tipos de focos, que se describen en otra leyenda anexa. En este trabajo se han considerado un total de 18 tipos de focos descritos de la A a la R, de los cuales 14 de ellos se corresponden con vertidos de una única naturaleza y los 4 restantes se tratan de vertidos formados por una mezcla de varios tipos. En la tercera columna se describen la naturaleza de los vertidos, en la cuarta el estado, si se trata de focos antiguos o en uso (actuales). Las columnas 5 6 y 7 se corresponden con la ubicación del punto central del área ocupada por el foco en coordenadas UTM y la cota media con un valor en áreas llanas y con dos valores máximo y mínimo en áreas de mayor pendiente. En la columna 8 la localización del área sobre los planos base utilizados a escala 1/10.000 (ICA), en la columna 9 se marca la fecha de observación del foco y en la última columna el paraje donde se encuentra el vertido.

2) Tabla de valoración:

Valoración cualitativa del potencial contaminante de cada foco, utilizando los siguientes factores relacionados en 16 columnas: (1) nº proyecto del foco (T.M -nº), (2) tipos de focos (18 tipos de A a R), (3) Naturaleza de los vertidos, (4) Estado (antiguo y actual), (5) horizonte temporal (tiempo en años), (6) área o superficie del foco (en Ha), (7-8)Topografía del área: cota media y pendientes, (9-10) contaminantes más probables (peligrosidad y persistencia), (11-12-13) zona no saturada (ZNS): en función del espesor (m), grado de permeabilidad y el grado de protección, (14) Vías preferentes o probables de contaminación, y (15-16) valoración del potencial contaminante en los acuíferos inferiores y superiores (escala de 1 a 5 de muy bajo a muy alto).

3) Planos generales:

Tres conjuntos de planos, utilizando para su emplazamiento las coordenadas UTM del centroide de los focos. Se ha obtenido mediante un SIG, tres tipos de planos: en los primeros (A) se compara su distribución espacial con la situación de las zonas estratégicas de los acuíferos superiores e inferiores (como el incluido en la Fig. 6.4.1). En los segundos (B) se muestra la situación espacial de los focos con respecto a los puntos de calidad muestreados entre los años 2008-2009-2010 y su relación con los acuíferos de cobertura y los acuíferos inferiores de las zonas estratégicas (como el de la Fig. 6.4.2), y en el tercer tipo (C) se muestran los focos potenciales en el Esquema Hidrogeológico (IGME) del Sur de Sierra de Gádor - Campo de Dalías.

Descripciones más detalladas y contenido de datos en fichas, listados, cuadros, tablas, mapas, etc., se encuentran en el Documento 161-4 y sus anexos (en Anexo 5), así como la bibliografía utilizada como guía para el diseño y realización de este trabajo.

6.5.- ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LA VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA EN LOS PRINCIPALES ACUÍFEROS, CON ESPECIAL ATENCIÓN A LOS PROCESOS DE INTRUSIÓN MARINA (TRABAJOS 1E Y 2B)

El objetivo de los Trabajos 1E y 2B, que integran este apartado de la Memoria, fue aportar una visión actualizada sobre las características físico-químicas existentes en los acuíferos principales y su variación en el tiempo, en apoyo al conocimiento del punto de partida del funcionamiento de este sistema de acuíferos (antes de la aplicación de las primeras medidas necesarias para regenerarlos y protegerlos, y para la posterior evaluación de la efectividad de éstas). También se pretendía, con estos trabajos, contar con más información para ayudar a seleccionar las zonas más idóneas de modificación de extracciones (con descensos en determinadas áreas de los acuíferos inferiores, y aumentos en otras de las coberturas), atendiendo, de esta manera, a los dos objetivos principales de la Fase I, en apoyo al futuro Plan de Ordenación de la zona.

Los mayores esfuerzos en estos trabajos, evidentemente, se destinaron a la actualización del conocimiento del estado de la entrada de agua de mar a los acuíferos inferiores, al tratarse del proceso más importante de destrucción de recursos disponibles en la zona, aunque se recogieron también informaciones de interés para iniciar el análisis de la influencia de sustancias procedentes de los excedentes de las actividades antrópicas en los acuíferos inferiores (como es el caso de los plaguicidas), así como para estudiar la variación en las características físico-químicas de estos acuíferos por efecto de la mezcla con los de cobertura, en sus zonas de relación.

En el **Anexo 6** se recogen los principales documentos sobre la captación de datos, los resultados analíticos obtenidos (incluidos también en el almacén de datos AGAQ del IGME, según se expone en el **Anexo 14**) y las elaboraciones realizadas (con herramientas específicas, aplicaciones generadas para la bases de datos, etc.).

Los **contenidos naturales** de las distintas variables hidroquímicas, que estuvieron presentes antes de la explotación llevada a cabo en los distintos acuíferos del Campo de Dalías, eran consecuencia de la geometría y el funcionamiento de éstos, teniendo en cuenta los tipos de materiales que los constituyen y sus permeabilidades, las circunstancias climáticas de la zona, etc., de manera que, dada la complejidad de las interrelaciones entre acuíferos, variación espacial de materiales, etc. resulta lógico considerar que existió ya, en estas condiciones naturales, una variabilidad hidroquímica notable en la distribución espacial de las calidades, por áreas y acuíferos (reflejada en los primeros documentos sobre variables hidroquímicas en el Campo de Dalías, a inicios de la década de 1970, aún cercana al régimen natural de funcionamiento).

Como se sabe, estos acuíferos han sufrido una explotación intensa, con inicio de las extracciones hace más de 50 años, cuya localización ha ido variando en el tiempo, de unos acuíferos a otros y de unas áreas a otras dentro de un mismo acuífero. Además, sobre su superficie se han implantado las actividades humanas (agrícolas, ganaderas, urbanas) en expansión a lo largo del tiempo.

Las fuertes modificaciones del funcionamiento de los acuíferos y el efecto de los usos realizados sobre su superficie, han generado una variación muy compleja de las características físico – químicas de sus aguas, sobreimpuesta a la natural. Esta variación consecuencia del uso de los acuíferos tiene diversos orígenes incluyendo, además de la intrusión marina (como ya se ha

dicho el problema más limitante para la sostenibilidad del uso de los acuíferos de la zona) modificaciones en la calidad del agua de los acuíferos por efecto, principalmente de:

- nuevas mezclas de aguas de distintos acuíferos, forzadas por el bombeo, que han dado lugar a cambios en las relaciones de flujos entre éstos a través de las relaciones geométricas naturales entre ellos y debidas a la existencia de interconexión de acuíferos mediante sondeos mal construidos o envejecidos a lo largo de su utilización.
- entradas de los excedentes de las actividades humanas desde la superficie (con su carga de agroquímicos, las sustancias derivadas de la presencia de ganadería, los contaminantes procedentes de los asentamientos humanos, etc.).

Las contaminaciones pueden ser de carácter difuso (afectando a amplias áreas, caso de las derivadas de la agricultura) o local. Una primera detección de los focos potenciales que pudieran tener una mayor influencia sobre la calidad de los acuíferos inferiores quedó incluida en el apartado 6.4 (Trabajo 1D), introduciéndonos en el complicado y preocupante panorama existente al respecto, cuyo efecto deberá ser objeto de trabajos posteriores del Programa y tenido en cuenta en las actividades de control y protección ambiental de la zona.

Los cambios por las mezclas de aguas entre acuíferos de cobertura e inferiores (por efecto de la relación de flujos entre ellos) en la calidad del agua de los acuíferos inferiores, muestra un gran interés dadas las variaciones producidos en el funcionamiento hidrogeológico de este sistema de acuíferos, cuyo conocimiento ha sido actualizado en la Fase I. Siguen teniendo lugar flujos de entrada de agua desde acuíferos de cobertura a los inferiores (en distintos casos y circunstancias), como se ha reflejado en el apartado 6.2 de este capítulo, donde se incluyen los resultados de la actualización del conocimiento de la piezometría.

Teniendo en cuenta que, originalmente (en régimen natural de funcionamiento) las calidades del agua en los acuíferos de cobertura eran peores, en general, que las presentes en los acuíferos inferiores, esta relación de flujos tenía que producir un empeoramiento de la calidad del agua en las áreas de los acuíferos inferiores que recibían estas masas más saladas. Sin embargo, dado el proceso de mezcla con agua de mar que sufren ya los dos acuíferos inferiores, detectado a las cotas de captación del AIO por primera vez en 2010, estos flujos de entrada desde las coberturas a los acuíferos inferiores, siempre que no impliquen un deterioro no asumible de la calidad de éstos, cabría considerarlos únicamente en su aspecto positivo de aportación de recursos a los acuíferos principales, en contra de su contaminación por entrada de agua de mar.

Para las Zonas Estratégicas Preferentes (ZEP) preseleccionadas por su mayor interés en la reordenación de bombeos de los distintos acuíferos (**Zona a, Zona b, Zona c y Zona d de las coberturas, y Zonas g, Zona h y Zona j de los acuíferos inferiores**, definidas en el Trabajo 2A, apartado 7.1) se realizó el encuadre de su funcionamiento hidrogeológico, y de la evolución de éste, y se describieron los principales procesos existentes que podían afectar a la calidad del agua de su almacenamiento.

Una síntesis de estos procesos que afectan a la calidad y tienen importancia para la valoración de cada una de las zonas referidas (en el marco de la reordenación de extracciones tendente a la sostenibilidad de este conjunto de acuíferos) se presentó en el documento 111_2B en Anexo 6. Para avanzar en el conocimiento de dichos procesos se obtuvieron nuevos datos durante la Fase I.

Para los acuíferos de cobertura, los principales problemas relativos a la calidad del agua que, como consecuencia de los cambios de funcionamiento hidrogeológico afectan a su valoración como zonas estratégicas preferentes, están en relación con las ZEP b y ZEP c pertenecientes al ASC (“Entorno de Onáyar” y “Entorno de la Balsa del Sapo”, respectivamente), así como con la ZEP d (coberturas del área de El Viso – Roquetas, hasta el límite con el área de La Gangosa) en la que se encuentran los acuíferos ASN y AItN. Las tres zonas citadas tienen interés en principio (objetivo deseable del que hay que mejorar con nuevos datos su análisis) como posibles **áreas potencialmente cedentes de recursos complementarios** para sustituir parte de los bombeos de los acuíferos inferiores, con un posible bombeo complementario al existente del ASC (ZEP b y ZEP c) o coyunturalmente de las coberturas de la ZEP d (ASN y AItN). Para evaluar este interés hay que tener en cuenta también los condicionantes impuestos desde los propios acuíferos de cobertura (extracciones actuales, relación con zonas de interés ambiental, etc.).

También, en los tres casos señalados, se trata de zonas cuyo descenso controlado del nivel del agua, en los acuíferos de cobertura correspondientes, podría suponer **una protección para la calidad de los acuíferos inferiores que actualmente reciben sus flujos**: en el caso de la ZEP b, el acuífero receptor es el AIO, y en el de la ZEP c son, directa o indirectamente, los dos acuíferos inferiores; mientras que en el caso de la ZEP d, se refieren al AIN en situaciones en las que su nivel piezométrico es más bajo que el de las coberturas. Sin embargo, el **análisis de las ventajas de estas actuaciones sobre el nivel de los acuíferos de cobertura**, con los nuevos datos obtenidos, **precisa de la consideración del balance entre el beneficio del descenso de niveles en estos acuíferos de cobertura** (en relación con la disminución del impacto en la calidad del agua del acuífero receptor) **y el perjuicio que produciría la disminución de entradas laterales a los acuíferos inferiores**, por el consecuente impacto en el aumento de la velocidad de descenso piezométrico en los mismos, y en sus consecuencias asociadas.

Como se ha señalado anteriormente, en cada una de estas tres zonas preferentes de acuíferos de cobertura resultaba de interés conocer la variación espacial de la calidad de la masa de agua que contienen. Aunque la información disponible no permite precisar mucho en este aspecto, se sabe que existen diferencias de calidad de origen natural (en la vertical y horizontal), a las que el uso ha añadido otros factores multiplicadores de dichas diferencias, ya que existen focos de contaminación (localizados y difusos) a consecuencia de las actividades humanas sobre su superficie: zonas de riego, vertidos de aguas residuales, localización de vertederos de residuos sólidos actuales o de épocas pasadas, etc.. Además, el riego con aguas procedentes de distintos orígenes, ajenos a las coberturas que los reciben, genera retornos con diferentes características a las de los acuíferos receptores de los mismos.

Por ello, las tendencias generales de estos acuíferos de cobertura (con niveles cada vez más altos) suponen un almacenamiento cada vez mayor, y con características hidroquímicas de creciente complejidad por mezclas de sus calidades hidroquímicas propias (según las zonas) con aguas de: acuíferos inferiores, aguas pluviales inyectadas, aguas del Embalse de Benízar, etc., así como aguas procedentes de retornos de los usos, tanto difusos como de los numerosos focos de posible contaminación existentes. Desde este complejo almacenamiento se produce una transferencia cada vez más importante (a los acuíferos receptores y a otras áreas de menor carga hidráulica de los propios acuíferos de cobertura) de estas masas con las sustancias que contengan. En este sentido, la ZEP b promete representar la mayor complejidad por la gran presión de retornos y vertidos de origen urbano.

Como resultado de los trabajos de mejora de la calidad en las ZEP se comprobó la influencia de la falta de datos representativos para esta evaluación de la distribución de

calidades (en la horizontal y vertical) **consecuencia de no disponerse de una red específica con nuevas obras**, aunque, aun así, resultaría un objetivo de difícil alcance. La mejora de la red de observación deberá orientarse, por ello, a encontrar áreas de mejor calidad cuyo bombeo pueda integrarse en el volumen de recursos de sustitución que persigue el Plan de Ordenación.

En relación con los principales problemas referidos a la calidad del agua (consecuencia de los cambios de funcionamiento hidrogeológico) que se han estudiado por su **incidencia en la valoración como zonas estratégicas preferentes de los acuíferos inferiores**: las denominadas **ZEP j, ZEP g y ZEP h** (áreas libres del AIO en la llanura, y áreas de El Águila -incluyendo el área de Vícar del AIN- y de la zona confinada del AIN en El Viso) se trata de evitar en ellas, dentro de lo posible, los procesos de contaminación provenientes de otros acuíferos, o de otras áreas de los propios acuíferos, con los que estas zonas se relacionan, sin olvidar las contaminaciones derivados del uso directo en su superficie.

- Para el caso de la ZEP j (correspondiente a las áreas libres del AIO en la llanura) los principales problemas a investigar fueron: la entrada de agua de mar desde el AEBN; la transferencia de flujos muy salados (con mezcla de salmueras) desde su zona confinada; la entrada de flujos contaminados desde el ASC en sus zonas de contacto lateral y en parte vía sondeos. Además, la incidencia de las actividades humanas sobre el propio acuífero en esta zona es un factor que se precisa conocer.
- En la ZEP g (áreas de El Águila – Vícar del AIN) los procesos de contaminación a investigar fueron: los procedentes de las coberturas en sus zonas de relación (comprendidas en El Viso- Roquetas (ZEP d) y el entorno norte de la Balsa del Sapo (ZEP c) por su descarga a la ZEP d que, en situaciones desfavorables, trasferían al AIN, aunque la preocupación principal se dirigía al conocimiento de la entrada de mezclas con agua de mar (antigua o reactivada) desde Aguadulce - La Gangosa y, potencialmente, desde El Viso (zona h). Como en el caso de la ZEP j, también se considera de interés conocer la incidencia de las actividades humanas sobre el acuífero en esta zona libre.
- Los procesos actuantes en la ZEP h (El Viso, zona confinada del AIN) son parecidos a los citados para el caso de la zona anterior: transferencias de flujos contaminados procedentes de su propia cobertura, en parte vía sondeo, y desde distintos niveles de la compleja zona de La Gangosa, en la que se incluyen mezclas de agua de mar procedentes directamente del área de Roquetas.

Para llevar a cabo los Trabajos 1E y 2B fue necesario la obtención en campo de numerosas nuevas informaciones físico-químicas del agua de captaciones, tratando de que estas mediciones fueran representativas de los distintos acuíferos, ya que **no existe** para ello **una red de investigación específica** (adecuada en el espacio y con posibilidades de extracción de todos los tramos de los acuíferos y observación de sus contenidos en profundidad). Una síntesis de sus características se expone en al epígrafe siguiente.

6.5.1- Obtención de nuevas informaciones físico-químicas representativas de los acuíferos recogidas durante la Fase I (2008-2010) y sus prórrogas (2011-2013).

Para la obtención de las nuevas informaciones físico – químicas representativas, se han llevado a cabo distintos tipos de operaciones (que quedaron reflejadas en documentos a lo largo del período de desarrollo de estos trabajos). Se trató esencialmente de:

- 1) **El diseño de las nuevas campañas de campo:** con selección de puntos, de variables a medir, metodologías a aplicar, períodos de toma de datos, gestiones con los usuarios para adaptar las necesidades de las investigaciones a las suyas, etc. Precisó de los resultados de la actualización del conocimiento de la infraestructura de uso de los acuíferos y de la piezometría (Trabajos 1A, 1B y 1C).
- 2) **La ejecución del trabajo de campo:** con calibraciones de aparatos de medida, recogida de muestras de agua y/o informaciones complementarias (medidas “in situ” o datos obtenidos posteriormente en laboratorios).
- 3) **La validación previa, elaboración preliminar del trabajo de campo y la carga de las nuevas medidas, ya comprobadas,** en los almacenes de datos adaptados a estas investigaciones.
- 4) Las **elaboraciones** de las informaciones obtenidas mediante distintas metodologías para **analizar la representatividad de los puntos de observación** estudiados.
- 5) La **interpretación provisional** de los distintos datos de los puntos representativos de un acuífero o tramo (en el contexto de las informaciones previas del registro histórico) y, posteriormente, la **discusión conjunta** de los correspondientes a **todas las variables y metodologías**, hasta llegar a la interpretación más coherente (hipótesis más probable) atendiendo al modelo conceptual de acuíferos y al conjunto de resultados representativos obtenidos sobre los mismos.

Como se puede deducir, el llegar a las informaciones físico-químicas representativas de los distintos acuíferos es un proceso complejo, difícil de ejecutar y, muchas veces, tras el esfuerzo, una parte importante de las medidas no llega a validarse como representativas por las incertidumbres que conllevan. Esto es la consecuencia de no contar con una red de sondeos específica para estas investigaciones, atendiendo a la necesidad de tener en cuenta en los mismos la variabilidad existente en la calidad del agua por el uso de los acuíferos, y en relación con la complejidad de la geometría y del funcionamiento hidrogeológico.

Entre **abril de 2008 y diciembre de 2013** se recogieron del orden de **1200 muestras de agua** (muchas de ellas con hasta tres repeticiones) para realización de analíticas de diverso tipo, principalmente de análisis químicos normales (pero también de metales / metaloides, plaguicidas, isótopos estables del agua, análisis bacteriológico, etc.) además de la obtención de diversas informaciones recogidas en campo (de temperatura y conductividad eléctrica del agua, pH y OD, condiciones del punto en cuanto a circunstancias de explotación o reposo durante la captación de la muestra, observaciones sobre su entorno de bombeo, niveles del agua, etc.) y las correspondientes a las necesarias calibraciones de los aparatos de medida utilizados.

Para atender a los distintos objetivos de estos trabajos, se recogieron, durante 2008-2009 fundamentalmente, al menos tres botellas de cada muestra de agua para llevar a cabo distintos tipos de análisis: microbiológicos, de plaguicidas, mayoritarios, Boro, Cl/Br, barrido de metales – metaloides e isótopos estables del agua. Los listados de seguimiento de todas las variables a obtener, que contienen así mismo las condiciones en las cuales fue muestreado cada punto de agua elegido, se encuentran en cuadros en los documentos realizados de las distintas campañas de toma de datos (en **Anexo 6**, Documentos 111, 112 y 113 principalmente).

- La obtención de análisis microbiológicos se planteó para puntos de las coberturas en relación con núcleos urbanos y zonas potencialmente afectadas por vertidos (líquidos y sólidos) ya conocidos o sospechados, además de en zonas ajenas a estas circunstancias para

servir de contraste. También en relación con puntos que captaban acuíferos confinados, situados en las inmediaciones de estas zonas de vertido. Se pretendía analizar la variación de estos contenidos con el tiempo de bombeo. Por otra parte, se planteó un estudio por barrido de zonas sucesivas que no pudo completarse por falta de disponibilidad de medios en los períodos de prórrogas de la Fase I.

- Para el análisis de plaguicidas se muestraron captaciones de las coberturas, y también sectores de los acuíferos inferiores en sus áreas de relación con éstas, y en otras áreas de contraste. Se pretendía conocer su variación con el tiempo de bombeo; como en el caso anterior (y por las mismas razones) el estudio no se pudo completar durante las prórrogas.

- Las muestras para análisis de mayoritarios (análisis normales) se tomaron en todos los puntos, y se obtuvieron además análisis de Boro, e índice Cl/Br en gran parte de las campañas de 2008 y 2009.

- Respecto a los análisis de isótopos estables del agua (realizados **con la colaboración del laboratorio del CEDEX**) se incluyeron para cada tipo de acuífero, y en las zonas de mezclas de acuíferos inferiores (valores más negativos) y coberturas (contenidos más positivos), para valorar su interés en el estudio de las mezclas de estos dos tipos de acuíferos. Se trata de un estudio incipiente que precisa de un número de análisis mucho más numeroso.

Las nuevas muestras recogidas en la Fase I y sus prórrogas se tomaron principalmente del **agua de bombeo** de las captaciones (**unas 900 muestras**), mientras que el resto correspondió a las recogidas **con botella a profundidades específicas (del orden de 300 muestras)**, en este último caso siempre **asociadas a la realización de registros geofísicos en sondeos mecánicos**.

Las campañas de muestreo durante la Fase I (2008-2010) se desarrollaron en noviembre de 2008; enero, mayo, junio-agosto y octubre de 2009; enero a junio de 2010. Durante las prórrogas de la Fase I se realizaron, a cargo del IGME, únicamente algunos controles básicamente en acuíferos inferiores (en julio-septiembre de 2011, abril-septiembre de 2012 y junio-octubre de 2013). A lo largo de este tipo de campañas se llevó a cabo un seguimiento diario. Éste implicó, aparte de la asistencia y apoyo a los equipos de trabajo de campo, la comprobación de los resultados obtenidos “in situ” y el contraste con lo previsto, la validación de las calibraciones realizadas y la gestión del envío de las muestras a los distintos laboratorios. También se procedió a la comprobación previa, validación y carga de los resultados recibidos de los laboratorios.

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

Por otra parte, **desde marzo de 2009 a diciembre de 2012 se realizaron seis campañas de los citados registros geofísicos, principalmente de salinidad y temperatura (aunque también se midieron, en mucha menor medida, gamma natural, pH y OD del agua, resistividad del terreno, registros de flujo con micro-molinete, etc.)**, como se ha dicho, con muestreos asociados a profundidades específicas, deducidas de los registros de salinidad. El 60% de estas diagrafías se realizaron durante los dos años de la Fase I (2008-2010), y sólo el 40% restante en los tres años

siguientes de prórrogas. El Documento 231 en **Anexo 6** recoge en detalle las características y datos aportados por todos estos trabajos geofísicos.

La **Figuras 6.5.1** (de los Documento 111_2B y 112_1E, en dicho anexo) refleja, en la parte superior, la distribución espacial de puntos en las campañas geofísicas de septiembre de 2009 (la que incluyó un mayor número de puntos de acuíferos de coberteras, ya que la mayoría de ellas se centró en la problemática de la observación de la entrada de agua de mar en los acuíferos inferiores). Su parte inferior muestra la situación de los puntos registrados en abril de 2010: ésta fue la primera campaña en la que **se pudieron llevar a cabo diagrafías en condiciones de bombeo de la captación (gracias al apoyo de la JCUAPA) de gran interés para la interpretación del avance de la salinidad en profundidad en los acuíferos inferiores**.

En este mismo **Anexo 6** se presentan ejemplos de otros documentos de la Fase I que describen las distintas tareas de las campañas de campo, y recogen datos obtenidos en campo y en los laboratorios (de plaguicidas, análisis químicos normales, de metales / metaloides en aguas, contenidos bacteriológicos, etc.).

Este importante esfuerzo realizado para la obtención de nuevas informaciones representativas de los distintos sectores de acuíferos del Campo resultó imprescindible para hacer frente a los Objetivos Principales de la Fase I, Trabajos 1E y 2B esencialmente. También para **apoyar al estudio del seguimiento de los cambios en las salinidades del agua que, en un futuro, se produzcan por efecto de la aplicación, por los gestores y usuarios, de las operaciones de protección-regeneración del Plan de Ordenación**.

6.5.2- Estudio de las características físicas – químicas del agua de los acuíferos de cobertera

Se obtuvieron muestras de agua -básicamente de mezclas de bombeo- para llevar a cabo distintos tipos de analítica en captaciones de estos acuíferos durante 2008/09 y 2009/2010, pero no se pudo contar con datos desde 2010/11 en adelante (trabajos previstos en el Programa pero no presupuestados para la Fase I) pese a ser el período posterior al año más húmedo de la serie histórica, por lo que resulta desconocido el efecto en la calidad de estas excepcionales recargas en las coberteras, que debieron verse afectadas en sus características hidroquímicas. Es decir que, durante los períodos de prórroga de la Fase I prácticamente no se ha podido obtener informaciones sobre estos acuíferos, estando, por tanto, este tipo de datos muy desfasado y necesitado de actualización.

La **Figura 6.5.2** presenta los puntos muestreados durante la Fase I, diferenciando los de acuíferos de cobertera e inferiores. De los cerca de 80 puntos de agua inicialmente escogidos para conocer las características hidroquímicas de los acuíferos de cobertera, con registro histórico previo y muestras obtenidas durante la Fase I, se seleccionaron finalmente 45 puntos con los criterios que exponen (según se detalla en el Documento 167_2B de 2011, incluido en el **Anexo 6**) para escoger las informaciones con más probabilidades de ser representativas y comparables, teniendo en cuenta la problemática de los puntos de observación de esta red (escasos puntos, particulares y mal distribución en el espacio) y de las circunstancias de los muestreos que en ellos se pudieron realizar (en la mayoría de las veces con tiempos de bombeo demasiado cortos, tratándose de captaciones con un uso muy limitado).

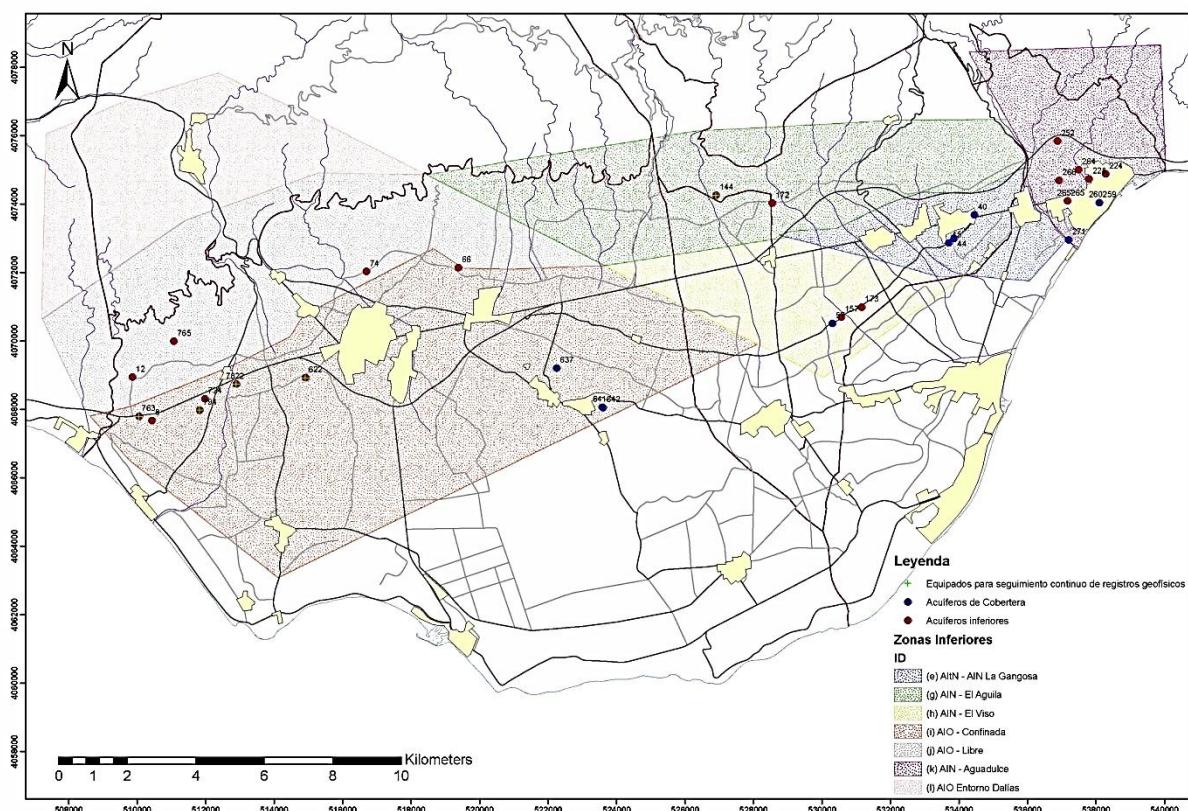
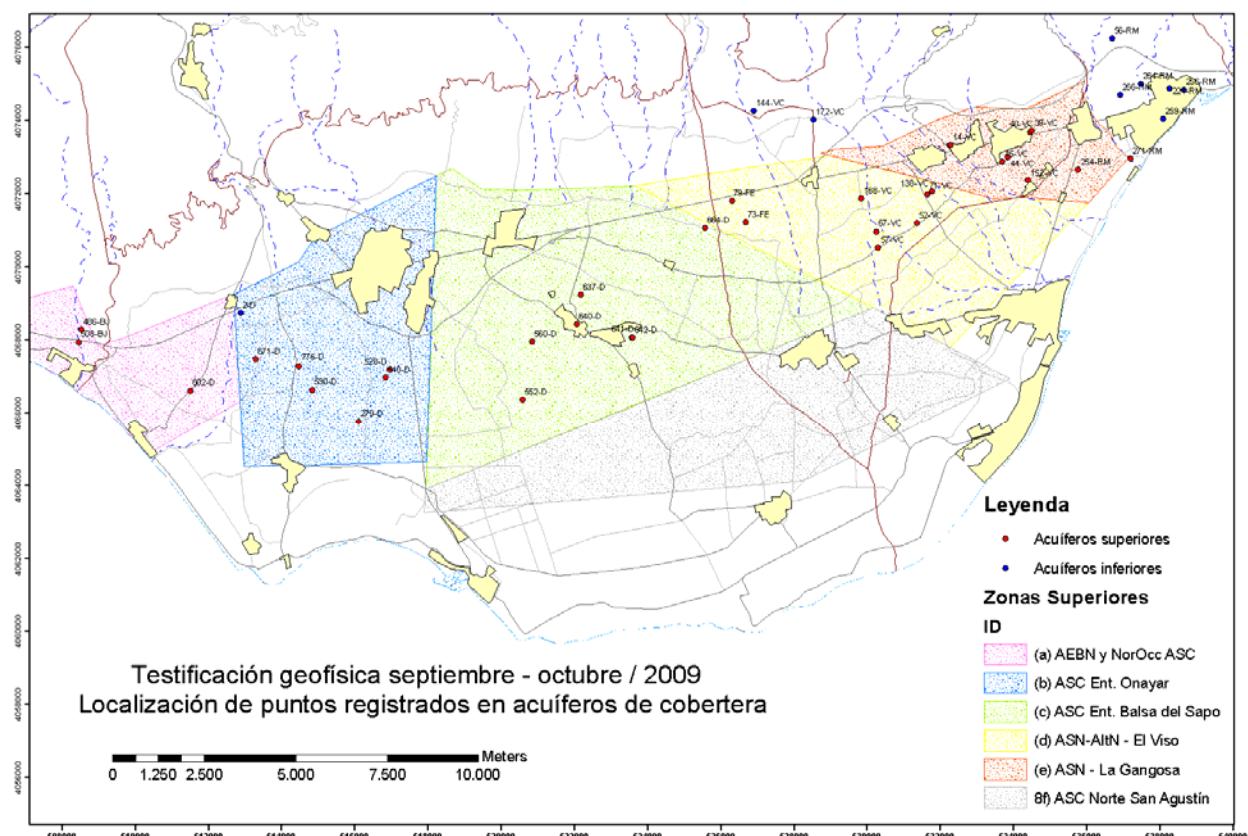


Figura 6.5.1: Localización de los puntos en los que se realizaron registros geofísicos de las campaña de septiembre de 2009 (superior) la que incluyó un mayor número de sondeos en los acuíferos de cobertura, y de abril de 2010 (inferior) con la delimitación de las ZEP de las coberturas (parte superior) y de los acuíferos inferiores (abajo). De los documentos 112_2B y 113_1E, 2009 y 2010.

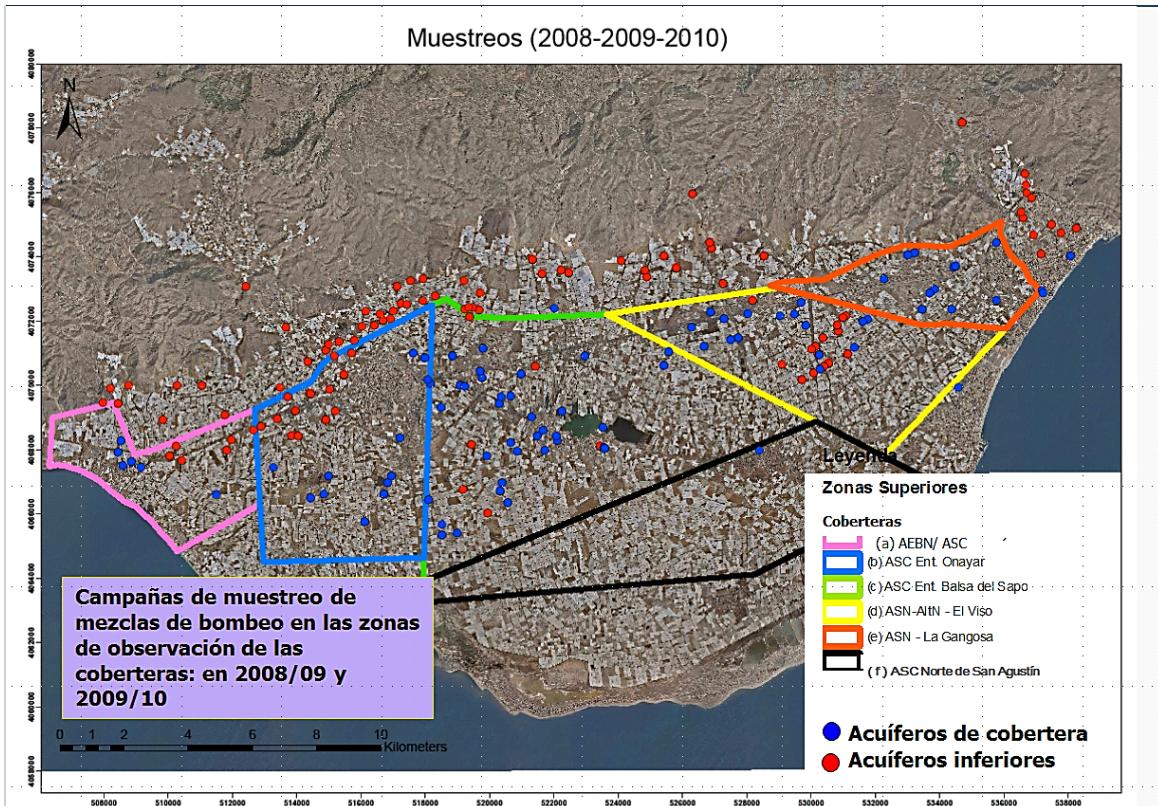


Figura 6.5.2.- Situación de los puntos muestreados para conocer la variación de las características físico – químicas de los acuíferos. Los de las coberturas se señalan azul y los de los inferiores en rojo. Las líneas corresponden a las Zonas Estratégicas Preferentes de las coberturas. Del documento 102 de 2010, en **Anexo 6**.

En primer lugar se consideró el horizonte temporal en el que se disponía de mayor número de estos datos dentro de la Fase I, que resultó ser el año 2009, y en segundo lugar se eligieron, de todas las muestras tomadas en cada punto, aquellas obtenidas en bombeo y, de éstas, las tomadas a mayor tiempo de extracción, tratando de minimizar los aportes locales desde la superficie.

Con los resultados analíticos se elaboraron distintos gráficos para todos los puntos muestreados (Chadha, Piper, Collins y Schoeller) de las distintas áreas de explotación de los acuíferos de cobertura (ASC-El Ejido, ASC-La Mojónera, ASC-Las Norias, ASC-Los Alacranes, ASC-Onáyar, ASN-Aguadulce, ASN-El Viso, ASN-Roquetas, AItN-Aguadulce, AItN-El Viso, AItN-La Gangosa, AItN-Roquetas) así como planos de distribución de distintos parámetros (iones Cl, sulfatos, nitratos, de OD, facies hidroquímicas, etc.) para el caso de los puntos de bombeo seleccionados como de mayor probabilidad de representar a estos acuíferos de cobertura. Como ejemplos de estos gráficos y planos se presentan los de las **Figuras 6.5.3 a 6.5.5**.

Para este estudio, se precisaría de una red de investigación específica (adecuada en el espacio y con posibilidades de extracción de todos los tramos de los acuíferos y observación de sus contenidos en profundidad), muy diferente de los puntos y tipo de muestreos asequibles en la actualidad. Así, el avance en el conocimiento de la calidad de las coberturas ha sido precario a muy precario por la distribución histórica de los mismos y el estado de abandono de la infraestructura de captaciones existente, especialmente para esta última circunstancia y en el caso de las coberturas del Sector Noreste del Campo (en las que prácticamente no hay puntos donde muestrear), pero también en el ASC ya que, en grandes sectores del mismo, no hay perforaciones y, como se ha dicho, las duraciones de extracción para el muestreo en las existentes han sido generalmente cortas (en frecuentes casos de dudosa representatividad).

En puntos muestreados del ASC se deducen posibles diferentes calidades en su vertical, que producen las mezclas (muy variables por sus orígenes) con el bombeo de distintas características “aparentes”. No se tiene acceso a los valores “reales” de las características físicas – químicas por la gran complejidad y variación en el tiempo de estas mezclas y lo inadecuado de la red de observación. El conocimiento deseable parece que debe ser revisado a la baja, ciñéndolo a objetivos concretos por su especial interés.

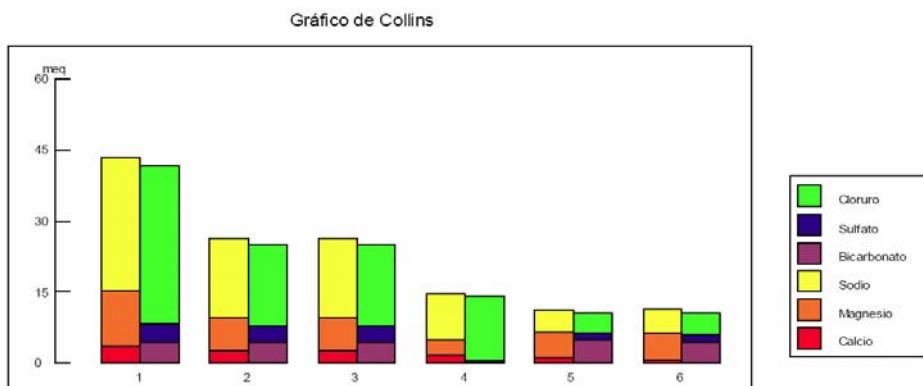


Figura 6.5.3: Gráfico de Collins donde, como ejemplo de elaboraciones gráficas, se muestran las concentraciones en Cloruros, Sulfatos, Bicarbonatos, Sodio, Magnesio y Calcio de los puntos muestreados en el área de Onáyar del ASC (Zona Estratégica b). Los análisis señalados con 1, 4, 5 y 6 correspondieron a muestras en profundidad; sólo los análisis 2 y 3 fueron de agua de bombeo (sondeo 582-D). No se ha podido verificar la representatividad de las muestras en profundidad que presentaron una variación aparente grande. Del documento 167, en **Anexo 6**.

Lo anteriormente referido da lugar también a importantes incertidumbres en el conocimiento de las evoluciones temporales, al ser necesario comparar condiciones de extracción de mezclas similares. Para el análisis temporal de las características físico-químicas del agua se tuvo en cuenta el registro histórico analítico del IGME. La **Figura 6.5.6** muestra un ejemplo de la interpretación de la evolución temporal (1979 – 2010) del contenido en nitratos en las mezclas de bombeo de puntos de los acuíferos de cobertura (en este caso 270-D del AEBN/ASC).

Si comparamos condiciones similares de extracción, se puede apreciar una tendencia general al aumento en nitratos con el tiempo. No sabemos cuál era la distribución real (en la vertical de cada acuífero) del contenido en nitratos; sí que, en este caso, esta concentración ha aumentado con el tiempo, en puntos muestreados, reflejándose en mezclas con condiciones similares de extracción que proceden de los excedentes de las actividades antrópicas sobre la superficie de estos acuíferos las cuales han ido incorporándose a lo largo del tiempo.

No se comentan en este apartado los resultados sobre las escasas informaciones obtenidas del seguimiento de la evolución de la salinidad por entrada de agua en los acuíferos de cobertura del Sector Noreste, incluidos en el apartado 6.5.4.

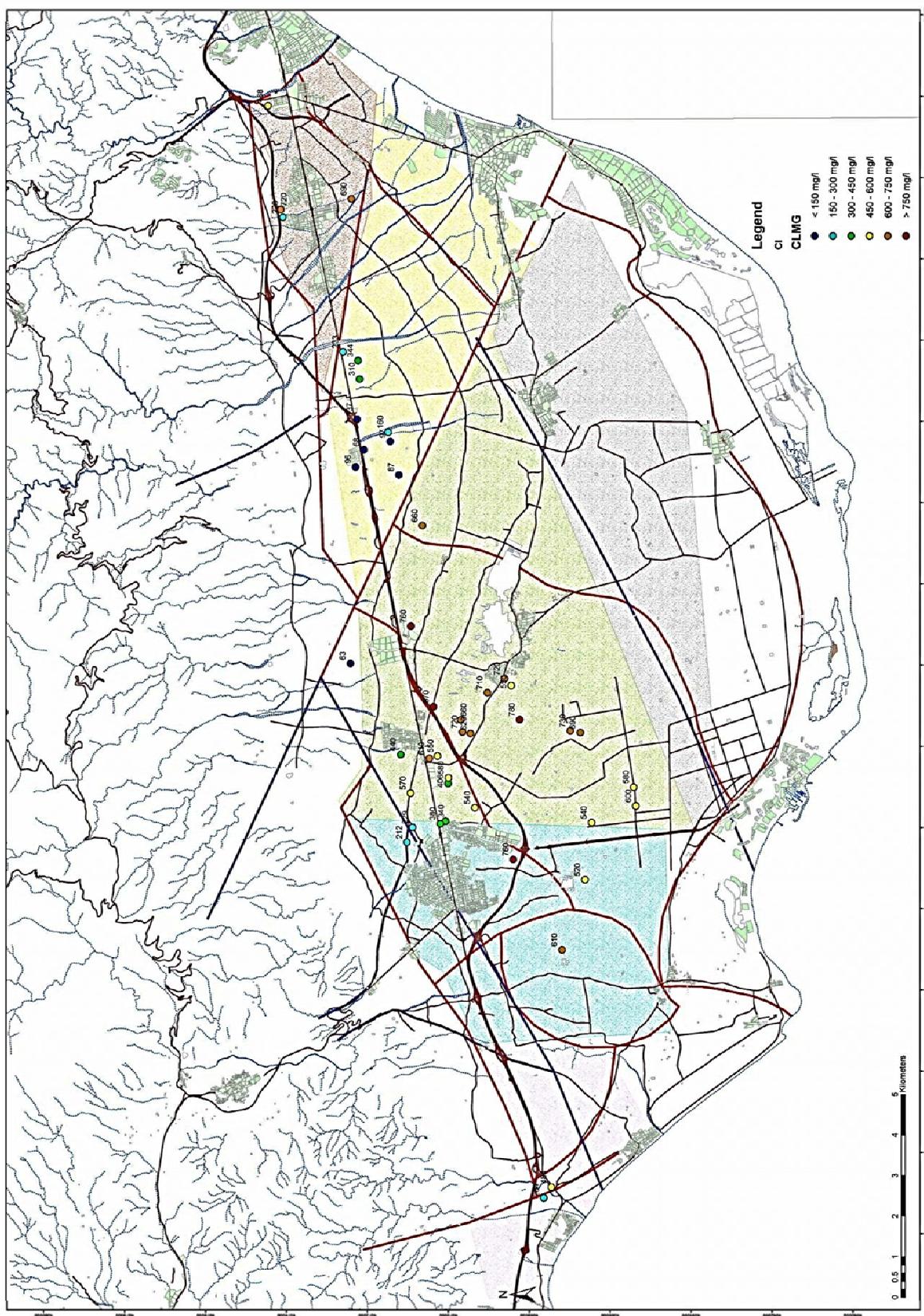


Figura 6.5.4: Distribución del contenido en cloruros (mg/L) en las muestras seleccionadas de los acuíferos de cobertura. Datos de 2009. Del documento 167, Anexo 6.

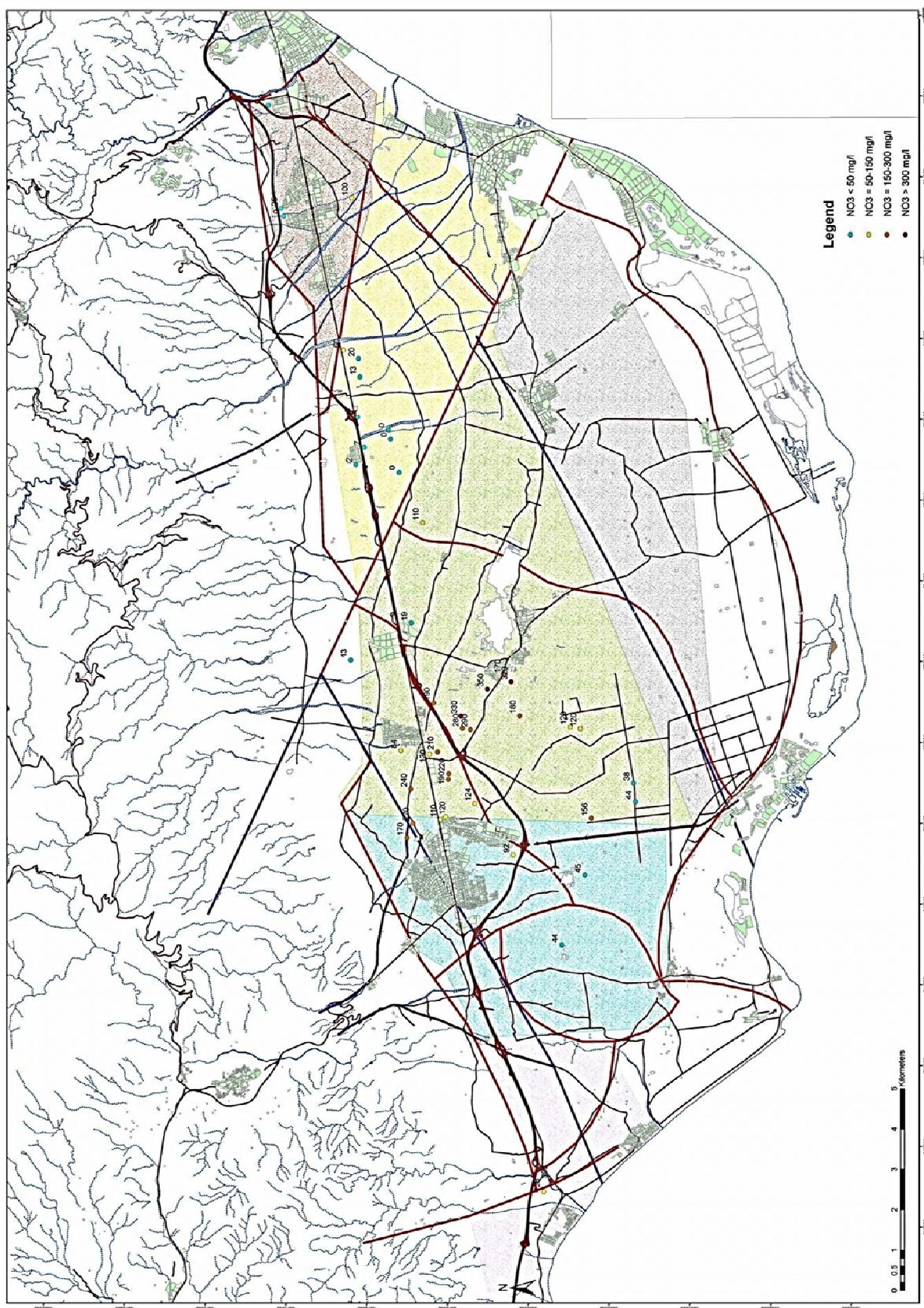


Figura 6.5.5: Distribución del contenido en nitratos (mg/L) en las muestras seleccionadas de los acuíferos de cobertura. Datos de 2009. Del documento 167, **Anexo 6**.

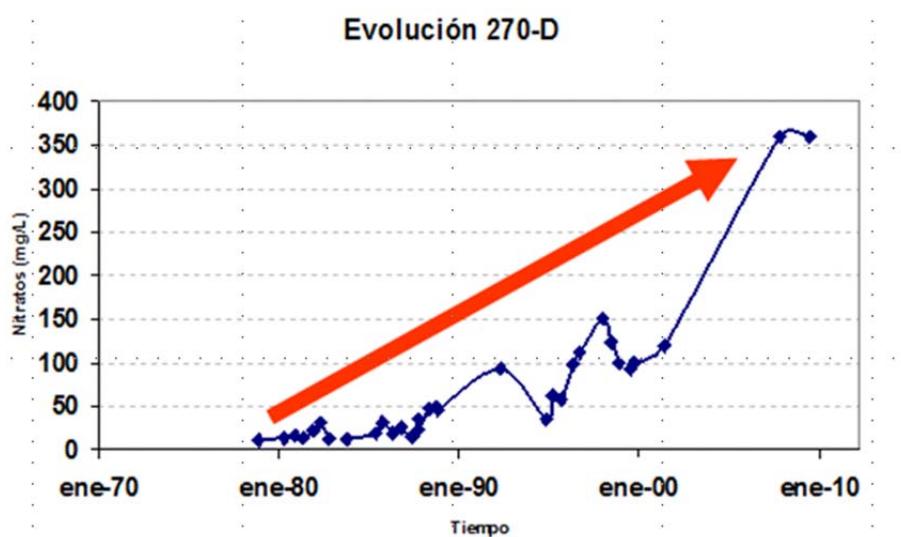


Figura 6.5.6. Evolución aparente de la concentración de nitratos (mg/L) en un sondeo del límite ASC / AEBN. Del documento 104, 2010, en, **Anexo 6**.

6.5.3- Análisis preliminar de la incidencia de plaguicidas en la zona saturada de Zonas Estratégicas Preferentes.

Este estudio se planteó para las coberturas, para puntos de los acuíferos inferiores relacionados con éstas, así como en otras zonas que sirviesen de contraste, con el objetivo de conocer la presencia de este tipo de sustancias. Las muestras para realizar análisis de plaguicidas se obtuvieron en 2008 y 2009; su distribución por acuíferos se muestra en el gráfico de barras de la **Fig. 6.5.7**. Los Documento 112_1E y 113_1E, en **Anexo 6**, describen las campañas llevadas a cabo y sus resultados.

Se realizaron un total de **293 análisis de plaguicidas**, habiéndose contado para ello con la experiencia en el estudio de plaguicidas de la Universidad de Almería (**UAL**), del **Grupo liderado por José Luis Martínez Vidal**, que asesoró sobre las sustancias a analizar (en el **Cuadro 6.5.2**) y otras características de las técnicas analíticas a utilizar. En 2010 se revisaron las observaciones, incorporando los valores trazas (inferiores a $0.05\mu\text{g/L}$) que, aun quedando por debajo de la acreditación del laboratorio (calores que no se podían cuantificar) sí podían aportar información de interés sobre la presencia de sustancias.

Los resultados analíticos se elaboraron por acuíferos y puntos muestreados, señalándose las concentraciones de plaguicida individual superiores a $0.05\mu\text{g/L}$, y las concentraciones traza de plaguicida individual.

Las muestras con resultados positivos (es decir aquellas en que el contenido total de plaguicidas era superior a $0.50\mu\text{g/l}$ o el contenido de un plaguicida individual era superior a $0.10\mu\text{g/l}$, excepto para los casos de Aldrín, Dieldrín, Heptacloro y Heptacloro epóxido en los que el límite es más restrictivo, situándose en $0.03\mu\text{g/l}$, según Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero) correspondieron a las sustancias que se detallan a continuación.

PLAGUICIDAS ANALIZADOS			
Acrinatrin	Desmedifan	Heptenofos	Pirazofos
Alacloro	Diafenturion	Hexacloro benceno	Piridato
Aldrin	Diazinona	Hexaclorobutadieno	Piridaven
Alfa-Lindano	Dicloran	Hexaconazol	Pirimetanil
Ametrina	Dicofol	Imazapir	Pirimifos metil
Atrazina	Dieldrin	Iodosulfuron metil	Procimidona
Atrazina desetil	Difenocconazol	Isodrin	Prometrina
Atrazina desisopropil	Diflubenzuron	Isoproturon	Propaquizafop
Azinfos metil	Diflufenican	Isoxaflutol	Propaquizafop
Azoxistrobina	Diuron	Kresoxim metil	Propazina
Banalaxil	Endosulfan alfa	Lambda cihalotrin	Propiconazol
Bensulfuron metil	Endosulfan beta	Lenacilo	Propizamida
Bentazona	Endosulfan eter	Linuron	Prosulfuron
Beta-Lindano	Endosulfan lactona	Malation	Quinalfos
Bifrentrin	Endosulfan sulfato	Matidation	Quinmerac
BPO	Endrin	Metamitrona	Quinometionato
Bromopropilato	Endrin aldehido	Metazacloro	Quizalofop etil
Captan	Esfenvalerato	Metiocarb	Rimsulfuron
Carbaril	Etion	Metobromuron	Sebutilazina
Carbofenotion	Etoprofos	Metolacloro	Setoxidim
Carbofurano	Etrifos	Metomilo	Simazina
Cianazina	Famfur	Metoxicloro	Simetrina
Cicloxicidim	Fenamifos	Metoxuron	Sulfotep
Ciflutrín	Fenarimol	Metribuzina	Tebuconazol
Cinidon etil	Fenitrotion	Metsulfuron metil	Tebutam
Cinosulfuron	Fenmedifan	Miclobutanil	Tepraloxidim
Cipermetrin	Fenoxapropo-p-etyl	Mirex	Terbumetona
Ciproconazol	Fenoxicarb	Monolinuron	Terbutilazina
Ciprodinil	Fenpropatrin	Nicosulfuron	Terbutilazona desetil
Cletodim	Fluazifop butil	Nuarimol	Terbutrin
Clodinafop propargil	Flucitirnato	Orizalina	Tetraconazol
Clopiralida	Fludioxonil	Oxamilo	Tetradifon
Clorfenvinfos	Flufenxuron	Oxifluoren	Tetramettrina
Cloridazona	Fluoroxipil	p,p'-DDD+o,p'-DDT	Tiazopir
Clorpirifos	Flusilazol	p,p'-DDE	Tifensulfuron metil
Clorpirifos metil	Forclorfenuron	p,p'-DDT	Triadimefon
Clorsulfuron	Fosmet	Paration etil	Trialato
Clortalonil	Fospet	Paration metil	Triasulfuron
Clortoluron	Gamma-Lindano	Pendimetalina	Triclorfom
Clozolinato	Haloxifop	Pentaclorobenceno	Trietazina
Delta-Lindano	Heptacloro	Permetrin	Trifluralin
Deltametrin	Heptacloro epóxido	Picloram	Vinclozolina

Cuadro 6.5.1: Plaguicidas analizados durante la Fase I. Del Documento 113_11E, en Anexo 6.

Se trató de: Acrinatrin, Alfa-Lindano, Atrazina, Atrazina desisopropil, Azoxistrobina, Benelaxil, Beta-Lindano, Bifrentrin, BPO, Carbofurano, Ciproconazol, Ciprodinil, Clorfenvinfos, Clorpirimifos, Clorpirimifos metil, Clortalonil, Clortluron, Diazinona, Dicofol, Dieldrín, Difenoconazol, Diuron, Endosulfan alfa, Endosulfan beta, Endosulfan eter, Endosulfan lactona, Endosulfan sulfato, Endrin, Fenamifos, Fenarimol, Flucitrinato, Fludioxonil, Forclorfenuron, Gamma-Lindano, Haloxifop, Hexacloro benceno, Imazapir, Isoproturon, Lambda cihalotrin, Linuron, Malation, Metomilo, Metoxicloro, Metribucina, Miclobutaniil, Mirex, Nuarimol, Oxifluoren, p-p'-DDD+o-p'-DDT, p-p'-DDE, p-p'-DDT, Pirazofos, Piridaven, Pirimetanil, Pirimifos metil, Procimidona, Simazina, Tebuconazol, Terbumetona, Terbutilazina, Terbutilazona desetil, Tetradifon, Tetrametrina, Triadimefon y Trifluralin.

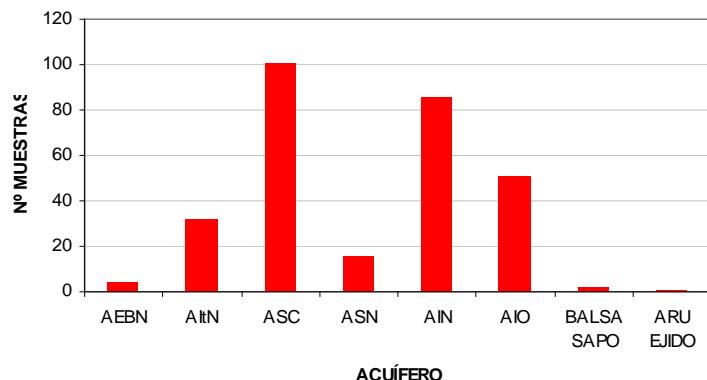


Figura 6.5.7. - Muestreos de plaguicidas, realizados en 2008 y 2009 y su distribución por captaciones de acuíferos.

Para las fechas de las campañas y los puntos muestreados, como era de esperar, se detectaron plaguicidas, aunque en proporciones no importantes, en el agua muestreada de los acuíferos de cobertura (en concentraciones positivas y trazas) y sólo como trazas en el agua de captaciones de los acuíferos inferiores.

Sobre la representatividad de los datos aportados en relación con los acuíferos estudiados, resulta aplicable lo dicho en general para estos estudios de las características físico-químicas del agua: no hay contraste suficiente y se precisaría de una red específica de observación de la calidad. Como hipótesis, puede pensarse que, desde hace años, la infiltración de retornos del riego (vehículo de la entrada de estas sustancias) por el origen del agua utilizada, prácticamente exenta de este contaminante, habrá reducido las concentraciones actuales de plaguicidas en los acuíferos que, en su mayor parte pueden corresponder al retardo de la difusión de contenidos de retornos antiguos correspondientes a aguas bombeadas de las mismas coberturas.

6.5.4- Estudio de las características físico – químicas del agua de los Acuíferos Inferiores

Para la actualización de la calidad de los acuíferos inferiores fue necesario coordinarse con los Trabajos 1A, 1B y 1C, dado el interés en muestrear los nuevos sondeos y de verificar los problemas existentes en los puntos que habían sido abandonados por la explotación. Se estudiaron las muestras obtenidas a lo largo de la Fase I en **unos 120 puntos de los acuíferos inferiores**, recogidas **entre abril de 2008 y octubre de 2013**.

Para este estudio hubo que realizar un análisis continuo de los resultados parciales que se iban recabando del seguimiento de las campañas de recogida de nuevos datos, desarrolladas año tras año a lo largo de la Fase I y sus prórrogas, con contraste permanente de la viabilidad de las hipótesis planteadas, mediante la discusión conjunta de las informaciones preexistentes y de las nuevas

disponibles, no sólo de los Trabajos 1E y 2B, sino también de los trabajos de actualización del conocimiento de la geometría, de las extracciones y de la piezometría.

Así, por ejemplo, en las primeras comparaciones de los datos físico-químicos de estos acuíferos (incluidas en el Documento 111_1E de 2008 en **Anexo 6**), atendiendo a las informaciones entonces existentes -de 2001 y 2007- ya se observaron incrementos de salinidad en los puntos muestreados de las áreas explotadas de El Viso y de El Águila del AIN que podían deberse al avance de la entrada de agua de mar hacia estas zonas interiores, pero también podían resultar de la influencia, en cada una de estas áreas, de los flujos más salados procedentes de las coberturas vertientes al AIN, de manera que, hasta que en marzo de 2009 se pudo comprobar la existencia de incrementos de la salinidad en profundidad, no hubo seguridad del avance del agua de mar en estas áreas del acuífero inferior. Un caso similar ocurrió con la interpretación de la salinización del AIO, en 2008 se observaba un aumento de la salinidad del agua de bombeo en captaciones situadas en una banda paralela a la zona de contacto del AIO con el ASC, que podía deberse a la influencia de los flujos de entrada a dicho acuífero desde la cobertura pliocena, pero en 2010, ya con medidas directas de la salinidad en profundidad en captaciones del AIO, se pudo constatar la influencia de la salinización procedente del AEBN en parte de las captaciones del sector occidental de la parte libre del AIO.

Lo referido anteriormente nos da una idea de la importancia de poder llevar a cabo mediciones en profundidad para reconocer la distribución vertical de las características físico-químicas en los acuíferos inferiores.

De las **1200 muestras de agua con analítica recogidas durante la Fase I, del orden de 800 correspondieron a captaciones de los acuíferos inferiores, fundamentalmente del agua de bombeo (unas 600 muestras)**. Como se ha dicho se llevaron a cabo seis campañas de registros geofísicos, (fundamentalmente de salinidad y temperatura del agua) en las que se tomaron unas 200 muestras en sondeos de los acuíferos inferiores a profundidades específicas. Sobre la metodología de elaboración de las informaciones obtenidas, y los tratamientos de interés llevados a cabo, el Documento 113_2B (**en Anexo 6**) hace una descripción detallada.

Para el caso de los acuíferos inferiores, se partió de **un total de 109 estudios con distribución y evolución de la calidad en la vertical** del acuífero (38 en el AIN y 71 en el AIO), en los que están **contenidas 166 captaciones (44 y 122 sondeos para cada acuífero referido)**, y del orden de **1400 análisis químicos (de estudios previos y de la Fase I)**. De ellos se seleccionaron los que aportaban mayor información y contenían medidas obtenidas entre 2008 y 2010, datos recogidos en la Fase I, entre los preexistentes en el registro histórico, y disponibles de la red de la CMA.

Sobre la elaboración de los datos por localizaciones verticales, con el objetivo de ayudar a la investigación de la influencia (en los acuíferos inferiores del Campo) de los diferentes procesos negativos de los que éstos están afectados, se llevó a cabo el tratamiento de los datos procedentes de los análisis químicos del registro histórico de los puntos más destacables de sus zonas de explotación. En la **tabla 6.5.1** se muestran los puntos seleccionados para su estudio en relación con los inferiores. El análisis se llevó a cabo a nivel de “localización vertical”, incluyendo en cada caso las captaciones existentes, atendiendo a los datos de geometría e instalaciones de cada uno de ellos, y apoyándose en otros datos que acompañan a los análisis, como los resultados de los registros geofísicos en profundidad, y las muestras obtenidas a profundidades específicas en base a los datos anteriormente citados.

Entornos estudiados del AIO	REGISTRADO 2009-10
454-BJ	
468-BJ/513-BJ	S
469-BJ	
533-BJ	
1-D/2-D/782-D	S
4-D/724-D	S
5-D	
8-D	S
12-D	S
66-D/768-D	S
67-D	
68-D	
69-D	
70-D/727-D	
71-D	
72-D/723-D	
73-D/767-D	
74-D/769-D	S
75-D/771-D	S
76-D/754-D	
77-D	
78-D/720-D	
79-D	
83-D	
86-D	
87-D/719-D	
88-D/781-D	
89-D	
90-D	
91-D	
143-D/737-D	S
214-D	
227-D/535-D	
228-D/759-D	
229-D/760-D	
232-D/785-D	
233-D/786-D	
235-D/717-D	
247-D/613-D/789-D	
248-D	
249-D	
250-D/722-D	
252-D/710-D	
255-D/793-D/690-D	
256-D/712-D	
257-D/610-D	
258-D/259-D/787-D	
260-D/704-D	
261-D/262-D/533-D/783-D	
263-D/692-D/765-D	S
264-D/660-D/770-D	
265-D/266-D/267-D/611-D /729-D	
268-D/763-D	S
287-D/726-D	
497-D	
526-D/766-D	
527-D	
529-D	
531-D	
539-D	
540-D/711-D	S
545-D/735-D	S
582-D/714-D	
586-D	
587-D	
588-D	
589-D/756-D	
590-D	
602-D	S
607-D	
608-D/794-D	S
609-D/784-D/253-D	
622-D	S
662-D/792-D	
641-D/642-D	S
661-D	
666-D/144-D	
667-D/685-D	
671-D	S
672-D	
693-D/157-D	
695-D	
696-D	
697-D/762-D	S
702-D/549-D	
703-D/146-D/718-D	
714-D	
725-D/761-D	
730-D	
731-D	
734-D	
758-D	
778-D	
212-D/681-D	
216-D	

Entornos estudiados del AIN. AIN y Coberteras	REGISTRADO 2009-10
212-D/681-D	
216-D	
522-D/721-D	
525-D	
536-D/773-D	
537-D	
683-D/682-D	
728-D	
36-E	
83-FE/84-FE/102-FE	
86-FE	
89-FE	
92-FE	
95-FE	
97-FE	
98-FE	
56-RM	S
216-RM	
223-RM	
33-VC	
34-VC	
55-VC	
82-VC	
116-VC	
135-VC	
141-VC	
142-VC	
143-VC	
144-VC	S
146-VC	
147-VC	
148-VC	
149-VC	
151-VC	
156-VC	
157-VC	S
158-VC	
159-VC	
160-VC	
161-VC	
162-VC	S
164-VC	
165-VC	
166-VC	
170-VC	
171-VC	
172-VC	S
173-VC	S

Tabla 6.5.21: Puntos y entornos estudiados de los acuíferos inferiores, con indicación de aquellos con registro geofísico de la Fase I hasta 2010. Del documento 113_2B, de 2010, en Anexo 6.

Este tratamiento de los datos resultó una herramienta de apoyo a la mejora del conocimiento de las calidades químicas del agua de estos acuíferos, partiendo de la información disponible de sus captaciones. Con estos datos se pretendía aportar informaciones contrastadas para: la detección de posibles procesos de mezcla de aguas de diferente procedencia y por tanto de distinta composición; el estudio de la evolución de la calidad del agua de los puntos en función de su penetración; el análisis de la evolución de la calidad del agua de los puntos en función del tiempo.

Antes de proceder al tratamiento de los datos se realizó una validación / rectificación del registro histórico de datos de análisis de cada punto, con el objetivo de actualizar la información. Esta actividad consistió en una revisión de los datos analíticos históricos y actuales y, en caso necesario, la comparación con los datos fuente, de cada uno de los 128 puntos bajo estudio, para unificar las unidades de los parámetros de forma que, analíticas de distintas fechas pudieran ser comparables y eliminar análisis que por error pudieran estar duplicados o correspondieran a distintas captaciones de una misma vertical.

Una vez preparados los datos se realizó un primer chequeo consistente en la elaboración de los quimiogramas elementales de cada punto, donde se representó la evolución de los elementos mayoritarios. Se seleccionaron cloruros y nitratos. El primero por su estabilidad y el segundo por estar asociado a las actividades antrópicas sobre los acuíferos (especialmente relacionadas con los acuíferos de cobertura, sobre los que se asientan poblaciones y la mayor parte de los cultivos) Ambas variables pueden aportar información sobre el origen del agua y las posibles mezclas sufridas, lo que resulta de gran interés teniendo en cuenta el funcionamiento de este sistema de acuíferos.

Con la información recabada y ordenada de estos puntos, se pudieron observar variaciones en los contenidos entre los puntos, en relación con el tiempo y con el bombeo, compatibles con la influencia de los flujos de descarga desde las coberturas, además de deducirse incrementos de la salinidad en profundidad por efecto de la entrada lateral de agua salada, por mezclas con agua de mar. Además de los contenidos en cloruros y nitratos, se realizaron gráficos para todos los aniones y cationes mayoritarios con indicación de las fechas y condiciones de muestreo. Este tratamiento se explica en detalle en el Documento 113_2B del **Anexo 6**.

El tratamiento hidroquímico de estos datos en cada uno de los puntos consistió en la realización de una serie de cálculos de índices e indicadores, así como la elaboración de gráficos realizados con el programa INAQUAS (una aplicación en formato Excel para la ayuda a los cálculos hidroquímicos de análisis de aguas subterráneas, descrito en el Documento 113). Toda esta información disponible de cada punto se relacionó con las características del punto en cuanto al acuífero captado y su penetración en el mismo, referido al área en el que se ubica (zonas de explotación). El detalle de cálculos y gráficos se incluye en el documento antes citado y en el Documento 228, en **Anexo 6**. Además, se llevaron a cabo cálculos para la comparación entre los valores reflejados en los análisis químicos y los de las mezclas teóricas con el agua de mar (Documento 228) con resultados compatibles con la existencia de los procesos de intercambio iónico característicos del avance de la mezcla con el agua marina.

Como se ha dicho, se llevaron a cabo **seis campañas de registros geofísicos**, (fundamentalmente de salinidad y temperatura del agua) con toma de unas 200 muestras en sondeos de los acuíferos inferiores a profundidades específicas. **Son este tipo de medidas las que han tenido un mayor interés para el estudio del estado de la entrada de agua salada a los acuíferos inferiores**. Un ejemplo de registros realizados dentro de la Fase I, y de los trabajos llevados a cabo

de comparación con registros históricos se muestra en la Figura 6.5.8 para un punto de observación histórica en el área de Aguadulce del AIN abandonado en 1985 por su salinización.

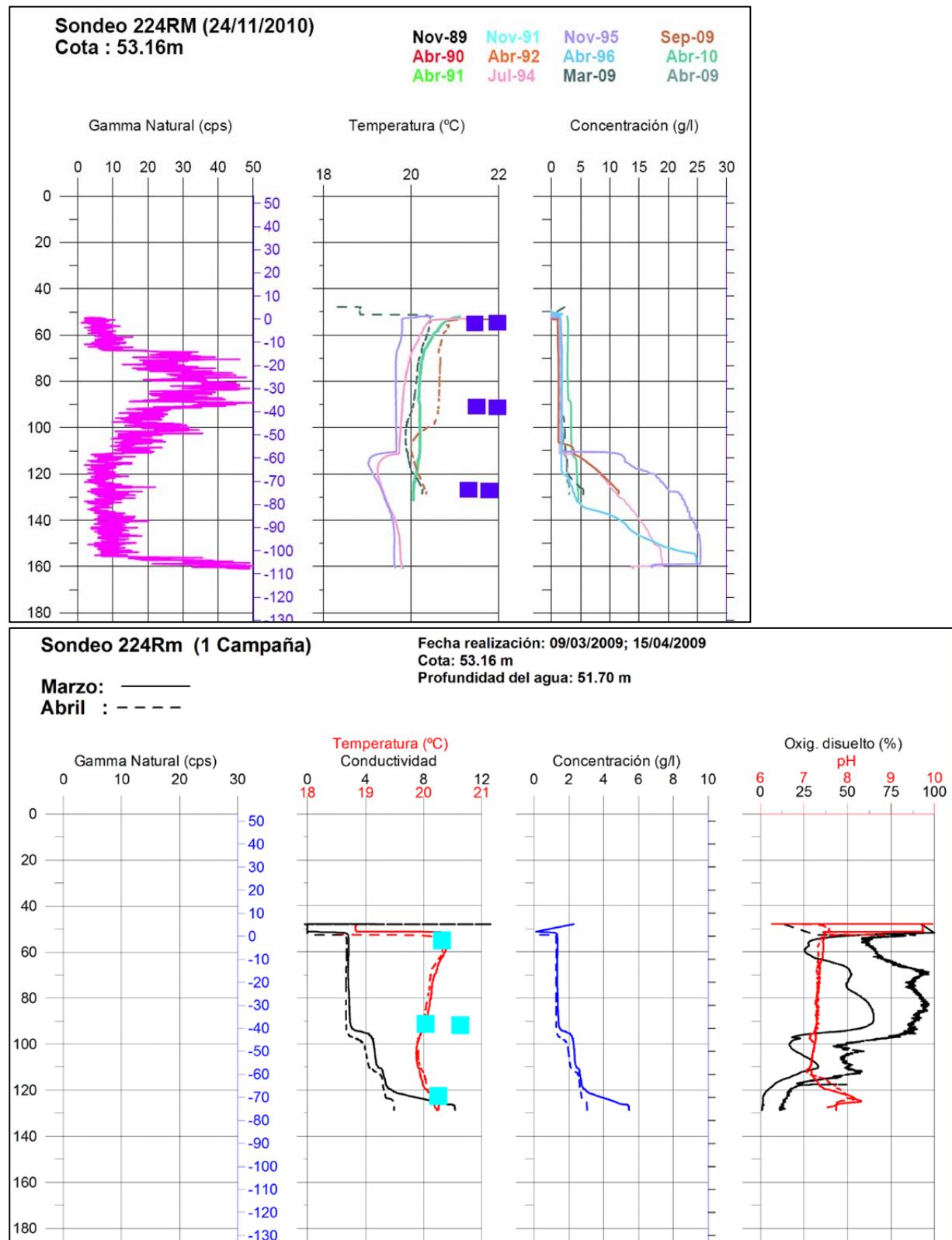


Figura 6.5.8: *Registros de salinidad (como concentración equivalente de ClNa en g/L), temperatura, pH y OD en el sondeo 224RM, realizados en marzo y abril de 2009 (parte inferior), y comparación con medidas de este tipo realizadas entre 1994 y abril de 2010 (parte superior).*

Para llegar a los resultados por acuífero sobre el estado de la intrusión marina, que se describen en el apartado siguiente, se han tenido en cuenta los obtenidos de las investigaciones previas del IGME sobre la representatividad de cada uno de los puntos de observación preexistentes, así como el estudio de los nuevos puntos particulares resultante de los trabajos de esta Fase I. Como ejemplo de este tipo de análisis detallado, que resulta necesario realizar se expone el del sondeo 224RM, anteriormente citado, en el que se obtuvieron (entre 1985 y 1994) muy frecuentes muestras de agua a profundidades específicas, así como registros geofísicos, mediante los cuales se pudo observar la estacionalidad de la evolución de la salinidad y la tendencia al ascenso de la interface en dicho período (según se refleja detalladamente en el documento Ref. 198, presentado íntegramente en [Anexo 1.5](#)).

La [Figura 6.5.9](#) presenta los acondicionamientos y columna litoestratigráfica de esta obra, considerada como ejemplo del tipo de trabajo de detalle realizado, localizada en el AIN, dentro del sector suroriental del área de Aguadulce. Para valorar la evolución de la salinidad en profundidad hay que tener en cuenta la distribución de la temperatura (como se muestra en dicha, del documento Ref. 198).

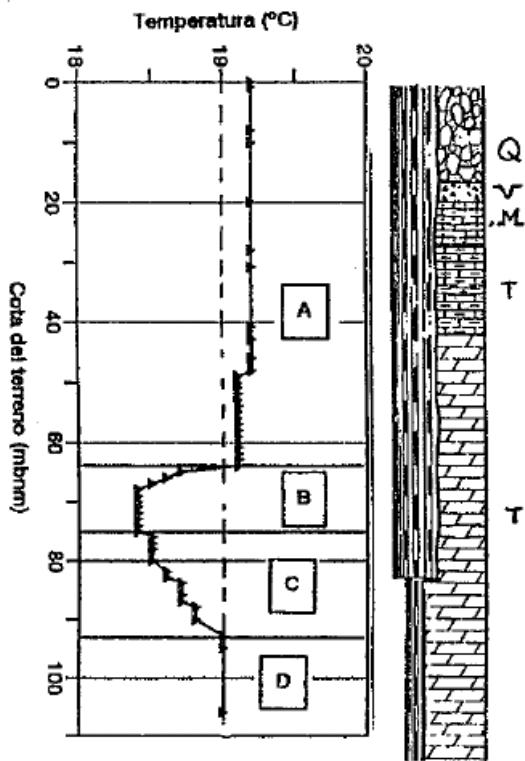


Figura 6.5.9: Sondeo 224RM en el AIN en el área costera de Aguadulce. **Parte derecha:** Acondicionamiento de la obra y columna litoestratigráfica (Q= conglomerados cuaternarios; V= materiales volcánicos miocenos; M= miocenos prevolcánicos; T= calizas y dolomías triásicas). **Parte izquierda:** diferenciación de tramos de distribución de la temperatura del agua en profundidad (según registros geofísicos históricos) cuyo estudio dio lugar a la interpretación de la presencia de tramos con mezclas de flujos en la misma: la capa libre formada por materiales cuaternarios produce, en esta obra, un flujo vertical descendente cuya influencia en el sondeo viene marcada por la temperatura del tramo A. Tomada de Ref. 198 en [Anexo 1.5](#).

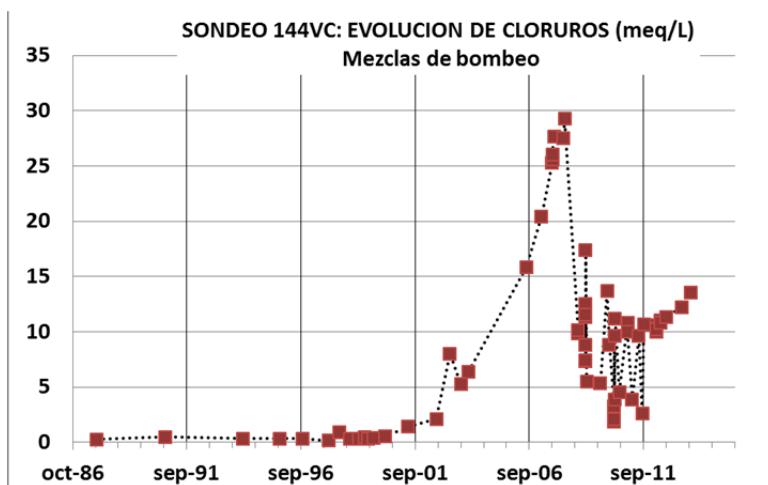
En la parte superior de la [Figura 6.5.8](#) se presentan los datos del sondeo 224RM de las campañas de julio de 1994, noviembre 1995, abril de 1996, marzo de 1996, marzo y septiembre de 2009, y abril de 2010, todas ellas llevadas a cabo con el mismo instrumental geofísico. Las señaladas de los años 2009 y 2010 correspondieron a los trabajos de la Fase I (del intervalo previo e

inmediatamente posterior a las precipitaciones extraordinarias ocurridas en 2009/10), mientras que el resto lo fueron de las investigaciones previas del IGME.

La interpretación de la evolución de la influencia de la entrada de agua de mar (hasta 2010) en este sondeo, a partir de todas estas informaciones, teniendo en cuenta únicamente las medidas representativas del AIN (es decir no afectadas por flujos verticales descendentes desde la cobertura en esta obra) es la que se sigue: continúa advirtiéndose la estacionalidad en las variaciones de la salinidad en profundidad, ya observada en las investigaciones previas más detalladas (ver [Figura 3.7.10](#)): con mayores valores en los períodos de julio a noviembre, con respecto a los de marzo-abril. Escogidos, para esta obra, períodos anuales comparables de julio-noviembre los valores mayores se observaron en 1995, siendo semejantes los de 1994 y 2009.

Respecto a los datos estacionales del período marzo-abril en el sondeo 224-RM reflejados en la [Figura 6.5.8](#), los valores de salinidad también fueron semejantes en abril de 1996 y marzo de 2009, y mayores en abril de 2010. En este caso, los registros aportaron datos básicamente del tramo superior interceptado en la captación, advirtiéndose la mayor influencia de este flujo vertical descendente para abril de 2010. Ello es coherente con la circunstancia de este período, el de mayores precipitaciones (y, por tanto, escorrentías superficiales) de las siete últimas décadas. En el sondeo se detectó la mayor entrada (por su mayor carga hidráulica) desde los flujos de cobertura, aunque no aportó datos representativos sobre las circunstancias en dicha zona del tramo más explotado del AIN.

Otro ejemplo del necesario estudio, punto por punto, que da una idea de la complejidad de esta investigación (esta vez con datos de muestras de extracción y con registros de salinidad realizados con la captación en bombeo destinada al abastecimiento urbano del término de Vícar), se presenta a continuación. Se trata del sondeo 144-VC, el único punto que ha podido ser observado en profundidad en **el área de El Águila del AIN**. También el de mayor número de medidas y tipos de éstas del sector oriental de la citada área. Como refleja la [Figura 6.5.10](#), **desde 2001 se detecta el aumento en la salinidad en sus mezclas de bombeo, en ascenso hasta el año 2008, con bajadas aparentes entre 2008 y 2012, y con nueva tendencia ascendente en 2013 (también observada en otros puntos de bombeo del área, como en sondeos pertenecientes al abastecimiento de la ciudad de Almería, localizados en la Rambla de Bernal).**



La interpretación de los resultados de este sondeo se llevó a cabo con el conocimiento de su acondicionamiento y características litoestratigráficas, y mediante la realización de analíticas de las muestras de agua obtenidas a profundidades específicas, las recogidas de mezclas de bombeo a distintos tiempos de extracción, y la realización de registros geofísicos en condiciones dinámicas y estáticas de la captación, observándose aumento de salinidad en profundidad, e incremento de ésta en las mezclas de bombeo a mayor tiempo de extracción.

En junio de 2010 fue posible acondicionar el sondeo de manera que se pudieran hacer pruebas simultáneas en bombeo y en profundidad, detectándose el aumento de la salinidad en profundidad (hasta CE de 2.5 mS/cm a -245 msnm) mientras el agua de bombeo era de 1.3 mS/cm. Se distinguieron dos tramos verticales de mayor aporte de agua en la captación: en torno a 280-330m de profundidad (agua más dulce) y desde 500 m de profundidad (agua más salada) separados por un tramo predominantemente de materiales de baja permeabilidad, contrastados con el registro de gamma natural (Figura 6.5.11).

La obra tuvo una profundidad de 350 m hasta enero de 2000, sólo captando el tramo más superficial. Los primeros datos tras su reprofundización hasta 513 m ya mostraron el aumento de la salinidad en el agua de bombeo (medidas obtenidas en 2001, con menos de un 1% de agua de mar, llegando ésta a un máximo del 5%, según los datos recogidos, para el 4/2008, Fig. 6.5.10). La analítica de las mezclas de bombeo controladas por el IGME reflejaron déficit de iones Na, K y exceso de Ca y Mg, prácticamente en la totalidad del historial, propias de la mezcla con agua marina en un acuífero carbonatado.

Por otra parte, con las muestras recogidas en profundidad a 285 m (-25 msnm, tramo superior acuífero) se observó, entre el 9/09 y el 5/10, un cambio hidroquímico asociado a la llegada de aguas más dulces de las precipitaciones extraordinarias de 2009/10: disminución de la salinidad (de 3.5 a 0.9 meq/L de cloruros) e inversión del proceso de intercambio catiónico (desde déficit de Na y exceso en Ca y Mg, al contrario).

Para el caso de los datos recogidos a 510 m de profundidad (-245 msnm, tramo acuífero inferior) obtenidos de muestras de las campañas de registros geofísicos (desde marzo de 2009 a mayo de 2010 en condiciones estáticas, mientras que el resto lo fueron con el sondeo en bombeo) con procesos de intercambio catiónico característicos de la entrada de agua de mar, el máximo déficit de Na quedó reflejado el 3/09, mientras que sólo en la del 10/11 se detectó el proceso contrario.

Este estudio de gran detalle es el que se ha tenido que hacer para cada uno de los 35 puntos registrados de los acuíferos inferiores, comparando todos los tipos de resultados de los mismos. La consecuencia de la integración de todos estos análisis, para cada acuífero, se expone en el apartado 6.5.4.1.

Los registros geofísicos se han utilizado además, con objeto de comprobar la idoneidad de los puntos utilizados para la observación de la evolución de la salinidad en los acuíferos inferiores -en un 90% procedentes de sondeos particulares, como se ha dicho, por falta de puntos específicos para ello- tratando de aprovechar al máximo la infraestructura existente de estos sondeos privados (con el apoyo de la JCUAPA), para conocer las causas de los problemas detectados con el estudio de sus datos históricos y de la Fase I.

Sondeo 144VC
Cota : 265.04 m

1 Campaña 2 Campaña 3 Campaña (1 continua
2 puntos; 3 discontinua; 4 puntos y discontinua)
4 Campaña 5 Campaña 5 Campaña(f2) (1continua;
2 discontinua)

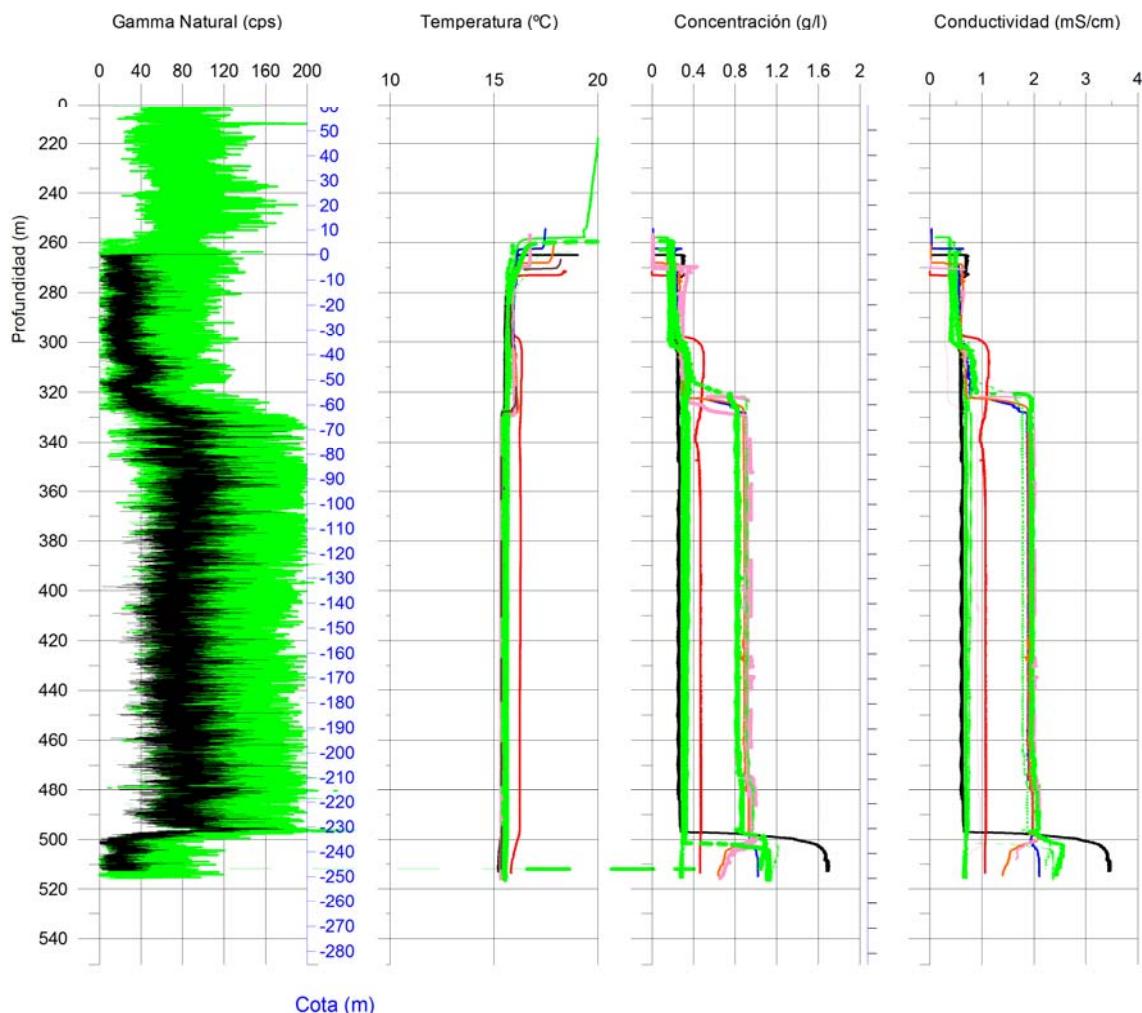


Figura 6.5.11: Registro geofísicos en el sondeo 144VC durante las distintas campañas de la Fase I y controles de sus prórrogas. El registro de gamma natural muestra el carácter más arcilloso de los materiales que producen, en esta vertical del AIN, la separación hidráulica de dos tramos, el inferior con incremento de la salinidad en profundidad, variable según las circunstancias hidrogeológicas.

Entre estas últimas actividades estuvo la realización de una **campaña de diagnóstico**, en **diciembre de 2010** en 19 captaciones con posibilidades de observación de la salinidad en profundidad (ocho sondeos de investigación -3 del AEBN y 5 del AIN- y once captaciones particulares, 4 del AIO y 7 del AIN). En este diagnóstico (que se detalla en los Documentos 127 y 128 en el **Anexo 6**), con los medios disponibles, **se realizó el reconocimiento del equipamiento y del estado de algunas de las obras mediante videocámara sumergible** (tras la desinstalación de su equipo de bombeo en su caso) así como el estudio de la idoneidad de las obras para la observación de sus características de permeabilidad y, fundamentalmente, de la distribución vertical de la salinidad. Esto último se llevó a cabo, siempre que fue posible, en condiciones de explotación de la captación para minimizar la presencia de flujos verticales descendentes desde los acuíferos de cobertura a los inferiores.

La Figura 6.5.12 muestra el dispositivo instalado en una captación de explotación del AIO (el colocado en el sondeo 694-D) que permitía la entrada de la sonda y botella muestradora **para estudiar la salinidad en profundidad en condiciones de bombeo**. En este sondeo, como ejemplo de la utilidad de este tipo de trabajos, el registro de video realizado reflejó el aporte de agua desde el acuífero superior (a través de dos ojales de la tubería situados a 84 y 90 metros) por lo que sus datos hidroquímicos fueron descartados como representativos del AIO, dejándose de utilizar como punto de observación.

Con problemas como el referido en el ejemplo anterior (de falta de la representatividad de las medidas obtenidas) se encontraron otros muchos puntos, que al estudiarlos (por los métodos disponibles en cada caso, sin videocámara) mostraron la presencia de estas mezclas en las obras.

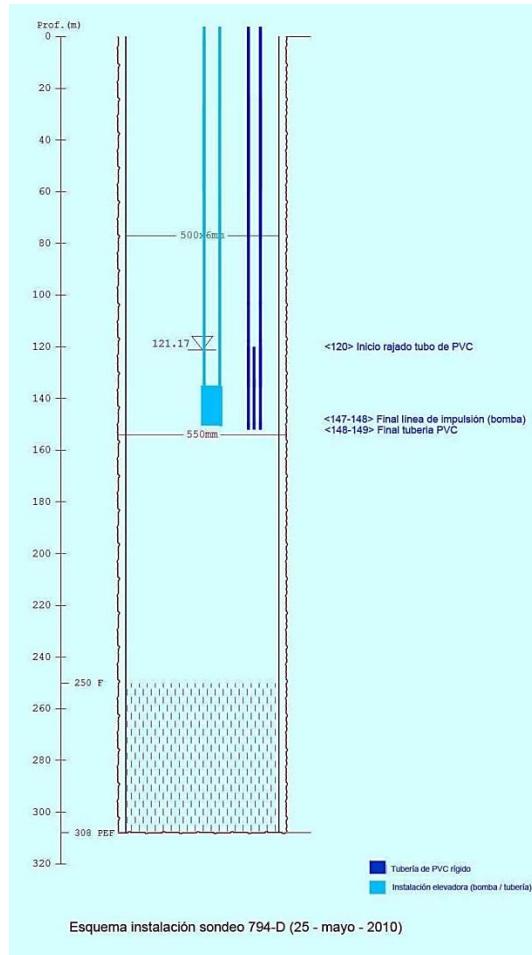


Figura 6.5.12: Dispositivo instalado en sondeos de explotación de los acuíferos inferiores para la realización de registros de salinidad y muestreos en profundidad simultáneos al bombeo: esquema del localizado en profundidad en el sondeo 694-D del AIO: con el acondicionamiento constructivo, localización de la bomba y del tubo de PVC para introducir las herramientas de registro. Incluye foto del sondeo durante la realización de los registros para el diagnóstico de su idoneidad.

Desde 2010 se pudo investigar la distribución vertical de la salinidad en sólo escasos puntos accesibles de los acuíferos inferiores, constatando el aumento de ésta con la profundidad, aplicando estas metodologías específicas (realización simultánea de registros verticales geofísicos y bombeos) ya mencionadas para conocer de forma directa la presencia de incremento de salinidad a penetraciones determinadas en la vertical de estos acuíferos. Para ello fue fundamental el apoyo de los usuarios que sufragaron parte, o al menos facilitaron, la

adaptación de algunas de sus obras a la ejecución periódica de este tipo de operaciones. Sin embargo, en muchos casos en que se intentó esto no pudo llevarse a cabo debido al acondicionamiento de la captación para la explotación. **Sólo se pudieron adaptar 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).

Las citadas instalaciones en sondeos particulares de registro - bombeo, sin embargo, **no resultan suficientes, dadas sus escasas penetraciones y la deficiente distribución espacial.**

En 2009, a raíz de los resultados obtenidos con los muestreos realizados en 2008 y el estudio del registro histórico desde 2001, el IGME planteó a la Comisión de seguimiento del Convenio de la Fase I el adelanto de medios para iniciar **la construcción de una Red de Observación en Profundidad de la Salinidad de los Acuíferos Inferiores (ROPSAI)** lo que finalmente no llegó a hacerse. Se realizó un análisis de los emplazamientos y objetivos de mayor interés para **apoyar al Plan de Ordenación con el conocimiento necesario sobre la situación de la salinización en estos acuíferos y para el seguimiento de los efectos que se produzcan con el descenso de bombeos en los mismos tras la puesta en marcha de la Desaladora de Balerma.** La **Figura 6.5.13** presenta la localización de 13 obras que se consideraron preliminarmente como de interés para seleccionar, según fuera disponiéndose de informaciones sobre este proceso, las más prioritarias entre las que fueran necesarias. Entre éstas **se señaló como más prioritaria una única obra, a realizar en 2010**, de esta red observación **en el AIO** (en el área de Tarambana) **la más cercana a la entrada de flujos salados desde el AEBN** a este acuífero inferior, aunque esta propuesta no tuvo éxito finalmente.

De esta manera, la carencia de puntos de observación adecuados ha marcado el estudio de los acuíferos inferiores y ha supuesto un importante esfuerzo para obtener e integrar informaciones representativas, pero ya después de afectarse dichas obras de explotación.

6.5.4.1- Resultados del estudio de la salinización en los acuíferos inferiores

Como ya se ha expuesto, para llegar a las conclusiones obtenidas sobre este importante proceso, ha sido necesario hacer un análisis de detalle, punto a punto y, con todos ellos, la discusión conjunta de las medidas obtenidas (tanto del bombeo como de los registros geofísicos) establecer una secuencia de la evolución de las salinidades en coherencia con la evolución de las extracciones y su consecuencia en los niveles piezométricos de estos acuíferos y sus acuíferos relacionados. Estos resultados se han ido dando a lo largo del período de 2008 a 2013, tanto a nivel de la Fase I como en charlas y congresos nacionales e internacionales (cuyos documentos quedan incluidos en el **Anexo 6 y 13**).

Evolución de la salinización en el AIO

El proceso de salinización desde Balanegra registrado en sus estados iniciales afectó en los primeros años 80 al acuífero de cobertura AEBN (que acabó intruido de agua de mar prácticamente en su totalidad), desde el cual se viene trasmitiendo al AIO (**Figura 6.5.14**). Pero, dada la mayor densidad del agua salada y el grueso espesor del acuífero carbonatado, en su progresión hacia el interior y su ascenso hasta los fondos de las captaciones tardó más de 25 años en detectarse en el agua de las mismas.

La existencia de este proceso había sido deducida desde hacía décadas, pero no llegó a confirmarse su influencia en las captaciones hasta 2010. Los resultados de la investigación han mostrado que este proceso afecta ya casi al 20% de las captaciones utilizadas (que fueron 85 en el

año 2008/09) para atender las demandas, situadas en las áreas más cercanas a la entrada de agua salada desde el acuífero costero (en captaciones más penetrantes del AIO y localizadas en una zona determinada de la estructura de este acuífero). La [Figura 6.5.14](#) esquematiza el proceso en una sección trasversal a la estructura geológica que pasa por las zonas libres del AIO y del AEBN

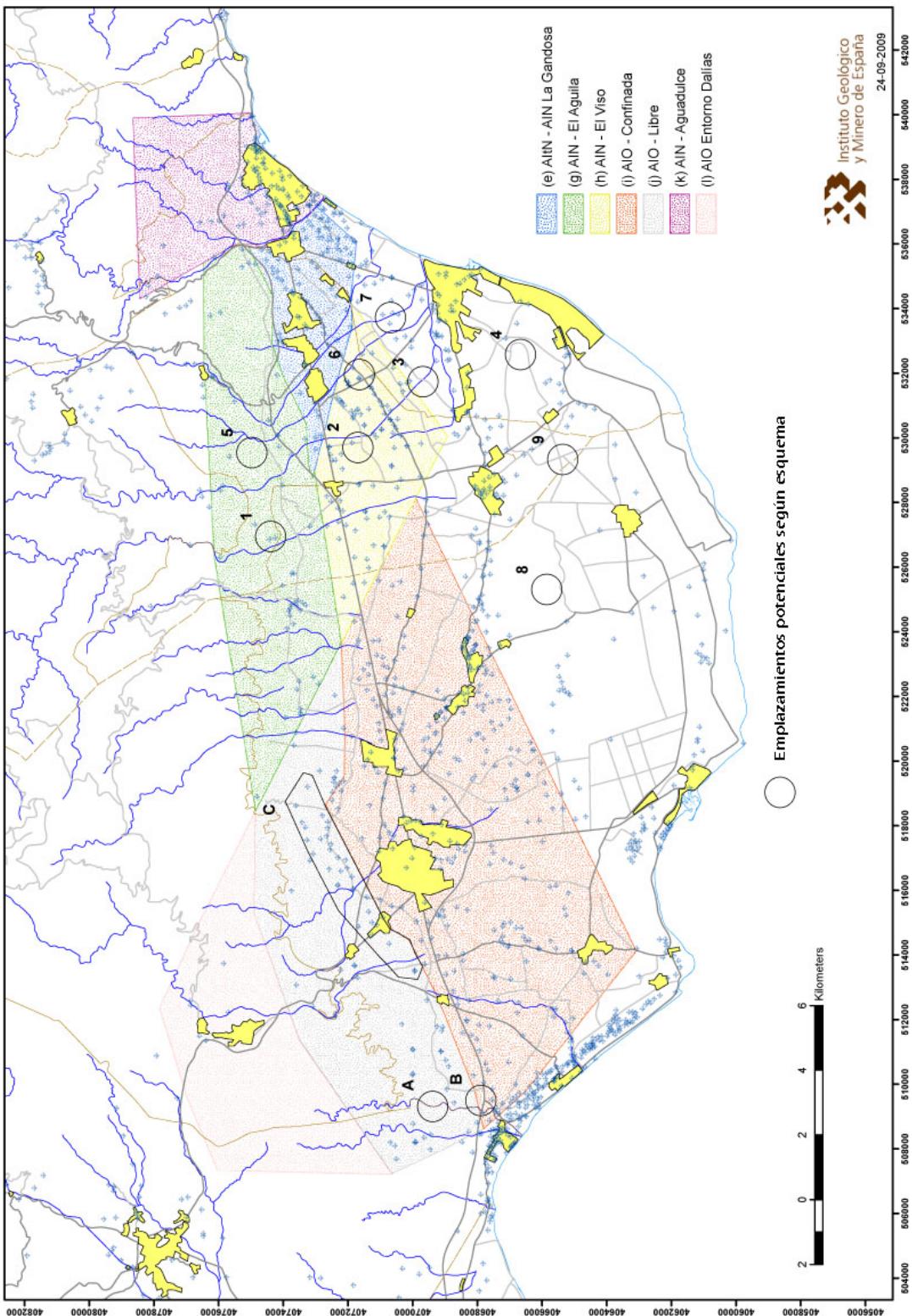


Figura 6.5.13: Situación del esquema preliminar de red potencial de observación en profundidad de la salinización de los acuíferos inferiores (ROPSAI), con delimitación de las ZEP de éstos. Del documento 34-1, IGME, 2009.

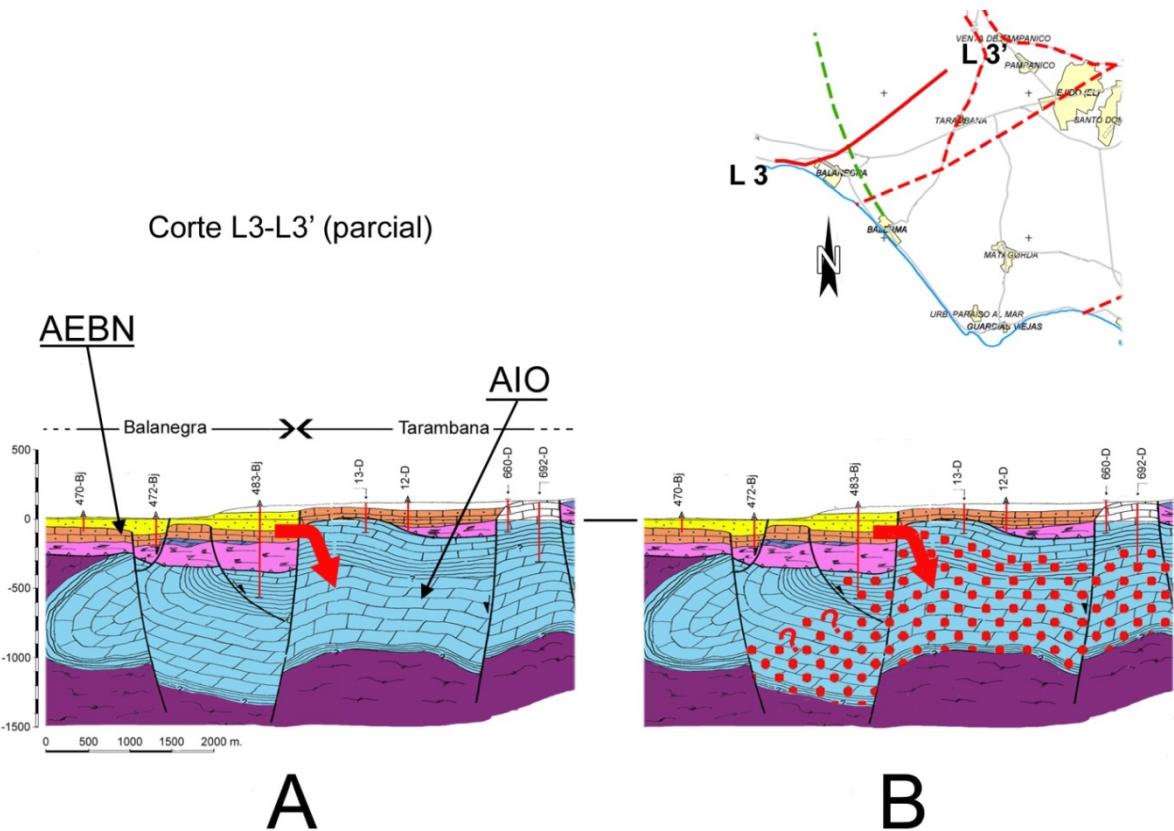


Figura 6.5.14 Esquema de la transferencia de flujos de agua salada al AIO desde el AEBN. En A: inicio del proceso (1980/81). En B: esquema de la situación actual de la salinización en la parte occidental del AIO. La flecha roja indica la zona y sentido de entrada, y la trama punteada simula el área de influencia de la mezcla con agua de mar en el AIO. Ver leyenda de cortes en [Figura 3.7.5](#) (apartado 3.7).

El Documento 78, realizado en 2010 (en [Anexo 6](#)) reflejó en detalle el desarrollo y los resultados de este estudio del origen de la salinización ([Figura 6.5.15](#)). **A pesar de las lluvias excepcionales registradas en 2009/10, los valores más altos de la salinidad se detectaron en 2011/12, registrados tanto en profundidad (en los escasos puntos disponibles para ello) como en bombeo.** En la [Fig. 6.5.16](#) se aporta un ejemplo de los resultados de muestras en profundidad obtenidas en un sondeo (622-D) y su relación con las mezclas teóricas con el agua de mar.

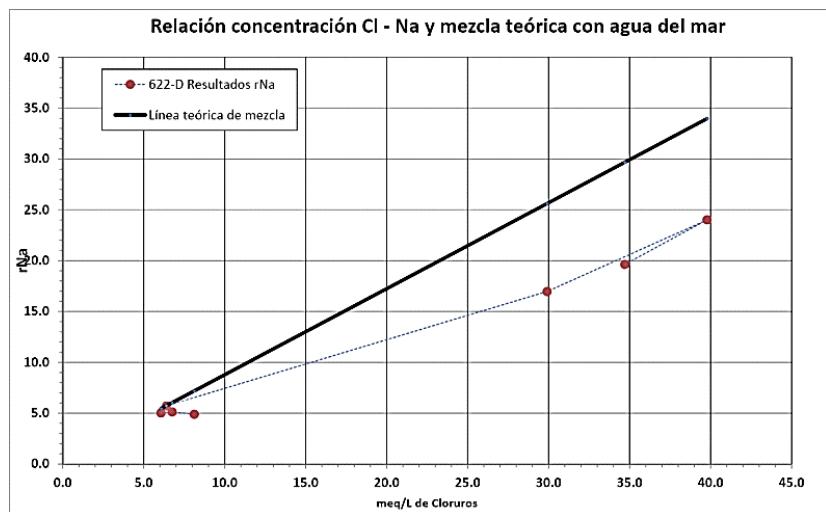


Figura 6.5.16: Relación iónica (en miliequivalente) cloruros - Na de muestras en profundidad del sondeo 622D, y comparación con la mezcla teórica con agua de mar. Se observa déficit de Na y K y exceso de Ca y Mg (en la figura sólo se representa el Na) coherente con la influencia cada vez mayor en profundidad del agua marina en la captación.

Captaciones estudiadas para el análisis de la evolución de la salinidad en el AIO (16/06/10)

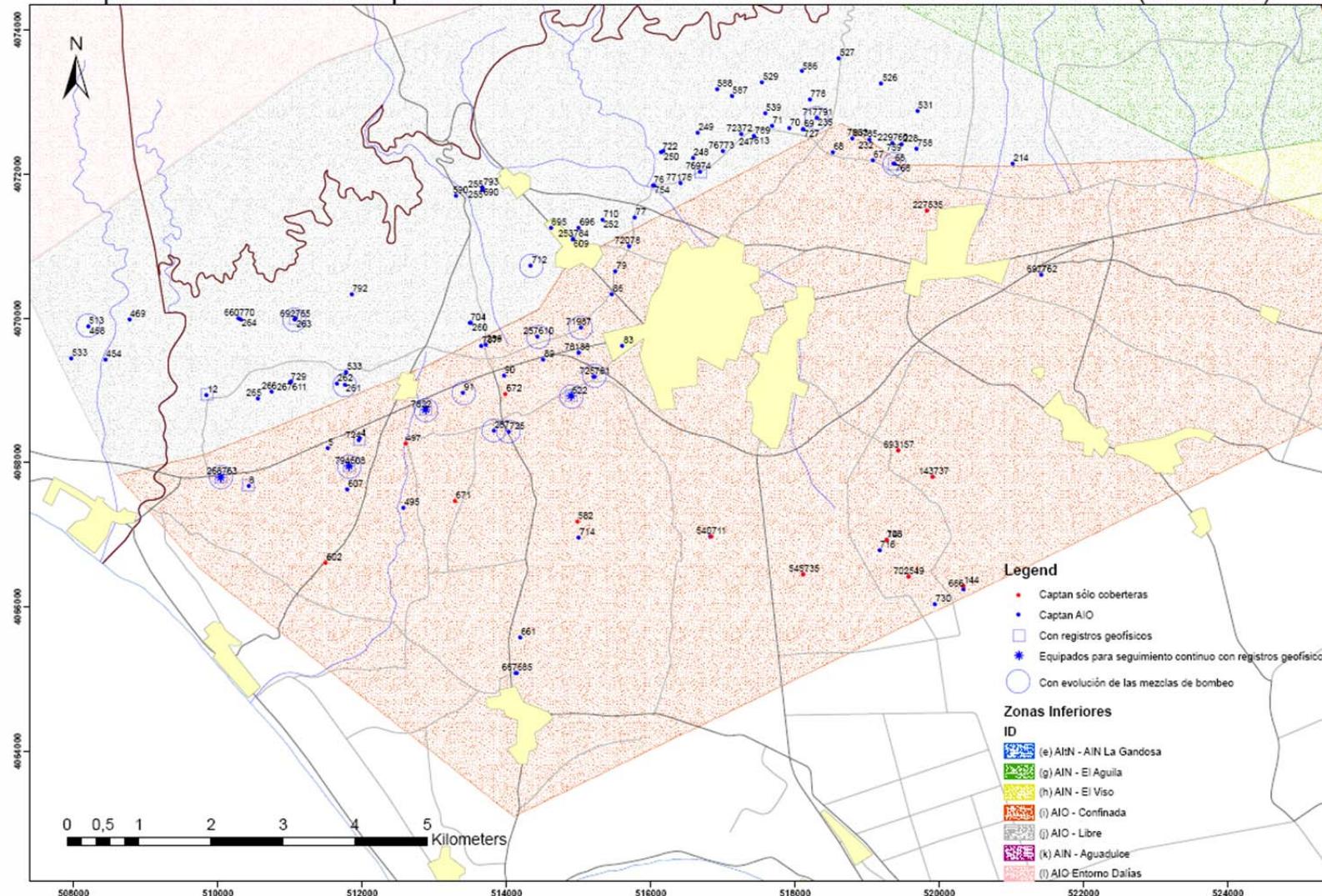


Figura 6.5.15: Puntos estudiados y resultados sobre la influencia de la salinización por entrada de agua salada (desde el AEBN intruido al AIO). Del documento 78, 2010.

Evolución de la salinización en el AIN

En el AIN prácticamente no existen puntos donde observar la salinidad en profundidad en condiciones simultáneas de registro y bombeo, con las que minimizar el efecto de los flujos verticales que existan en las captaciones; únicamente se pudo contar con una captación de abastecimiento urbano localizada en el área de El Águila (como antes se ha dicho). En el Área de El Viso, este estudio ha estado muy marcado por la dificultad de diferenciar entre el efecto provocado por la entrada de los flujos salados procedentes de las coberturas (una vez que se invirtieron los sentidos originales, desde 1992/93) ya afectadas por procesos de entrada de agua de mar desde años anteriores, y los procedentes del avance de la salinización en profundidad desde los materiales carbonatados triásicos.

Los puntos de observación en profundidad en el AIN en la Fase I se sitúan principalmente en su zona confinada (El Viso) y en la costera de Aguadulce. Los registros en estos puntos se obtuvieron en reposo (no se pudieron llevar a cabo ensayos en otras circunstancias, al depender de las características y disponibilidad de estos sondeos), excepto en la captación del sector oriental de la zona libre de El Águila ya referida, que contó con registros en reposo y en 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 han observado las mayores salinidades en 2008/09, en contra de lo observado en el resto.

Los resultados analíticos de las mezclas de bombeo y de las muestras obtenidas en profundidad son 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, ponen de relieve la existencia de procesos de déficit en iones Na y K y ganancia en Ca y Mg, propios de la mezcla con el agua de mar.

Entre diciembre de 2010 y septiembre de 2011, en el sector nororiental del área confinada de El Viso (como ejemplo) se pasó de menos del 1% al 3% de agua de mar a la cota -787 msnm, con un déficit de Na y K del orden de 8 me/L y exceso de Ca y Mg 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% (que alcanzó hasta valores de 3.8%), observándose también intercambio iónico, con valores de -4 me/L de déficit de Na y K.

Desde el Este (Aguadulce – Roquetas) el proceso de avance hacia el Oeste en el AItN /AIN se manifestó con más visibilidad, afectando pronto a sus áreas costeras, primero, en los años 70, desde Roquetas a la de La Gangosa y, a mediados de la década de 1980, también a la de Aguadulce, alcanzando en unos 15 años el borde oriental del área confinada de El Viso y, a los 25 años desde el inicio, a la captación más occidental de la misma. Este área, junto con la de El Águila, aportan el bombeo principal del AIN.

Todas las áreas actualmente de explotación del acuífero inferior de la zona oriental (AIN) están afectadas por salinización. El proceso (aún en fase inicial) **ha dado lugar al aumento de la salinidad del agua de bombeo en el 66% de las captaciones observadas**, correspondientes al sector oriental del área de El Águila y a la de El Viso (ya que, por su estado de

salinización, en las de Aguadulce y La Gangosa, prácticamente el bombeo sigue siendo irrelevante, aunque localmente, por las entradas excepcionales en 2009/10, haya mejorado discretamente la calidad en los tramos superiores de los carbonatos).

Con los datos del año 2001, a las discretas cotas de fondo de los sondeos de explotación del acuífero inferior en el área de El Viso no se observaban indicios de salinidad procedente de sus zonas más profundas. Incluso en un sondeo de investigación realizado en este área (por la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía, a unos 5-8 km de la costa de Roquetas /Aguadulce) se encontró agua dulce (con 70 a 120 mg/L de cloruros) entre 791 y 1178 metros de profundidad.

En este campo de bombeo del Acuífero Inferior del Sector Noreste, hasta 2007 no se empezó a disponer de datos determinantes sobre incrementos de la salinidad del agua extraída (aunque en 2011, se contó con informaciones que pusieron de relieve el probable alcance de la salinidad en profundidad ya en 1999, en uno de los sondeos más próximos a la zona oriental de transferencia desde el área de La Gangosa). **El origen de estos aumentos se corroboró en 2009, mediante la realización de algunos registros geofísicos en sondeos de explotación, con los cuales se detectó el incremento de la salinidad con la profundidad y con el tiempo** (entre 2009 y 2012), pese a sus discretas cotas de penetración. **Los valores máximos de salinidad en el agua de bombeo se han detectado en octubre de 2013, indicando todo ello un avance muy importante del proceso entre 2001 y la actualidad.**

Evolución de la salinización en profundidad en los acuíferos de cobertura del sector noreste

Dado el abandono de las captaciones de explotación en las capas libres o única de estos acuíferos (como se indicó en el apartado 6.1, del Trabajo 1A) las posibilidades de observar las tendencias de la salinidad en éstas han sido muy pequeñas y probablemente los datos obtenidos no resulten representativos de los acuíferos (por las razones ya aludidas de la falta de adecuación de los puntos). En los sondeos de bombeo que captan materiales miocenos (y en algunos casos también triásicos) en la fosa interior, no se ha detectado aumento de la salinidad del agua de bombeo (puntos 89-FE 95-FE, 97-FE, 98-FE). En otras captaciones del AItN (82-VC, 141-VC) no hay certeza sobre la interpretación de las tendencias.

Para conocer el estado de la salinización en profundidad en estos acuíferos de cobertura del Sector Noreste, hace falta una red específica, teniendo en cuenta el **interés de controlar el movimiento de los flujos** existentes desde **áreas de coberturas afectadas por entradas de agua de mar** (activa o antigua) **hacia los acuíferos inferiores**, uno de los objetivos considerados para la ZEP d.

Como quedó reflejado en los resultados de la actualización de la piezometría de los acuíferos del Sector Noreste, el cambio en la distribución histórica de la explotación de las capas libres de los acuíferos de las áreas de El Viso – La Gangosa hacia las áreas del AIN de El Viso y El Águila, ha producido, en dichas capas libres, desde el inicio de la década de 1990 a la actualidad, una inversión del flujo subterráneo generalizado, resultante en sentido Oeste – Este, que provoca una regresión de sus antiguos flujos con mezcla de agua de mar (lo que no ocurre en las capas confinadas en las que los flujos salinos continúan su progresión hacia las áreas interiores de explotación de El Viso y de El Águila).

6.6.- RESUMEN DEL DESARROLLO DE LOS PROCESOS DE INTRUSIÓN MARINA: EL PRINCIPAL PROBLEMA PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL USO DE ESTOS ACUÍFEROS

Como se ha visto en el **capítulo 3** de la Memoria, 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, 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 6.6.1**) (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.

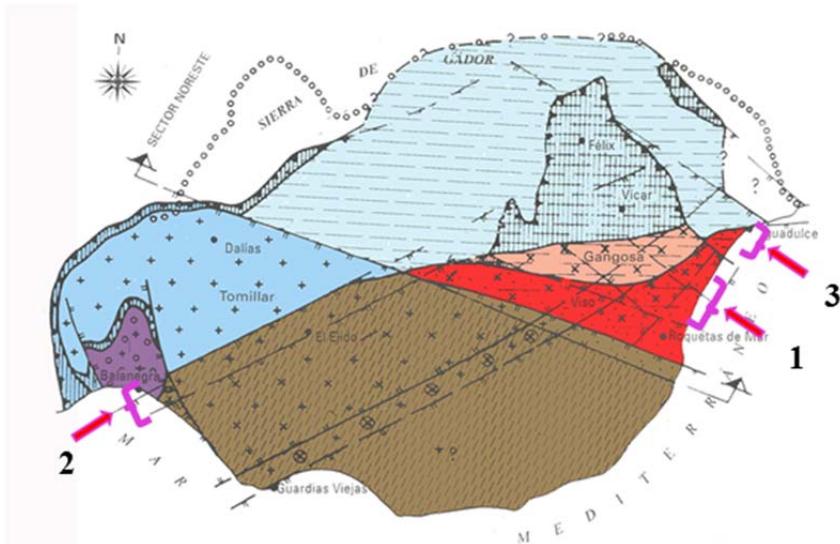


Figura 6.6.1: Segmentos de costa por donde únicamente ha podido producirse la penetración de agua de mar hacia acuíferos del Campo de Dalías. Se han generado tres procesos: 1= por el sector costero de Roquetas (vía AItN confinado) hacia las capas libres y confinadas de las áreas de La Gangosa y El Viso; 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.

6.6.1- 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**), 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, como se observa en la **Figura 10.2.2** del **capítulo 10**).

Dado que una parte del flujo salado de entrada al AIO (con dos posibles vías de trasferencia: 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, AItC y AIO).

6.6.2- 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 cobertura ni, aun menos, del AIN, dados los rangos piezométricos de la época en los mismos.

Del transcurso 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 6.6.3](#) (cuya leyenda se incluye en la [Fig. 6.6.2](#)) se sintetizan estos procesos para los acuíferos del Sector Noreste, por períodos temporales.

[6.6.2.1- 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 AItN 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 trasmitido** 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 AItN** (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 6.6.3). 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.

6.6.2.2- 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 cobertura.

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 trasfirieron flujos salados por el AItN 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 hm³/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.

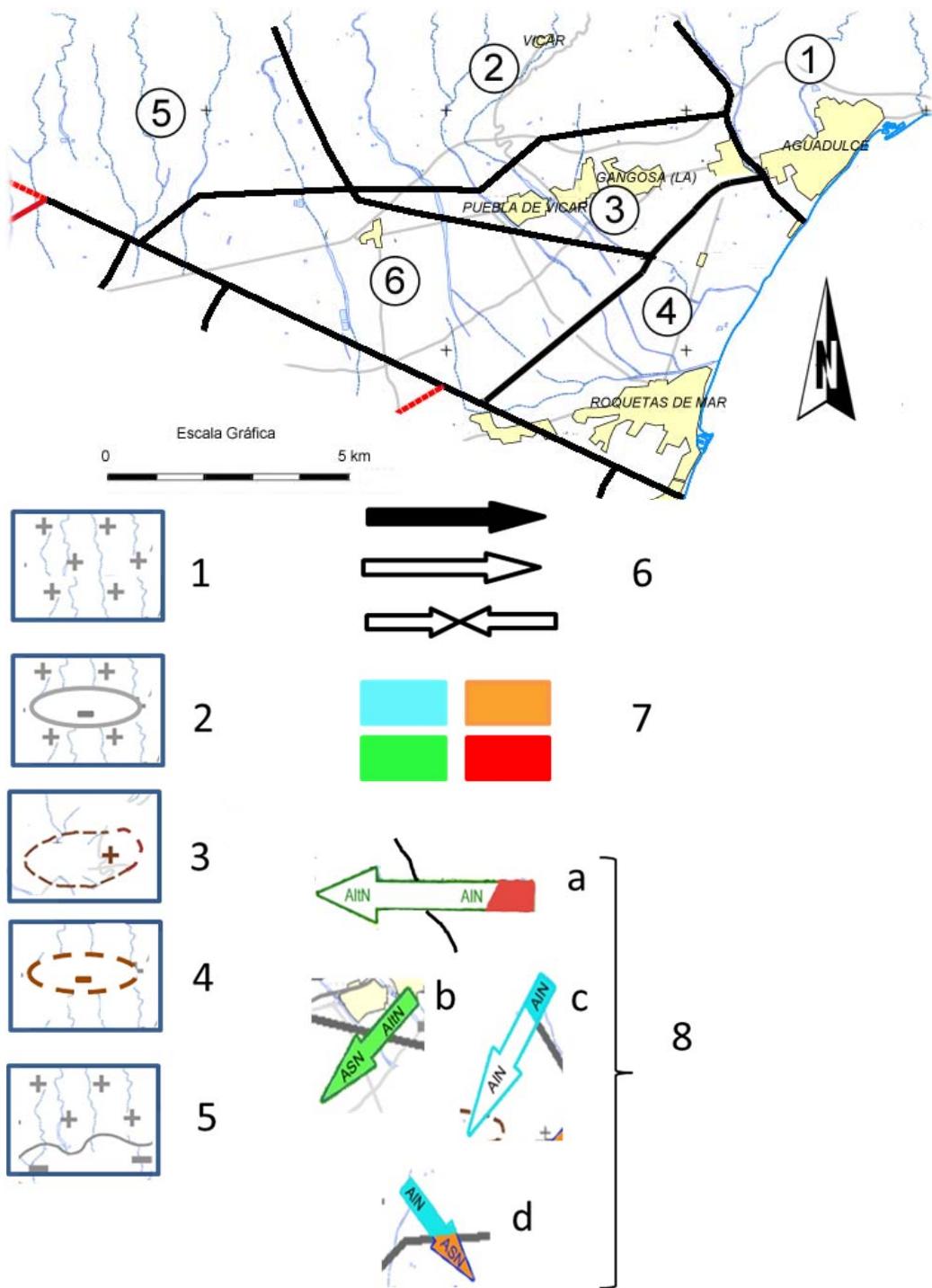


Figura 6.6.2: Superior: áreas de explotación representadas en la Fig. 6.6.3 y leyenda de simbología de dicha figura en la parte inferior. Áreas: 1=Aguadulce; 2=Vícar; 3=La Gangosa; 4=Roquetas; 5=El Águila; y 6=El Viso. Leyenda de la parte inferior: 1=acuífero libre con cotas positivas; 2=entorno con 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 AItN confinado y de éste al AItN confinado; b= flujo de agua con mezcla marina desde la capa libre del AItN a la capa libre ASN; c= flujo dulce de agua desde la capa libre del AItN a su capa confinada; d= flujo de entrada de agua dulce desde la capa libre del AItN a la capa libre del ASN, ésta con calidad natural mediocre.

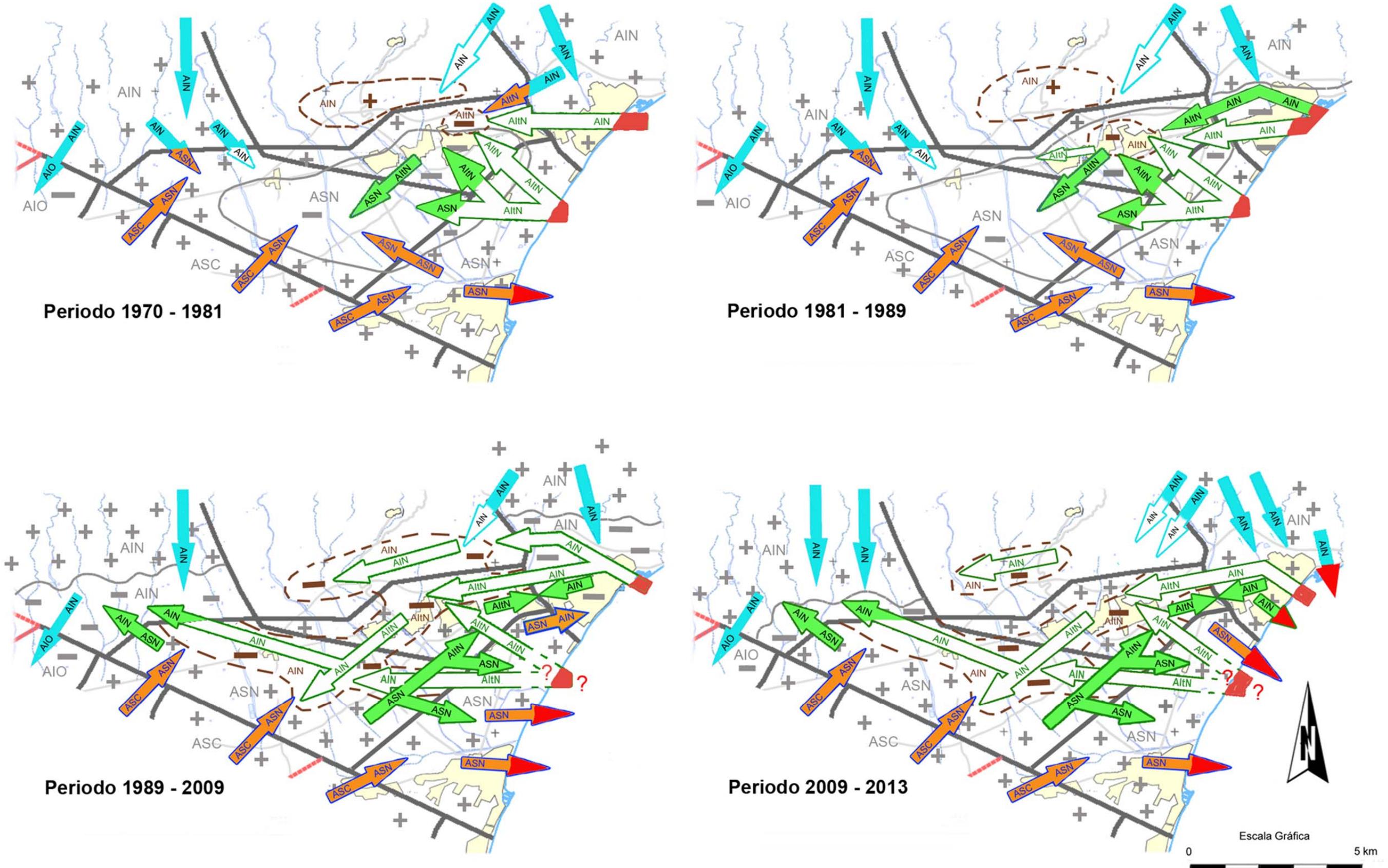


Figura 6.6.3: Evolución de los flujos de masas con mezclas de agua de mar en las capas libres y confinadas de las áreas del Sector Noreste del Campo, procedentes de intrusión marina (activa o antigua) por los tramos costeros de Roquetas y Aguadulce: sintetizados en cuatro intervalos temporales: (1972-1981, 1981-1989, 1989-2009 y 2009-2013). Ver leyenda de áreas y simbología en Figura 6.6.2.

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 AItN) 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.

6.6.2.3- 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 hm³/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 coberturas 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 en **Anexo 6**, 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 coberturas 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, en **Anexo 6**) que, bien desde el AIN de Aguadulce o desde las coberturas 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 trasferencias de flujos subterráneos entre coberturas 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 cobertura 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.

6.6.2.4- 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 coberturas 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 trasferencia 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.

6.6.2.5- 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 trasfirió 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 trasferencia 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.

CAPÍTULO 7.- TRABAJOS DEL OBJETIVO SEGUNDO: PROPUESTA DE PRIMERAS ALTERNATIVAS DE REORDENACIÓN DE BOMBEOS: REDUCCIÓN EN ACUÍFEROS INFERIORES, AUMENTO EN ZONAS ESTRATÉGICAS DE COBERTERAS Y VIABILIDAD DE RECARGAS EN EL AEBN

Se expone en este capítulo un resumen de los objetivos, desarrollo y resultados de los trabajos correspondientes al **Objetivo Segundo** de la Fase I. Los anexos de los mismos (Anexos 7 a 10) contienen más información. En el **Anexo 12** (Trabajo 2C) se encuentra la clasificación documental de las nuevas informaciones / elaboraciones generadas durante el período de la Fase I con la relación de todos los documentos, ordenados por el número de dicha fase.

7.1.- SELECCIÓN PRELIMINAR DE ZONAS ESTRATÉGICAS PREFERENTES PARA LA REORIENTACIÓN DE EXTRACCIONES (TRABAJO 2A)

En el momento de abordar la ordenación de extracciones de los acuíferos del Campo, de forma racional, es necesario considerar su diversidad: se trata de un medio muy heterogéneo ya conocido desde que el IGME definió los principales acuíferos existentes. También hay que tener en cuenta su estado actualizado de funcionamiento hidrogeológico, no sólo de cada acuífero sino de sus distintas áreas. Sin este conocimiento, el llevar a cabo una aplicación indiscriminada para corregir o suavizar al máximo los distintos problemas que existen en unos u otros sectores de los mismos, conduciría a errar en el objetivo de solucionarlos.

El Programa de apoyo a la protección – regeneración, en su Fase I tenía, entre sus cometidos, el de orientar la aplicación de medidas correctoras, ya consideradas posibles con la puesta en marcha de proyectos para acopiar en la zona nuevos recursos complementarios (de sustitución de parte de los bombeos en los acuíferos inferiores, muy deficitarios y con muy graves problemas de salinización con agua de mar), además de los ya importados y posiblemente incrementados desde Beníñar.

Entre dichos recursos complementarios se contaba con el aprovechamiento de un determinado bombeo que, en cualquier caso, era necesario llevar a cabo en algunas áreas de acuíferos de cobertura (como en la Balsa del Sapo, Cañada de Ugíjar, entorno de Onáyar, etc.) para solucionar los distintos problemas ya generados o que pueden presentarse, motivados por el ascenso continuo del nivel del agua (como consecuencia de la infiltración del retorno de los usos en su superficie, superpuesta a la recuperación, en su caso, de sus antiguas depresiones piezométricas del bombeo al que estuvieron sometidas).

Para la obtención informada de dichos recursos complementarios se planteaba, igualmente, una orientación preliminar por parte de la Fase I. Para ello se planteó el Trabajo A de su Objetivo Segundo, con el que se llevó a cabo una definición inicial de Zonas Estratégicas a considerar, del total de este medio hidrogeológico, tanto en el caso de los acuíferos inferiores como en el de los

acuíferos de cobertura. La [Figura 7.1.1](#) muestra la situación de todas las Zonas Estratégicas establecidas.

La actualización del conocimiento general de la geometría de los distintos acuíferos, y la del correspondiente al funcionamiento y su evolución de los mismos, con sus tendencias actuales, han proporcionado las ideas preliminares sobre la definición establecida, así como los tipos de actuaciones más idóneas para corregir las tendencias indeseables en cada una de dichas áreas.

Estas ideas preliminares sobre las Zonas Estratégicas (que se exponen con mayor detalle en el Documento 111 de 2008, en [Anexo 7](#)) deberán mejorarse en lo posible en la Fase II del Programa con la adquisición de informaciones actualmente no disponibles, especialmente con la ejecución / complementación (con obras específicas) de la deficiente a muy deficiente red de observación de las características físico-químicas de la mayor parte de las áreas de las coberturas, así como de amplios sectores de las áreas de los acuíferos inferiores en relación con la evolución de su salinidad en profundidad.

Con la información de partida y el complemento de la adquirida durante la Fase I (actualizado el estado de funcionamiento mediante los datos de piezómetros característicos, medidas físico-químicas e informaciones sobre utilización de captaciones) se alcanzaron, como se ha dicho, unos criterios sobre la zonación definida y los objetivos particulares para cada una de las Zonas Estratégicas resultantes.

La explicación del proceso seguido en este Trabajo 2A y del resultado en detalle obtenido con el mismo se expone en el Documento 111 ya citado del [Anexo 7](#). En este apartado de la Memoria se destaca únicamente que primero se trató de delimitar espacios (o Zonas Estratégicas) por el tipo de acuíferos, inferiores o coberturas, y por las características o problemáticas similares de estos sectores de los mismos, con mayor interés por la posibilidad de actuar sobre ellos. Posteriormente se analizaron las prioridades de acometer los tipos de actuaciones en cada una de las zonas establecidas, pero considerando la posibilidad de iniciarlas lo más inmediatamente posible, lo que dio lugar a las llamadas **Zonas Estratégicas Preferentes (ZEP)** con criterio experimental, sujeto a modificaciones derivadas de la adquisición de nuevas informaciones, de la evolución del problema a corregir, etc.

De las ZEP correspondientes a los acuíferos de cobertura, en varios casos se destaca el objetivo de realizar bombeos específicos para solucionar los problemas que plantea el crecimiento de sus niveles del agua (entre otros, los de inundación en zonas bajas) y, con su aprovechamiento, acumular recursos de sustitución complementarios para contribuir a la disminución necesaria de parte de las extracciones en los acuíferos inferiores.

Esta obtención de recursos complementarios podrá extenderse a otras zonas de las coberturas, donde no concurren tales procesos de inundación pero interese contrarrestar los aludidos procesos de ascensos del nivel piezométrico, por dar lugar a transferencias indeseables a otros acuíferos o áreas de los mismos.

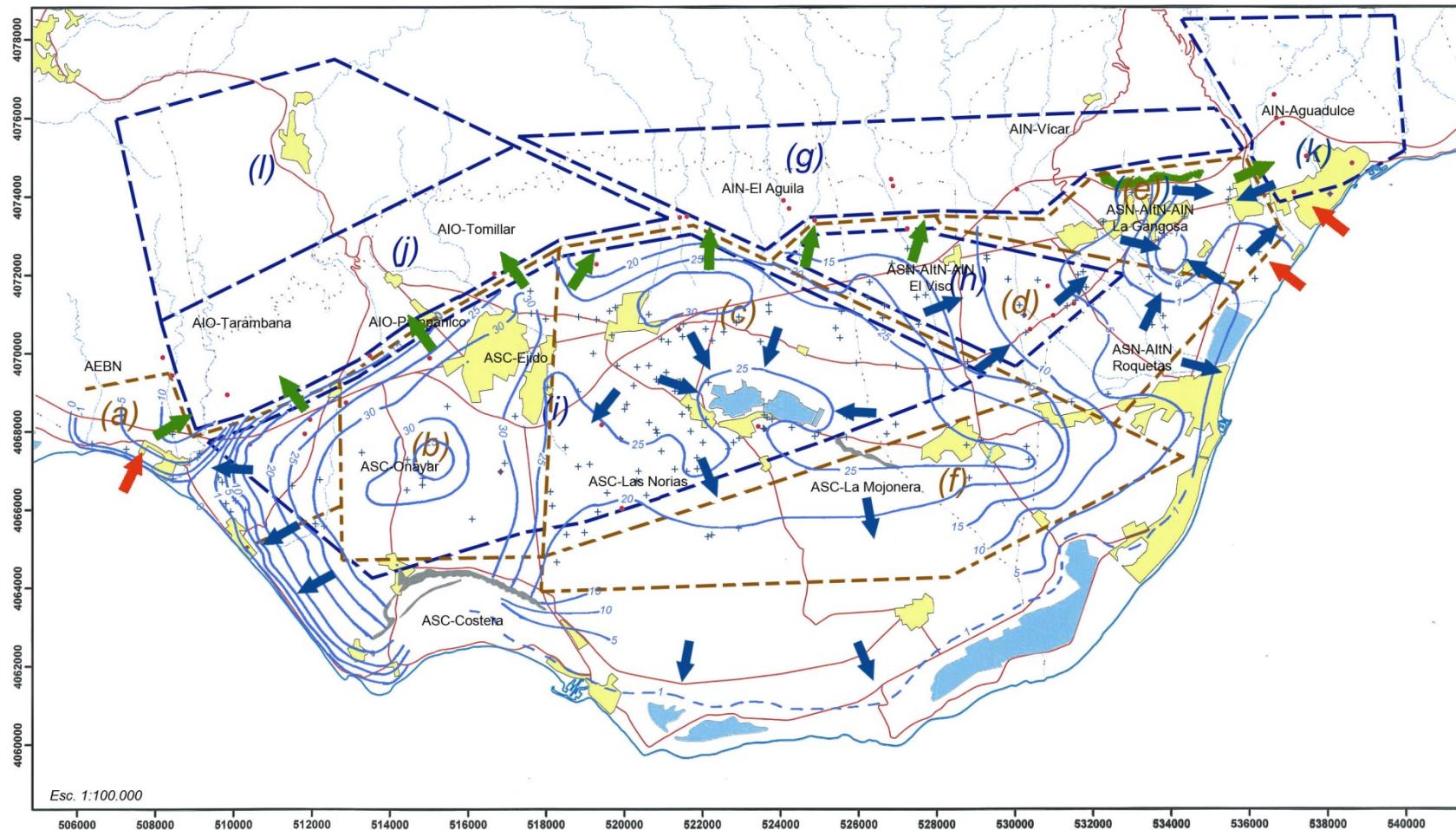


Figura 7.1.1: Situación de todas las Zonas Estratégicas definidas. Están superpuestas al esquema de isopiezas y distribución de flujos entre acuíferos para agosto de 2007. Con límites marrones: las de los acuíferos de cobertura (**Zonas Estratégicas** de la **a**, a la **f**). Límites azules: zonas de los acuíferos inferiores. Corresponden a Acuíferos de cobertura: **Zona a**= AEBN y extremo noroccidental del ASC en los Alacranes y oeste de Onáyar; **Zona b**= entorno de Onáyar en ASC; **Zona c**: entorno de la Balsa del Sapo (ASC); **Zona d**= coberturas del área de El Viso – Roquetas hasta el límite con la de La Gangosa (ASN-AItN); **Zona e**= La Gangosa; **Zona f**= banda norte de San Agustín en el ASC. Y a los Acuíferos inferiores: **Zona g**= El Águila (incluyendo el área de Vícar) del AIN; **Zona h**= El Viso (zona confinada del AIN); **Zona i**= área confinada del AIO; **Zona j**= áreas libres del AIO en la llanura; **Zona k**= área de Aguadulce (AIN); **Zona l**= entorno de Dalías (AIO).Del documento 111_2A, de IGME, 2008 en Anexo 7.

Un caso especial de las ZEP es el de la **Zona a** (que incluye el AEBN y el extremo noroccidental del ASC) donde su objetivo es analizar la viabilidad de evitar o minimizar la flujos con mezcla de agua de mar al AIO (según se expone en detalle en el Documento 111). Como se comentó en el **capítulo 3** de esta Memoria, este estudio se propuso e inició con el SGOP para realizarlo en colaboración, pero quedó interrumpido por razones que se desconocen. El Trabajo 2F, incluido en el **apartado 7.4**, trata sobre resultados preliminares de análisis de la viabilidad de actuaciones sobre el AEBN para proteger al AIO frente a la entrada de agua de mar desde el citado acuífero.

7.2.- ANÁLISIS DEL CONOCIMIENTO HIDRODINÁMICO DE LAS ZONAS ESTRATÉGICAS Y SU MEJORA EN LAS PREFERENTES. (TRABAJO 2D)

Este trabajo fue realizado por ACUAMED y el IGME con la colaboración de la consultora IDRENA experta en la materia. Los informes más actualizados sobre el mismo (Documentos 179, 181 y 184) se incluyen en el **Anexo 8** de esta Memoria.

Para ello se prescribió un **estudio preliminar hidrodinámico** (detallado en el Documento 179) basado en informaciones de interés sobre esta temática elaboradas históricamente por el IGME, las cuales constituyen un importante archivo de documentos.

También se recomendó el adecuado reconocimiento de campo, para facilitar la comprensión del conocimiento geométrico y de la evolución del funcionamiento del conjunto de acuíferos del Campo de Dalías - Sur de Sierra de Gádor alcanzado ya por el Instituto, al ser conscientes de la dificultad de asimilar la complejidad que representan, incluso para reconocidos especialistas en la materia. Y ello por la necesidad de congruencia entre la prevista modelación numérica del funcionamiento de estos acuíferos y la realidad, ya muy contrastada durante años, representada por el Modelo Conceptual del mismo (para lo cual siempre se invita a la discusión hidrogeológica acerca de su fundamentación).

Realizado el análisis documental (Documento 181) acerca del funcionamiento de los acuíferos de cobertura (a los que se ha restringido el Trabajo 2D de la Fase I por la magnitud inalcanzable que supone el abordar en esta fase el funcionamiento general del sistema de acuíferos) se analizaron las informaciones sobre características hidrodinámicas de los distintos sectores de las mismas que habían sido discretizados ya, por otros trabajos de esta fase del Programa, en Zonas Estratégicas Preferentes (ZEP, ver Trabajo 2A en el apartado anterior de este capítulo).

Se analizaron las características (y evolución) del régimen de funcionamiento hidrodinámico, para cada ZEP, sintetizando las causa y efectos consiguientes (presiones del bombeo y respuestas piezométricas) reconstruyendo, por períodos históricos, las variaciones de la reserva en las ZEP seleccionadas: **Zona a, Zona b, Zona c y Zona d** (**Figura 7.1.1**).

Se destaca el trabajo que se llevó a cabo de análisis y revisión de los ensayos hidrodinámicos históricos y de datos de caudales de bombeo en los acuíferos de cobertura, aunque la información disponible no es precisamente la deseable para representar la distribución espacial de características hidrodinámicas, entre otras razones, por la desigual distribución superficial de captaciones (quedan muy amplias zonas sin reconocer por sondeos, como se observa en la **Figura 7.2.1**). También, cuando existen, las características de penetración, tramo saturado, construcción, acondicionamiento, tiempos de ejecución de ensayos, etc. son muy variables (aunque se trate de captaciones próximas por el efecto de la estructuración en bloques generada por la neotectónica). No obstante, se compiló una documentación muy dispersa que tiene gran valor como punto de partida de las modelizaciones que se vayan haciendo posteriormente.

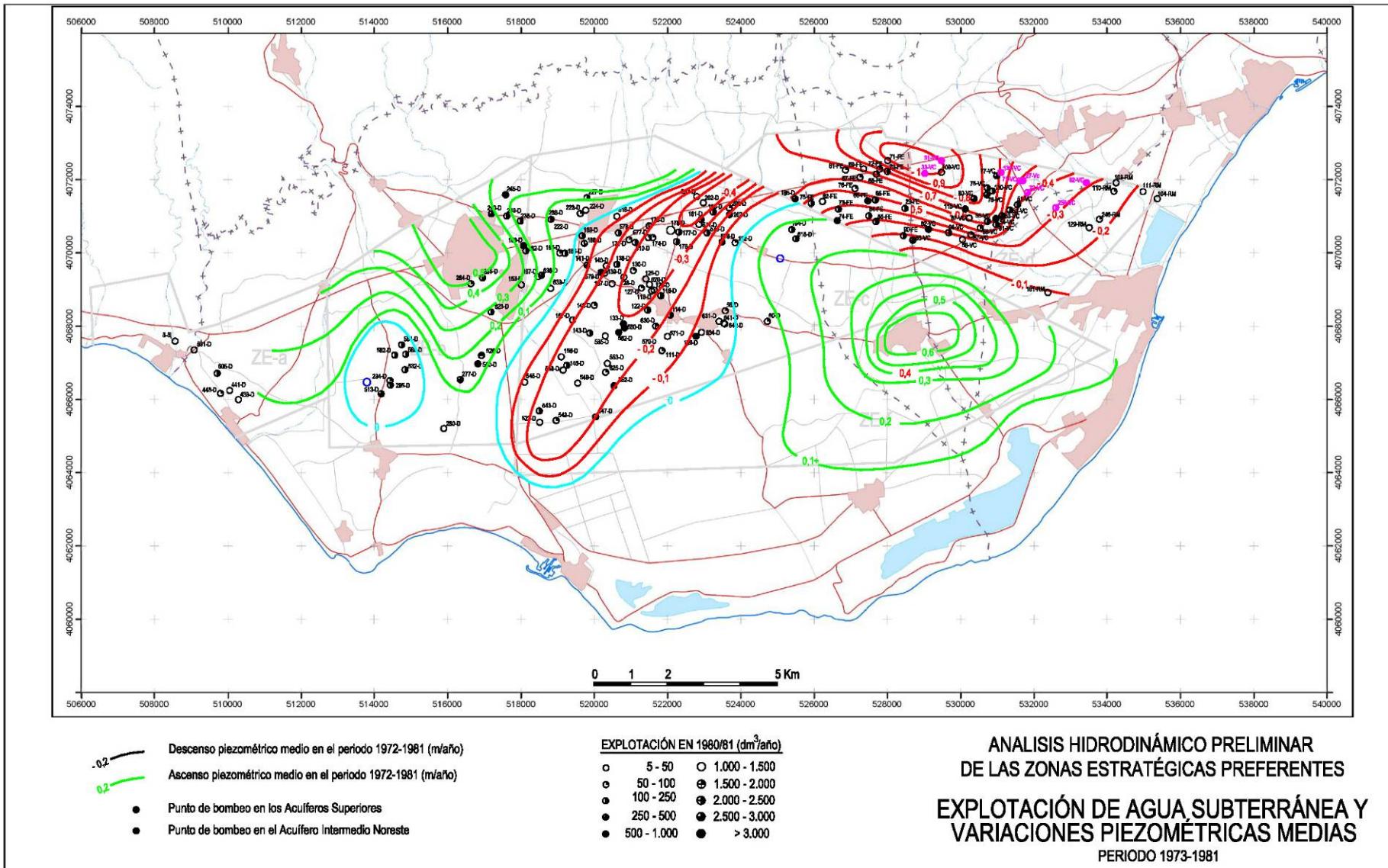


Figura 7.2.1: Explotación del agua subterránea y ascensos / descensos piezométricos medios en el período 1973 – 1981. Se refleja una de las distribuciones más extensas de captaciones de estas coberturas y, con ello, las grandes superficies sin reconocer prácticamente por sondeos y consecuentemente con muy poca información. Del documento 181 en Anexo 8.

El paso siguiente del trabajo consistió en la **selección de puntos y ejecución de nuevos ensayos de bombeo** (con instalación utilizable o sin ella) **en los mismos**, lo que requería del apoyo de técnicos muy experimentados en este Campo y un conocimiento actualizado del estado de las obras a utilizar, posibilidades de desagüe del agua bombeada, en su caso la disponibilidad de tiempo para ensayos de mayor duración, etc. La **Figura 7.2.2** refleja la situación de los puntos en los que se han realizado ensayos complementarios de hidrodinámica subterránea. El Documento 179 recoge la información pormenorizada sobre esta actividad.

En el Documento 184 se presenta la actividad que integra los resultados de las precedentes y la inicialmente concebida para este trabajo de análisis hidrodinámico, mediante la aplicación de procedimientos analíticos para todo el Acuífero Superior Central y la cobertura del área de El Viso del Acuífero Superior Noreste, que incluye las ZEP de las coberturas, un objetivo muy ambicioso teniendo en cuenta las características y complejidades de todo tipo que existen para resolverlo en el tiempo disponible.

De esta manera, dadas las circunstancias, por decisión de la dirección hidrogeológica de los Trabajos de la Fase I se adoptó el criterio de ceñirse, en esta actuación, **a la modelación del flujo subterráneo del ASC (Figura 7.2.3) para su aplicación a la Zona b y la Zona c**, dejando para otra ocasión las actuaciones similares en las Zonas a y Zona d, con problemáticas y funcionamientos peculiares, en cada caso (entre ellas que en estas dos zonas se han producido inversiones del flujo subterráneo -con el AIN y el AItN en el caso de la ZEP d no suficientemente documentadas- que complicarían la modelación y debilitarían más la confianza en los resultados proporcionados por la misma). La falta de datos en el ámbito de la **Zona f** se resolvió mediante el artificio de imponerle un potencial determinado.

Esta limitación actual a la extensión del Modelo pretendió adaptarlo a las áreas con mayor número de datos contrastados, con el objetivo de fortalecer la credibilidad de los resultados. No obstante, para el futuro deberá ajustarse más con la adquisición de los nuevos datos contrastados, derivados de la ejecución de algunos puntos específicos de observación adecuados, donde obtener datos representativos de piezometría, características hidrodinámicas y físico-químicas, e incluso como investigación de posibles entornos potenciales susceptibles de implantar bombeos complementarios en estos acuíferos de cobertura.

Un tratamiento especial se dio a la ZEP Entorno de la Balsa del Sapo (c) donde se encuentra la laguna de la Balsa del Sapo, como se sabe un humedal generado por la actividad antrópica en este ámbito, que merece ser conservada, de una forma controlada, por sus características paisajísticas y riqueza de fauna y flora.

El crecimiento continuo del nivel piezométrico del ASC, derivado esencialmente de la infiltración de los excedentes de los usos en la superficie de este acuífero –cuya cota de estabilización es imprevisible- obliga a realizar bombeos en determinados entornos del mismo y a exportar los volúmenes extraídos a otras zonas, con el objetivo de contrarrestar estos ascensos antrópicos del nivel del agua, fijándolo donde convenga para evitar los problemas de inundaciones en las instalaciones urbanas, agrícolas, vías de comunicación, etc. En el caso de la Balsa del Sapo, además de estas instalaciones para la extracción, se ha decidido fijar un nivel de seguridad del agua de la laguna que sea también compatible con la conservación de la misma.

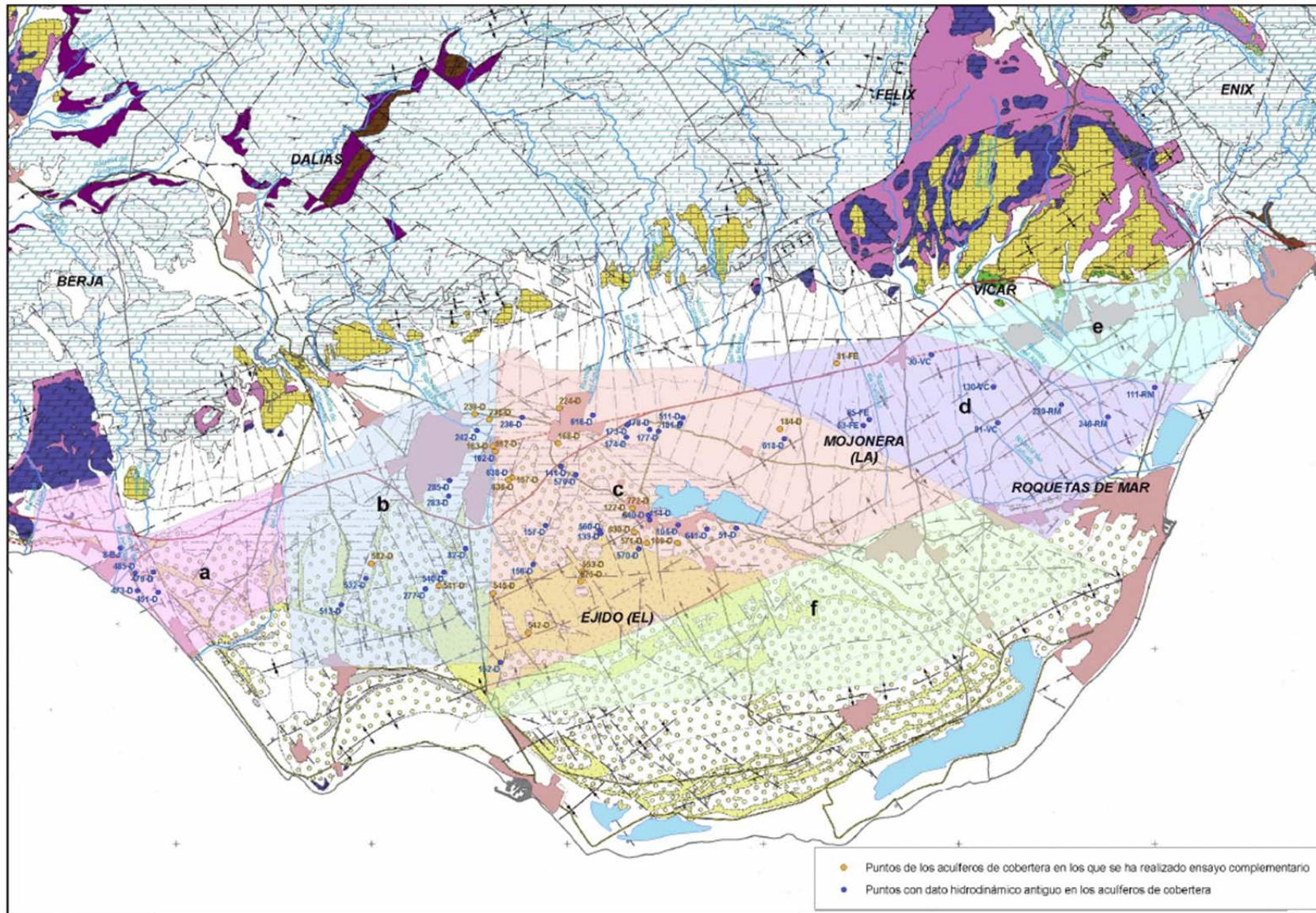


Figura 7.2.2: Situación de los puntos en los que se han realizado ensayos complementarios de hidrodinámica subterránea. Del documento 179, en Anexo 8.



0 1 2 5 Km

MODELO MATEMÁTICO DE FLUJO
DE LAS ZONAS ESTRATÉGICAS B Y C
ORTOFOTO DE DICIEMBRE/2009

Figura 7.2.3: Discretización de celdas para el modelo de flujo del ASC. Del documento 184, en Anexo 8.

La calibración del modelo de flujo realizado se extendió al año 2010/11 para incluir el extraordinario pico de humedad de 2009/10, presentando después tres simulaciones fijando siempre el nivel de seguridad establecido para el citado humedal, compatible con la erradicación de los problemas de inundaciones aludidos. Se trata de un chequeo de funcionamiento de la herramienta para reproducir **distintos supuestos de distribución de bombeos continuos**, que fueran compatibles con la sostenibilidad del ASC y de la laguna: sólo en la laguna; repartidos entre ésta y el borde norte de descarga del ASC en el AIO y el AIN (a través del ASN); y distribuidos en este borde norte y el suroeste de la laguna, además de una extracción directa en ésta.

En los tres supuestos seleccionados se obtendrían, respectivamente, hasta 8 hm³, 8.26 hm³ y 13.25 hm³ en el primer año de bombeo (menor en los sucesivos para no rebasar el nivel de seguridad de la laguna), lo que **obliga a indagar otras zonas del acuífero que permitan mayor volumen de bombeos, complementarios** a los preexistentes, para utilizarlos como recursos de sustitución de la disminución de parte de las extracciones en los acuíferos inferiores.

En cualquier caso, la herramienta de modelización obtenida, siendo valiosa, cabe mejorarla como se ha dicho, con datos de nuevas obras utilizables para estudiar la posibilidad de obtener mayores volúmenes de dicha sustitución.

Además, para solucionar el problema de crecimiento rápido del nivel de la laguna ante grandes precipitaciones, fue necesario recurrir a otros cálculos (Figura 7.2.4) para el desagüe del excedente que pudiera acumularse por encima del nivel de seguridad establecido en 22.5 – 23.5 msnm por la AAA (en el Documento 179 se detallan los cálculos establecidos sobre este tema que fue planteado al IGME por la Junta de Andalucía).

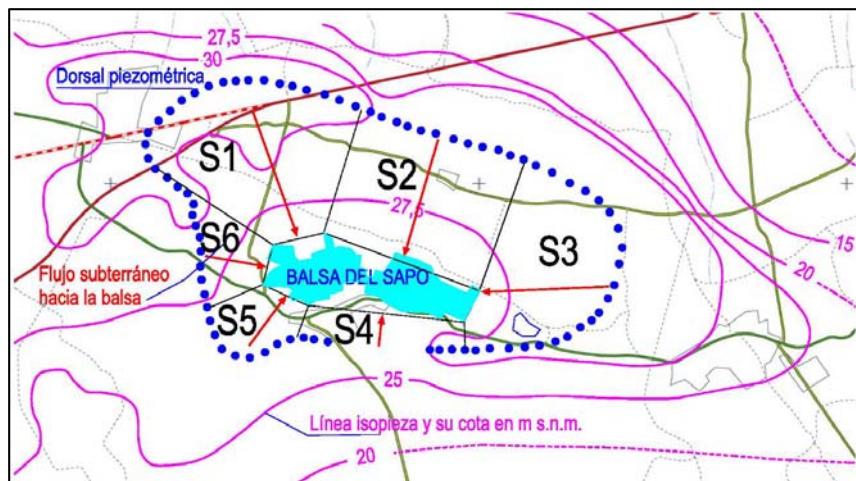


Figura 7.2.4: División en sectores en la zona de la Balsa del Sapo, a efectos de cálculo, para el estudio hidrodinámico del flujo subterráneo del ASC en el entorno de la laguna.

Como resultado del análisis hidrodinámico destinado a resolver este problema, se determinó la necesidad de bombear un complemento a los 180 L/s de capacidad de extracción de la laguna, instalada años antes, que resultó ser del orden de 500L/s. Con la capacidad total de bombeo (de 680 L/s) ya operativa, el problema de inundaciones en el entorno del núcleo de Las Norias ha quedado resuelto. Este caudal, se recuerda, no podrá mantenerse durante períodos largos para no rebasar el nivel de seguridad para la conservación del humedal; las experiencias desde su implantación han impuesto la necesidad de tiempos de parada.

Los cálculos realizados de afección al ASC con dicho bombeo en la laguna de la Balsa del Sapo -determinando su radio de influencia- han mostrado una buena respuesta del acuífero, que apoya el propósito de obtener mayores rangos de extracción complementaria en el mismo que los resultantes de las simulaciones anteriormente descritas, aunque, lógicamente, tendrían que realizarse en entornos ajenos a dicho humedal (Documento 179, páginas 147-158).

7.3.- ACTUALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DE LOS ACUÍFEROS INFERIORES: PROPUESTA DE CORRECCIÓN A 2012 (TRABAJO 2E)

7.3.1.- Actualización del estado de estos acuíferos

Cuando se diseñó el Programa y el contenido de la Fase I, **en el año 2006**, ya prácticamente se había producido el abandono de explotaciones en las zonas más orientales del AIN (Aguadulce y La Gangosa – Vícar) debido a su salinización por entrada de agua de mar. Así, la explotación de este acuífero se concentraba en las áreas interiores de El Viso y El Águila. Hasta entonces, no se habían registrado indicios de que hubiera alcanzado estas áreas el proceso contaminante en profundidad; incluso en el sondeo de investigación (167-Vc, de 1220 m de profundidad) de la Junta de Andalucía, realizado en el año 2001 y situado en El Viso, se reconoció una gran potencia del acuífero AIN, toda ella saturada de agua dulce, que corroboró que aún no habían llegado a estas áreas las mezclas de agua marina, estando los niveles piezométricos prácticamente de forma continua en el entorno de -10 msnm, o más bajos, durante dicho año, cotas que alcanzarían entre -13 y -20 msnm, respectivamente en El Viso y El Águila en el año 2006. La progresión del descenso piezométrico en estas dos únicas áreas con explotación del AIN impuso la necesidad de vigilar la posible llegada de este proceso de salinización a las mismas, por su elevado volumen de extracciones y conexión lateral con las citadas áreas intruidas del sector oriental del AIN. Con esta situación ya se planteó, para estas dos áreas de explotación, la necesidad de reducción de sus bombeos (que **en 1999/00**, eran del orden de 18 y 32 hm³/a para El Viso y El Águila, respectivamente) **como medida de protección de la disponibilidad de esta reserva dulce de forma sostenible**.

En 2006, para el caso del AIO, con un bombeo ya en 1999/00 del orden de 57 hm³/a en sus zonas libres (áreas de El Tomillar, Pampanico y Tarambana), y de 9 hm³/a en su área confinada, las profundidades de las captaciones no habían permitido detectar de forma concluyente la aparición de mezclas con agua de mar en el agua de bombeo, aunque desde el principio de la década de 1980 se hubiera deducido (sin ninguna duda) la existencia de un trasvase lateral de flujos salados desde el acuífero costero AEBN -casi totalmente salinizado por agua de mar (según se comprobó a mediados de la década de 1980)- al área de Tarambana del AIO. Dada la gran potencia de este acuífero carbonatado, la escasa penetración relativa de sus captaciones, y las características de la zona de transferencia de los flujos salados desde el citado acuífero poroso costero (con una reducida franja de contacto y una discreta transmisividad de paso), existían, para esta investigación, incertidumbres acerca del grado de urgencia de la disminución de bombeos en el AIO, a pesar de la situación clara de desequilibrio entre sus aportaciones medias y extracciones, que ya le habían conducido, tras una tendencia continua de descenso piezométrico, a cotas próximas a 40 m bajo el nivel del mar en 2006.

En el planteamiento de actividades para la Fase I, conocidos la geometría y el funcionamiento de estos acuíferos inferiores, se **impuso la necesidad de abordar**, de la mejor manera posible, **la detección con antelación de la progresión de la salinización en dichos acuíferos inferiores, antes de que alcanzara las cotas de captación en los pozos de bombeo**. Para ello, el diseño y la ejecución de actividades de esta fase, concebida para los dos primeros años, se concretó en el análisis de detalle de las posibilidades que ofreciera la infraestructura de sondeos particulares existente (lógicamente insuficiente para el objetivo perseguido por su escasa penetración, etc.) **dejando para el inicio de la Fase II**, prevista para el tercer año del **Programa, la ubicación de una red mínima de observación en profundidad de la salinización** de los acuíferos inferiores –la denominada **red ROPSAI**–.

Entre 2008 y 2009, la investigación desarrollada en ambos acuíferos inferiores (mediante la red de sondeos particulares) para los objetivos prácticos señalados, puso en evidencia la insuficiencia de puntos de observación para alcanzarlos, por lo que se llevó a cabo la **propuesta de inicio de la ejecución de la red ROPSAI**, de forma solapada con la Fase I, propuesta sobre la que no se ha llegado a tomar ninguna decisión.

La **Figura 7.3.1** muestra la localización del sondeo a ejecutar con **mayor prioridad de la red ROPSAI**, situado en la zona en que más fácilmente podían detectarse las mezclas de agua salada en el AIO, por su proximidad a la de transferencia de estos flujos desde el acuífero costero AEBN prácticamente salinizado. Además de constituir una posición estratégica para el seguimiento del proceso en este acuífero, serviría de indicador de la prioridad, con respecto a la del AIN, para orientar el reparto de cancelación de sondeos por el Plan de Ordenación, cuando se dispusiera de los previstos recursos de sustitución. La propuesta no recibió ninguna crítica sobre su idoneidad.

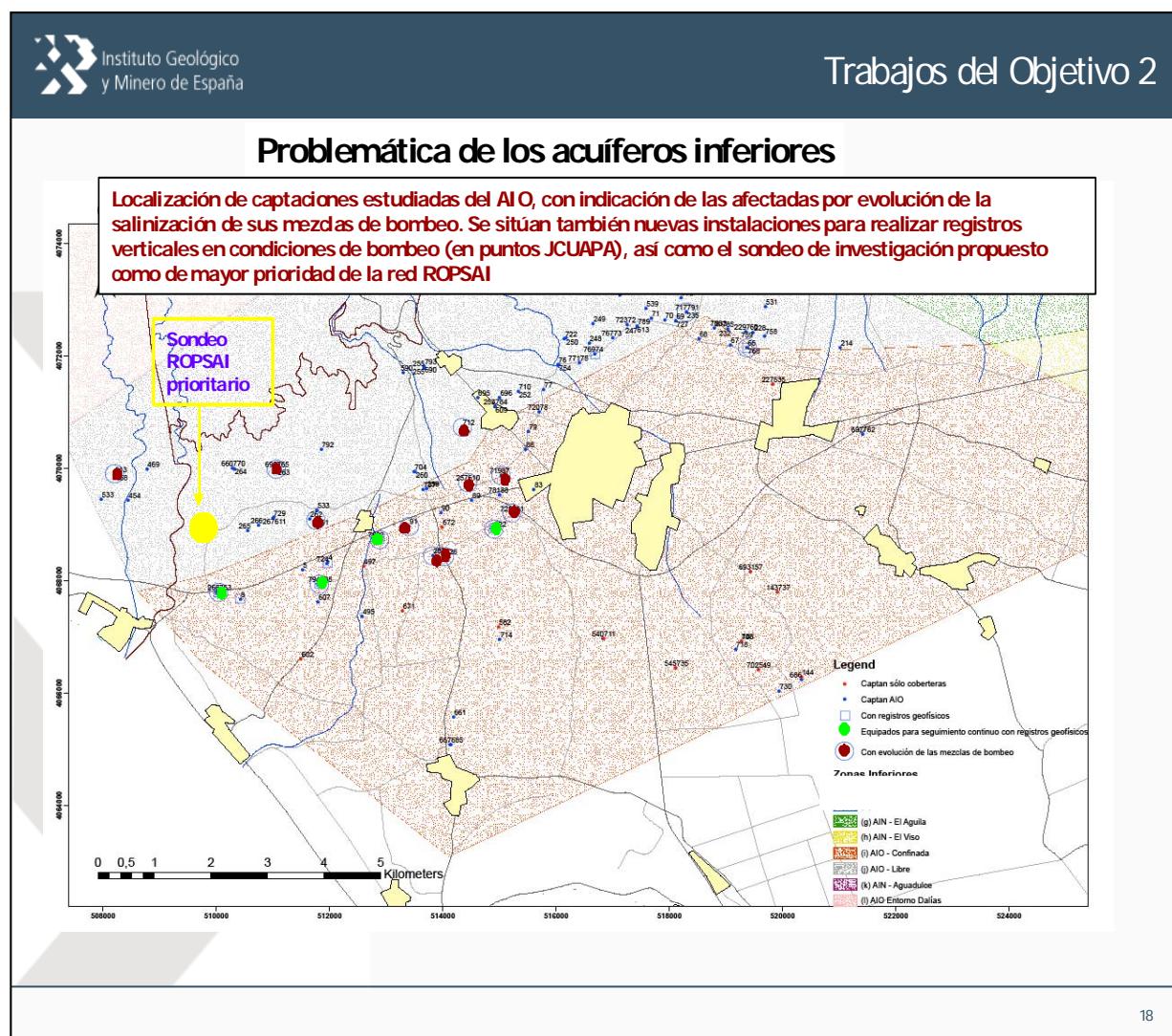


Figura 7.3.1: Localización de los puntos del estudio de la salinización en el AIO y del sondeo propuesto como de mayor prioridad para su ejecución de la red ROPSAI. Del documento 176, de 2012, en **Anexo 9**.

En cuanto a los principales resultados obtenidos hasta la fecha, derivados del estudio en sondeos particulares (con el apoyo de la JCUAPA), se tienen los siguientes datos:

En estas zonas de explotación, hasta 2007 no se empezó a disponer de datos sobre incrementos de la salinidad del agua extraída. **El origen de estos aumentos se corroboró en 2009**, mediante la realización de algunos registros geofísicos en sondeos de explotación, con los cuales se detectó el incremento de la salinidad con la profundidad y con el tiempo (entre 2009 y 2012), pese a sus discretas cotas de penetración. **Los valores máximos de salinidad en el agua de bombeo se han detectado en octubre de 2013, indicando todo ello un avance muy importante del proceso en el AIN entre 2001 y la actualidad.**

En el AIO, con el estudio detallado de nuevos datos e históricos (ver figura anterior), en cada una de las verticales de captaciones privadas existentes (correspondientes en muchos de los casos a dos y tres sondeos con distintas penetraciones) se obtuvo en 2010 la constatación de la **influencia de la salinización de las reservas dulces por efecto de la entrada de agua de mar desde el AEBN**. Para ello, **fue necesario el análisis conjunto de datos de mezclas de bombeo y de registros verticales realizados en condiciones de explotación**, mediante la instalación de dispositivos específicos para ello (en colaboración con la JCUAPA). Estos registros no se pudieron hacer antes por no disponerse de medios para llevarlos a cabo.

Este hallazgo tiene gran trascendencia para la valoración del **estado de necesidad de una importante reducción de los bombeos en el AIO**, dado el volumen de extracciones que soporta y su sobreexplotación intensa que, aún en las condiciones de entradas por precipitación más extraordinarias de los últimos 70 años, no ha recuperado su depresión por encima de los -28 msnm. Para evitar el deterioro que anuncian estos registros, se necesita eliminar tales desequilibrios, adoptando dos tipos de **medidas correctoras: con actuaciones en el acuífero costero AEBN**, para aminorar o eliminar las transferencias saladas al acuífero inferior, y **restituyendo los niveles del AIO** a cotas mucho más elevadas, mediante la reducción drástica de su bombeo.

Con respecto al AIN, el análisis realizado hasta la fecha con la infraestructura de captaciones disponible, **ha permitido conocer la progresión de la salinización desde las áreas orientales** (Aguadulce, La Gangosa – Vícar) hacia las actualmente explotadas (ya **detectada en la mayor parte de la zona confinada de El Viso y en el extremo suroriental de la zona libre de El Águila**), situación que se mantiene después de la ocurrencia de las precipitaciones mayores de la serie histórica, lo que determina la **necesidad de reducir** cuanto antes **los bombeos en las dos áreas de explotación de este acuífero (El Águila y El Viso)**.

A parte de este riesgo de deterioro de los acuíferos principales por mezcla con agua de mar, estos acuíferos reciben unos flujos, potencialmente contaminantes, por las mezclas con aguas procedentes de acuíferos de sus coberturas relacionadas (de forma natural o vía sondeo) de peor calidad natural y mayor alteración de la misma por las actividades antrópicas desarrolladas sobre los mismos. Estas mezclas, en algunas captaciones de determinados sectores, han dado lugar al abandono de las mismas por resultar ya sus aguas inaceptables para las demandas.

Desde el año 2000 hasta mediados de 2010, se ha producido el abandono / modificación de la tercera parte de las 164 captaciones de explotación que se usaban en estos acuíferos inferiores.

7.3.2.- Propuesta de corrección a 2012

Esta propuesta quedó incluida en el Documento 176 (en el **Anexo 9**) que se envió a las Partes del Convenio en febrero de 2012. Desde los ejecutores de la gestión se habían solicitado estimaciones preliminares de la cuantía de las reducciones necesarias del bombeo actual de los acuíferos inferiores, por una parte y, por otra, la que puede obtenerse del incremento de bombeo en los acuíferos de cobertura -para contribuir, previo tratamiento, a los volúmenes necesarios de sustitución de las extracciones en los acuíferos inferiores-.

Para responder a lo solicitado acerca de una estimación de prioridades en la aplicación de recursos de sustitución, con todas las reservas propias de la incertidumbre sobre los ritmos de avance del proceso de salinización en las tres zonas de explotación de los acuíferos inferiores (del AIO, de El Viso y de El Águila) que no pudo subsanarse con la ejecución de algunos puntos propuestos de la red ROPSAI, **se valoró la situación de estas tres zonas en 2012 para analizar sus grados de prioridad aparente**.

Este equipo de trabajo facilitó un avance de estimaciones muy provisionales, como órdenes de valores manejables de momento por los gestores de la zona. Según esta información parcial se contaba con previsiones sobre recursos disponibles de sustitución de bombeos en los acuíferos inferiores: para 2015, alcanzarán $32 \text{ hm}^3/\text{a}$ de agua desalada y $15 \text{ hm}^3/\text{a}$ de agua regenerada; para el 2027 estas cantidades llegarán, respectivamente, a 54 y $20 \text{ hm}^3/\text{a}$. Para el primer horizonte señalado, tales aportaciones son muy insuficientes (si se aplica un criterio realista) y tendrán que ser complementadas con la obtención de otros volúmenes de diferentes procedencias. Se podrían considerar para este grupo, y entre otras, las siguientes:

- $20 - 25 \text{ hm}^3/\text{a}$ de incrementos de bombeo en las coberturas, esencialmente en las ZEP b y c –incluyendo el bombeo total en la laguna y entorno próximo de la Balsa del Sapo- con el tratamiento / desalobración que precisen para su utilización; con un probable incremento en otros sectores del ASC (zona f) y de la ZEP d.
- $8 - 10 \text{ hm}^3/\text{a}$ procedentes, como aportación media, del Embalse de Beníjar (realmente esta aportación no debe incluirse como nuevo recurso complementario al estar ya utilizándose desde hace años).
- $10 - 12 \text{ hm}^3/\text{a}$ por liberación / permuto del abastecimiento a Almería capital, actualmente desde el AIN en su área de El Águila, dada la existencia de la Desaladora de Almería.

El **total de aportaciones**, considerando la previsión de agua desalada, regenerada y el grupo anteriormente expuesto de ellas, sería de **$75 - 84 \text{ hm}^3/\text{año}$, para sustitución de bombeos de los acuíferos inferiores**.

Fundamentadas en: el conocimiento alcanzado hasta la fecha sobre la geometría y funcionamiento de estos acuíferos del Campo; la evolución histórica en los mismos del uso, y el bombeo que se vienen practicando (por acuíferos y áreas de éstos); así como en el historial de seguimiento de la repercusión que han experimentado en su piezometría y calidad / contaminación del agua que contienen, **el avance de tales estimaciones provisionales es el siguiente**:

1. Para el **AIO**, con un orden de bombeo de hasta $75 \text{ hm}^3/\text{año}$ en la década del 2000, la **reducción de las extracciones** tendría que ser de **$60 - 62 \text{ hm}^3/\text{año}$** , con mayor

incidencia en sus áreas más occidentales. Este **acuífero presenta la mayor prioridad en la aplicación de estas medidas** de disminución de bombeos.

2. Para el **área confinada del AIN (área de El Viso)**, con un bombeo en la década de 2000 de hasta $20 \text{ hm}^3/\text{año}$, tendría que **reducirse su extracción** en unos **$12 - 14 \text{ hm}^3/\text{a}$** , con mayor peso en su sector más oriental, y **también con la máxima prioridad en la implantación de estas medidas**.
3. Para el **área libre del AIN (de El Águila)** con un bombeo para esa década del orden de $30 \text{ hm}^3/\text{año}$, se estima **una reducción necesaria** de extracciones de **$14 - 16 \text{ hm}^3/\text{a}$** , aplicada en su mitad más oriental. De la situación piezométrica actual podría deducirse una disminución de la prioridad de esta reducción de bombeo, aunque ello depende de la evolución futura de sus niveles piezométricos.

Estas estimaciones, por parte del Estudio, quedan muy en el aire. Después de los picos de humedad de años precedentes cabe esperar una secuencia de años secos (no una sequía extraordinaria, por inesperada, sino una situación frecuente en estas coordenadas geográficas). No se tienen mejores puntos de observación que los de siempre, para seguir avanzando en el seguimiento de los procesos de salinización en marcha, ni siquiera se tiene información sobre si están adelantándose actuaciones necesarias para asegurar, por ejemplo, la disponibilidad prevista de bombeos en las coberturas para cuando la Desaladora se ponga en marcha.

Es decir que, **cuando se empiecen a poder aplicar los recursos de sustitución previstos, no se puede predecir cómo estará la situación de salinidad en cada una de las tres zonas de explotación de los acuíferos inferiores**.

Estas **estimaciones previas de reducción de bombeos en las áreas preferentes de los acuíferos inferiores, muy preliminares, realizadas a principios de 2012, ya tendrían que modificarse muy probablemente, a la vista de los datos que se han obtenido hasta el final de 2013.**

7.4.- ANÁLISIS DE LA CONVENIENCIA/VIABILIDAD DE RECARGAS EN EL AEBN COMO MEDIDA PROTECTORA DEL AIO (TRABAJO 2F)

Este trabajo se fundamenta en las investigaciones históricas realizadas por el IGME, relacionadas con el modelo geométrico y de variación del funcionamiento de los acuíferos de la llamada **Zona Estratégica Preferente a** (ver Fig. 7.1.1, apartado 7.1) –ZEP a- con el AEBN, la parte occidental del AIO (en zona libre y zona confinada) y el extremo noroccidental del ASC.

En esta ZEP se integran los siguientes cambios registrados en las relaciones de flujos subterráneos entre: el AIO y el ASC; el AIO y el AEBN (la Figura 7.4.1 muestra un ejemplo); entre el ASC y el mar; el ASC y el AEBN; y, por último, los cambios entre el AEBN y el mar. Esta compleja integración de flujos descrita en la década de 1980 por dicho Instituto, mostraba, ya entonces, la intrusión de agua de mar en el AEBN, el cual transfería lateralmente al AIO (el acuífero más explotado del Campo) las mezclas de aguas dominante mente marinas (Fig. 7.4.2).

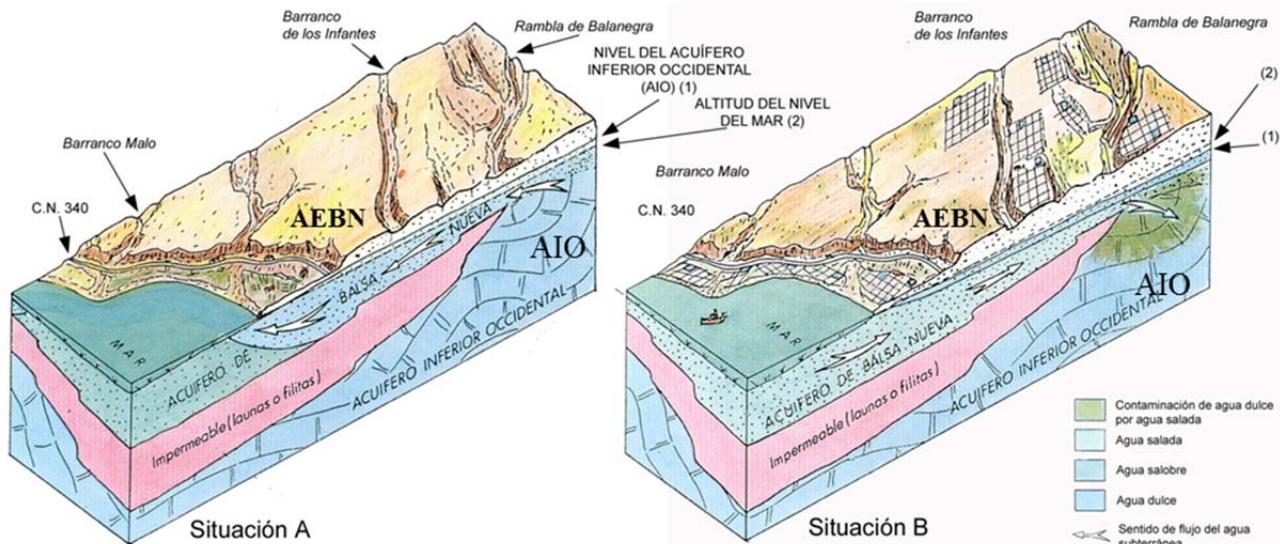


Figura 7.4.1: Esquema de la relación de flujos en el sector noroccidental de la **Zona Estratégica Preferente a**. **Situación A:** en régimen natural, el AEBN constitúa la zona de descarga del AIO al mar. **Situación B:** en régimen de bombeo, es la actual zona de entrada de flujos salados, por mezcla con agua de mar, a dicho acuífero, desde principios de los años 80 (transmitidos al AEBN y de éste al acuífero carbonatado, AIO). Modificada de Ref. 355 IGME (1988): Las aguas subterráneas y los acuíferos del Campo de Dalias, IGME, 35pp.

La importancia de esta transferencia de flujos salados al AIO, acuífero en situación de niveles en descenso casi continuo (hasta valores más bajos de -40 msnm), imponía analizar la posibilidad de restringir / eliminar la entrada de este flujo contaminado que condenaba al Acuífero Inferior Occidental a una pérdida progresiva de sus muy importantes reservas dulces.

Estas circunstancias –que se difundieron ampliamente a Administraciones Públicas y usuarios- junto a las que proporcionaba el ya reconocido aislamiento del mar del AIO en constante permanencia bajo la cota cero, generaron una colaboración provisional con el SGOP para estudiar la viabilidad de recarga artificial en el ámbito del AEBN, con el objetivo de aminorar / eliminar esta contaminación salina.

Para ello sólo se contaba con eventuales excedentes no regulados, ni utilizados en el Bajo Adra, mediante el dispositivo: Embalse de Beníñar – Acuífero de Fuente Marbella – Acuífero del Delta del Adra, descargados al mar de forma natural o por desembalses, así como con la reciente disponibilidad del Canal de Beníñar, muy cercana a la zona del AEBN en su entrada al Campo.

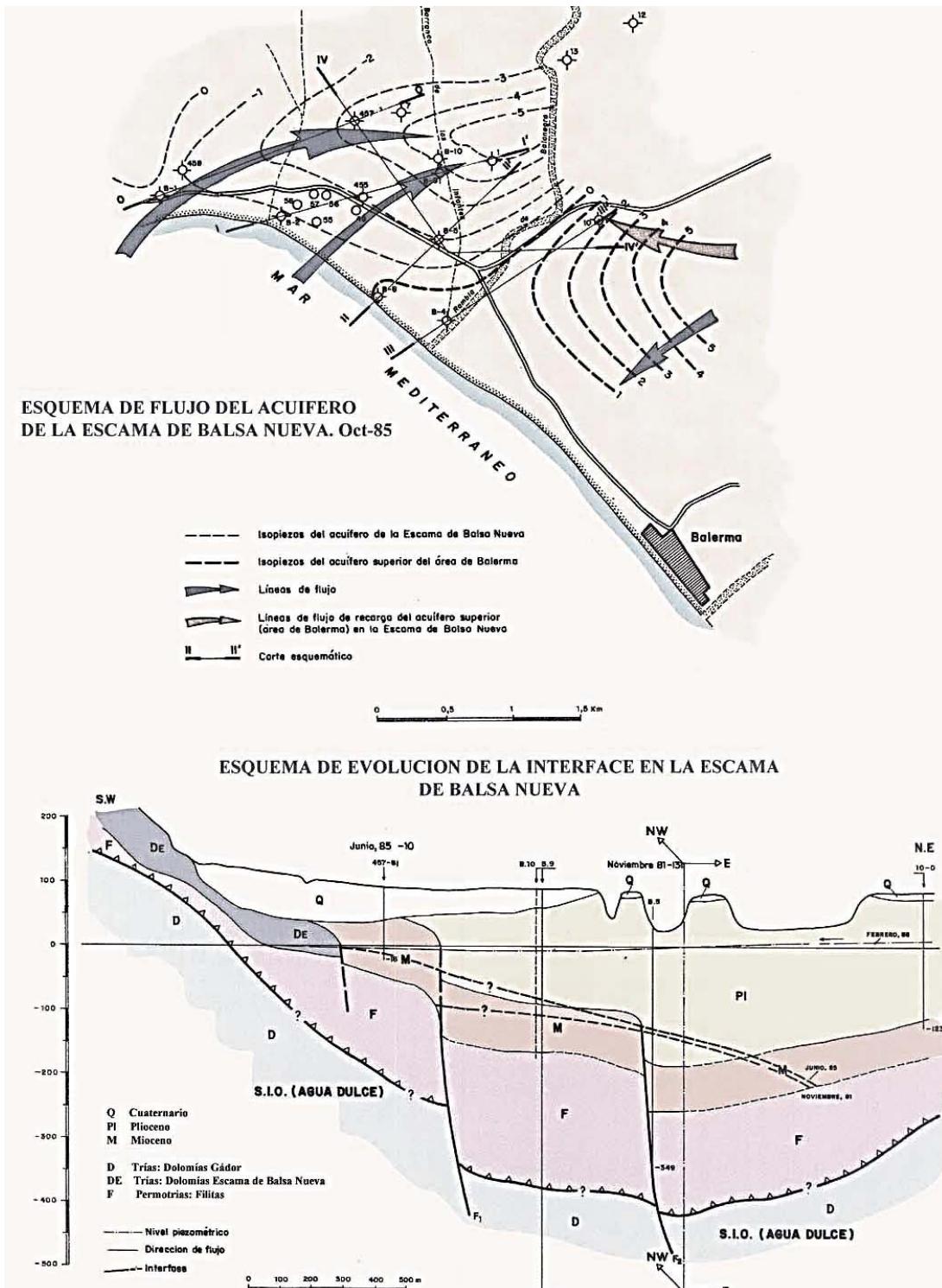


Figura 7.4.2: ZEP a: Trabajos del IGME de 1985/86. Superior: esquema de flujos del AEBN y el ASC para octubre de 1985. Inferior: geometría y evolución de la interface (entre Noviembre de 1981 y Junio de 1985). Incluye sondeos B-9 y B-10 del IGME realizados a mediados de la década de 1980. Figura de Ref. 86 IGME, 1986.

Con estos objetivos, se aprovechó la construcción por el SGOP de tres sondeos mecánicos en el AEBN que, sumados a los realizados años atrás por el IGME, delimitaron mejor la geometría de este pequeño acuífero costero (Figuras 7.4.3 a 7.4.5).

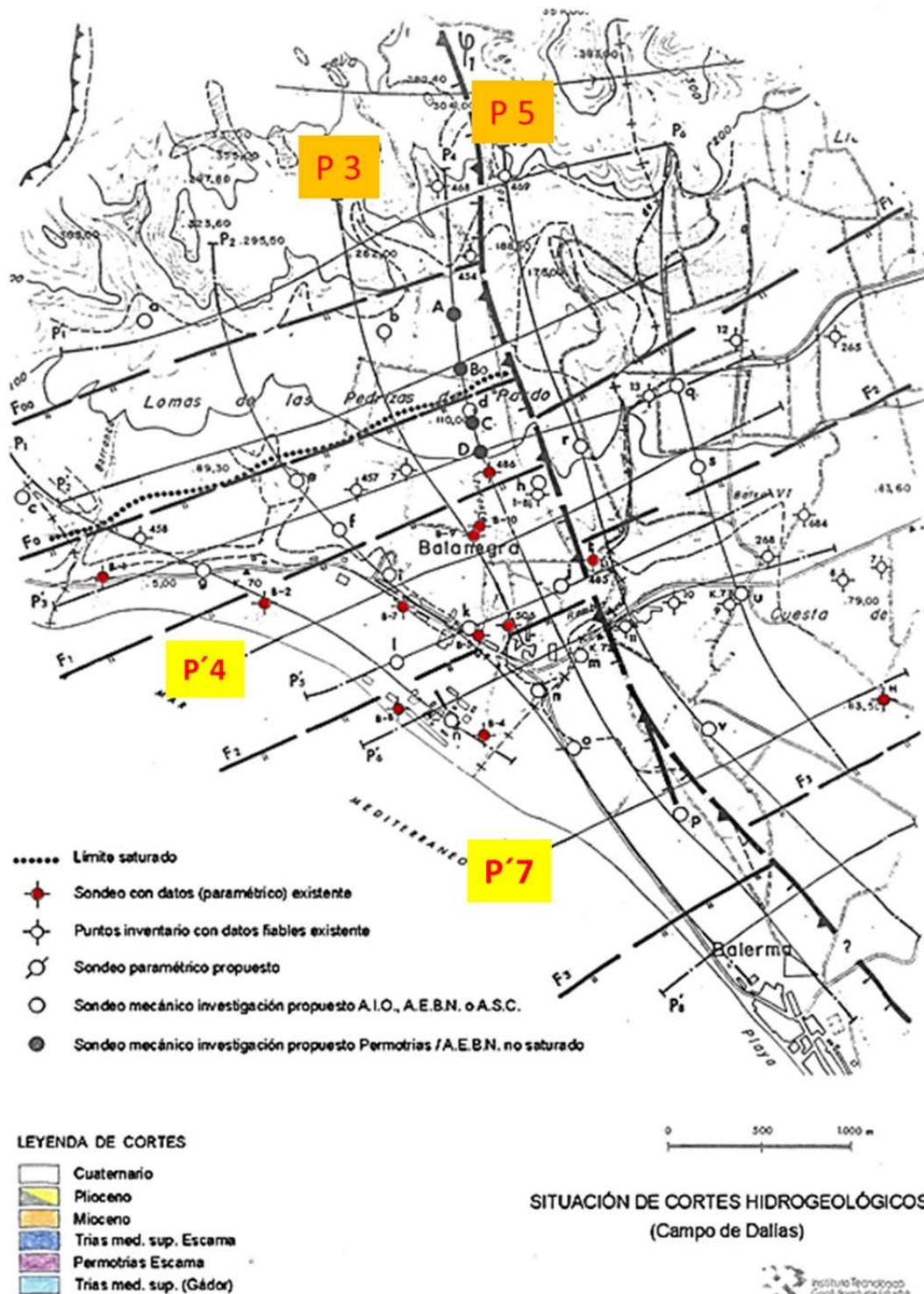


Figura 7.4.3: Situación de sondeos, bloques estructurales y cortes hidrogeológicos esquemáticos derivados de las investigaciones del IGME (actualización de 1991). Se destacan los perfiles que se exponen en las Figuras 7.4.4 y 7.4.5. Figura modificada de Ref. 733, en Anexo 1.2.

Estas nuevas obras podrían utilizarse para realizar ensayos de recarga, con los que obtener muy buena información hidrodinámica para modelar el complejo intercambio de flujos de la zona. Dicha modelización serviría para analizar la viabilidad del referido propósito que, finalmente, no se llevó a cabo.

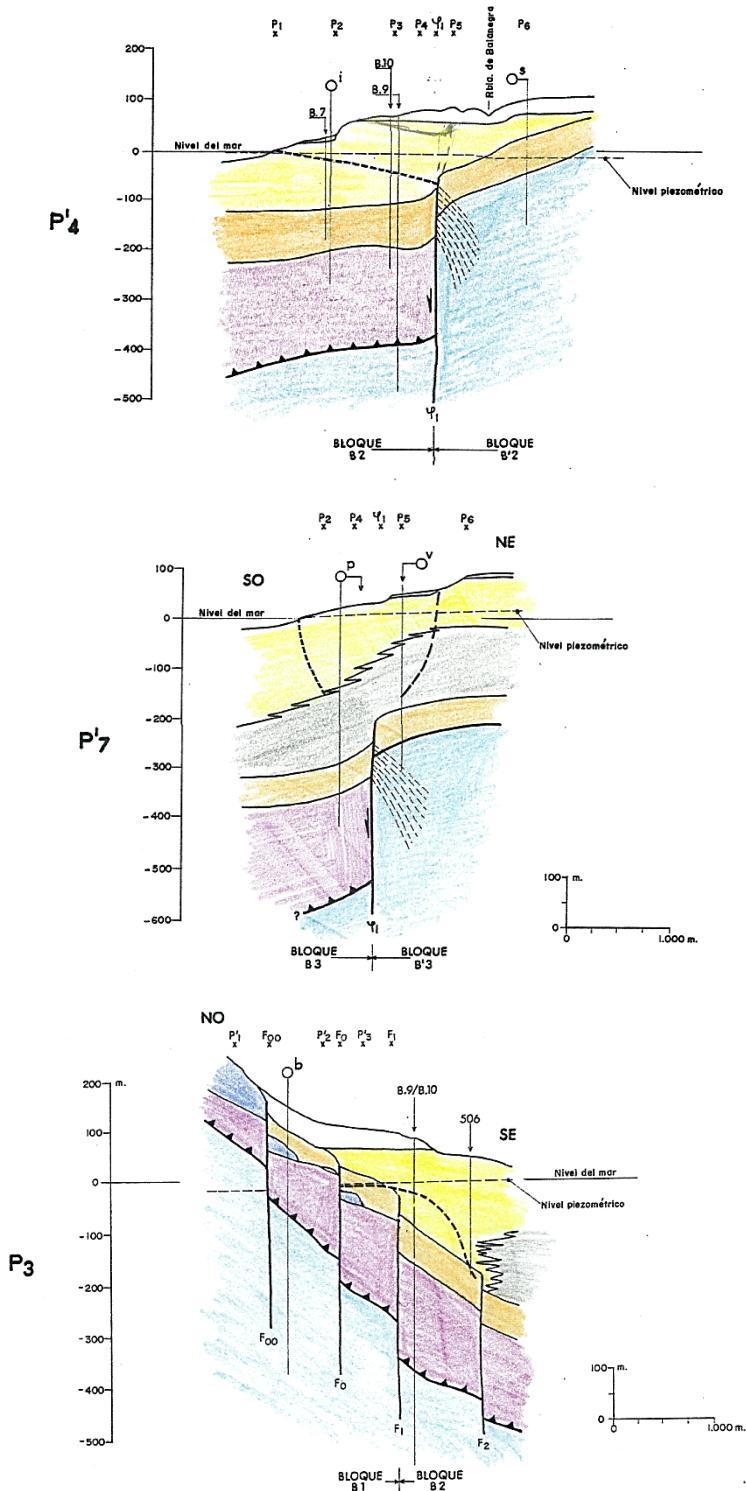


Figura 7.4.4: Cortes hidrogeológicos esquemáticos P'4, P'7 y P 3, del estudio del IGME de 1991. Ver trazas y leyenda de materiales en [Figuras 7.4.3](#). Se indican los flujos salinos desde el AEBN al AIO (penachos en los perfiles P'4 y P'7 en bloques B'2 y B'3, respectivamente) y la posición de la interface en el AEBN (con línea discontinua) en el Perfil P3. De Ref. 733, en Anexo 1.2.

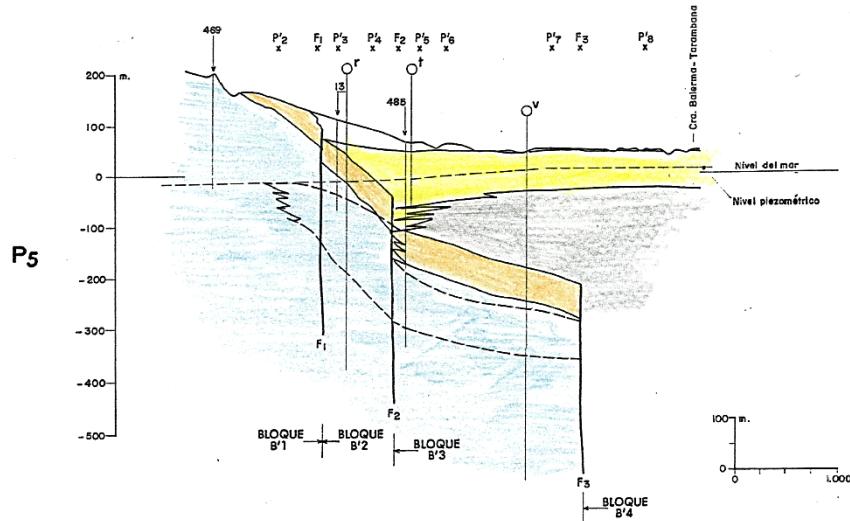


Figura 7.4.5: Corte hidrogeológico esquemático P 5 (que discurre por la zona libre y confinada del AIO). Ver traza y leyenda de materiales en Figuras 7.4.3. Se indica el sector de influencia del agua salada, procedente del AEBN, en el AIO (delimitado por líneas discontinuas). De Ref. 733, en Anexo 1.2.

Al haberse interrumpido la colaboración con el SGOP, dentro de la Fase I se planteó la elaboración de un **modelo de flujo simplificado que pudiera reproducir la información geométrica y de funcionamiento conocida, sobre estas transferencias** entre acuíferos, y entre éstos y el mar, a lo que se refiere el Trabajo 2F.

Como ejemplo de la relación entre el modelo de flujo simplificado y el de geometría y de evolución del funcionamiento de la ZEP a, se muestran las Figuras 7.4.6 a 7.4.8 y la Tabla 7.4.1.

Litología y edad	Capa en el modelo de flujo	Sectores de acuíferos y capas del modelo conceptual que contienen, por bloques							
		Bloque NO		Bloque NE		Bloque SO		Bloque SE	
Conglomerados y arenas más o menos arcillosas del Cuaternario.	1	1		1		1	ASC (franja litoral)	1	ASC
Calcarenitas y arenas margosas del Plioceno.	2	2	AEBN libre	2		2		2	
Margas del Plioceno (impermeable).	3	-		-		3	impermeable	3	impermeable
Calcarenitas del Mioceno superior.	4	4		4		4	AEBN confinado	4	
Metapelitas del Permotrías (impermeable).	5		5 impermeable	-		5	impermeable	-	AIO confinado
Dolomías y calizas del Triásico.	6	6	AIO confinado	6		6	AIO confinado	6	

Tabla 7.4.1: Conceptualización en la asignación de capas en el modelo de flujo. Del documento 189 de la Fase I, Anexo 10.

El modelo, elaborado por el IGME, se describe con detalle en el Documento 189, de 2012, incluido en el Anexo 10 del cual se han extraído la Tabla 7.4.1 y las Figuras 7.4.6 a 7.4.8.

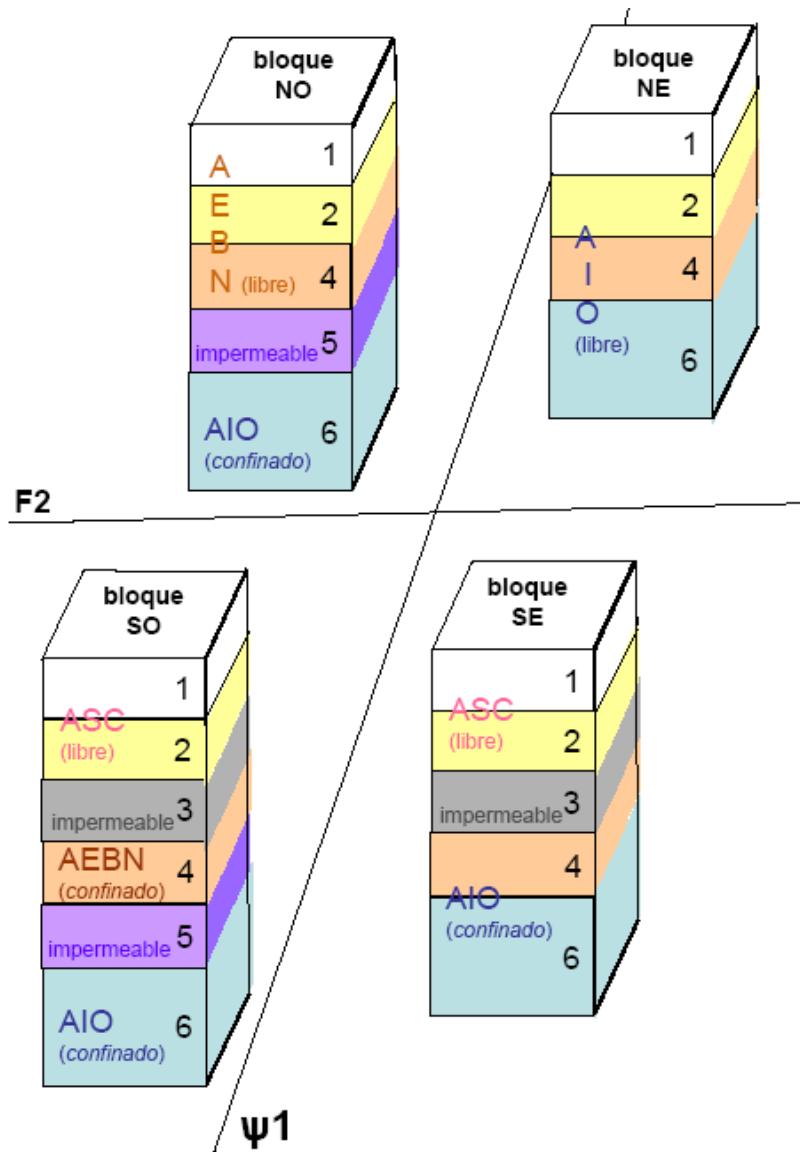


Figura 7.4.6: Secuencias de materiales existentes (capas) y sectores de acuíferos contenidos en los cuatro bloques, que esquematizan la estructura hidrogeológica de la ZEP a: Bloque Noroeste, Bloque Noreste, Bloque Suroeste y Bloque Sureste. La numeración de capas es la establecida para el modelo numérico de flujo: capa 1: cuaternarios; capa 2: pliocenos permeables; capa 3: plioceno impermeable (margas); capa 4: mioceno superior permeable; capa 5: materiales permotriásicos impermeables (metapelitas); capa 6: materiales triásicos muy permeables (ver Tabla 7.4.1). Del documento 189, IGME, 2012, en Anexo 10.

Se esquematiza la zona de estudio en cuatro bloques principales (Tabla 7.4.1 y Figuras 7.4.6 y 7.4.7). Al Bloque Noroeste corresponde la parte libre del AEBN, y la confinada del AIO bajo la anterior. En el Bloque Noreste se incluyen el área libre del AIO, con sus carbonatos triásicos y su montera neógena permeable asociada. Los bloques Sureste y Suroeste corresponden a las partes confinadas del AIO; en el primer caso, bajo el ASC (separado del AIO por las margas pliocenas impermeables), mientras que en el Bloque Suroeste, estos últimos acuíferos están separados por dos tramos de materiales impermeables (capa 3, de margas pliocenas, y capa 5 formada por metapelitas permotriásicas) entre los que se encuentra el tramo confinado del AEBN (capa 4, de calcarenitas del Mioceno Superior).

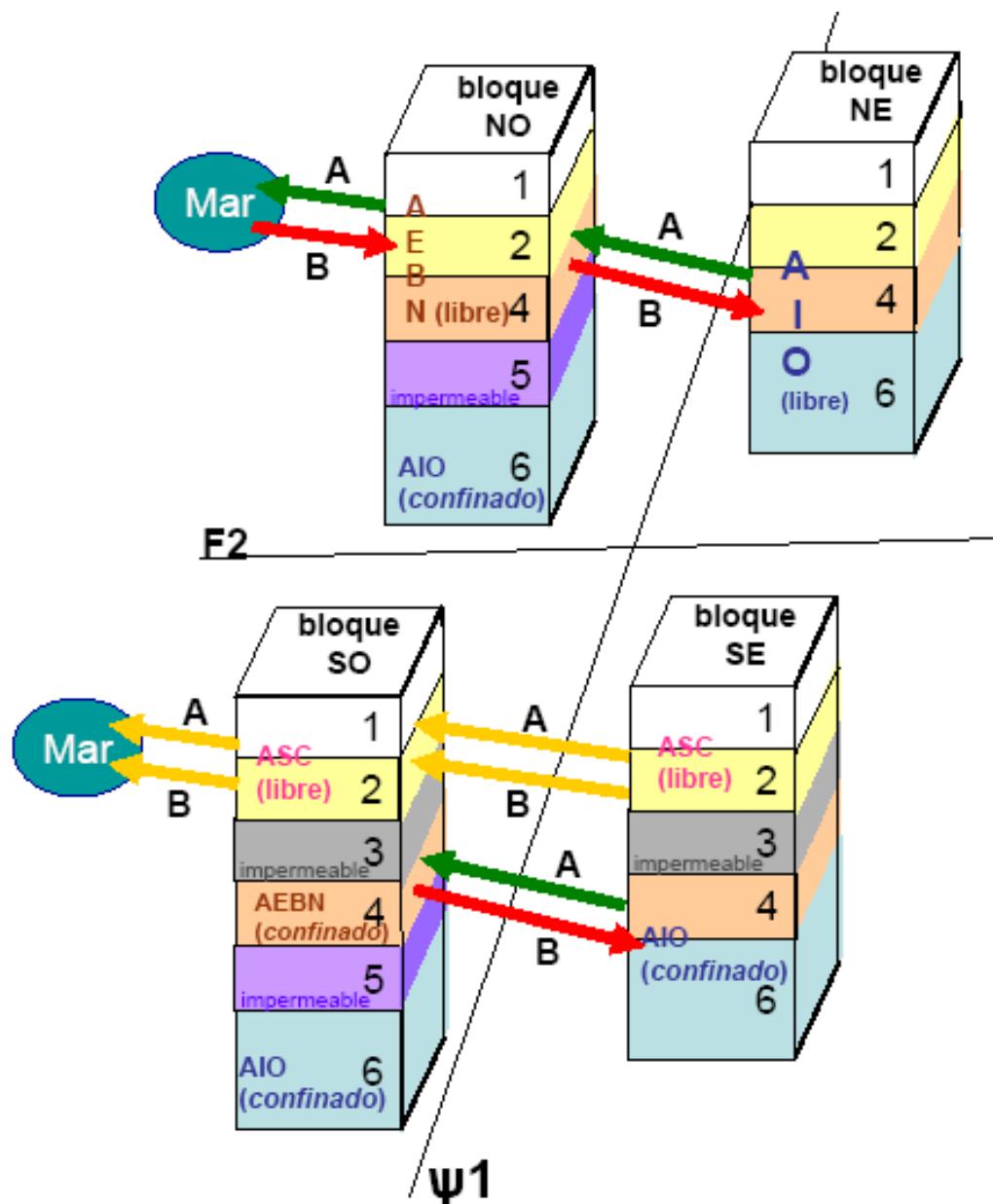


Figura 7.4.7: Esquema de evolución de flujos entre sectores de acuíferos más destacables de la zona de trabajo. **Situación A:** antes de 1980; **situación B:** después de 1980. Las flechas rojas muestran la entrada de agua salada: desde el mar al AEBN, y del AEBN al AIO, después de 1980. Ver leyenda de capas en Figura 7.4.6. Del documento 189, IGME, 2012, en Anexo 10.

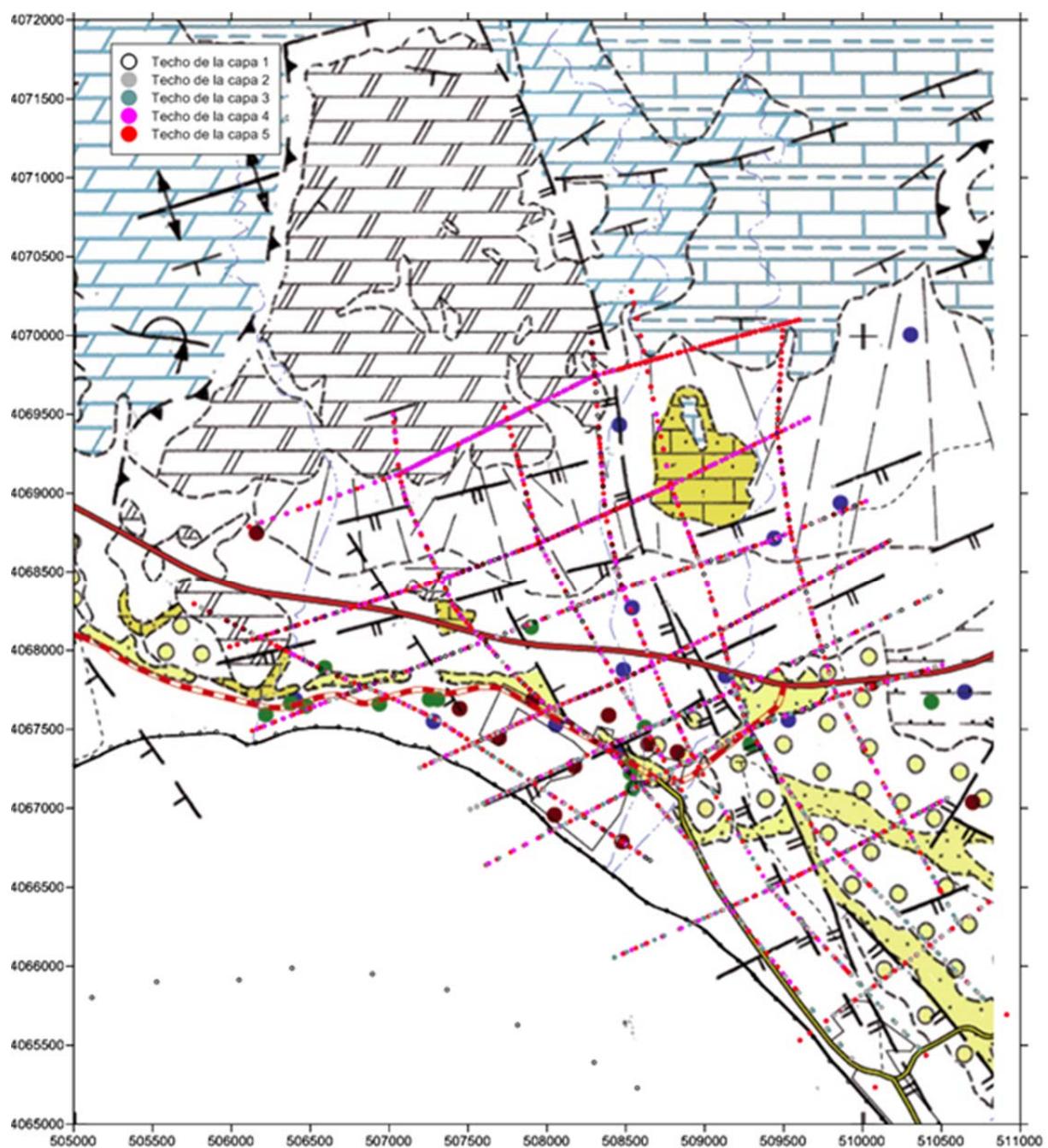


Figura 7.4.8. Cortes hidrogeológicos esquemáticos georreferenciados y situación sobre cartografía hidrogeológica del Estudio del IGME. Del documento 189, IGME, 2012 en Anexo 10.

Esta herramienta numérica, resultado del Trabajo 2F, está disponible para aplicarla en simulaciones diferentes (aunque también pendiente de completar con otras condiciones impuestas). Indudablemente es mejorable, pero puede ser de gran utilidad para los fines propuestos, incluido el de actuaciones de apoyo al Plan de Ordenación de la zona.

CAPÍTULO 8.- TRABAJOS DEL RESTO DE LOS OBJETIVOS DE LA FASE I

8.1.- PRIMERAS INVESTIGACIONES DE MULTITRAZADORES EN APOYO A LA EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LOS CAMBIOS EN LAS TENDENCIAS NEGATIVAS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS ACUÍFEROS INFERIORES (TRABAJO 3A)

A nivel mundial, en distintos sistemas de acuíferos superpuestos explotados vienen actuando factores similares conducentes a la presencia de contaminaciones en la capa más superficial (sobre la que se desarrollan las actividades humanas), por ello cada vez menos explotada, y a la utilización cada vez mayor de la capa profunda por su mejor calidad del agua para las distintas demandas.

Así, en función de la geometría y funcionamiento de los acuíferos en cada zona, la transferencia de flujos potencialmente contaminantes desde los tramos superficiales a los acuíferos profundos (en sus zonas de contacto) puede provocar la pérdida de calidad de estos últimos para las demandas (agrícola, urbana, industrial y ecosistemas asociados) por la entrada de diversas sustancias.

Estas transferencias de flujos entre acuíferos en sus zonas de relación pueden contener sustancias derivadas de muy diversos procesos que tengan lugar en la zona (por mezclas naturales o forzadas con acuíferos salinizados o de mala calidad natural, derivados de la agricultura y la industria, de residuos sólidos, fugas de residuos líquidos, de flujos verticales en captaciones mal construidas o envejecidas, asociadas a determinados tipos de materiales constituyentes de los acuíferos, consecuencia de modificaciones en las condiciones físico-químicas del agua o la matriz del acuífero por efecto de las extracciones, debidas a los tiempos largos de residencia del agua, etc.).

Entre las sustancias potencialmente contaminantes que pueden formar parte de estos flujos subterráneos de acuíferos superficiales y que pueden implicar efectos sobre la salud humana y sobre los ecosistemas asociados a los acuíferos cabe citar: los plaguicidas y productos derivados de la industria, y los metales / metaloides como As, Se, Cr, Cd, etc., consecuencias de diversos procesos (fertilizantes, plaguicidas, aguas residuales, modificaciones en las condiciones de redox por cambios del nivel del agua, disolución, desorción y oxidación de elementos de la matriz del acuífero, vertederos, etc.).

Las sustancias potencialmente contaminantes han podido, o pueden, incorporarse al flujo subterráneo tanto desde la superficie como a determinadas profundidades, atendiendo a la geometría y al funcionamiento de los acuíferos superpuestos del sistema objeto de investigación.

La ocurrencia y evolución de estos contaminantes, relacionables con los distintos procesos actuantes, debe conocerse en lo posible como parte de una gestión responsable y racional de este tipo de sistemas, aunque su estudio reviste de una gran complejidad al tener que considerar los

procesos en las 3D del espacio (es decir, no sólo desde la superficie –como suelen considerarse en estos estudios- sino también en profundidad), y por la simultaneidad de actuación de los distintos procesos (con sus diversas sustancias asociadas coexistiendo en las masas de los acuíferos).

En apoyo a esta problemática, para la Fase I del Programa se planteó el Trabajo 3A. En su estadio inicial se concretó en **el desarrollo de una metodología para tratar de diferenciar la presencia de los flujos subterráneos potencialmente contaminantes procedentes de acuíferos superficiales en los acuíferos profundos**, utilizando para ello el conocimiento sobre la geometría y funcionamiento hidrogeológico del sistema de acuíferos del Campo de Dalfás.

En el diseño original las tres actividades principales del trabajo fueron: **la selección de una zona piloto** de experimentación, del contacto entre acuíferos inferiores y coberturas (que correspondió al área de El Tomillar del AIO -la zona más lejana a la entrada de agua de mar a dicho acuífero desde el AEBN, en cuyo historial analítico no se habían encontrado aumentos de la salinidad atribuibles a dicha contaminación- y a su borde de contacto con el ASC); **la búsqueda de marcadores de los flujos de los acuíferos superficiales**, entre aquellas sustancias presentes en sus aguas; y **el contraste de la distribución espacial y tendencia de estos posibles marcadores** con la distribución espacial y temporal de los flujos de agua, obtenidos del estudio piezométrico (actualizado con el Trabajo 1B).

La falta de sondeos adecuados para el estudio del estado actualizado de la entrada de agua de mar a los acuíferos inferiores, y los importantes resultados obtenidos durante 2010 sobre la influencia de la salinización en profundidad en todos estos acuíferos, dieron un giro al planteamiento de las actividades del Trabajo 3A, dedicando sus esfuerzos desde entonces a facilitar el conocimiento de la representatividad de los puntos (particulares en un 90%) y sus medidas destinadas al seguimiento de la salinidad en profundidad de los acuíferos inferiores, el problema principal para la sostenibilidad de la zona.

De esta manera, se desarrollaron metodologías específicas para tratar de identificar (primeramente mediante los datos históricos de muestreos en bombeo, a contrastar con la realización de registros geofísicos en condiciones de bombeo) los flujos de las coberturas, con la finalidad de minimizarlos y obtener medidas físico-químicas lo más representativas posible de los acuíferos inferiores para la mejora del conocimiento de éstos.

En el Documento 113 de 2010 (en **Anexo 6**) se reflejó **la metodología diseñada para el estudio de los datos de muestras en bombeo**, aplicada para el AIO. Teniendo en cuenta que, originalmente (en régimen natural de funcionamiento) las calidades del agua en los acuíferos de cobertura 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 recibían estos flujos más salados.

La citada metodología utilizada se basó en la observación del acuífero a través de sus captaciones particulares, teniendo en cuenta que, para una misma localización (o vertical) podían existir dos o más sondeos mecánicos de distinta penetración, realizados a lo largo del tiempo. También se basó 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 teniendo en cuenta la evolución temporal.

Se establecieron dos casos planteados (según la información disponible sobre el tiempo y el espacio):

-Caso 1: existen en la zona distintas penetraciones para una misma localización (vertical) del acuífero inferior y durante un período temporal dado.

-Caso 2: se trata de una zona con única penetración en el acuífero con datos observables e lo largo del tiempo.

Para el Caso 1 se consideró que deberían estudiarse las siguientes condiciones en relación con la variación de la concentración de sustancias conservativas (cloruros):

a)- si aumenta la penetración de la obra en el acuífero inferior y disminuye la concentración de cloruros, entonces es probable la existencia de un tramo superficial en dicho acuífero **afectado por las entradas de las coberturas**.

b)- si aumenta la penetración de la obra y aumenta la concentración de cloruros puede ocurrir que:

b.1)-disminuya la salinidad con el tiempo de bombeo, por el efecto de un tramo salado superior con mayor cota piezométrica.

b.2)- 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:

a) - si con el tiempo histórico se observa que aumentan los cloruros, puede ocurrir que:

a.1)- aumenten además con el tiempo de bombeo: entonces proceden de la salinización en profundidad.

a.2)- disminuyan con el tiempo de bombeo: proceden probablemente de **la influencia de flujos de cobertura más salados**. Además deberían disminuir los contenidos en nitratos con el tiempo de bombeo, de manera que se observe una relación directa entre contenido de nitratos y de cloruros.

Éste fue el planteamiento seguido para analizar la influencia de los flujos laterales desde coberturas en acuíferos inferiores, utilizando el registro histórico analítico de puntos de observación de estos últimos. 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 cobertura) su efecto será mucho más patente que para el AIN, en el que la relación de flujos entre coberturas e inferiores se invirtió apenas hace dos décadas, habiendo recargado hasta entonces el AIN a las coberturas en la mayoría de sus sectores.

Para las verticales con captaciones de las distintas áreas del AIO, se aplicó esta metodología, en base a los datos y puntos disponibles en el registro histórico, incluyendo los obtenidos en la Fase I y los de las redes del D.H. de las Cuencas Meditarráneas. 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 coberturas en las zonas de contacto.

También se dedujo, según los datos disponibles en sectores de las áreas de Pampanico y Tarambana, que **la influencia en la calidad del AIO de los flujos de la cobertura (desde después de 2001 y probablemente antes de 2007) enmascaraba el aumento de la salinidad de la mezcla de bombeo, debida a la salinización de las reservas dulces del acuífero inferior a consecuencia del agua marina que le proporciona el acuífero costero de cobertura AEBN**.

Como ejemplo de las circunstancias descritas y los resultados encontrados, aplicando la metodología citada, se sintetiza la discusión de los datos de la vertical de los puntos 256D – 712D

del AIO (Figura 8.1.1). El sondeo original (256D) se perforó con una penetración en el AIO de 139 metros bajo el nivel del mar. Su mezcla de bombeo de 1992 mostró una concentración de cloruros de 150 mg/L. En 1994 se sustituye el 256D por un nuevo punto (712D) que alcanza una penetración mucho mayor (279 mbnm). Las muestras disponibles del agua de bombeo del nuevo sondeo (de los años 90 y 2001) presentaron concentraciones muy inferiores en cloruros (entre 40 y 90 mg/L) a las del sondeo original, lo que está de acuerdo con la presencia de tramos superiores en el AIO afectados por flujos del ASC en esta vertical (banda de contacto entre el AIO y el ASC), un efecto ya conocido entonces.

Con el tiempo, el sondeo 712D fue aumentando la salinidad del agua de bombeo, alcanzando en 2010 valores de cloruros de 288 mg/L, observándose también un aumento de la salinidad con la extracción. Los contenidos en nitratos de las muestras de las mezclas de bombeo disponibles del 712D también han ido aumentando con el tiempo, aunque no de forma paralela al incremento en cloruros. Esta progresión de la salinidad con el bombeo, y en el tiempo, podría ser un reflejo del deterioro de las reservas dulces del acuífero por efecto de la entrada de agua salada desde el área de Tarambana, en contacto lateral con el acuífero AEBN intruido de agua marina casi en su totalidad. Pero **las deducciones realizadas con los datos de las muestras de agua obtenidas en bombeo hubo que refrendarlas con la obtención de datos de registros verticales de salinidad y temperatura, y la recogida de muestras a profundidades específicas** en puntos accesibles de los acuíferos inferiores. En apoyo a estos ensayos se desarrolló, con la ayuda de la JCUAPA, una **metodología de registro vertical y muestreo, simultáneo al bombeo, que se aplicó en los escasos puntos** (todos particulares) **que se acondicionaron para ello** (uno del AIN y cuatro en el AIO).

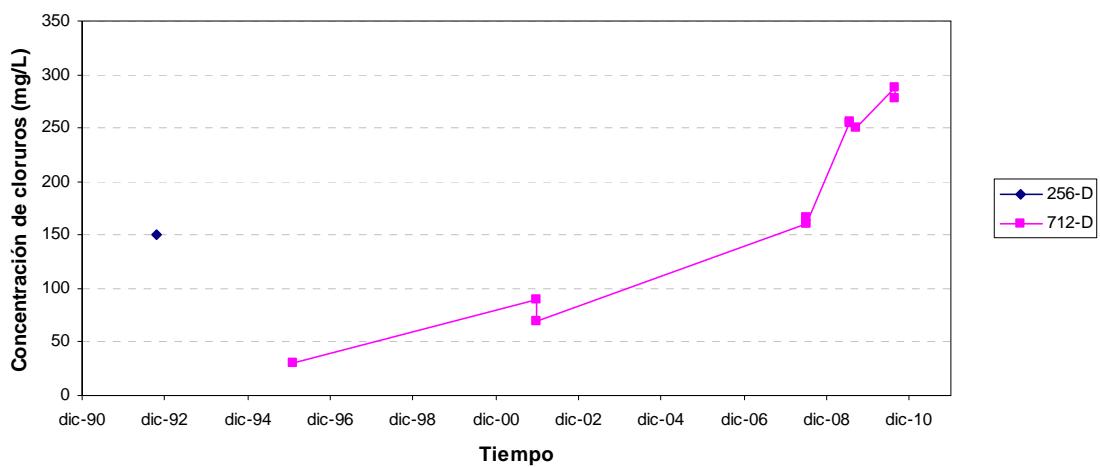


Figura 8.1.1.- Evolución de la concentración cloruros (mg/L) en la zona de estudio de los puntos 256D – 712D, con penetraciones en el AIO de 139 y 279 m bajo el nivel del mar, respectivamente. Las concentraciones de cloruros del sondeo original (256-D) eran muy superiores (150 mg/L frente a menores de 50 mg/L) a las de la obra realizada posteriormente con una penetración 140 metros mayor en el AIO (sondeo 712-D), por efecto de la mezcla con los flujos de entrada desde el ASC al AIO. Desde 2001 a 2010 la información muestra la salinización del agua de bombeo del 712-D, consecuencia de la influencia de las masas saladas en el AIO procedentes del AEBN. Del documento 113, en Anexo 6.

En estas tareas se llevaron a cabo una serie de operaciones: un primer registro de salinidad y temperatura con el sondeo parado (en su caso también con mediciones de apoyo al conocimiento del entubado y la columna litoestratigráfica de la obra a estudiar); posteriormente, iniciado el

bombeo, registrando durante la bajada y la subida de la sonda; también con parada de ésta a profundidades específicas y registro, durante una o dos horas, de los cambios en las salinidades y temperaturas encontrados a esa profundidad. En el Documento 231 se incluyen todos los detalles correspondientes a las campañas de geofísica; el Documento 214 describe, punto a punto, las operaciones realizadas. Ambos documentos se encuentran en el **Anexo 6**.

Otro ejemplo de la aplicación de esta metodología de trabajo se refleja con las tareas llevabas a cabo en el sondeo 763-D de 250 metros de profundidad (-172 msnm de penetración en el AIO) realizado para abastecimiento a la localidad de Balerma en sustitución del sondeo 268-D (de 210 m). Se trata del sondeo del AIO que está situado más cerca de la zona de entrada de flujos salados desde el AEBN al AIO (en el área de explotación de Tarambana). Ambas obras penetraron en materiales de cobertura (pliocena y miocena) y llegaron a los carbonatos triásicos del AIO. En 2010 se realizaron operaciones en el sondeo en reposo y en condiciones de bombeo, y sólo en bombeo durante 2011 y 2012.

El registro realizado en mayo de 2010, con el sondeo 763-D parado, mostró las mayores salinidades y temperaturas en la parte superior de la captación (2.3 mS/cm de conductividad eléctrica del agua), y en descenso hasta los 160 m en que cayeron a valores mucho más dulces (1.8 mS/cm). Desde allí hacia el fondo del sondeo no se apreciaba variación de la salinidad. Las siguientes operaciones de registro y muestreo realizadas en esa misma campaña, ya con el sondeo en bombeo, mostraron el aumento de la salinidad en los materiales triásicos del AIO captados en el fondo del sondeo (desde valores de 1.8 ms/cm a 2.8 mS/cm de conductividad eléctrica del agua) por el efecto de la entrada del agua salada desde el acuífero costero AEBN. En el registro realizado en reposo, la salinidad de los tramos plioceno y mioceno no permitió conocer lo que pasaba en el tramo triásico que penetra la obra, pero lo que ocurría en dicho tramo si pudo apreciarse (**Figura 8.1.2**) con los datos aportados por el registro de salinidad realizado a 231 m de profundidad (en carbonatos del AIO), en función del tiempo: se aprecia el aumento -aunque discreto para las circunstancias existentes de bombeo- de la salinidad en relación con el registro inicial realizado en reposo.

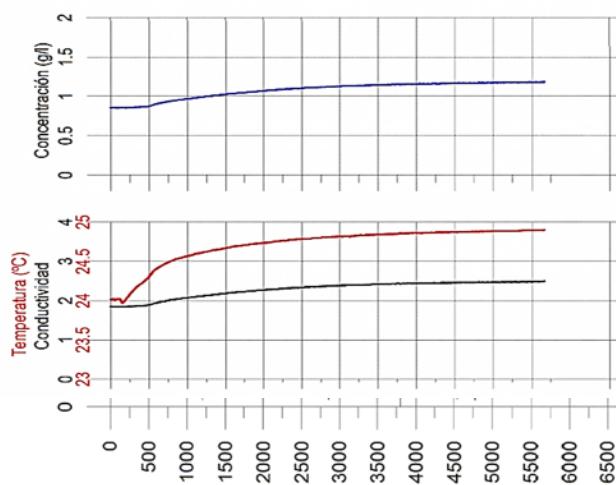


Figura 8.1.2. - Evolución con el tiempo de bombeo de la salinidad (como concentración de Cl_{Na} equivalente en g/L), temperatura y conductividad eléctrica del agua en el sondeo 763-D (del AIO) según registro realizado en abril de 2010 (durante 5600 minutos) con la sonda parada a 231 m de profundidad y con la captación en bombeo. Se observa el aumento de salinidad y temperatura con el tiempo. En la obra, el efecto del flujo (más dulce y frío) procedente de las coberturas es máximo durante los primeros 500 minutos y mínimo al final de la prueba. Modificado del documento 231 en **Anexo 6**.

Una vez que se pudieron observar y minimizar los flujos verticales procedentes de las coberturas en la citada captación (con la metodología ensayada, integrada en el Trabajo 3A), se detectó aumento de la salinidad en profundidad (a -172 metros sobre nivel del mar) y su evolución a lo largo de la Fase I (Figura 8.1.3). Así, según estas observaciones, los valores más altos de salinidad se registraron para octubre de 2011; la mayoría de las muestras obtenidas en bombeo, de puntos de explotación del AIO que captan ya la mezcla con el agua marina, mostraron los valores mayores de salinidad en el año 2011/12.

Aunque estas metodologías ensayadas nos ayudan a la detección de los problemas existentes en los acuíferos inferiores, en las condiciones tan precarias en que nos encontramos en cuanto a la infraestructura de observación, el estudio mediante los sondeos particulares no pasa de ser una herramienta sólo utilizable hasta que se lleven a cabo, lo antes posible, los sondeos de investigación adecuados que este importante problema precisa.

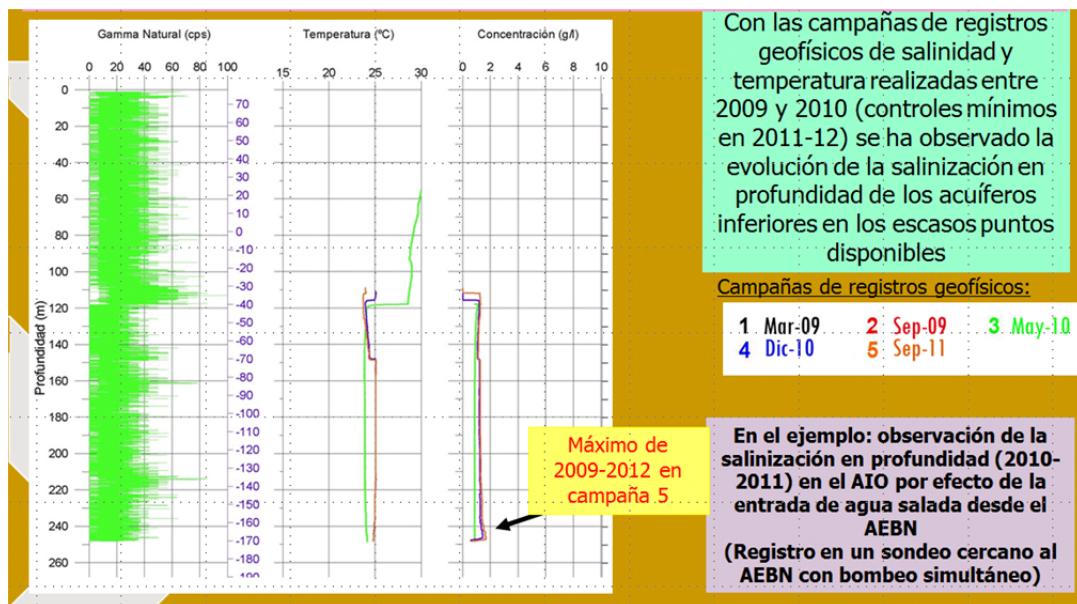


Figura 8.1.3: Registros geofísicos de gamma natural, temperatura y concentración (g/L de ClNa equivalente) realizados en condiciones de bombeo (para minimizar el efecto de los flujos desde las coberturas) en el sondeo 763-D con la sonda en movimiento. Las mayores concentraciones se obtuvieron en la campaña de septiembre de 2011.

Después de los hallazgos del alcance de la penetración de la salinización por mezclas de agua de mar en el fondo de bastantes captaciones del AIO (en el área de Tarambana, la más próxima al AEBN que funciona como trasmisor de agua marina, y en un sector occidental del área de Pampanico contigua a la anterior) y considerando la escasa afectación, por la descarga del ASC, de la calidad del agua bombeada por las captaciones del AIO -ya que siguen siendo útiles para la demanda de riego a pesar de estas mezclas (aún en zonas cercanas al borde de entrada desde el acuífero superior al inferior)- el objetivo de este Trabajo 3A perdió prioridad, ante el apremiante problema planteado por la llegada, a este sector de la explotación del Campo, del alcance del proceso de salinización en profundidad que había que intentar seguir, en lo posible, aún sin medios adecuados para ello.

8.2.- INTEGRACIÓN DEL ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO EN EL MANEJO DE RECURSOS DISPONIBLES (TRABAJO 4A)

Se trataba con este trabajo de **coordinar los resultados del estudio hidrogeológico** que se fueran obteniendo, **durante la Fase I, con los trabajos** de ingenierías a realizar **para el manejo de los recursos**. El conocimiento de los avances de ambos cometidos por las dos partes, podía favorecer o facilitar la orientación de algunos objetivos parciales de cada una de ellas, entendiendo que en uno y otro caso los trabajos se destinarían al Plan de Ordenación.

El Trabajo 4A estuvo bajo la dirección de EGMASA que fue la encargada, por la AAA, para llevarlo a cabo.

Con esta finalidad, se creó una Comisión Técnica del Convenio, coordinada por un técnico de EGMASA, formada por miembros de las distintas entidades del Convenio de colaboración. Esta Comisión, entre 2008 y 2010, llevó a cabo diversas reuniones destinadas a estas actividades.

En estas reuniones, la dirección hidrogeológica de la Fase I informaba a la citada Comisión de los resultados técnicos considerados de mayor trascendencia para el futuro manejo de recursos.

Teniendo en cuenta los importantes resultados de las investigaciones llevadas a cabo en el AIO durante la Fase I, según los cuales se detectó la influencia de la salinización en distintas verticales penetradas por captaciones de explotación de dicho acuífero (por entrada de agua salada lateral desde el acuífero de cobertura costero de la Escama de Balsa Nueva), el citado acuífero de cobertura se convertía en una Zona Estratégica de gran importancia (por su papel en la contaminación y, por ello también, en la protección del AIO), donde se debían plantear operaciones con las que invertir o reducir al máximo el flujo de agua salada procedente de dicho acuífero costero hacia el AIO.

Se recuerda que el AIO no tiene contacto directo con el mar, por lo que no resulta posible que el agua salada que ha entrado y afectado a sus reservas dulces pueda salir del acuífero; sólo cabe llevar a cabo operaciones para detener, o aminorar al máximo, la entrada de este agua salada.

Conocida la importancia para este Estudio de los resultados aludidos de la investigación de 2010, esta situación del AIO fue trasladada a los gestores y usuarios de los acuíferos del Poniente en una reunión de dicha Comisión Técnica, con el fin de que, si se consideraba oportuno por los gestores de estos acuíferos, pudiera ponerse en marcha la preparación de actuaciones o su discusión, para avanzar en la posibilidad de llevar a cabo las operaciones más convenientes al objeto de limitar o erradicar ese proceso salinizador. Se consideraba, además, la existencia de excedentes superficiales del Adra (no regulados y sin utilizar) que tal vez podrían usarse para recargar el AEBN en las zonas donde la influencia de esta recarga fuera la más favorable posible para conseguir dicho objetivo.

En este sentido, por parte del equipo del IGME se consideraron tres sondeos mecánicos preexistentes de interés para llevar a cabo esta recarga directa en los mismos, teniendo en cuenta una serie de prescripciones para controlar las operaciones a desarrollar (Figuras 8.2.1 y 8.2.2); el detalle sobre estas tareas se encuentra en el Documento 113 de 2010.

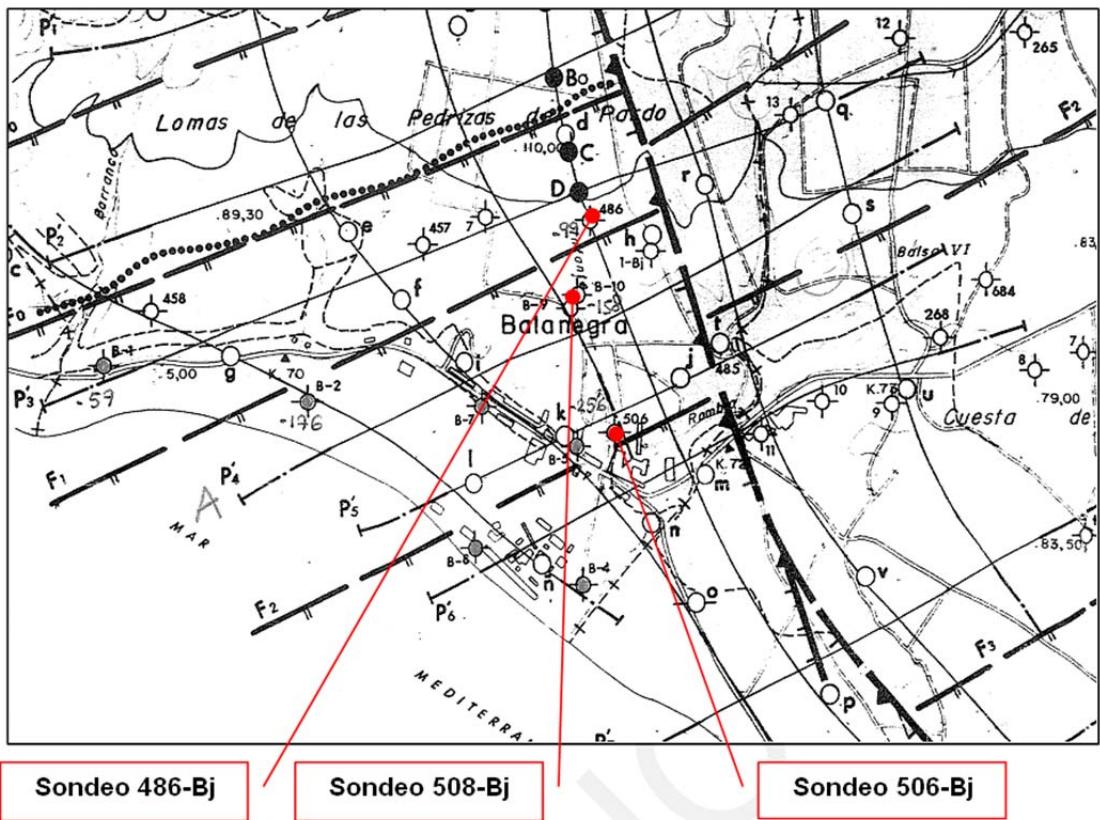


Figura 8.2.1: Selección de puntos para pruebas de recarga en el AEBN con excedentes de agua, para la protección del AIO frente a la entrada de agua de mar desde dicho acuífero de cobertura. Documento 113 de 2010.



Figura 8.2.2: Foto del sondeo 506BJ y su entorno, punto propuesto de interés para la realización de recargas en el AEBN. Del documento 113 de 2010.

En 2010, técnicos de la AAA, la JCUAPA y el IGME visitaron los sondeos propuestos para la actuación de recarga, la toma del Canal de Beninar podría servir como punto de abastecimiento a dicha actuación, así como la Rambla de Balanegra, ya que podría tener un trazado más adecuado para la instalación de la tubería de transporte del agua hasta los sondeos. Se analizaron en campo los detalles técnicos necesarios para llevar a cabo las pruebas, pero no llegaron a realizarse los

proyectos técnico-económicos para llevarlas a cabo. No se recibió, en su caso, ninguna crítica a esta propuesta, como ocurrió muchos años atrás cuando se suspendió una actuación de este tipo en colaboración con el responsable del SGOP en esta cuenca.

Se desconocen los motivos por los que, desde 2011, quedaron interrumpidas las actividades destinadas a la integración de los resultados del estudio hidrogeológico (realizado en apoyo al futuro Plan de Ordenación de la zona, en Convenio de colaboración entre la Junta de Andalucía, ACUAMED, el IGME y la JCUAPA) en los trabajos de ingeniería para el manejo de recursos, ya que, como se ha dicho, no correspondía a la dirección hidrogeológica de la Fase I la responsabilidad. Por ello no se cuenta con el detalle de las reuniones y de los temas tratados en las mismas de la coordinación entre ambos tipos de trabajos que puedan incluirse en esta Memoria.

Por parte del IGME, durante todo el período de realización de trabajos del Programa se siguieron difundiendo los resultados obtenidos para su aprovechamiento por los gestores y usuarios de la zona. Las citadas tareas de difusión se describen en el apartado 8.4 de este capítulo, y sus documentos resultantes vienen incluidos en el Anexo 13.

8.3- CLASIFICACIÓN DOCUMENTAL DE NUEVAS INFORMACIONES / ELABORACIONES EN RELACIÓN CON LA FASE I (TRABAJO 2C)

Los trabajos realizados durante el período de vigencia de la Fase I (2008-2010) y sus prórrogas (2011-2013) han generado numerosos documentos (hasta 242) de diversos tipos, que fueron clasificados para facilitar el seguimiento y desarrollo de los mismos, diferenciándolos por el tipo de objetivo y trabajo de la Fase I (Trabajo 1A, 1B...etc.), y por la actividad administrativa relacionada, e incluyendo distintas observaciones de interés. El Cuadro de referencia detallado de esta clasificación documental (Documento 230) se incluye en el [Anexo 12](#).

A lo largo de la Memoria se ha ido haciendo mención a aquellos documentos de mayor interés para la explicación del desarrollo de cada Trabajo de la Fase I, muchos de los cuales, por su especial interés, para ampliar lo tratado, se han recogido en formato digital en los anexos de la Memoria.

Bajo la dirección hidrogeológica del IGME, mediante las diferentes actividades administrativas del Convenio (las definidas en el Anexo Técnico II del mismo) -que estuvieron a cargo de ACUAMED (actividades de la 1 a la 6); de la AAA (desde la 8 a la 12), y a cargo del IGME (desde la actividad 13 a la 17a)- se llevaron a cabo los distintos trabajos diseñados para la Fase I (según su definición expuesta en el [capítulo 5](#) de esta Memoria).

Financiadas por ACUAMED participaron las siguientes empresas: para la Actividad 1: Consulnima, SA; para la Actividad 2: IGT; en relación con la Actividad 3: Tecna; la Actividad 4: Afloraguas; y para la Actividad 6: IDRENA. Las financiadas por la AAA (a través de EGMASA) se llevaron a cabo en su totalidad por el IGME, que también ejecutó directamente las que le correspondían.

Cada Trabajo de la Fase I (Trabajo 2B, 2C, etc.) se financió generalmente por dos o tres de las Partes firmantes del Convenio (a través de una o varias de sus actividades administrativas anteriormente citadas). En la clasificación documental se muestra la autoría de los documentos, haciendo referencia a las actividades. En el [Cuadro 8.3.1](#) se resumen, para cada Trabajo, cuáles de estas actividades administrativas intervinieron principalmente. Como ejemplo, se expone seguidamente el caso del Trabajo 1B (Actualización del conocimiento de la piezometría, al que corresponde el [apartado 6.2](#) de esta Memoria). Han participado en su financiación, durante el período de la Fase I (2008-2010): ACUAMED (con las Actividades 1 y 3, llevadas a cabo por Consulnima y por Tecna, respectivamente); la AAA (con la Actividad 12, ejecutada por el IGME, hasta 2011), y dicho Instituto (con la Actividad 13). Para el período 2012 - 2013 la financiación corrió a cargo del IGME únicamente. La JCUAPA participó, entre 2008-2013, facilitando el acceso a su infraestructura de captaciones de medida de la piezometría, ya que los puntos de esta red son en su mayor parte de carácter privado.

En relación con los nuevos datos e informaciones obtenidas, necesarias para alcanzar los objetivos principales, sus tareas de diseño, ejecución, seguimiento y validación de resultados se fueron recogiendo en documentos o informes específicos descriptivos. Esta documentación comprende informes / informaciones con distintas características: preliminares (cuando fueron de preparación a otro informe posterior), provisionales (es decir no definitivos, que deberían ser, o fueron ya, reemplazados por otros documentos, al integrarse posteriormente otras informaciones no accesibles en el momento de su elaboración); parciales (que abarcaron sólo una parte de un

Trabajo); e informes / informaciones finales (sin ningún otro documento sobre esa temática posterior a él).

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)
6A	Actividades 3, 8, 12 y 13

Cuadro 8.3.1: Actividades administrativas implicadas principalmente en la ejecución de los Trabajos de la Fase I (2008-2010) y sus prórrogas (2011-2013).

En esta clasificación documental se incluyeron, además, los documentos específicos de las tareas de dirección hidrogeológica, con inclusión del diseño o apoyo al diseño de objetivos a alcanzar y prescripciones técnicas de obligado cumplimiento para lograrlos, la coordinación de equipos técnicos, el seguimiento administrativo, la conformidad técnica, la difusión de resultados, la coordinación y labores de secretaría de la Comisión de Seguimiento del Convenio, etc.

8.4- DIRECCIÓN, GESTIÓN Y COORDINACIÓN DE EQUIPOS TÉCNICOS Y DE LA INFORMACIÓN (TRABAJO 6A)

Las actividades de este Trabajo 6A (de las que en el **Anexo 13** se recogen 36 documentos considerados de mayor interés) fueron ejecutadas con cargo principalmente al IGME y también a la AAA, con un pequeño apoyo de la Actividad 3 financiada por ACUAMED, y se llevaron a cabo durante el período de definición inicial de la Fase I (2008-2010) y en los años posteriores de sus prórrogas (2011-2013); durante 2012 – 2013 estuvieron únicamente financiadas por el citado Instituto.

Han supuesto un esfuerzo importante por la complejidad, tanto administrativa (al tratarse de una colaboración entre cuatro entidades diferentes) como técnica, debido a diferentes circunstancias como: la complejidad hidrogeológica de la zona; la necesidad de llegar a los resultados más cercanos a la realidad que fuera posible (teniendo en cuenta la trascendencia de los mismos para apoyar a su futuro Plan de Ordenación); la difícil coordinación entre los equipos técnicos actuantes en cada uno de los numerosos trabajos a desarrollar, dado que, en la mayoría de estos trabajos, han participado -de manera directa o mediante Organismos o empresas colaboradoras- las cuatro entidades firmantes del Convenio; etc..

Se realizaron dos grupos de actividades, que se describen por apartados seguidamente.

8.4.1- Gestión informativa del estado técnico y económico-administrativo del Programa, tanto al IGME como a la Comisión de Seguimiento del Convenio, así como la coordinación general del Convenio

Además de la gestión previa de la preparación consensuada, entre 2006 y 2008, de los documentos del Acuerdo de Intenciones (de enero de 2007, Documento 240.6) y del Convenio de colaboración (de abril de 2008, Documento 240.7), incluidos en el **Anexo 13**, formaron parte de estas tareas, dentro de la Fase I, las de coordinación e información a las Partes del Convenio sobre el desarrollo técnico y administrativo de los trabajos definidos, que tuvieron lugar entre 2008 y 2010, durante las cinco reuniones celebradas de la Comisión de Seguimiento (integrada por al menos dos miembros de cada una de las cuatro entidad firmantes) y, entre 2011 y 2013, mediante el envío de los documentos específicos elaborados para ello, con los que se informó de aquellos temas considerados de mayor trascendencia para la sostenibilidad del uso de estos acuíferos, y para la buena marcha de las actividades del Programa. Documentos seleccionados por su interés en relación con estas tareas se presentan en el **Anexo 13**.

También se llevó a cabo una difusión general de los resultados de estos trabajos de apoyo a la protección- regeneración de los acuíferos, destinada a las AAPP, usuarios, entidades interesadas, etc., en distintos foros. Entre 2008 y 2013 se participó, a nivel nacional, andaluz y local, en charlas, mesas redondas, jornadas y simposios, así como en congresos internacionales, para dar difusión a los resultados de los trabajos realizados en esta colaboración entre Administraciones Públicas y usuarios.

De estas actividades se incluyen documentos en el **Anexo 13**, donde también se recogen las cinco actas consensuadas por las Partes de las citadas reuniones de la Comisión de Seguimiento, y documentos desarrollados para estas labores de coordinación e información técnico-administrativa a la misma, así como de difusión general de los resultados obtenidos.

8.4.2- Dirección hidrogeológica y gestión general, así como coordinación de equipos técnicos participantes.

Entre las tareas de este grupo de Dirección / coordinación técnica se llevó a cabo la definición y redacción de las prescripciones técnicas de los distintos trabajos de la Fase I (en relación con 11 expedientes administrativos), la gestión técnico - económica de cinco de ellos, así como el apoyo administrativo al seguimiento de los trabajos a cargo de ACUAMED (de las actividades 1, 2, 3, 4 y 6 incluidas en el Anexo Técnico II del Convenio) llevados a cabo durante tres años, entre abril de 2009 y febrero de 2012, con muy frecuentes reuniones (celebradas en las sedes de ACUAMED en Almería y Madrid) para seguimiento de la ejecución de las tareas encomendadas a las empresas adjudicatarias de los mismos, a las que asistieron los representantes de ACUAMED, del IGME y de dichas empresas. Todos los documentos generados con la participación de estas empresas colaboradoras fueron catalogados e incluidos en el control documental del Trabajo 2C (cuyo Cuadro general -Documento 230- está en el **Anexo 12**), y se enviaron periódicamente a la sede de ACUAMED.

En relación con las Actividades administrativas a cargo de Junta de Andalucía –antigua AAA - (realizadas por el IGME en contrato con EGMASA) también se llevaron a cabo frecuentes reuniones en Sevilla, entre 2008 y 2011, con asistencia de técnicos de la AAA, de EGMASA y del IGME, para avanzar resultados y grado de desarrollo de los objetivos.

Se incluyeron en este grupo de actividades del Trabajo 6A, para todos los trabajos de la Fase I, las tareas del control general de la calidad de los resultados generados, con revisión de la ejecución y de los documentos finales y/o parciales sobre los mismos, así como los del ejecución directa del diseño de las campañas de obtención de nuevos datos e informaciones para algunos de ellos. Sobre todo ello se prepararon documentos (en informes/ documentos con mayor o menor desarrollo).

La integración y coordinación de los equipos técnicos actuantes en los 12 Trabajos principales (formados por un total de hasta **26 técnicos**) se fomentó con el desarrollo de las labores de gabinete de los mismos (siempre que ello fue posible) en las instalaciones de la Unidad de Almería del IGME, llevándose a cabo reuniones entre técnicos de manera sistemática, teniendo en cuenta que la mayoría de los Trabajos se interrelacionan y precisan compartir informaciones e interpretaciones.

Se incluye también en este grupo de tareas la gestión y tratamiento de la copiosa información generada y utilizada durante la Fase I. Hubieron de llevarse a cabo modificaciones en el diseño de la estructura de una nueva base de datos con la que correlacionar los modelos de datos del IGME y de la REDIAM (de la Junta de Andalucía) de modo que el trasvase de información de la primera a la segunda fuera rápido y eficaz.

Esta nueva base de datos se integró en un sistema de información geográfica (SIG), para su utilización como herramienta técnica, tanto en la explotación de datos como en la toma de decisiones. Se llevó a cabo un nuevo diseño con modificación de formatos de presentación de resultados para mejorar el chequeo/depuración de los distintos parámetros obtenidos y estudiados: datos piezométricos, elementos mayoritarios de los análisis químicos, análisis de metales / metaloides, etc.

En el Documento 123 del **Anexo 12** se incluye un trabajo realizado en 2010 (en relación con la Actividad 3), en respuesta a las necesidades planteadas para los tratamientos en GIS, en el que se recopilaron en una base de datos mdb Access 2003 relacionada, algunas de las tablas de datos existentes en la Unidad de Almería (en su mayoría con orígenes en formatos dBase) y se añadieron algunas nuevas tablas no existentes en el modelo de datos para facilitar el desarrollo de los trabajos técnicos sobre el SIG (en formato ArcGis). La principal necesidad requerida a esta base de datos y su interconexión a ArcGis fue filtrar los datos una vez cargados en ArcGis, sin hacer copias intermedias, para así tenerlos actualizados siempre. Para ello se hizo necesario cargar las medidas desde tablas originales. Esta base de datos no pretendió ser la actualización/sustitución del modelo de datos existente o una nueva estructura de base de datos del IGME.

El trabajo mencionado se presentó (recopilando la información hasta inicios de 2010) con información de los almacenes de datos Maestro de Puntos, Análisis químicos, Explotaciones, Actualización de Infraestructura y Geofísica, obtenidos durante la Fase I, así como con la información asociada de datos históricos necesarios para el desarrollo de la misma.

CAPÍTULO 9: CONSIDERACIONES SOBRE LOS TRABAJOS REALIZADOS DE LA FASE I Y SUS PRÓRROGAS

Los trabajos realizados en esta fase inicial del Programa han correspondido, como se sabe, a la última etapa del Estudio desarrollado de forma continua por el IGME durante más de 45 años. Fueron llevados a cabo sobre un medio hidrogeológico excepcional por su complejidad e importancia social y económica, las características que mejor definen a este conjunto de acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías.

Para dicho Instituto, estos trabajos han representado siempre una actividad de investigación aplicada plenamente coherente con las funciones de este Centro, como Organismo Público de Investigación, al tener su realización el objetivo doble de resolver un problema de gran dificultad científico-técnica y de apoyar, con su asesoramiento –de la manera más informada posible- a las Administraciones Públicas y a las organizaciones de usuarios relacionadas con estos acuíferos, para orientar el mejor uso de sus recursos hídricos.

El asesoramiento demandado al IGME se enmarcó en el interés propio de dar un servicio público de colaboración entre instituciones, dirigido al bien común. Por ello este asesoramiento, además de trasladar a sus principales destinatarios los resultados y conclusiones de sus trabajos científico-técnicos sobre estos recursos hídricos, debía contener referencias a las disfunciones observadas, tanto en la realización de la actividad que se le había encomendado, como también en las relacionadas con ésta (aunque ajenas a las propias de la Fase I) en las que se apreciase una incidencia negativa en el cumplimiento del objetivo común de resolver los problemas que plantean dichos recursos hídricos, por si procediera un análisis sobre dichas disfunciones y, en su caso, tratar de corregirlas.

9.1- DE CARÁCTER ADMINISTRATIVO O SOCIO-ECONÓMICO

Como consideración general, cabe comentar que las circunstancias de desamparo de medios para el desarrollo previsto del Programa (cuya planificación cumplía las necesidades requeridas por la Unión Europea en cuanto a diseño y actividades de seguimiento de acuíferos) impedían la continuidad que, después de la Fase I, era necesaria para el mejor cumplimiento de sus objetivos. **Con independencia del retraso en la obtención del agua desalada**, con este hecho no se ha podido ir obteniendo informaciones sobre los acuíferos, previstas para “**el tiempo** en que debía iniciarse la Fase II del Programa (a partir del tercer año de su iniciación) por su necesidad para la definición y aplicación de un Plan de Ordenación de recursos hídricos de la zona destinado a la mejor integración del agua disponible de los distintos orígenes: los subterráneos, los superficiales y los no convencionales. **La falta de dichas informaciones puede perjudicar la integración más adecuada de los acuíferos de este Campo en el Plan de Ordenación de todos los recursos disponibles en el mismo, lo que sería contrario a la importancia de estos embalses subterráneos** (ya bien demostrada) si se tiene en cuenta que **sus recursos renovables son de un**

rango equivalente o superior al que se pretende obtener mediante la regulación del Adra (del orden de 20 hm³/año).

No se realizaron trabajos ni llegaron a iniciarse obras necesarias en los períodos de prórrogas, que trascurrieron como se ha dicho en el tiempo previsto de ejecución de la Fase II, al no estar incluidos en el Convenio (cuya duración fue acordada para dos años por la prevista disponibilidad de agua desalada y por convenir a las Partes para facilitar su ajuste a las respectivas disponibilidades presupuestarias), y no contar con la decisión (y, correspondiente gestión administrativa necesaria) para llevarlos a cabo. Entre ellos, se trataba de los siguientes:

- **El mantenimiento de las operaciones de seguimiento – comunes a todas las fases del Programa-** en el conjunto de acuíferos (de las descargas por bombeo, control piezométrico y control de la calidad química de sus aguas). Un ejemplo de selección de estos trabajos previstos se encuentra en el “Documento preliminar sobre actuaciones mínimas necesarias para la continuación del Programa de protección – regeneración de los acuíferos del sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías” (Documento 234 de la Fase I en **Anexo 13**), realizado en Junio de 2013 por el IGME a solicitud de la JCUAPA.
- **Una mejora mínima imprescindible de la infraestructura de observación del funcionamiento** (como la del problema principal para la sostenibilidad de estos acuíferos: **la salinización en profundidad de los inferiores, y la de los efectos en el mismo de las medidas correctoras que se implanten**). Ello repercutirá, cuando se disponga de los recursos de sustitución, en falta de información para apoyar las decisiones de gestión informada del Plan de Ordenación, o en más retrasos en la aplicación adecuada del mismo.
- **La realización/ adecuación de captaciones destinadas a bombeos complementarios en zonas de interés de las coberturas** (para sustitución de parte de las extracciones en los acuíferos inferiores) y en otras en las que, por distintas razones, se precise el descenso de sus niveles piezométricos. Aunque se ha dotado de equipo de bombeo suficiente para desaguar 680 L/s (cerca de 22 hm³/año) de la laguna de la Balsa del Sapo, el volumen resultante de este desagüe será inferior. Habrá que obtenerlo de bombeos ajenos a la laguna, cuya lenta gestión se podría estar llevando a cabo.
- **El avance en la elaboración del modelo de flujo previsto en el Programa para el conjunto de acuíferos** (partiendo de las herramientas informáticas iniciadas de los acuíferos ASC y AEBN), etc., una herramienta necesaria para apoyar el modelo de gestión del conjunto de recursos del Campo. (Se desconoce si este modelo ya ha sido realizado por el Organismo Gestor).

Esta falta de provisión de medios para la continuidad del Programa **generó una perturbación en su desarrollo**: la continuación del tipo de trabajos que tenían que incluirse en el tiempo previsto para la segunda fase quedaría prácticamente sin medios desde la entrada del año 2011. Esta circunstancia, conocida con antelación, **obligó en 2010 y hasta 2011, a la reformulación posible de algunos de los trabajos cubiertos por el Convenio, con la realización sólo de un control muy parcial**, con grandes reducciones en algunos de los aspectos del seguimiento del funcionamiento de los acuíferos (a expensas del reajuste de las últimas actividades previstas para la Fase I, para extenderlas en su prórroga de 2011). En 2012-2013, ante esta situación, el IGME llevó a cabo un control mínimo, financiado con sus medios. Así, durante los períodos de prórroga de esta primera fase, se trató de **atender las necesidades más urgentes con las que mantener un mínimo conocimiento actualizado sobre el estado de estos acuíferos**,

requerido para no perder del todo este objetivo permanente del Programa según lo previsto en el esquema de actividades del mismo.

En la actualidad, la disponibilidad del agua desalada se sitúa al final de 2014 – mediados de 2015, no existiendo financiación para el necesario seguimiento de los acuíferos en dichos años (ni previsión para los posteriores) ni tampoco para los trabajos anteriormente referidos en los mismos.

A la necesidad de reprogramación de las últimas actividades de la Fase I también contribuyó la ocurrencia de las excepcionales precipitaciones en el año hidrológico **2009/10**, que obligaban, además, por interés de esta investigación, a la observación posible (desde 2010) de **los efectos derivados de esta extraordinaria recarga** a los acuíferos (**la máxima de las últimas siete décadas**) sobretodo en relación con el alcance de la repercusión de estas entradas en la recuperación cuantitativa de los acuíferos y en la mejora de la situación del proceso de salinización, **tanto en cuanto a la intrusión de agua de mar en los acuíferos inferiores, como a la movilización de masas con mezcla de agua marina ya presentes en amplios sectores de este conjunto de acuíferos** que, igualmente, pueden estar contribuyendo a la salinización de reservas aún dulces. En el futuro, el seguimiento de esta repercusión, por la información que proporciona, debería continuarse, al constituir una oportunidad de testificar el comportamiento del funcionamiento de los acuíferos y de la evolución futura de su proceso de salinización en marcha.

Por otra parte, **la atención** que se requirió a **problemas** fuera de lo programado, **que necesitaron una especial consideración de urgencia** (como es el caso de las inundaciones en el entorno de la Balsa del Sapo) detrajo un tiempo del **equipo técnico** inicialmente destinado a otras actividades de la Fase I que, además, desde finales de 2011 quedó en menos del 45% de sus componentes en su dotación inicial para la Fase I. Tampoco se dotó del **equipo propio del Programa** (que podría haberse formado técnicamente en esta compleja zona, participando con los miembros del equipo experto de la Fase I en el desarrollo de las actividades de esta fase inicial) según se indicó en los requerimientos del mismo.

Lo expuesto permitirá mejorar la **comprensión de los desajustes** formales y temporales, entre lo inicialmente programado y lo realmente ejecutado, que se deben, en gran parte, a los **diferentes tiempos o “ritmos” del proceso continuo de salinización de este medio natural (el problema principal a resolver)** y los que corresponden a la marcha, con sus cambios y procesos de gestión **económico-administrativa**, que vienen afectando a las entidades firmantes, especialmente agudizadas en los últimos años. **Esta diferencia de ritmos puede estar constituyendo la mayor debilidad en el desarrollo de este Programa** y también de los objetivos de **conservar los recursos aún dulces de estos acuíferos**, un objetivo requerido por la Directiva Marco del Agua y solicitado por la Unión Europea para contribuir con su apoyo económico a las actuaciones en el Campo de Dalías.

Se debe recordar que la pérdida de continuidad de las actividades previstas en el Programa, repercute en la eficacia de los resultados obtenidos de los trabajos realizados. Así, por ejemplo, **durante los períodos de prórroga de la Fase I se ha perdido información que se precisaba para orientar las prioridades en la aplicación de los recursos de sustitución**, cuando éstos estén disponibles. Además, esta pérdida de continuidad del Programa incide en la **reducción de las posibilidades de corrección del problema de salinización** y en el **aumento del coste de las operaciones necesarias** para ello.

Otras consideraciones se refieren a que quizás, desde el Estudio, no se haya sabido transmitir la importancia que tiene la formación (señalada como un requerimiento del Programa) de

un equipo experto en estos acuíferos –con los distintos niveles de cometidos que son necesarios- el cual es **imprescindible para la asesoría hidrogeológica que requiere el órgano encargado por el Organismo de Cuenca para la aplicación del Plan de ordenación**, en lo que concierne a los acuíferos de la zona. Dicho equipo, incluso podría ser útil para la misma Oficina de Planificación de la Demarcación Hidráulica de esta cuenca –dado el déficit original de equipo multidisciplinar de la misma- como apoyo a la elaboración / seguimiento de dicho Plan para esta compleja zona.

También ha sido objeto de reflexión el que, probablemente debido a dicho déficit de hidrogeólogos en el Órgano de Planificación y Gestión de la Cuenca (para esta zona oriental de la misma), se haya percibido una muy baja implicación de la Administración Hidráulica responsable históricamente de los acuíferos almerienses, de la cual cabía esperar mayor dedicación técnica y económica a los acuíferos de este Campo. La Unidad del IGME en Almería hubiera recibido muy bien la decisión de dicho Órgano de propiciar la colaboración entre estas Instituciones, en la discusión y ejecución de trabajos para la mejora del conocimiento directo sobre los problemas y necesidades de los acuíferos de la zona.

La continuidad de esta baja presencia real del actual Organismo Gestor en la gestión técnica de los mismos, podría suponer un inconveniente para el buen fin de la integración de estos recursos subterráneos en la planificación total de los distintos recursos (con los criterios asumidos por la Ley de Aguas y las políticas europeas, nacionales y de la Comunidad Autónoma Andaluza en esta materia). Podría trasmitir, además, ante los usuarios y la sociedad, una falta de coordinación entre el señalado Órgano Responsable de estos acuíferos y el equipo de trabajo del IGME que los ha venido estudiando (incluso durante la actual colaboración institucional promovida por la Junta de Andalucía) lo que podría sugerir la existencia de un aparente desinterés hacia estos embalses subterráneos por dicho órgano técnico. (Sería deseable un frecuente intercambio de criterios, informaciones y discusiones sobre muchos aspectos de estos acuíferos, etc., entre todos los intervinientes en esta temática).

9.2.- CONSIDERACIONES SOBRE LOS RESULTADOS POR OBJETIVOS PRINCIPALES DE LA FASE I

9.2.1.- Del Objetivo Primero

- De la **actualización de las extracciones no se pudo llevar a cabo la evaluación de los años 2009/10 a 2011/12** por falta de presupuesto. Únicamente se obtuvieron datos de 2009/10 de determinados puntos de los acuíferos inferiores pertenecientes a algunas de las Comunidades de Regantes (CR) principales, y este mínimo control quedó íntegramente sin realizarse en los años 2010/11 y 2011/12, de los periodos de prórroga de la Fase I. Estas faltas de datos han supuesto, especialmente, **una importante pérdida de información, al coincidir con el citado periodo de ocurrencia de las lluvias mayores de las últimas 7 décadas** y los dos años posteriores al mismo (quedó sin registrarse la repercusión de este extraordinario pico de humedad en el bombeo practicado), ya que se trataba de datos **de gran interés para la necesaria modelización futura del sistema**, herramienta de gran utilidad para la gestión de estos recursos. Una parte notable de estas informaciones resulta irrecuperable por el Estudio (al no poderse recoger en su momento) por pérdida de los datos por las CR, aunque no se trate de un problema mayor al poder acotarse por métodos indirectos (como el registro eléctrico correlacionable con el histórico disponible de bombeos).

- De la **actualización de la piezometría** las consideraciones principales son las siguientes.

Aunque en los años de las prórrogas se redujo el número de puntos de control, con la reprogramación realizada pudo salvarse el seguimiento piezométrico aproximado de los acuíferos, lo que tuvo especial importancia por los registros de los cambios que se produjeron con las precipitaciones de 2009/10 y 2010/11 (la del primer año citado casi triplicó la media de los últimos 70 años) que originaron ascensos de niveles en todos los acuíferos, desconocidos en la totalidad del historial de datos del Estudio, aportando una información muy valiosa sobre las características del proceso de recarga por precipitación en cada uno de ellos y de su correspondiente recuperación, de gran valor para la modelación del flujo subterráneo de los mismos, así como de la repercusión del bombeo, por áreas, al que están sometidos, reflejada en el comportamiento de sus niveles del agua en los años posteriores (2011/12 y 2012/13) a dicha recuperación.

En coordinación con otros objetivos (de calidad del agua y nuevos bombeos) tendría que haberse iniciado una mejora de la distribución de la red piezométrica en las zonas donde no existen puntos para este control.

-Sobre el **contraste / modificación del modelo de geometría de los acuíferos**, no se llevó a cabo prácticamente ninguna actuación durante 2012 y 2013, aunque por la recuperación de niveles de los años precedentes probablemente se habrán realizado muy pocos sondeos.

-Tampoco se realizaron actividades sobre **focos de contaminación** durante los años de prórrogas de la Fase I.

- Sobre la **actualización de la calidad del agua**, hay que destacar que, con los avances del conocimiento de este objetivo en las coberturas, durante los primeros años de la Fase I fue creciendo la incertidumbre sobre la representatividad de las muestras recogidas, poniéndose en duda la posibilidad real de lograr el propósito de conocer la actual distribución espacial de calidades en dichos acuíferos por la gran complejidad y variabilidad espacial y temporal de las mezclas actuales –que se superpone a su distribución natural de características físico – químicas- debido a los

retornos de riego de los distintos tipos de aguas aplicadas al mismo (ajenas a las de los acuíferos receptores de éstas) y afectados también por la incidencia de los impactos imponderables debidos a la existencia de contaminación potencial difusa y desde distintos focos. El conocimiento de la distribución actual en toda la extensión de estos acuíferos necesitaría una nueva red específica de observación y un seguimiento muy exhaustivo para alcanzar dicho propósito.

La mejora de la actual red (que tendría que haberse iniciado en el tiempo de prórroga dado a la Fase I) habría que dirigirla a entornos concretos de estos acuíferos, y con enfoques ajustados a los fines prioritarios, como los requeridos para obtener caudales complementarios (sostenibles para el acuífero objetivo) destinados a engrosar los recursos de sustitución de parte del bombeo en los acuíferos inferiores. Con este objetivo, el no haberse iniciado esta actividad se considera una pérdida de información necesaria, que podrían estar facilitando algunos nuevos puntos de observación.

Con respecto a la **aportación de plaguicidas** de los flujos de recarga de los acuíferos inferiores, desde las coberturas, cabe concluir que el uso desde hace años de aguas ajenas –a los acuíferos de éstas- para el riego, en las que dichas sustancias tendrán, si acaso, una presencia mínima en estas aguas aplicadas en la agricultura, deberán provocar una tendencia decreciente de sus concentraciones en los referidos flujos de descarga, que ya años atrás eran muy reducidas a indetectables, con lo que el objetivo de su estudio perdió prioridad (al menos por ahora).

- Merece una consideración muy especial la **falta de algunos puntos de observación del proceso de salinización por mezcla de agua de mar**, que ya ha empezado a detectarse en todos los sectores de explotación de los acuíferos inferiores, si se quiere conocer con alguna antelación la velocidad / intensidad de su afección inasumible al agua que se bombeo en sus captaciones, y disponer actualizado el criterio de prioridad para aplicar / corregir, en las distintas zonas, la sustitución de bombeos con recursos complementarios. En la situación actual, se trataría de unos sondeos no mucho más penetrantes que las obras de explotación, instalados para hacer registros en bombeo y muestreos a cotas determinadas, como referencias, con carácter periódico. Puede que por parte de los gestores se haya tomado la decisión de asumir la situación de incertidumbre actual, por el coste de estas obras, circunstancia que resulta desconocida por este Estudio.

9.2.2.- Del Objetivo Segundo

- En relación con los **objetivos señalados para las distintas Zonas Estratégicas Preferentes (ZEP) establecidas**, cabe indicar la situación de la **ZEP a**, en la que se realizó un modelo simplificado disponible para mejorar con nuevas simulaciones que, por falta de medios, no se han desarrollado. Su objetivo es del máximo interés, al tratar de analizar la viabilidad (una vez modelizado el flujo subterráneo de la zona) de evitar / reducir el avance de la salinización del AIO, el acuífero más bombeado de la zona (con un volumen entre 6-7 veces la aportación de Benízar al Campo) mediante recarga de excedentes en el AEBN en su frontera con el AIO e, incluso, con una batería de bombeos de agua salina en el litoral del AEBN, que invirtiera el flujo que actualmente se dirige hacia el acuífero inferior (se desconoce si ha sido analizada esta última alternativa en relación con la obtención del agua a tratar por la Desaladora de Balerma).

- También quedó sin explotar (para mejorar sus resultados y ampliar sus objetivos de posibilidades de bombeo) el **modelo matemática de las ZEP b y ZEP c**, mejorable con la ejecución en el ASC de unos cuantos sondeos completos para su uso múltiple como complemento de explotación y de redes de piezometría y calidad, mejora del conocimiento hidrodinámico para el modelo, etc. De

haberse iniciado estas obras y continuado la explotación de esta herramienta numérica se contaría con una información de interés por su utilidad en el diseño / aplicación del Plan de Ordenación de la zona.

El uso de este modelo, y el bombeo resultante de la aplicación de cálculos hidrodinámicos para determinar el bombeo coyuntural máximo (con objeto de evitar el crecimiento del nivel del agua en la laguna de la Balsa del Sapo por encima de su cota de seguridad para mantener el humedal) está ya funcionando, lo que representa un ejemplo de la utilidad de esta modelización.

- Con respecto a la **actualización de la problemática de los acuíferos inferiores**, destinada a proporcionar una primeras orientaciones sobre prioridades en la aplicación de recursos de sustitución (o cancelación de parte de los bombeos en las actuales zonas de explotación de los acuíferos inferiores) **en el año 2012 se dio el resultado de unas estimaciones** que, como se indicó, no son muy consistentes, dadas las características hidrodinámicas de estos acuíferos y de las vías de trasmisión de los flujos salinos que les afectan, así como de la ausencia de puntos adecuados para el seguimiento actualizado del proceso en cada zona de explotación. En cualquier caso, **se trata de una valoración que debe sustentarse en datos muy actualizados por la sensibilidad de las consecuencias de su aplicación**.

- Sobre la **necesidad de infraestructuras de observación**, en las consideraciones precedentes (y a lo largo de la Memoria) se han repetido los problemas que conllevan las carencias de dichas redes, cuyos puntos corresponden casi en su totalidad a sondeos particulares de explotación, en gran parte inadecuados para estos fines. **De todas estas redes**, las que tienen mayor prioridad son: **la destinada a la observación del avance de las mezclas de agua de mar en los tres sectores explotables de los acuíferos inferiores** (aún con recursos dulces), y **las que se requieren, en las ZEP b y ZEP c, para** determinar la posibilidad de **un bombeo máximo sostenible** (complementario al existente en el ASC) para integrarse **como recurso de sustitución**. En la ZEP d será necesario realizar alguna obra de observación – explotación para vigilar la relación de flujos entre ASN y AItN con el acuífero inferior de este Sector Noreste, con objeto de determinar la necesidad eventual de bombeos que impidan la llegada de flujos salados desde estas coberturas al AIN.

CAPITULO 10.- SÍNTESIS DE LAS MEJORAS DEL CONOCIMIENTO ADQUIRIDAS CON LOS TRABAJOS DE LA FASE I Y SUS PRÓRROGAS

Se trata de una recapitulación muy sintética de los principales avances en el conocimiento actualizado sobre los acuíferos del Campo, como resultados más destacables de los trabajos que se proyectaron originalmente en 2006-2007, desarrollados en el período 2008-2010 y que, en espera de su continuidad con la prevista Fase II, tuvieron varias prórrogas anuales hasta 2013, con adaptaciones de sus tareas – de acuerdo con los medios disponibles- para la obtención posible de datos asequibles más relevantes destinados al seguimiento de la evolución de los acuíferos de la zona. De los correspondientes trabajos, se indica lo que en los períodos de prórrogas no se realizó estando previsto en el Programa pero no en las actividades financiadas para la Fase I. **Los resultados de los trabajos previstos**, muy resumidos y expresados básicamente de forma gráfica, se indican en los apartados 10.1 a 10.6. **De los trabajos no previstos, pero realizados**, se incluye un ejemplo, relativo a la problemática de la Laguna de la Balsa del Sapo, en el apartado 10.6.

10.1- ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTO DE LAS EXPLOTACIONES POR BOMBEO

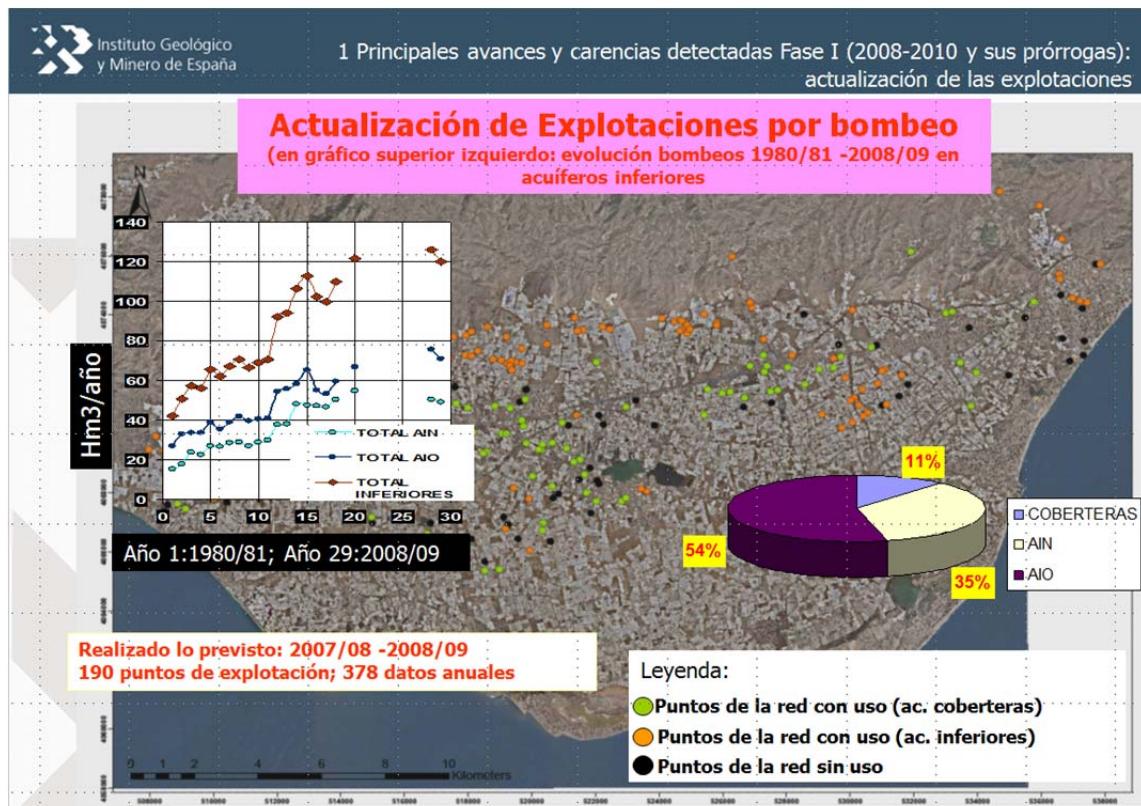


Figura 10.1.1: Síntesis de la mejora de conocimiento de la actualización de extracciones.

Se han obtenido los volúmenes bombeados por captaciones, áreas de explotación y acuíferos principales para los años hidrológicos 2007/08 y 2008/09, y actualizado el historial anual que abarca el período 2000/01 – 2006/07 para las principales comunidades de usuarios. El bombeo global de 2007/08 fue del orden de 142 hm³, el 89% correspondiente a los acuíferos inferiores (54% al AIO y 35% al AIN). El bombeo del 2008/09 fue de 135 hm³ (el 53% en el AIO y el 36% en el AIN) (Figura 10.1.1)

La cuantificación de las extracciones de 2009/10, 2010/11 y 2011/12, pertenecientes a los períodos de prórroga de la Fase I, no se realizó por faltar su financiación.

10.2- ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LA PIEZOMETRÍA

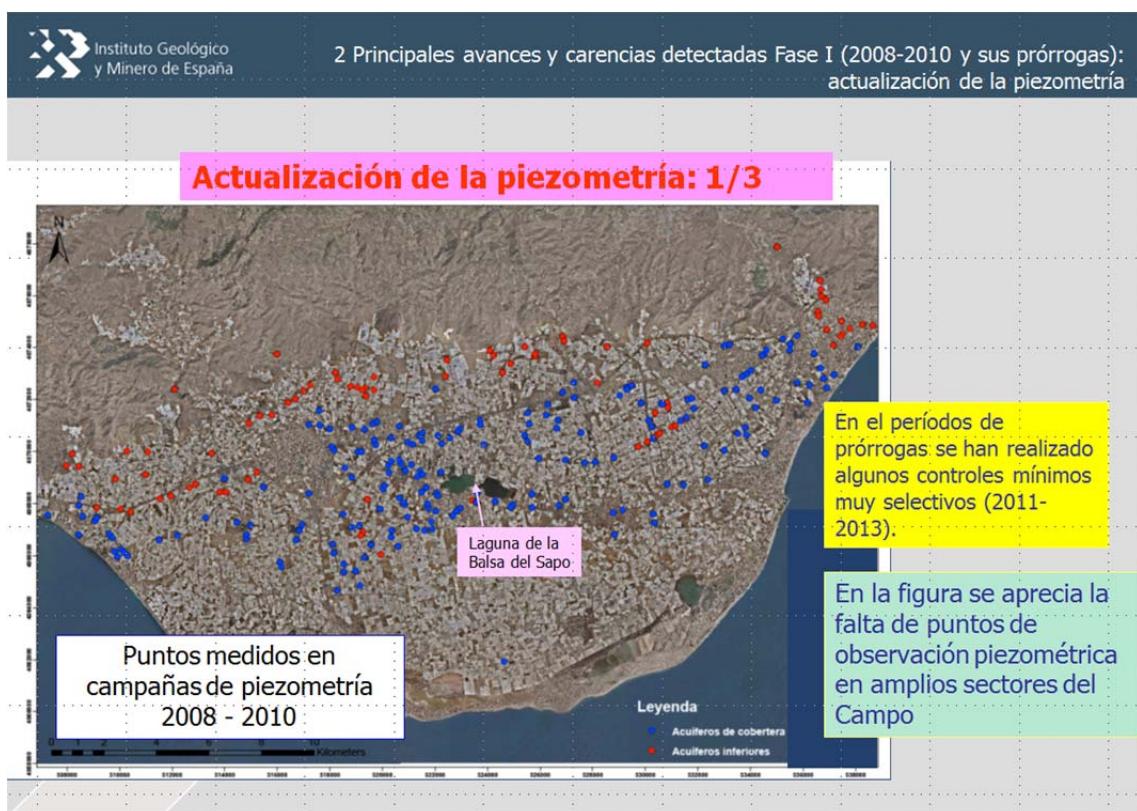


Figura 10.2.1: Síntesis de la mejora de conocimiento de la actualización de la piezometría. Parte 1 de 3.

Se trata de la evolución espacial y temporal de la piezometría durante 2008, 2009 y 2010. En los períodos de prórrogas (2011-13) se han realizado sólo controles mínimos muy selectivos, y no se ha iniciado la adecuación necesaria de la red de observación (con falta de puntos en amplias zonas) por no estar provista su financiación para esos años.

El cambio en la distribución histórica de la explotación de las capas libres de los acuíferos de las áreas de El Viso – La Gangosa hacia las áreas del AIN de El Viso y El Águila, ha producido en dichas capas libres, desde el inicio de la década de 1990 a la actualidad, una inversión del flujo subterráneo generalizado, resultante en sentido Oeste – Este, que provoca una regresión de sus antiguos flujos con mezcla de agua de mar (lo que no ocurre en las capas confinadas en las que los

flujos salinos continúan su progresión hacia las áreas interiores de explotación de El Viso y de El Águila).

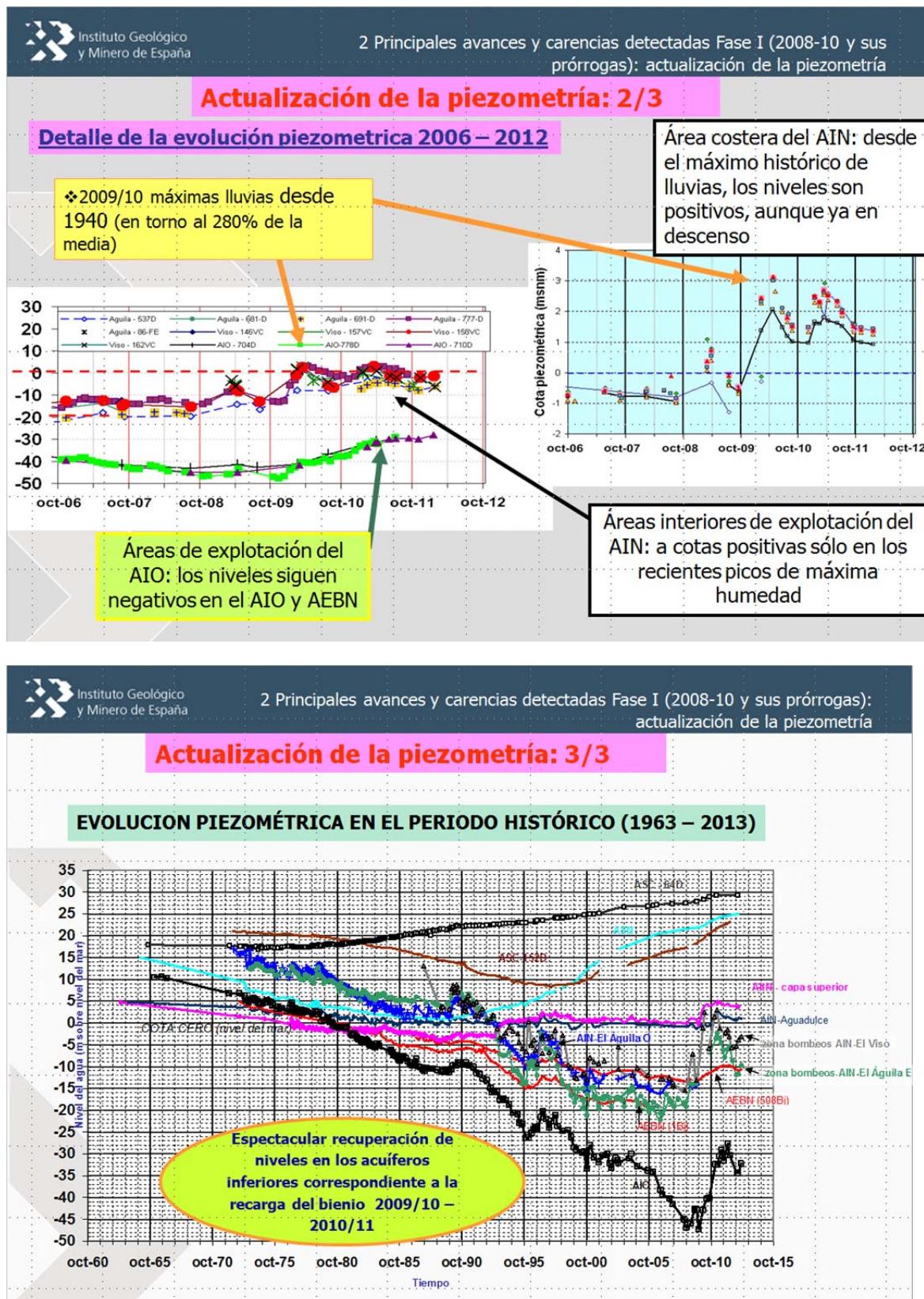


Figura 10.2.2: Síntesis de la mejora de conocimiento de la actualización de la piezometría. Partes 2 y 3 de 3.

10.3- LA ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO DEL ESTADO DE LA SALINIZACIÓN EN PROFUNDIDAD DE LOS ACUÍFEROS INFERIORES

Según el historial de datos, este proceso se inició por los extremos del Campo en sentidos opuestos y avanza, desde los primeros años 80, hacia las áreas centrales del mismo: de Balanegra a las áreas de explotación del AIO; y de Aguadulce – Roquetas hacia las áreas de explotación de El Viso y de El Águila en el AIN.

A falta, prácticamente, de red específica de observación de la salinidad en profundidad, el seguimiento del proceso se ha practicado casi únicamente en sondeos de explotación (en general poco penetrantes) mediante registros geofísicos y estudios de las variaciones de salinidad de las mezclas de agua con el tiempo de bombeo.

En esta fase inicial del Programa se realizaron 4 campañas (entre 2009 y 2010).

Se ha podido constatar el aumento de la salinidad en profundidad en todas las áreas aún explotables de estos acuíferos inferiores, de los que se abastece actualmente un 89% de las demandas.

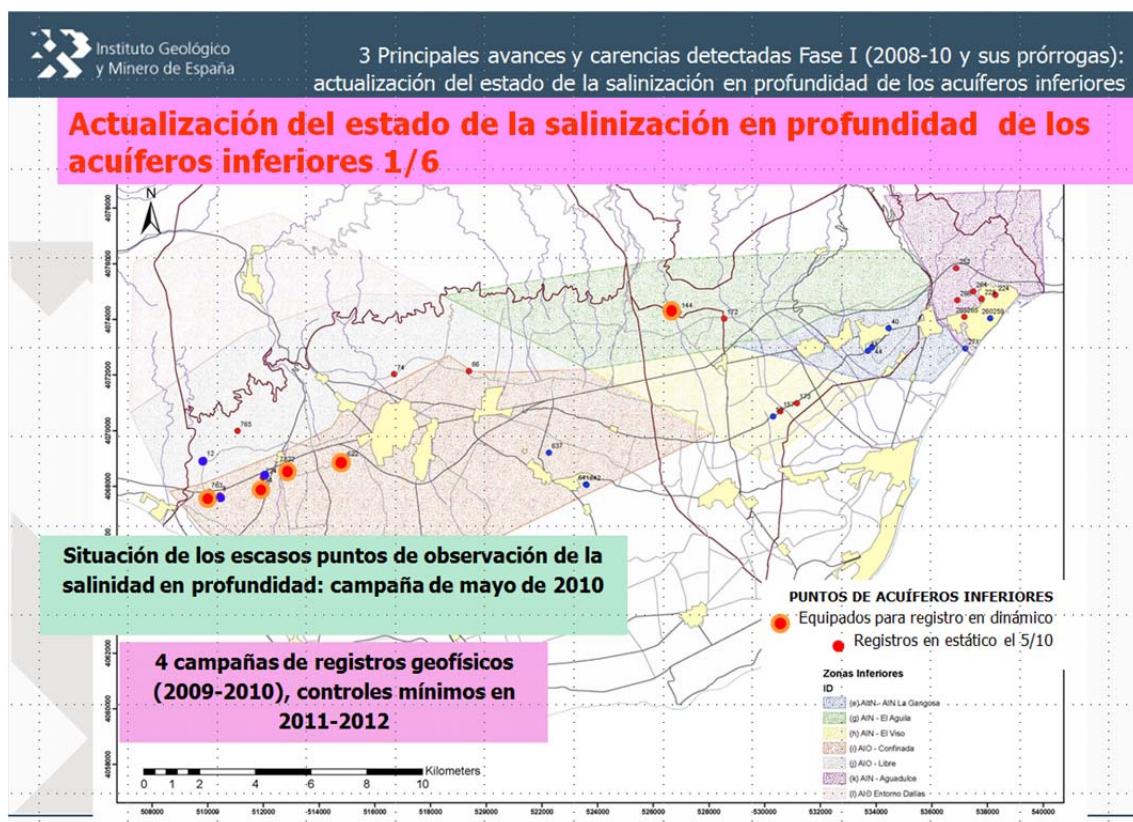


Figura 10.3.1: Síntesis de la actualización del estado de la salinización en profundidad en los acuíferos inferiores. Parte 1 de 6.

El proceso de salinización desde Balanegra registrado en sus estados iniciales afectó al acuífero de cobertura AEBN, **desde el cual se viene trasmitiendo al AIO**. Pero, dada la mayor

densidad del agua salada y el grueso espesor del acuífero carbonatado, en su progresión hacia el interior y su ascenso hasta los fondos de las captaciones, **tardó más de 25 años en detectarse en los sondeos de explotación de este acuífero**. Esta mejora de información se produjo durante las campañas de registros geofísicos de 2010, en esta fase inicial del Programa, en cuyas prórrogas sólo se han llevado a cabo controles mínimos. Las captaciones afectadas se situaban en 2012/13 aún en la mitad occidental de la zona de explotación del AIO, detectadas hasta unos 8 km de la costa noroccidental.

La Figura 10.3.1 muestra la situación de los escasos puntos de observación de la salinidad en profundidad, registrados en distintas condiciones en la campaña de 2010, y en la Figura 10.3.2 se muestra un detalle de las diagrámas realizadas en un sondeo del AIO, el punto situado más cercano al AEBN (sondeo 763-D, de abastecimiento a Balerma), el acuífero que le trasfiere lateralmente el agua salada. A pesar de la presencia de flujos verticales en la citada captación, pudo observarse el aumento de la salinidad en profundidad (a -172 metros sobre nivel del mar) mediante la realización de estas pruebas geofísicas con el sondeo bombeando. Los valores más altos de salinidad se detectaron en octubre de 2011; la mayoría de las muestras obtenidas en bombeo, de puntos que captan ya la mezcla de agua marina, mostraron los valores mayores en 2011/12.

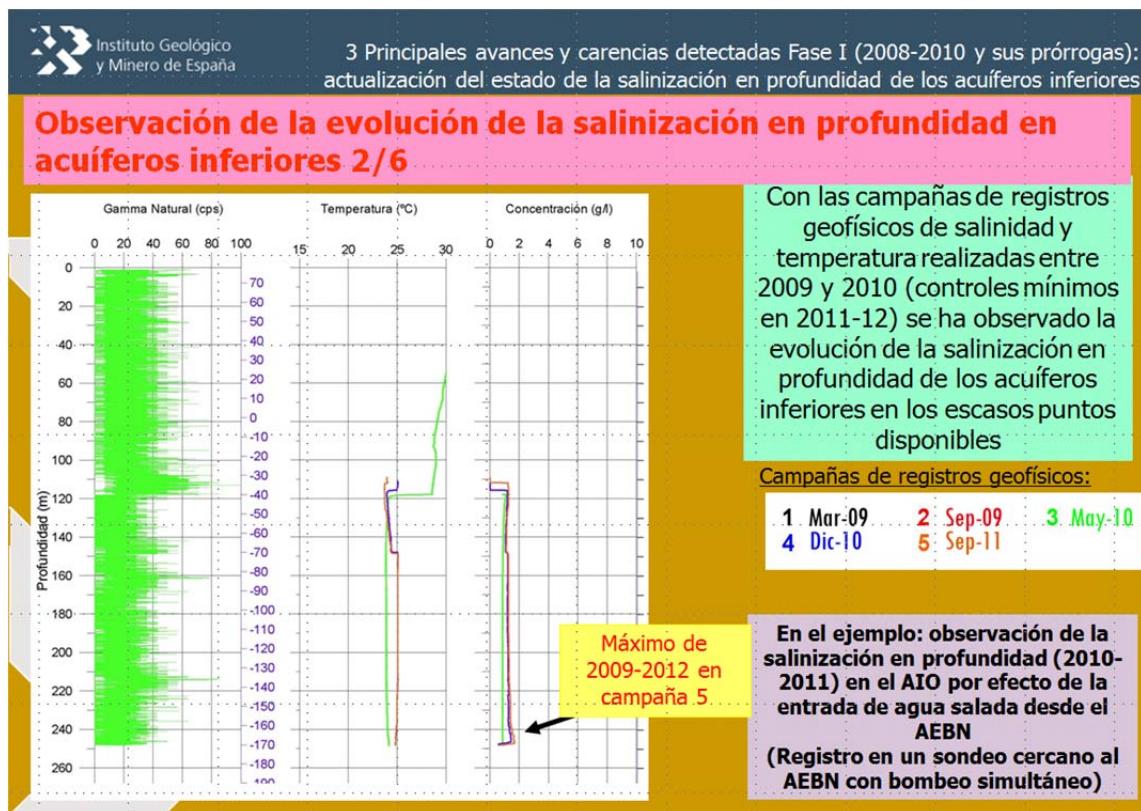


Figura 10.3.2: Síntesis de la actualización del estado de la salinización en profundidad en los acuíferos inferiores. Parte 2 de 6.

La Figura 10.3.3 presenta los **resultados de la investigación sobre la influencia de la salinización en profundidad en las captaciones del AIO**. Se estudiaron los escasos registros geofísicos realizados durante la Fase I y se compararon con los datos de mezclas de bombeo obtenidos desde 1972, teniendo en cuenta las distintas penetraciones de las captaciones consideradas, las tendencias temporales y las variaciones observadas con el tiempo de bombeo en las muestras históricas y obtenidas.

Se detectó directamente la presencia de agua salada en profundidad en 2010 mediante las diagrafías realizadas en sondeos (en reposo y en bombeo), y se dedujo, indirectamente, su influencia en el agua bombeada de las captaciones señaladas (en el punto más penetrante del AIO se observó así este aumento desde 2007).

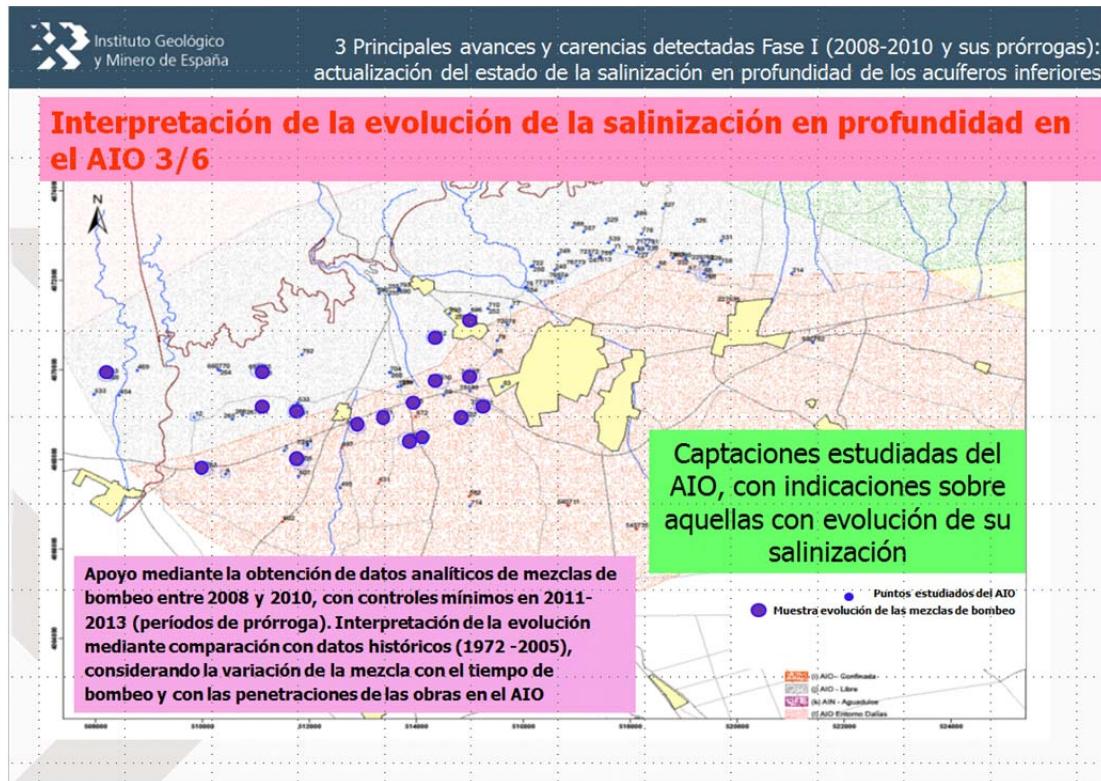


Figura 10.3.3: Síntesis de la actualización del estado de la salinización en profundidad en los acuíferos inferiores. Parte 3 de 6.

Desde el Este (Aguadulce – Roquetas) se manifestó el proceso de avance hacia el Oeste en el AItN /AIN con más visibilidad, afectando pronto a sus áreas costeras, primero, en los años 70, desde Roquetas a la de La Gangosa y, a mediados de la década de 1980, también a la de Aguadulce, alcanzando en unos 15 años el borde oriental del área confinada de El Viso y, a los 25 años desde el inicio, a la captación más occidental de la misma. Este área, junto con la de El Águila, aportan el bombeo principal del AIN.

Actualmente todas las áreas de explotación del acuífero inferior de la zona oriental (AIN) están afectadas por salinización. El proceso ha dado lugar al aumento de la salinidad del agua de bombeo en el 66% de las captaciones observadas (datos del 2010), correspondientes a las áreas de El Águila y El Viso (ya que, por su estado de salinización, en las de Aguadulce y La Gangosa, prácticamente el bombeo sigue siendo irrelevante, aunque localmente -por la entradas excepcionales en 2009/10- haya mejorado discretamente la calidad en los tramos superiores de los carbonatos).

En la **Figura 10.3.4** se muestra un detalle de las diagrafías realizadas en un punto de observación del área costera del AIN (sondeo 265-RM), en el que se ha detectado la influencia de flujos verticales desde los estudios previos del IGME. Para el tramo de flujo horizontal (de - 150 a valores de -250 metros sobre nivel del mar) la mayor salinidad se observó en septiembre de 2011. Estas pruebas sólo pudieron realizarse en condiciones de reposo del sondeo, ya que en este área no existen, actualmente, posibilidades de llevarlas a cabo en bombeo.

Observación de la evolución de la salinización en profundidad en acuíferos inferiores 4/6

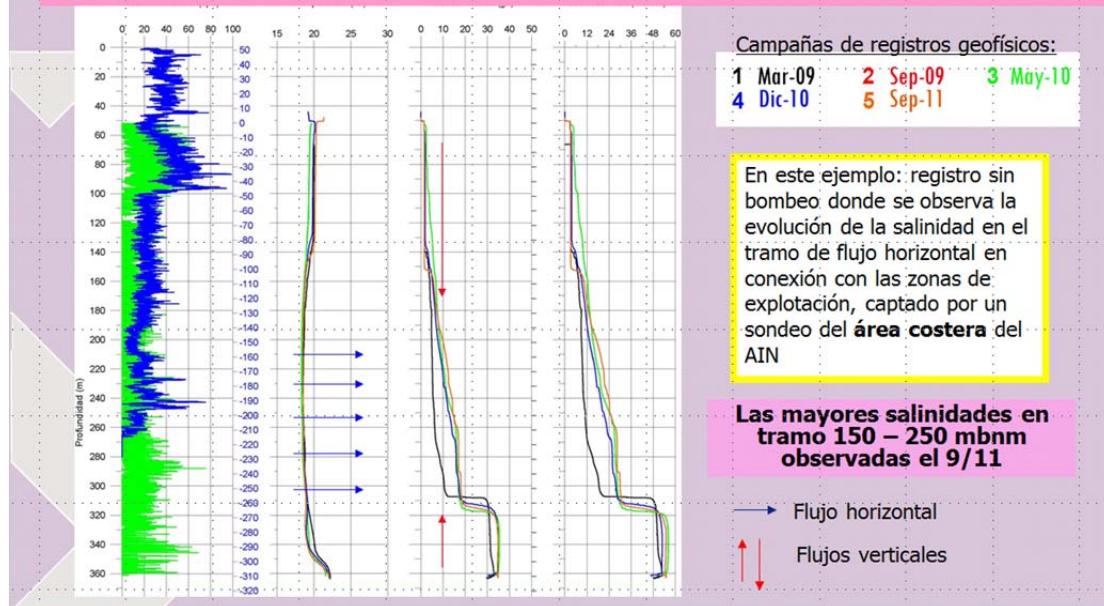


Figura 10.3.4: Síntesis de la actualización del estado de la salinización en profundidad en los acuíferos inferiores. Parte 4 de 6.

Esquema del progreso de la salinización en el AIO (2012/13) 5/6

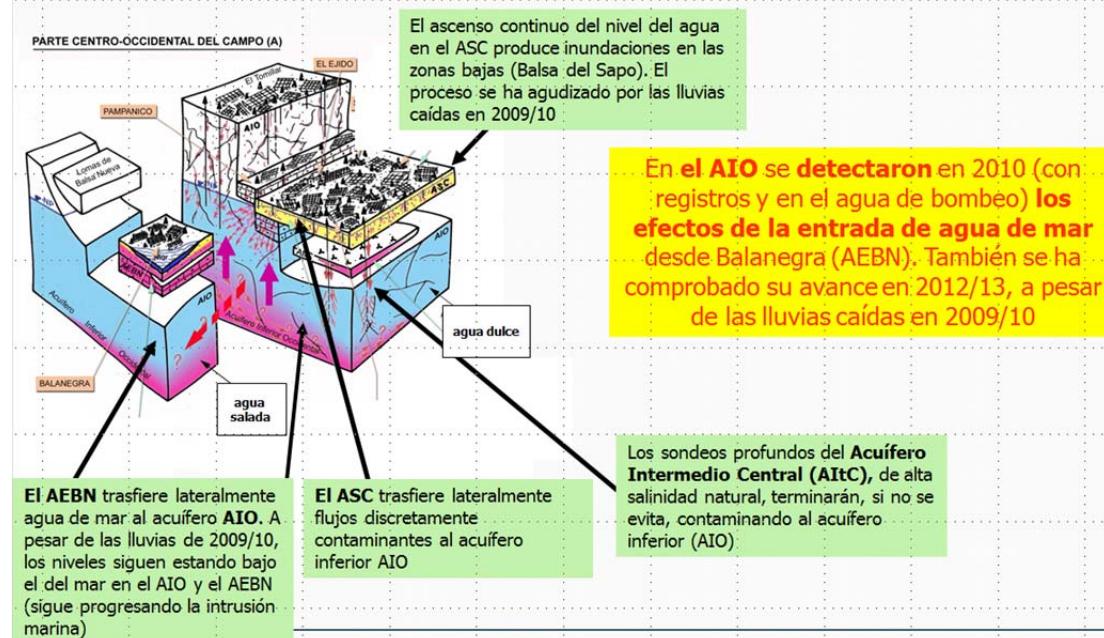


Figura 10.3.5: Síntesis de la actualización del estado de la salinización en profundidad en los acuíferos inferiores. Parte 5 de 6.

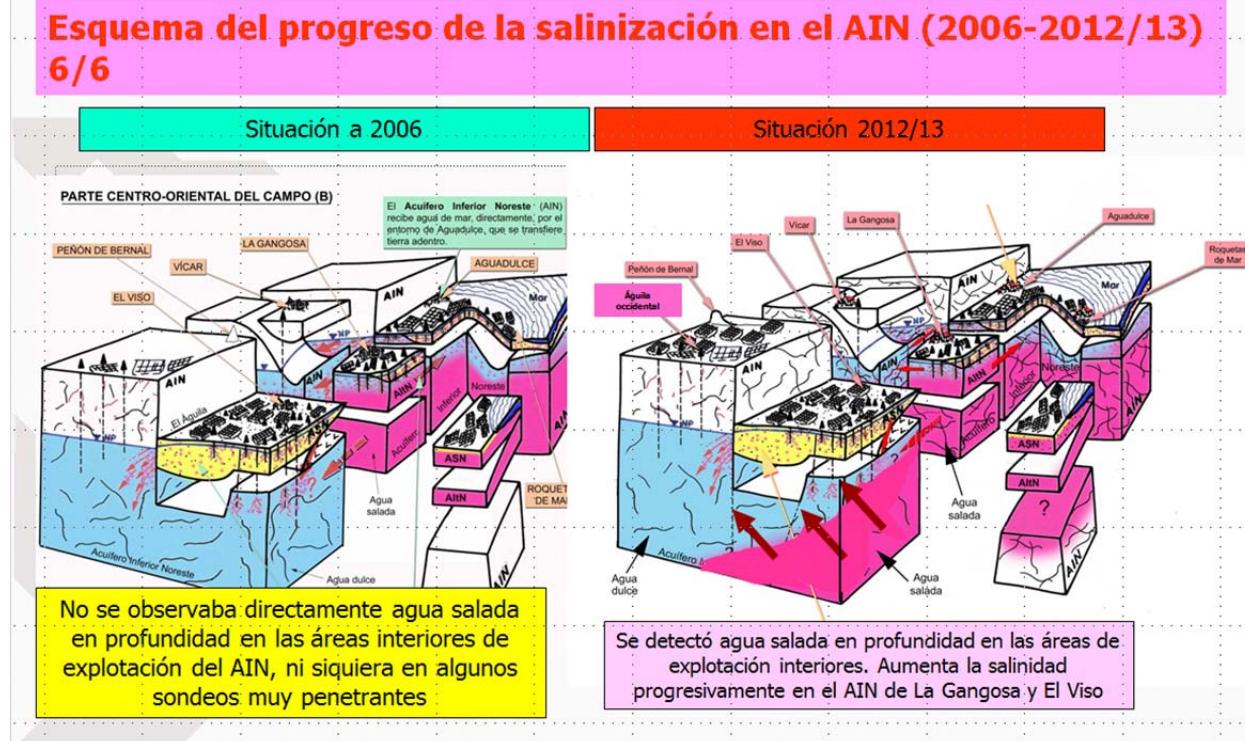


Figura 10.3.6: Síntesis de la actualización del estado de la salinización en profundidad en los acuíferos inferiores. Parte 6 de 6.

Como idea más visible de la progresión de la salinidad, desde Balanegra hacia el Este / Sureste (a falta de mejores datos por carencia de puntos de observación adecuados) se han detectado mezclas con agua de mar en el fondo de captaciones (particulares) del AIO hasta 8 km de la costa, como se ha dicho, transferidos desde el AEBN (antes de 2010 no pudieron advertirse por las características del acuífero y la relativa baja penetración de los sondeos de explotación).

Para dar más visibilidad a la explicación sobre el avance de la salinización hacia el Oeste por mezclas de agua de mar en el AIN, desde la costa oriental (núcleos de Aguadulce a Roquetas de Mar), se señala su estado muy avanzado ya en cada uno de los acuíferos del sector noreste de las áreas de Aguadulce y La Gangosa, hasta 5-7 km del litoral, llegando hasta 8-10 km por el Oeste en toda la cobertura pliocena del área de El Viso. En este área, ya se han detectado dichas mezclas en el fondo de captaciones del AIN. (En 2001, estas mezclas de agua de mar no se observaron en la totalidad de la columna del sondeo de investigación 167-VC, realizado en la misma por la Consejería de Agricultura, que alcanzó 1220 m de profundidad).

La falta de puntos adecuados de observación en profundidad ha impedido dar más precisión a esta actualización del estado de la salinización en los acuíferos inferiores.

10.4- CONOCIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS COBERTERAS

El avance en este conocimiento ha sido precario a muy precario por el estado de abandono de la infraestructura de captaciones existente, especialmente para el caso de las coberturas del sector noreste (en las que prácticamente no hay puntos donde muestrear) pero también en el ASC, ya que cuenta con grandes sectores del mismo sin perforaciones y las duraciones de extracción en las existentes para obtener las muestras, generalmente han tenido que ser cortas, en frecuentes casos de dudosa representatividad.

Para su estudio, se precisa de una red de investigación específica (adecuada en el espacio y con posibilidades de extracción de todos los tramos de los acuíferos y observación de sus contenidos en profundidad).

Se obtuvieron muestras de agua -básicamente de mezclas de bombeo- para llevar a cabo distintos tipos de analítica en 2008/09 y 2009/2010 (Figura 10.4.1), pero no se pudo contar con datos desde 2010/11 en adelante (trabajos previstos en el Programa pero no presupuestados para la Fase I) período posterior al año más húmedo de la serie histórica.

En puntos muestreados del ASC, se deducen posibles diferentes calidades en su vertical, que producen mezclas (muy variables por sus orígenes) con el bombeo, de distintas características “aparentes”. No se tiene acceso a los valores “reales” de estas calidades por falta de la red específica, como ya se ha comentado.

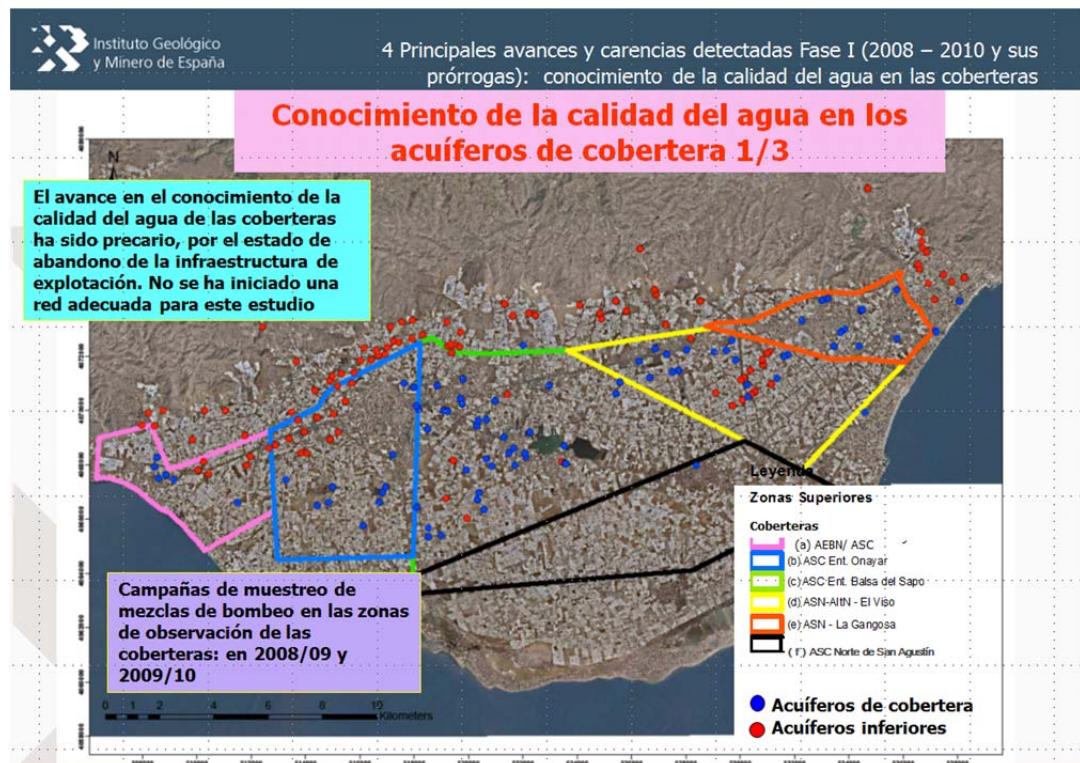


Figura 10.4.1: Síntesis del conocimiento de la calidad del agua en los acuíferos de cobertura. Parte 1 de 3.

Como ejemplo de contenidos encontrados en la mezclas de agua de bombeo muestreadas de acuíferos de cobertura durante la Fase I, la **Figura 10.4.2** indica los de nitratos (mg/L). Se obtuvieron valores desde menores 50 mg/L a varios cientos. Como se ha dicho, estos contenidos son “aparentes”, no representan la distribución vertical en estos acuíferos sino la mezcla resultante de los valores reales de nitratos de cada tramo vertical, según las condiciones de extracción del agua durante el muestreo. A primera vista, destacan las mayores concentraciones relacionadas con los núcleos urbanos de El Ejido – Santa María del Águila.

Así, tampoco se han podido conocer valores reales, sino aparentes, de la salinidad y de las concentraciones de los otros elementos químicos mayoritarios en los puntos muestreados en la Fase I. Para la salinidad, por ejemplo, en las escasas zonas accesibles al muestreo del ASC, se observaron, o dedujeron, tanto aumentos de ésta con la profundidad, como disminuciones, lo que nos informa de una probable alta variación espacial de calidades del agua en este acuífero, a cuyo conocimiento no tenemos acceso sin la ejecución de la red específica de observación.

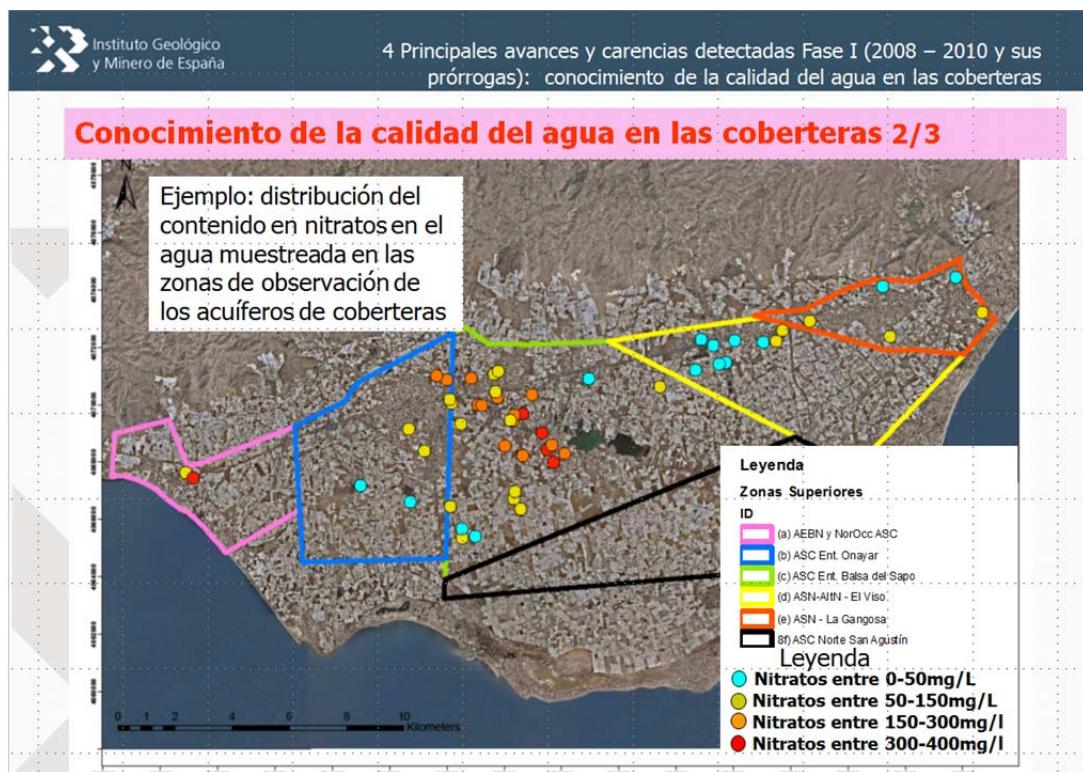


Figura 10.4.2: Síntesis del conocimiento de la calidad del agua en los acuíferos de cobertura. Parte 2 de 3.

La **Figura 10.4.3** muestra la evolución temporal (1979 – 2010) del contenido en nitratos en las mezclas de bombeo de distintos puntos de los acuíferos de cobertura (en este caso tres puntos del ASC, del AItN y del AEBN/ASC, respectivamente). Si comparamos condiciones similares de extracción, se puede apreciar una tendencia general al aumento en nitratos con el tiempo.

No sabemos cuál era la distribución real, en la vertical de cada acuífero, del contenido en nitratos, pero sí que esta concentración ha aumentado con el tiempo en puntos muestreados, reflejándose en la mezcla de condiciones similares de extracción; proceden de los excedentes de las actividades antrópicas sobre la superficie de estos acuíferos.

Conocimiento de la calidad del agua en las coberteras 3/3

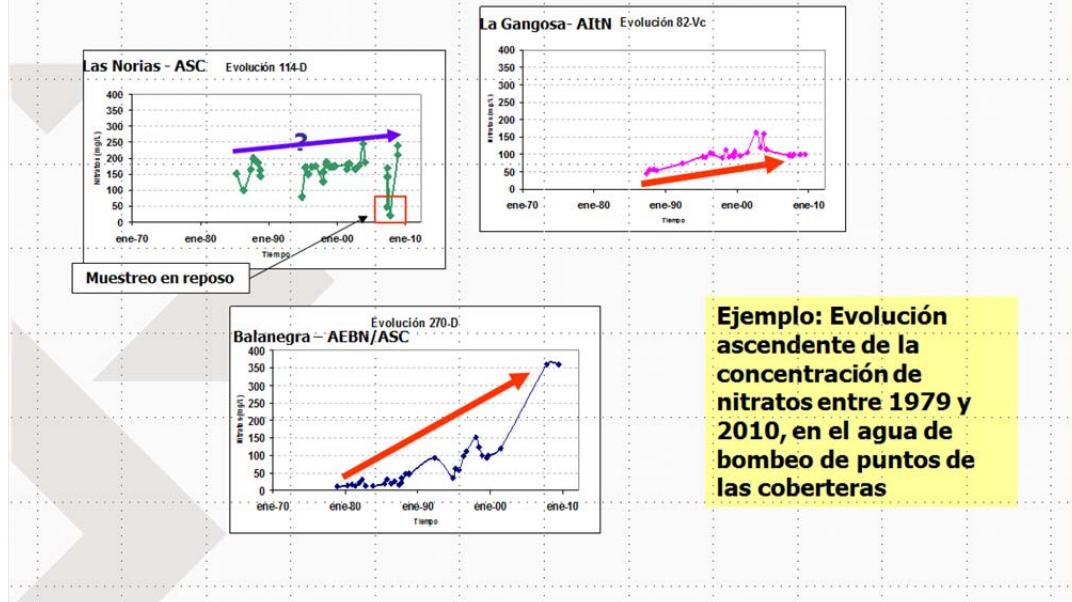


Figura 10.4.3: Síntesis del conocimiento de la calidad del agua en los acuíferos de cobertura. Parte 3 de 3.

10.5- SOBRE EL MODELO DE GEOMETRÍA Y EVOLUCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE ACUÍFEROS

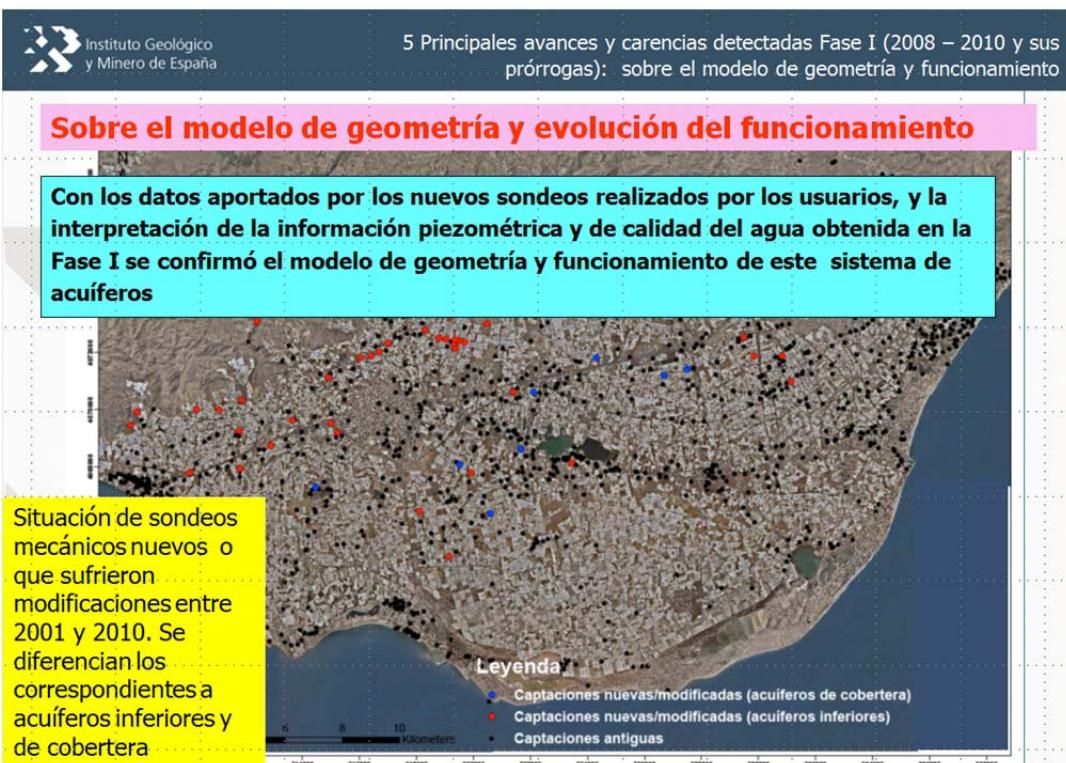


Figura 10.5.1: Síntesis del conocimiento sobre el modelo de geometría y evolución del funcionamiento de acuíferos.

Entre 2001 y 2010, los usuarios han modificado o llevado a cabo unas 60 captaciones, con una profundidad media de 375 metros, con las que se ha ampliado la información sobre los terrenos atravesados y las características de los acuíferos implicados.

Con los datos aportados por los nuevos sondeos y la interpretación de las informaciones piezométricas y de calidad del agua obtenida en la Fase I, se confirmó el modelo de geometría y funcionamiento de este sistema de acuíferos.

10.6- REORDENACIÓN DE BOMBEOS: PRIMERA PROPUESTA CORRESPONDIENTE A LA FASE INICIAL

Con la actualización del funcionamiento hidrogeológico realizada al inicio de la Fase I (2008) se definieron trece **Zonas Estratégicas de interés** (7 de los acuíferos inferiores y 6 de las coberteras) y se consideraron inicialmente como preferentes siete zonas, en las que se fueron recogiendo desde entonces distintos tipos de datos con los que mejorar su información, para valorar su interés en relación con los objetivos prácticos concretos (Fig. 10.6.1). Se han encontrado carencias importantes en estos datos: los de calidad del agua, como ya se ha comentado, han resultado insuficientes, y hay falta de datos piezométricos en amplias zonas de las coberteras.

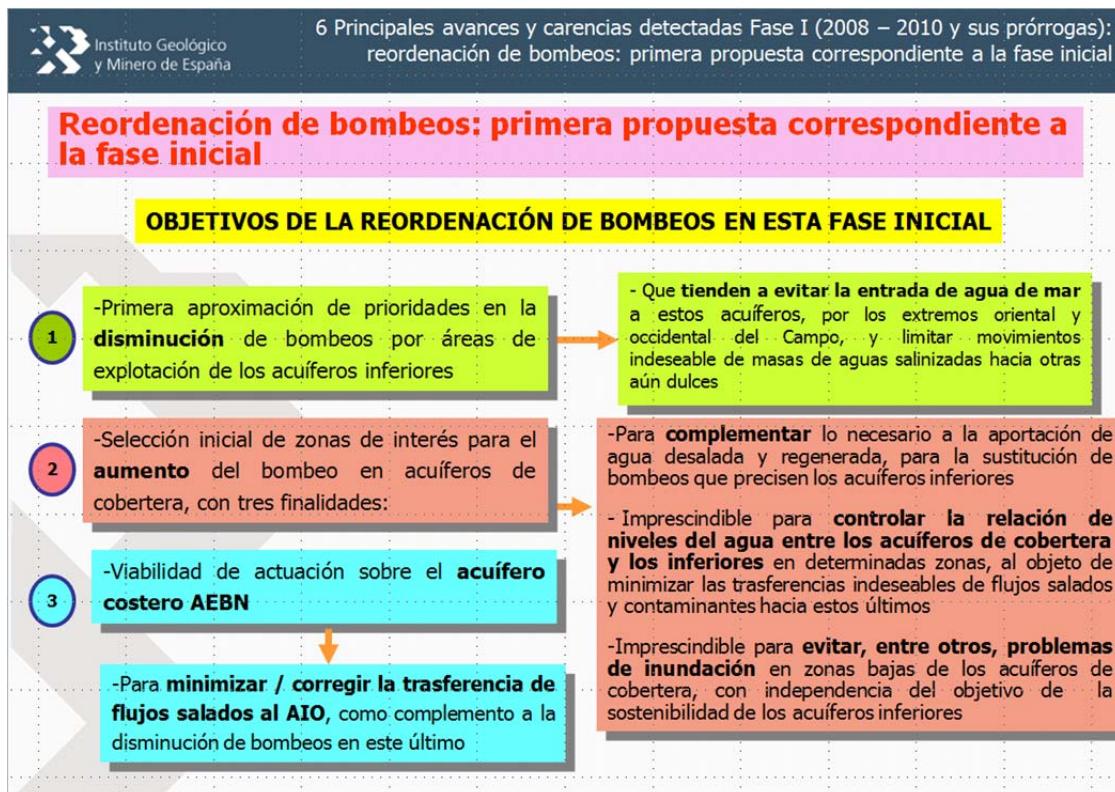


Figura 10.6.1: Reordenación de bombeos: primera propuesta correspondiente a la fase inicial. Objetivos en esta fase inicial.

10.6.1.- En los acuíferos inferiores

En relación con la necesaria aproximación de prioridades en la **disminución** de bombeos por áreas de explotación de los acuíferos inferiores (Figura 10.6.2), los fundamentos de la misma han sido el avance en el conocimiento sobre la progresión del proceso de salinización en profundidad en los dos acuíferos inferiores, que ha confirmado la necesidad de disminución drástica del bombeo en ambos, y ha aportado datos que indican en cuáles sectores, de las tres zonas de explotación escogidas para ello, esta disminución resulta prioritaria (teniendo en cuenta que, cuando se vaya a aplicar, tendrá que actualizarse el conocimiento del funcionamiento en sus distintas áreas).

Las zonas de los acuíferos inferiores identificadas como Zona g, Zona h y Zona j en la Figura 10.6.3 son las áreas preferentes de disminución de bombeos de los mismos.

Se han considerado **prioridades máximas de reducción de bombeos: para la Zona j** (explotación en zona libre del AIO) principalmente en su **sector más occidental**; **para la Zona h** (en su **sector más oriental**); y para la **Zona g**, en el **sector oriental** del área de El Águila.

A requerimiento de los gestores, en su día, se hizo una estimación muy preliminar para las distintas Zonas (j, g y h) de las proporciones de reducción entre las mismas, según las previsiones y posibilidades de obtención de los distintos recursos de sustitución. Esta estimación es revisable necesariamente, ya que ha de fundamentarse en la información que se disponga en su momento sobre el funcionamiento actualizado (en cantidad y calidad) de las distintas áreas de estos acuíferos, y sobre los volúmenes de sustitución disponibles y la evolución de la salinidad en las distintas zonas indicadas.

6 Principales avances y carencias detectadas Fase I (2008 – 2010 y sus prórrogas): reordenación de bombeos: primera propuesta correspondiente a la fase inicial

Reordenación de bombeos: primera propuesta correspondiente a la fase inicial

1 -Primera aproximación de prioridades en la **disminución** de bombeos por áreas de explotación de los acuíferos inferiores

La progresión de la salinización en profundidad en los dos acuíferos inferiores confirma la necesidad de una disminución drástica de los bombeos en los mismos, y aporta datos sobre las prioridades de actuación en sus zonas de explotación (que habrán de actualizarse antes de llevarlas a cabo)

Se han seleccionado 3 zonas de explotación de los **Acuíferos Inferiores**, para reducción de los bombeos en ambos acuíferos

Figura 10.6.2: Reordenación de bombeos: primera propuesta correspondiente a la fase inicial. Primera aproximación a prioridades de disminución de bombeos por áreas de explotación de los acuíferos inferiores.

Reordenación de bombeos: primera propuesta correspondiente a la fase inicial



Figura 10.6.3: Reordenación de bombeos: primera propuesta correspondiente a la fase inicial. Zonas estratégicas de los acuíferos inferiores.

Estas estimaciones previas de reducción de bombeos en las áreas preferentes de los acuíferos inferiores, muy preliminares, realizadas a principios de 20012, ya tendrían que modificarse muy probablemente, a la vista de los datos que se han obtenido hasta el final de 2013.

10.6.2.- En los acuíferos de cobertura

Se han seleccionado tres zonas para aumento del bombeo en las coberturas (Figura 10.6.4).

- Se ha elegido una zona de eventual aumento de bombeo en el ASN – AItN, destinada a la vigilancia de la eventual contaminación por trasferencia de flujos salados desde dichos acuíferos al AIN.
- Dos zonas del ASC que tienen como finalidad aportar un complemento de bombeo con el que contribuir a los volúmenes de sustitución de extracciones de los acuíferos inferiores, además de apoyar a solucionar problemas de inundaciones en zonas bajas. Para ellas se ha realizado un modelo simplificado de flujo, con el que se han analizado algunas alternativas de incremento de extracciones, incluyendo el bombeo directo en la laguna de la Balsa del Sapo, aunque no se ha llevado a cabo un análisis completo de las mismas. Como primera aproximación, se ha estimado un bombeo global

en estas dos zonas de 20-25 hm³/año, en el que se incluye la extracción directa del agua en la laguna citada.

Esta cantidad seguramente podría incrementarse con el bombeo en otras zonas del ASC y de las coberturas del sector noreste (Zonas f y d, respectivamente, ver Figura 10.6.5). Para su determinación haría falta la ejecución de sondeos donde captar los datos necesarios, así como la modelación numérica de los acuíferos implicados. También resulta necesario mejorar el conocimiento de la calidad del agua en todas ellas para conocer qué posibilidades de uso tienen en relación con las exigencias de las demandas y el diseño de los tratamientos que requieran.

Respecto al objetivo de análisis de la viabilidad de actuaciones sobre el AEBN para proteger al AIO frente a la entrada de agua de mar desde el citado acuífero, se ha construido un modelo de flujo relativo al AEBN que, con limitaciones (imposición de niveles en su contorno) podrá emplearse para simular distintas alternativas a plantear, el cual podrá mejorarse con el tiempo, acoplándolo al modelo del AIO y el ASC. Con la continuidad de esta actuación podrá evaluarse el interés de realizar futuras recargas en el AEBN para evitar o reducir la entrada de agua salada al acuífero inferior.

6 Principales avances y carencias detectadas Fase I (2008 – 2010 y sus prórrogas): reordenación de bombeos: primera propuesta correspondiente a la fase inicial

Reordenación de bombeos: primera propuesta correspondiente a la fase inicial

2 -Selección inicial de zonas de interés de **aumento** del bombeo en acuíferos de cobertura, con tres finalidades:

3 -Viabilidad de actuación sobre el **acuífero costero AEBN** para proteger el AIO frente a la entrada de agua salada desde el AEBN

-Se han seleccionado 3 zonas de interés en los **Acuíferos de cobertura para aumento del bombeo**:

- 2 zonas para localizar bombeos con los que obtener **recursos complementarios** de sustitución y contribuir a la corrección del problema de inundaciones. Mediante la construcción de un modelo simplificado de flujo, en ellas se ha iniciado el análisis de viabilidad de algunas alternativas de incremento del bombeo, incluyendo bombeo directo de la laguna de la Balsa del Sapo
- 1 zona para **vigilancia de la eventual contaminación por transferencia de flujos** con mezcla de agua marina desde el ASN – AItN, al AIN

-Se ha construido un **modelo simplificado** de flujo del **AEBN**, que ha quedado pendiente de explotación, para simular distintas alternativas para protección del AIO

Figura 10.6.4: Reordenación de bombeos: primera propuesta correspondiente a la fase inicial.

Las cuatro Zonas Preferentes de actuación de los acuíferos de cobertura: son las Zonas a, b, c y d. La Figura 10.6.5 muestra su situación y objetivos en cada caso.

De los dos objetivos de la propuesta de bombeo en la Zona c, del ASC (y previsiblemente en otras como en la Zona b), **el primero es inevitable** (aunque no se haga nada en los demás acuíferos del Campo) para controlar el ascenso de los niveles del agua en el acuífero que generan

problemas de inundación (como en los entornos de Las Norias, de la Cañada de Ugíjar, etc.), o de saturación en áreas no deseables por la presencia de zonas de antiguos vertidos (sólidos o líquidos) tales como Onáyar, algunas cañadas al sur de El Ejido y Sta. María del Águila, etc.

El segundo de los objetivos citados para la Zona c (Figura 10.6.5) es conveniente porque su aprovechamiento contribuye a la acumulación de recursos complementarios que necesita la sustitución de parte del bombeo de los acuíferos inferiores.



Figura 10.6.5: Reordenación de bombeos: primera propuesta correspondiente a la fase inicial. Zonas estratégicas de las coberturas con sus objetivos.

La Figura 10.6.6 corresponde a un trabajo no programado para la Fase I, realizado a petición de la AAA en febrero-marzo de 2011, que incluye una serie de actuaciones recogidas en varios documentos (entre otros: Documentos 146 y 148, de marzo y mayo de 2011, respectivamente, recogidos en Anexo 13).

La Figura 10.6.7 corresponde a la primera de estas actuaciones, como apoyo a la comprensión del funcionamiento hidrogeológico del ASC (y la laguna, su afloramiento en lámina libre) en el entorno de Las Norias. El Documento 184 (en Anexo 8) reúne los resultados de una serie de actividades del Trabajo 2D en el que se recoge un grupo de alternativas preliminares de incremento de bombeos en las áreas del ASC con mayor historial de datos, apoyadas en el modelo matemático elaborado como herramienta auxiliar de cálculo, tras el análisis hidrodinámico y la consideración del modelo conceptual de geometría y funcionamiento de acuíferos establecido por el IGME en las trabajos previos al Programa.

Funcionamiento hidrogeológico del Entorno de la Balsa del Sapo

- ✓ En el paraje de la Balsa del Sapo se superponen **2 tipos de procesos**: 1) Riesgo histórico potencial de ocurrencia de precipitaciones torrenciales de magnitud excepcional sobre la cuenca de recepción de esta depresión de la llanura; 2) Aparición, desde los años 90, de una laguna permanente en el entorno de la población de Las Norias (a consecuencia del ascenso del nivel piezométrico en el ASC) cuya expansión viene provocando **inundaciones** en esta zona

Con respecto al segundo:

- ✓ La **recarga actual del ASC** tiene 2 componentes: la **natural** (infiltración directa de la lluvia, y de escorrentías superficiales procedentes de la Sierra); y los **retornos** de las **actividades** agrícolas y urbanas sobre el ASC (que usan aguas ajenas a este acuífero)
- ✓ El efecto, en el nivel del agua del ASC, de los **retornos**, es una **tendencia ascendente**, ajena a la incidencia de lluvias
- ✓ En la recarga natural predomina el efecto de las escorrentías superficiales frente al de la precipitación directa. Los eventos de precipitación inciden en las **fluctuaciones del nivel del ASC** (un caso muy destacado fue el efecto de las lluvias de 2009/10); mientras que los reducidos bombeos de captaciones del ASC producen **escasas perturbaciones**
- ✓ En los eventos de precipitación que dan lugar a escorrentías superficiales que llegan a alcanzar la laguna, ésta eleva su nivel sobre el del ASC y lo alimenta; al contrario ocurre en la situación normal

- ✓ Se están llevando a cabo bombeos de la lámina libre de la laguna para la corrección del problema de **inundaciones**, que se mostraron insuficientes, por lo que se ha ampliado su volumen. Es necesario **aprovechar al máximo todo el agua que se extraiga para solucionar este problema local**, utilizando para **sustitución de bombeos de los acuíferos inferiores**, en el marco del Programa de sostenibilidad

Figura 10.6.6: Síntesis del funcionamiento hidrogeológico en la zona Entorno de la Balsa del Sapo Zona estratégica c).

Comparación del nivel del agua en la laguna de la Balsa del Sapo con hidrogramas de puntos del ASC y ASN, y con las precipitaciones diarias en la Estación de Felix (vertiente sur de la Sierra) 2006 -2012

Las tendencias crecientes en todos los puntos son el efecto de la recarga por retornos de actividades antrópicas (con aguas ajenas a las coberturas)

Las fluctuaciones de los niveles corresponden con la incidencia de la recarga natural, muy acusada en 2009/10 (máximo de lluvias desde 1940)

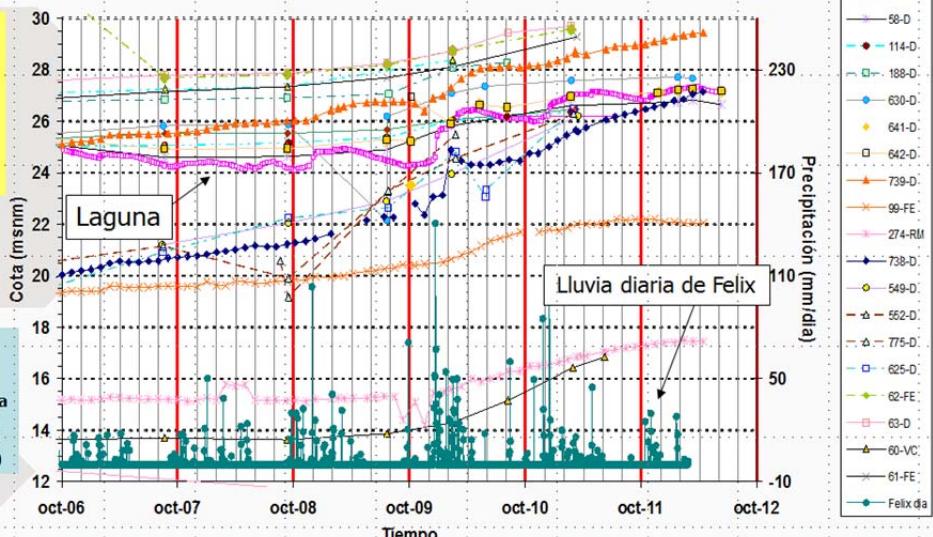


Figura 10.6.7: Del estudio del funcionamiento del ASC en el entorno de la laguna de la Balsa del Sapo.

La experiencia adquirida sobre los acuíferos del Campo de Dalías con el trabajo histórico de investigación sobre los mismos y la mejora y actualización conseguida con la Fase I, además de los resultados reflejados en este resumen, ha propiciado un **valor añadido de apoyo científico – técnico, para distintas Administraciones Públicas que lo han solicitado** (como los requeridos por la AAA sobre la Balsa del Sapo, por la Subdelegación del Gobierno, el MAGRAMA, la Administración de Justicia, el Ayuntamiento de El Ejido, etc.).

De este valor añadido podría aprovecharse el actual Organismo de Cuenca para intercambiar los imprescindibles conocimientos acerca de estos acuíferos en apoyo a su protección y regeneración y, en particular, para la formación del necesario Equipo Técnico especializado en los mismos –con las características que requería el Programa en su formulación de 2006- dada la dificultad (ya muy experimentada) para constituir este equipo en un tiempo corto.

CAPÍTULO 11.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1.- ENCUADRE DEL PROBLEMA

Después de los primeros diez años de investigación de los acuíferos del Campo de Dalías, el IGME puso de manifiesto que **el principal problema que afectaba a la sostenibilidad del uso dado a los mismos era la penetración progresiva de agua de mar en los llamados acuíferos inferiores** (que son los que vienen abasteciendo durante cerca de medio siglo a un 85% de las demandas). Se trataba de un problema grave en cuyo diagnóstico se tenía que profundizar con los medios adecuados a la importancia de sus recursos hídricos.

En los primeros años 80 ya se habían identificado los segmentos de costa por donde únicamente podía, y se estaba produciendo, el proceso de salinización, estableciéndose durante esa década el mecanismo de su funcionamiento a través del AEBN, pequeño acuífero poroso de la costa de Balanegra que trasfería al Acuífero Inferior Occidental (AIO) –el más bombeado del Campo- las mezclas muy saladas con agua de mar. Se intentó estudiar la viabilidad de evitar o minimizar esta trasferencia indeseable utilizando excedentes no regulados ni aprovechados del río Adra, pero el IGME en solitario carecía de medios para llevar a cabo estas actividades. En esa década se habían establecido normas restrictivas para el uso del agua (desde la Junta de Andalucía y del Estado) de acuerdo con la antigua Ley de Aguas y, con la nueva Ley, en 1986 se promulgaron medidas de esta naturaleza, ya bajo el control del Organismo de Cuenca –como responsable único de los recursos hídricos de la misma- que dependía entonces de la Dirección General de Obras Hidráulicas, normas que se fueron prorrogando en años sucesivos.

A mediados de los años 80, con el apoyo de la Junta de Andalucía se identificó también el mecanismo de entrada de agua de mar al Acuífero Inferior Noreste (AIN) por el área de Aguadulce y, al Acuífero Intermedio Noreste (AItN), por la costa norte de la de Roquetas. Por falta de sondeos adecuados de observación, durante décadas no se llegó a la comprensión de las vías de trasferencia de las mezclas con agua de mar a las zonas interiores del AIN de las áreas de El Viso y El Águila que, junto con las del AIO, vienen representando el grueso del bombeo del Campo. En captaciones particulares de las áreas de La Gangosa y El Viso se fueron detectando incrementos de salinidad del agua, derivados de estos procesos, cuya ocurrencia informaba del avance de la salinización, aunque sin la posibilidad de recoger datos sobre el alcance de la misma en el AIN.

Cuando ya se conocía durante años el avance de la salinización hacia el interior, por los citados frentes noroccidental y oriental del Campo, a solicitud de la Junta Central de Usuarios del Acuífero del Poniente Almeriense (JCUAPA) el Organismo de Cuenca llevó a cabo en 1995 la Declaración de Sobreexplotación de los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías, con lo que se ponía en marcha el preceptivo Plan de Ordenación de extracciones en la zona aunque, por inexistencia de recursos de sustitución de bombeos y por la compleja realidad socio económica existente, dicho Plan avanzó de forma lenta.

Ante esta situación, el IGME por su cuenta y animado por otras Instituciones, prosiguió con medios propios las investigaciones para mejorar el conocimiento de esta problemática, con objeto de facilitar –cuando fuera posible- la redacción y aplicación del preceptivo Plan de Ordenación. Mientras tanto, fue informando de los avances obtenidos con dichas investigaciones y reclamando

las mejoras imprescindibles en las redes de observación y otras actuaciones, con las que alcanzar los conocimientos necesarios, para que estuvieran ya disponibles, cuando se contara con los recursos de sustitución de bombeos a aplicar por el esperado Plan.

Una vez **decidida, por la Junta de Andalucía y el Ministerio de Medio Ambiente, la realización de una Desaladora de agua de mar en Balerma -con el apoyo de la Unión Europea** para sustitución de parte de los bombeos de los acuíferos inferiores de la zona, se **activaron las actuaciones del Plan de Ordenación** a cargo del Organismo de Cuenca (ya dependiente de esta Comunidad Autónoma) y se **encargó al IGME el análisis de la viabilidad del uso de estos acuíferos, para incorporarlos a dicho Plan**, de acuerdo con la Directiva Marco del Agua y con lo solicitado por esta Institución europea.

La conclusión positiva sobre dicha viabilidad se plasmó en el **Programa** de actuaciones (**de apoyo para la protección – regeneración** de estos acuíferos) **para hacerla posible si se cumplían los requerimientos reflejados en el mismo**, entre ellos los relativos a los medios y a los tiempos necesarios para su aplicación. En la actualidad el Programa ha quedado interrumpido en su primera fase, lo que pudiera comprometer el carácter integrador de todos los recursos de la zona, incluidos los subterráneos, con que se planteaba el Plan de Ordenación de la misma cuando se promovió la colaboración entre instituciones firmantes en 2007 del Acuerdo para la ejecución del Programa.

Desde las investigaciones del IGME, prolongadas entre 2008 y 2013 con los trabajos de este Programa, se han venido promoviendo, durante décadas, actuaciones orientadas a la sostenibilidad de estos acuíferos, y siempre entendiendo que la resolución del problema, por su complejidad, no puede abordarse acertadamente desde un solo punto de vista unidisciplinar. Esta consideración viene siendo mantenida por diversas Instituciones y Asociaciones de técnicos y científicos, entre ellas por la ONU- agua. A nivel europeo, la Directiva Marco del Agua sigue los principios de **la Gestión Integrada del Agua** que “*implica la necesidad de la realización de estudios y análisis multidisciplinares que aborden todos los ámbitos relacionados con la problemática del agua, con el objetivo principal de reconducir la gestión de los sistemas hídricos por el camino de la sostenibilidad*”.

En relación con los aspectos económicos y sociales de los recursos hídricos (entre ellos los subterráneos que abastecen a las demandas del Campo de Dalías), el Observatorio del Agua (UCM y Fundación Botín) en sus estudios multidisciplinares realizados en 2011 sobre el valor de ésta, ha aportado **cifras comparativas acerca de la productividad del agua en dicho Campo**, frente a la de otras zonas españolas: la **productividad económica (€m3)** del Campo de Dalías es **2.5 veces** la de las hortalizas de la Mancha Occidental o las de la cuenca del Guadalquivir, y del orden de **6-7 veces** la productividad económica general del agua de cada una de dichas cuencas. Su **productividad social (empleo /millones de m3)** es **7 veces** la de las hortalizas de la Mancha Occidental.

Estas consideraciones reflejan por una parte la importancia de los recursos hídricos de los acuíferos del Campo de Dalías a nivel nacional y europeo y, por otra, la necesidad de involucrar, en su tratamiento, el conocimiento de distintas disciplinas para implementar soluciones sostenibles.

11.2.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Entre las principales conclusiones y recomendaciones que pueden deducirse de esta investigación aplicada destacan:

-El alcance del proceso de salinización en profundidad a diversos sondeos de explotación de las tres únicas zonas de bombeo importante de los acuíferos inferiores (después incluso de la excepcional recarga a los mismos con las precipitaciones ocurridas al inicio de la década actual), ha **acentuado la gravedad del mayor problema que afecta a la sostenibilidad del uso implantado** durante décadas en estos acuíferos. Esta situación **reclama la necesidad de acelerar todas las actuaciones que concurren en la aplicación de las medidas correctoras de este problema**, el más limitante para la continuidad del abastecimiento actual a más del 85% de las demandas de agua del Campo.

- Dada la buena conductividad hidráulica interna de estos acuíferos inferiores y el estado alcanzado de su proceso de salinización activa, **la tardanza en la aplicación de las medidas correctoras supone un riesgo importante de pérdida de volúmenes disponibles de agua dulce** en los mismos, así como **el incremento de las dificultades y del gasto requerido** para cumplir los objetivos de corrección / sostenibilidad que se planteó en su día con el Programa.

- **La progresión de este proceso** en los acuíferos inferiores (cuyo avance se fue difundiendo por el IGME, a los responsables de la gestión y a sus usuarios, con anterioridad a la elaboración del Programa), **ha podido confirmarse en los últimos años con los trabajos realizados durante la Fase I**, al contar éstos con mayores medios de los habituales y con el concurso de varias Instituciones interesadas por sus recursos hídricos, la forma más coherente de conocer la trascendencia de esta problemática y, por tanto, de promover su resolución.

- **Con el conocimiento adquirido** tras casi cinco décadas de investigación aplicada –los últimos años mediante la Fase I del Programa- **se han obtenido unos resultados de gran confianza** (por su alto contraste) sobre los embalses subterráneos que representan los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías, y que quedan **ampliamente documentados en esta Memoria**. Entre éstos destacan los relativos a:

- el modelo alcanzado de la geometría y evolución del funcionamiento de los acuíferos principales (sobre su extensión y espesores, disposición estructural, su zona de almacenamiento y no saturada, el carácter abierto o de estanqueidad de los tramos acuíferos, los sectores libres o confinados, etc.).
- la explotación anual por acuíferos y áreas de los mismos.
- la evolución anual de sus niveles del agua (o variación de sus reservas) con conocimiento de sus causas y forma de modificarlas.
- las evoluciones de su calidad del agua, con el diagnóstico posible de sus orígenes como orientación para corregirlas, en lo posible.
- la estimación de sus aportaciones sostenibles medias que, para los acuíferos inferiores (sin posibilidad de mayores precisiones por la incertidumbre de su relación con el Alto Andarax) superan a las que se espera regular del sistema Benínar – Fuente Marbella.
- etc.

- La complejidad de estos acuíferos (y de sus problemas) genera **dificultades de comprensión sin un buen conocimiento de la geometría y de la variación de su funcionamiento**. Con dicha información se sabe que, por la interrelación existente entre estos embalses subterráneos y de éstos con el mar, **cualquier actuación sobre un acuífero concreto debe atender**, no sólo **al funcionamiento del mismo**, sino también **a la repercusión** que pueda producir **en el funcionamiento general o en el de sus acuíferos contiguos**. Por ello resulta necesario partir del conocimiento hidrogeológico del sistema y de la situación actualizada de cada uno de sus acuíferos

para diseñar las actuaciones más adecuadas (lo contrario, no sólo puede resultar inútil, sino, como se ha visto en ocasiones, contraproducente).

- Este **conocimiento sobre los acuíferos de la zona y la comprensión de su problemática** resulta, por tanto, **imprescindible para los responsables de su planificación y gestión y, muy especialmente, para los encargados del diseño y aplicación de un Plan de Ordenación del uso integrado de estos embalses subterráneos en el conjunto de todos los recursos hídricos del Campo**. Dicha información hidrogeológica actualizada permite, si se aplican con los medios y tiempos adecuados, corregir eficientemente problemas derivados del uso (como ha ocurrido en el caso de la Balsa del Sapo) sin generar perjuicios a otros acuíferos o ecosistemas implicados, por lo que **el seguimiento continuo de los cambios en el funcionamiento de estos acuíferos es inexcusable para su gestión sostenible**.

- Es necesario para ello contar con **la permanencia en la zona de un Equipo Técnico muy especializado en la compleja problemática hidrogeológica de este territorio**, que realice el seguimiento actualizado de su funcionamiento (con especial atención al proceso de salinización) y la observación de la repercusión, en los diferentes acuíferos, de las medidas correctoras que se vayan aplicando, y que ejerza funciones de asesoramiento, suficientemente informado, al Órgano encargado del diseño y la aplicación del Plan. Este equipo resulta muy difícil de improvisar, al tener que estar constituido por miembros (de todos los niveles) que se formen en el complejo modelo de geometría y funcionamiento de estos acuíferos, y en el empleo de las metodologías seguidas en los trabajos de la Fase I y que, además, conozcan las dificultades de acceso a la información hidrogeológica directa, etc., lo que implica la necesidad de su constitución y de la formación de sus miembros cuanto antes (como se había señalado entre los requerimientos del Programa).

- Las interrelaciones bien contrastadas de estos embalses subterráneos, entre sí y con el mar, fundamentaron la propuesta de actuaciones del **Programa de apoyo al uso sostenible** de estos acuíferos, y de cada una de las actividades que contiene, **para la protección – regeneración de éstos**. Estas actuaciones se articularon en dos líneas complementarias: 1) mantener los criterios de aplicación más eficiente de **sustitución de parte de los bombeos de los acuíferos inferiores**; y 2) actuar sobre las **áreas de los acuíferos de cobertura ya seleccionadas** para obtener, en algunas de ellas, con tal finalidad, **el máximo bombeo** posible -con criterios sostenibles- **de recursos “complementarios”** y, en otras, para **evitar / minimizar la trasferencia de flujos salinos desde los acuíferos de cobertura a los inferiores**.

- Estos bombeos “complementarios” en los acuíferos de cobertura constituirán, en buena parte, **el aprovechamiento del inevitable bombeo que** –en cualquier escenario de gestión- **tendrá que llevarse a cabo para evitar los problemas de inundaciones** (tipo Balsa del Sapo, Cañada de Ugíjar, etc.), **afecciones a ecosistemas costeros, etc.**

- La **puesta en marcha cuanto antes de medidas correctoras** del problema de salinización, dado el deterioro alcanzado en los acuíferos principales, **precisa de nuevas informaciones para orientar su diseño y aplicación**. Por ello, **urge seguir con investigaciones aplicadas que las proporcionen** (como la continuidad del desarrollo de las herramientas de modelación, especialmente las que afectan a la zona de entrada del agua salada desde el AEBN, y a las coberturas susceptibles de aportar los citados incrementos de bombeo).

- Lo anterior conlleva **la ejecución de algunas obras con dos objetivos principales: el seguimiento adecuado de la evolución de la salinización en profundidad en los acuíferos inferiores, y de los efectos en ella a consecuencia de las acciones correctoras que se implanten**

(con la realización de unas tres estaciones, muy simplificadas, de la Red de Observación en Profundidad de la Salinización de los Acuíferos Inferiores), y las **destinadas a la observación de los acuíferos de cobertura** para una red sólo muy parcial donde no hay sondeos para ello (a iniciar con un mínimo de seis puntos multiuso, de profundidades discretas -incluido el de una potencial explotación-, distribuidas en las **Zonas Preferentes** denominadas **c, f, d y b**).

CAPÍTULO 12: ANEXOS DE LA MEMORIA

Los anexos de esta memoria se organizan en 13 grupos, el primero de ellos referido a las investigaciones del IGME previas a la Fase I (capítulo 3), y el resto de ellos a los distintos trabajos que han formado parte de dicha fase del Programa.

Además de 4 listados / cuadros de referencias a documentos anteriores a la Fase I, se presentan del orden de 110 en formato digital seleccionados entre los 241 realizados durante esta fase.

El **Anexo 1** está dividido en 5 apartados donde se incluyen 20 documentos completos (en formato digital) y 4 listados / cuadros de referencias. Para cada documento se indica el número de clasificación documental de la Unidad de Almería del IGME (por ejemplo Ref. 160-02).

Desde el **Anexo 2** al **Anexo 13** se incluyen los citados documentos completos en formato digital, escogidos entre los realizados dentro de la Fase I. Están referenciados con el número de clasificación documental de la Fase I (del Trabajo 2C) (por ejemplo Documento 34-1 o 214). El cuadro general de esta clasificación de documentos se presenta en el **Anexo 12**.

El **Anexo 14** se refiere a los datos e informaciones generados / elaborados durante la Fase I y sus prórrogas, que han quedado integrados en las Bases de Datos del IGME, consultables en la dirección: www.igme.es.

12.1- ANEXO 1: SOBRE ACTUACIONES CIENTÍFICO-TÉCNICAS MÁS DESTACABLES DEL IGME EN LA ZONA: TRABAJOS ANTERIORES A LA FASE I

12.1.1: Anexo 1.1: sobre características más significativas de esta investigación.

Se incluyen tres documentos completos (en formato digital) a modo de ejemplos. Se trata de:

- Ref. 160-02 IGME (González, A.) 1997: Introducción al debate sobre evolución del conocimiento acerca de los aspectos hidrogeológicos de mayor interés para la planificación y gestión de los acuíferos del Campo de Dalías – Sur de Sierra de Gádor. Recogido en el libro: Salinas, J. A. (ed.): Acuíferos del Campo de Dalías – Sur de Sierra de Gádor. Aguas residuales ¿Residuo o recurso? ACTAS IEA, 39, Almería, 21-47.

- Ref. 160-01 IGME (Domínguez, P.) 1997: Principales líneas del Grupo de Trabajo sobre los acuíferos del Campo de Dalías durante los últimos doce años. Recogido en el libro: Salinas, J. A. (ed.): Acuíferos del Campo de Dalías – Sur de Sierra de Gádor. Aguas residuales ¿Residuo o recurso? ACTAS IEA, 39, Almería, 101-144.

- Ref. 469.00 IGME (González, A., Domínguez, P., Franqueza, P.) 2003: Resultados del Proyecto sobre conocimientos alcanzados de los Acuíferos del sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. Avance – Resumen de la próxima publicación. IGME, Madrid. 27 pp.

12.1.2: Anexo 1.2: sobre conocimiento alcanzado de la geometría de los distintos acuíferos y metodología empleada: documentos completos de especial interés

Este apartado consta de seis grupos de documentos (incluidos en formato digital) cinco de ellos correspondientes a los trabajos del proyecto: IGME 2001-2006 (Interpretación hidrogeológica actualizada del Sistema de Sierra de Gádor a partir de las investigaciones geológicas históricas, ajenas y propias. Especial consideración al subsistema meridional - Campo de Dalías), con financiación de fondos propios IGME, y un único documento referido a la actualización de geometría y funcionamiento del AEBN y zonas de los acuíferos ASC y AIO en su entorno, llevada a cabo en 1991, con fondos propios de este Instituto. Se trata de:

a) Descripción del modelo conceptual de geometría y funcionamiento hidrogeológico general de Sierra de Gádor.

Se incluyen un documento (en formato digital):

- Ref. 649.05: IGME 2006: Modelo conceptual de geometría y funcionamiento hidrogeológico general de Sierra de Gádor.

No se incluyen en este fichero las figuras 2-3, ni las figuras 2-4 a 2-14. El documento (Ref. 469.01) que integra el Plano geológico, de orientación hidrogeológica, del Sistema de Sierra de Gádor – cuencas marginales (figura 2-3 de este texto), con las trazas de los cortes hidrogeológicos de la serie de 2006 está incluido (en formato digital) en el Anexo 1.2. Las figuras 2-4 a 2-14 corresponden con los Perfiles hidrogeológicos -Corte 1 a Corte 11- del documento Ref. 469.02 también incluido en el Anexo 1.2.

b) Plano geológico, de orientación hidrogeológica, del Sistema acuífero de Sierra de Gádor – cuencas marginales (versión 2004), con trazas de los cortes hidrogeológicos (serie de 2006).

El plano incorporado a este anexo en formato digital (Ref. 469.01) es la versión de 2004, que no incluye algunas revisiones de detalle posteriores.

c) Los cortes hidrogeológicos del sistema de Sierra de Gádor y cuencas marginales (versión 2006)

Se trata de once perfiles hidrogeológicos (Ref. 469.02) de la serie más moderna, cuyas trazas quedan reflejadas en el documento Ref. 469.01 citado anteriormente.

d) Los cortes hidrogeológicos del entorno de Balanegra (versión 1991)

Son 14 perfiles y su plano de situación, que muestran la estructura y características del AEBN, AIO y ASC en esta zona, según la actualización de 1991 (Ref. 733).

e) Plano de isohipsas del techo de los materiales alpujárrides en el Campo de Dalías (versión 2005).

La versión de este plano corresponde a 2005, y su número de clasificación documental de la Unidad de Almería del IGME es: Ref. 469.03.

f) Cuadro de características de los puntos de la Red de Geometría del IGME. Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías (versión 2005).

El cuadro que se presenta es una versión actualizada en 2005; su referencia, catalogación de la Unidad de Almería, es Ref. 469.04.

12.1.3- Anexo 1.3: metodología seguida y conocimiento alcanzado sobre evolución de las causas de los cambios en el funcionamiento: con documentos completos a modo de ejemplos

Se incluye un documento (en formato digital) como ejemplo de la metodología utilizada para el seguimiento e interpretación de la evolución de las extracciones por puntos, áreas y acuíferos (entre 1980/81 y 1999/00) principales causas de los cambios en el funcionamiento de estos acuíferos. Se trata de:

- Ref. 125.02: IGME 1991: Control de explotación del Campo de Dalías (Almería) 1989-1990. Convenio Marco de Asistencia técnica entre el ITGE y la Consejería de Economía y Hacienda de la Junta de Andalucía.

Este informe fue realizado por el IGME como resultado del seguimiento de las explotaciones por bombeo de los acuíferos del Campo de Dalías de 1989-1990. Los datos / informaciones de campo y sus elaboraciones previas fueron obtenidos por la empresa ENADIMSA, mientras que la responsabilidad de la dirección, elaboraciones finales y redacción del informe recayó en el Instituto. Formó parte del Convenio Marco de Asistencia técnica entre la Consejería de Economía y Hacienda de la Junta de Andalucía y el ITGE.

12.1.4- Anexo 1.4: metodología de observación de los efectos producidos con la evolución del bombeo y de la ocupación de los distintos acuíferos, para conocer la evolución de su funcionamiento hidrogeológico

Integra dos listados de referencias de documentos, sobre los datos y elaboraciones piezométricas e hidroquímicas, respectivamente (que se exponen a continuación) así como el plano de inventario de puntos de agua del Estudio (en copia digital), en la versión de 2006.

a) Listado de Referencias de documentos sobre datos y elaboraciones piezométricas:

- IGME 1980-1982: Resultados del proyecto del Programa Nacional de Estudios para la gestión y Conservación de Acuíferos. Cuenca Sur oriental. Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1982: Resultados del proyecto: Estudio hidrogeológico del Campo de Dalías (Almería); 13 Tomos. IGME. Madrid.
- IGME 1983-1984: Resultados del proyecto del Programa Nacional de Estudios para la gestión y Conservación de Acuíferos. Cuenca Sur oriental. Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1984-1985: Resultados del proyecto del Programa Nacional de Estudios para la gestión y Conservación de Acuíferos. Cuenca Sur oriental. Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.

- IGME 1985-1986: Resultados del proyecto: Ejecución de trabajos de apoyo a la gestión hídrica de Andalucía. Cuenca sur oriental. 1985-1986. Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1987-1989: Resultados del proyecto: Estudios para actualización de datos de infraestructura hidrogeológica en el Campo de Dalías y entorno. Cuenca Sur oriental 1987-1989. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1989-1992: Resultados del proyecto: Estudios hidrogeológicos especiales de actualización de datos de los acuíferos de la Cuenca Sur (Almería). Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME
- IGME 1991-1993 Resultados del proyecto: Vigilancia y Control de redes piezométricas, hidrométricas y de calidad de acuíferos. Cuenca sur oriental. 1991-1992-1993 y 1994. Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1992: Resultados del proyecto: Hoja hidrogeológica de Roquetas de Mar. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1993 – 1996: Estudios hidrogeológicos relativos a competencias emanadas de la Ley de Aguas, en las cuencas hidrográficas del Guadalquivir y Sur (Andalucía). Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1995: Análisis de la situación del Campo de Dalías en relación con la declaración de sobreexplotación. Para la Confederación Hidrográfica del Sur. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1996 - 1999: Estudios de apoyo para el desarrollo de trabajos hidrogeológicos contemplados en convenios de colaboración en las cuencas del Ebro, Tajo, Guadiana, Guadalquivir, Sur y Baleares”. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor de Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1999–2001: Resultados del proyecto Conocimiento, Interpretación y difusión del estado de las aguas subterráneas en España por medio de las redes de control. 1999-2001. Cuenca Sur. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor de Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 2000-2006: Actividades científico-técnicas de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del IGME. Parte almeriense. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 2001-2006: Resultados del proyecto: Interpretación hidrogeológica actualizada del Sistema de Sierra de Gádor a partir de las investigaciones geológicas históricas, ajenas y propias. Especial consideración al subsistema meridional - Campo de Dalías. (proyecto “Síntesis Campo de Dalías”). Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 2004: Asesoramiento a la Confederación Hidrográfica del Sur: análisis de la representatividad de la red piezométrica de los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías.

- IGME 2004 – 2007: Análisis de la distribución espacial de la piezometría, y de su evolución temporal, en la zona de la Balsa del Sapo en respuesta a la evolución de los bombeos del ASC. Fondos propios IGME.
- IGME 2005: Asesoramiento a la Agencia Andaluza del Agua: Nota preliminar sobre la evacuación de excedentes sin tratar de aguas bombeadas de la Balsa del Sapo (Campo de Dalías). Fondos propios IGME.
- IGME – IRYDA 1977: PIAS Informe técnico V: Campo de Dalías. 2 Tomos. IGME, Madrid. Incluida Memoria – Resumen en colección informe.
- IGME – Junta de Andalucía: 1991-1992; 1998-1999: Resultados del proyecto Atlas hidrogeológico de Andalucía. Subsistema Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. Financiación: IGME – Junta de Andalucía.
- IGME – MOPTMA 1994-1995: Resultados del proyecto: Operación de redes de las Aguas Subterráneas en las Cuencas hidrográficas del Segura, Júcar y Sur. Cuenca Sur Oriental. 1994-1995-1996. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. Financiación: IGME – Dirección General de Obras Hidráulicas, Dirección General de Calidad de las Aguas.
- IGME – MOPTMA 1995-1996: Resultados del proyecto: Operación de redes de las Aguas Subterráneas en las Cuencas hidrográficas del Segura, Júcar y Sur. Cuenca Sur Oriental. 1994-1995-1996. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. Financiación: IGME – Dirección General de Obras Hidráulicas, Dirección General de Calidad de las Aguas.
- IGME – MOPTMA 1997 – 1999: Preparación de datos para operaciones integradas de redes de control de las aguas subterráneas en las cuencas hidrográficas del Segura, Júcar y Sur. 1997-1998-1999. Cuenca sur oriental. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor - Campo de Dalías. Financiación: IGME – Dirección General de Obras Hidráulicas (MOPTMA).
- IRYDA – IGME 1979: Resultados del proyecto: Campo de Dalías. recopilación de datos de sondeos IRYDA. Esquema de dispositivo hidrogeológico del Campo. Financiación: IGME – IRYDA.

b) Listado de Referencias de documentos sobre datos y elaboraciones hidroquímicas:

- IGME 1980: Programa Nacional de Estudios para la gestión y Conservación de Acuíferos. Informe de Calidad de las aguas subterráneas en las cuencas del Sur de España. Acuíferos del Campo de Dalías. Primer Informe: Serv. Publicaciones Ministerio de Industria y Energía, Madrid.
- IGME 1980-1982 Resultados del proyecto del Programa Nacional de Estudios para la gestión y Conservación de Acuíferos. Cuenca Sur oriental. Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1982: Resultados del proyecto: Estudio hidrogeológico del Campo de Dalías (Almería); 13 Tomos. IGME. Madrid.

- IGME 1983-84 Resultados del proyecto del Programa Nacional de Estudios para la gestión y Conservación de Acuíferos. Cuenca Sur oriental. Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1984: Programa Nacional de Estudios para la gestión y Conservación de Acuíferos. Informe de Calidad de las aguas subterráneas en las cuencas del Sur de España. Acuíferos del Campo de Dalías. Segundo Informe: Serv. Publicaciones Ministerio de Industria y Energía, Madrid.
- IGME 1984 - 85 Resultados del proyecto del Programa Nacional de Estudios para la gestión y Conservación de Acuíferos. Cuenca Sur oriental. Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1985 - 1986: Resultados del proyecto: Ejecución de trabajos de apoyo a la gestión hídrica de Andalucía. Cuenca sur oriental. Acuíferos del Campo de Dalías. 1985-1986. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1987 - 1989: Resultados del proyecto: Estudios para actualización de datos de infraestructura hidrogeológica en el Campo de Dalías y entorno. Cuenca Sur oriental 1987-1989. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME (ITGE) 1989. Síntesis hidrogeológica del Campo de Dalías (Almería). Propuesta de primeras actuaciones de investigación y gestión. Madrid, 163 pp.
- IGME 1989 - 1992: Resultados del proyecto: Estudios hidrogeológicos especiales de actualización de datos de los acuíferos de la Cuenca Sur (Almería). Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1991 - 1993: Resultados del proyecto: Vigilancia y Control de redes piezométricas, hidrométricas y de calidad de acuíferos. Cuenca sur oriental. 1991-1992-1993 y 1994. Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1992: Resultados del proyecto: Hoja hidrogeológica de Roquetas de Mar. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1993 – 1996: Estudios hidrogeológicos relativos a competencias emanadas de la Ley de Aguas, en las cuencas hidrográficas del Guadalquivir y Sur (Andalucía). Parte Almeriense. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1995: Análisis de la situación del Campo de Dalías en relación con la declaración de sobreexplotación. Para la Confederación Hidrográfica del Sur. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1996 - 1999: Estudios de apoyo para el desarrollo de trabajos hidrogeológicos contemplados en convenios de colaboración en las cuencas del Ebro, Tajo, Guadiana, Guadalquivir, Sur y Baleares". Parte almeriense. Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1997 (Domínguez, P.) Principales líneas de actuación del grupo de trabajo sobre los acuíferos del Campo de Dalías durante los últimos doce años. En: Salinas, A. (ed.):

Acuíferos del Campo de Dalías – sur de Sierra de Gádor. Aguas residuales ¿Residuo o recurso? ACTAS IEA, 39, Almería, 101-137.

- IGME 1997 (González, A.) Evolución del conocimiento sobre los aspectos hidrogeológicos de mayor interés para la planificación y gestión de los acuíferos del Campo de Dalías – Sur de Sierra de Gádor. En: Salinas, J. A. (ed.): Acuíferos del Campo de Dalías – Sur de Sierra de Gádor. Aguas residuales ¿Residuo o recurso? ACTAS IEA, 39, Almería, 21-47.
- IGME 1999 – 2001: Resultados del proyecto Conocimiento, Interpretación y difusión del estado de las aguas subterráneas en España por medio de las redes de control. 1999-2001. Cuenca Sur. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor de Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 2000 - 2006: Actividades científico-técnicas de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del IGME. Parte almeriense. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 2001-2006: Resultados del proyecto: Interpretación hidrogeológica actualizada del Sistema de Sierra de Gádor a partir de las investigaciones geológicas históricas, ajenas y propias. Especial consideración al subsistema meridional - Campo de Dalías. (proyecto “Síntesis Campo de Dalías”). Financiación: fondos propios IGME.
- IGME – IRYDA 1977: PIAS Informe técnico V: Campo de Dalías. 2 Tomos. IGME, Madrid. Memoria – Resumen en colección informe.
- IGME – Junta de Andalucía: 1991-1992; 1998-1999: Resultados del proyecto Atlas hidrogeológico de Andalucía. Subsistema Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. Financiación: IGME – Junta de Andalucía.
- IGME – MOPTMA: 1994-1995: Resultados del proyecto: Calidad química de las redes de control. Cuenca sur oriental. Incluye el documento IGME (1995): Actualización / mejora del conocimiento de la calidad química del agua en los principales acuíferos de la Provincia de Almería. UH Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. Financiación: IGME - Dirección General de Calidad de las Aguas
- IGME – MOPTMA: 1994-1995: Resultados del proyecto: Operación de redes de las Aguas Subterráneas en las Cuenca hidrográficas del Segura, Júcar y Sur. Cuenca Sur Oriental. 1994-1995-1996. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. Financiación: IGME – Dirección General de Obras Hidráulicas, Dirección General de Calidad de las Aguas.
- IGME – MOPTMA: 1997-1999: Preparación de datos para operaciones integradas de redes de control de las aguas subterráneas en las cuencas hidrográficas del Segura, Júcar y Sur. 1997-1998-1999. Cuenca sur oriental. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor - Campo de Dalías. Financiación: IGME – Dirección General de Obras Hidráulicas (MOPTMA).
- IGME – UPC: 1994-2000: Investigación sobre el funcionamiento hidrogeológico y mecanismos de intrusión marina en acuíferos carbonatados de estructura geológica compleja. Aplicación al Acuífero Inferior Noreste (AIN) del Campo de Dalías, Almería”.

TESIS DOCTORAL de Patricia Domínguez dirigida por el Dr. Emilio Custodio Gimena, presentado en el DIP de la UPC, obteniendo sobresaliente “cum laude”.

- IRYDA – IGME 1979: Resultados del proyecto: Campo de Dalías. recopilación de datos de sondeos IRYDA. Esquema de dispositivo hidrogeológico del Campo.

c) Plano de inventario de puntos de agua del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías (versión 2006)

Se presenta en formato digital. Incorpora las actualizaciones llevadas a cabo en el Estudio desde la década de 1980 a 2006.

12.1.5- Anexo 1.5: seguimiento especial de la intrusión marina

Integra dos listados de referencia (sobre datos y elaboraciones, y acerca de interpretaciones, respectivamente) que se muestran a continuación, así como documentos completos (en formato digital) de interés acerca de los resultados de esta investigación.

a) Listado de Referencias de documentos sobre datos / elaboraciones para investigación de la intrusión marina:

- IGME 1982: Resultados del proyecto: Estudio hidrogeológico del Campo de Dalías (Almería); 13 Tomos. IGME. Madrid.
- IGME 1983-84: Resultados del proyecto del Programa Nacional de Estudios para la gestión y Conservación de Acuíferos. Cuenca Sur oriental. Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1984-85: Resultados del proyecto del Programa Nacional de Estudios para la gestión y Conservación de Acuíferos. Cuenca Sur oriental. Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1985-1986: Resultados del proyecto: Ejecución de trabajos de apoyo a la gestión hídrica de Andalucía. Cuenca sur oriental. Acuíferos del Campo de Dalías. 1985-1986. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1987-1989: Resultados del proyecto: Estudios para actualización de datos de infraestructura hidrogeológica en el Campo de Dalías y entorno. Cuenca Sur oriental 1987-1989. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1989-1990: Resultados del proyecto: Actualización de la infraestructura hidrogeológica, vigilancia y catálogo de acuíferos. Cuenca sur – oriental. 1988-1989-1990. Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME
- IGME 1989 – 1992: Resultados del Proyecto: Testificación geofísica de sondeos mecánicos, divulgación y desarrollo metodológico de esta técnica. 1988-1989-1990. Campañas geofísicas de detalle de 1989, 1990, 1991 y 1992 e informe IGME de resultados. Financiación: fondos propios IGME.

- IGME 1990-1992: Vigilancia y Control de redes piezométricas, hidrométricas y de calidad de acuíferos. Cuenca sur oriental. Acuíferos del Campo de Dalías. 1989-1990-1991 y 1992. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1991-1993: Resultados del proyecto: Vigilancia y Control de redes piezométricas, hidrométricas y de calidad de acuíferos. Cuenca sur oriental. 1991-1992-1993 y 1994. Acuíferos del Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1994-1996: Resultados del proyecto: Apoyo geofísico a las investigaciones del IGME. Acuíferos del Campo de Dalías. Campañas geofísicas de detalle de 1994, 1995 y 1996. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 1999-2000: Resultados del proyecto Conocimiento, Interpretación y difusión del estado de las aguas subterráneas en España por medio de las redes de control. 1999-2001. Cuenca Sur. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor de Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 2000-2006: Actividades científico-técnicas de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del IGME. Parte almeriense. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. Financiación: fondos propios IGME.
- IGME 2001-2006: Resultados del proyecto: Interpretación hidrogeológica actualizada del Sistema de Sierra de Gádor a partir de las investigaciones geológicas históricas, ajena y propias. Especial consideración al subsistema meridional - Campo de Dalías. Síntesis hidrogeológica del subsistema Sur de Sierra de Gádor - Campo de Dalías (proyecto “Síntesis de Campo de Dalías”). Financiación: fondos propios IGME.
- IGME – CAP: 2001-2002: Selección de objetivos, apoyo al seguimiento e interpretación de un sondeo mecánico (sondeo Cañuelo 1200) de 1200 m de profundidad, para seguimiento de la intrusión marina en el AIN del Campo de Dalías. Colaboración IGME – Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.
- IGME – MOPTMA 1994-1995: Resultados del proyecto: Operación de redes de las Aguas Subterráneas en las Cuencas hidrográficas del Segura, Júcar y Sur. Cuenca Sur Oriental. 1994-1995-1996. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. Financiación: IGME – Dirección General de Obras Hidráulicas, Dirección General de Calidad de las Aguas.
- IGME – MOPTMA 1995-1996: Resultados del proyecto: Operación de redes de las Aguas Subterráneas en las Cuencas hidrográficas del Segura, Júcar y Sur. Cuenca Sur Oriental. 1994-1995-1996. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor – Campo de Dalías. Financiación: IGME – Dirección General de Obras Hidráulicas, Dirección General de Calidad de las Aguas
- IGME – MOPTMA: 1997-1999: Preparación de datos para operaciones integradas de redes de control de las aguas subterráneas en las cuencas hidrográficas del Segura, Júcar y Sur. 1997-1998-1999. Cuenca sur oriental. Acuíferos del Sur de Sierra de Gádor de Campo de Dalías. Financiación: IGME – Dirección General de Obras Hidráulicas (MOPTMA).

- IRYDA – IGME 1979: Resultados del proyecto: Campo de Dalías. recopilación de datos de sondeos IRYDA. Esquema de dispositivo hidrogeológico del Campo.

b) Cuadro de Referencias de documentos acerca de interpretaciones sobre la intrusión marina:

AMBITO HIDROGEO-LÓGICO	año	TIPO	MARCO (localidad)	Tomo paginas	TITULO	número archivo Unidad del IGME	Autores
AÑO 1986		AÑO 1986					
Campo de Dalías	1986	PONENCIA	Seminario Interfase agua dulce- salada. Servicio de Estudios del IARA (Granada)	855-867	Intrusión marina en el Campo de Dalías	86	González, A y Domínguez, P.
AÑO 1987							
Campo de Dalías	1987	COMUNICACIÓN	IV Simposio Hidrogeología (Mallorca)	XII 101-115.	Intrusión marina en el Campo de Dalías (Almería)	426	Dominguez, P y González, A
AÑO 1988							
Campo de Dalías	1988	CAPÍTULO DE LIBRO	Tecnología de la intrusión marina en acuíferos costeros. TIAC 1988 (Almuñécar)	II 69-144	Síntesis hidrogeológica del Campo de Dalías y su entorno	427-01	Dominguez, P. et al.
Campo de Dalías	1988	FOLLETO	Jorn. divulgación acuíferos del Campo de Dalías: las comunidades de usuarios en la nueva Ley de Aguas. Ayto. El Ejido (El Ejido)	35 pp.	Las aguas subterráneas y los acuíferos del Campo de Dalías (Almería)	355	González, A. y Domínguez, P.
Campo de Dalías	1988	PONENCIA	Jorn. divulgación acuíferos del Campo de Dalías: las comunidades de usuarios en la nueva Ley de Aguas. Ayto. El Ejido (El Ejido)	II, 13-30	Descripción y análisis de los acuíferos del Campo de Dalías	428-02-01	González, A.
Campo de Dalías	1988	PONENCIA	Jorn. divulgación acuíferos del Campo de Dalías: las comunidades de usuarios en la nueva Ley de Aguas. Ayto. El Ejido (El Ejido)	II, 33-37	Situación actual de los acuíferos del Campo de Dalías	428-02-02	Dominguez, P.
AÑO 1989							
Campo de Dalías	1989	LIBRO	Congreso Sobreexplotación de acuíferos (Almería)	164 pp.	Síntesis hidrogeológica del Campo de Dalías (Almería). Propuesta de primeras actuaciones de investigación y gestión	103	González, A. y Dominguez, P.
AÑO 1991							
Campo de Dalías	1991	COMUNICACIÓN	III Simposio sobre el agua en Andalucía (SIAGA) (Córdoba)	I, 363-377	Complejidad de la estructura y funcionamiento hidrogeológico en el sector NE del Campo de Dalías. Necesidad de su conocimiento mediante sondeos mecánicos	429-01-01	Dominguez, P. et al.

AMBITO HIDROGEO-LÓGICO	año	TIPO	MARCO (localidad)	Tomo paginas	TITULO	número archivo Unidad del IGME	Autores
AÑO 1992							
Campo de Dalías	1992 1993	ARTÍCULO y COMUNICACIÓN	12 Salt Water Intrusion Meeting (SWIM) y libro: Study and modelling of salt water intrusion into aquifers. (Barcelona)	631-659	Sea water intrusion in the lower North-eastern aquifer of the "Campo de Dalías" (Almería, Southeastern Spain): preliminary study of monitoring data	432	Domínguez, P. y Custodio E.
AÑO 1993							
Campo de Dalías	1993	ARTÍCULO y COMUNICACIÓN	International Symp. On Irrigation of Horticultural crops y Acta Horticulturae. (Almería)	Nº 365	Hydrogeological surveys and consideration of the environmental impact of intensive agriculture in the "Campo de Dalías" (Almería, Spain)	433	Domínguez, P. y González, A.
AÑO 1994							
Campo de Dalías	1994	COMUNICACIÓN	Congreso: Análisis y evolución de la contaminación de las aguas subterráneas, AIH (Alcalá de Henares)	I, 73-90	Aplicación de técnicas de isótopos ambientales estables del agua como apoyo al estudio de los acuíferos del sector noreste del Campo de Dalías (Almería), afectados por intrusión marina	436	Domínguez, P. y Custodio E.
Campo de Dalías	1994	PONENCIA	VIII Jorn. Técnico Agrícolas, organizadas por Consumar. Roquetas	6 pp.	Situación de los acuíferos del Campo de Dalías	146	Domínguez, P.
AÑO 1995							
Campo de Dalías	1995	COMUNICACIÓN	VI Simposio de Hidrogeología. (Sevilla)	443-467	Situación de los acuíferos del Campo de Dalías (Almería) en relación con su declaración de sobreexplotación	439	Domínguez, P. y González, A.
AÑO 1996							
Campo de Dalías	1996	COMUNICACIÓN	IV SIAGA (Almería)	I, 239-249	Síntesis de los cambios en la distribución de flujos subterráneos en los acuíferos del sector NE del Campo de Dalías	155	Domínguez, P. et al.
AÑO 1997							
Campo de Dalías	1997	PONENCIA y CAPÍTULO DE LIBRO	Jornadas de debate acerca de los acuíferos del Campo de Dalías - sur de S ^a de Gádor (Almería). IEA	39 101-137	Principales líneas de investigación del Grupo de Trabajo sobre los acuíferos del Campo de Dalías durante los últimos 12 años.	160-01	Domínguez, P.
Campo de Dalías	1997	PONENCIA y CAPÍTULO DE LIBRO	Jornadas de debate acerca de los acuíferos del Campo de Dalías - sur de S ^a de Gádor (Almería). IEA	39 21-47	Introducción al debate sobre evolución del conocimiento acerca de los aspectos hidrogeológicos de mayor interés para la planificación y gestión de los acuíferos del Campo de Dalías - sur de S ^a de Gádor.	160-02	González, A.
AÑO 1998							
Provincia	1998	CAPITULO	LIBRO: Atlas hidrogeológico de Andalucía	127-149	Sistema acuífero de la sierra de Gádor y Cuenca marginal	442	González, A. et al.
AÑO 1999							
Provincia	1999	PONENCIA y RESUMEN	Jornadas sobre el agua. Universidad de Almería (Almería)	73-80	Contribución de las aguas subterráneas al abastecimiento de la demanda en la provincia de Almería. Situación actual y consideraciones acerca del planteamiento futuro de la misma.	169-01 169-02	González, A.
AÑO 2000							

AMBITO HIDROGEO-LÓGICO	año	TIPO	MARCO (localidad)	Tomo paginas	TITULO	número archivo Unidad del IGME	Autores
Campo de Dalías	2000	COMUNICA-CIÓN	16 - SWIM	80, 36-46	Seawater intrusion in the NE of the Campo de Dalías carbonate aquifer, Almería SE Spain	188	Domínguez, P. y Custodio E.
Campo de Dalías	2000	PONENCIA	Jornada Balerma – Mar (Balerma, Almería)	2 pp.	Recursos hídricos subterráneos del subsistema "Sur de Sª de Gádor - Campo de Dalías"	184	González, A
Campo de Dalías	2000	TESIS DOCTORAL	Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona)	526 pp.	Funcionamiento hidrogeológico y mecanismos de intrusión marina en sistemas carbonatados de estructura compleja: Aplicación al acuífero inferior noreste (AIN) del Campo de Dalías (Almería)	198	Dominguez, P.
AÑO 2001							
Campo de Dalías	2001	MESA REDONDA	Jorn. uso sostenible de los recursos hídricos en Almería: actuaciones públicas y privadas. IEA (Almería)	Papel 6 pp.	Mesa Redonda: estudios para mejorar el conocimiento de los acuíferos en Almería	448-01 448-02	González, A.
Campo de Dalías	2001	COMUNICA-CIÓN	VII Simposio de Hidrogeología (Murcia)	XXIII, 211-215	Situación actual de los acuíferos del Campo de Dalías. Un ejemplo de la necesidad de conocer el estado actualizado del funcionamiento en un sistema costero intensamente explotado	449	Dominguez, P. et al.
Campo de Dalías	2001	COMUNICA-CIÓN	VII Simposio de Hidrogeología (Murcia)	XXIV, 163-177	Funcionamiento hidrogeológico y mecanismos de intrusión marina en acuíferos carbonatados de estructura compleja. Aplicación al Acuífero Inferior Noreste del Campo de Dalías	450	Domínguez, P. y Custodio E.
Campo de Dalías	2001	COMUNICA-CIÓN	V SIAGA (Almería)	II, 127-164	El conocimiento de los acuíferos del Campo de Dalías y su implicación en la gestión sostenible integral de los mismos	451	Dominguez, P. et al.
Campo de Dalías	2001	INFORMA-CIÓN A TV	Programa de divulgación sobre medio ambiente: "Espacio protegido". TV- Andalucía, Canal- 2	TV y papel 2 pp.	Situación actual de la contaminación en los acuíferos del Campo de Dalías: documento de síntesis y ejemplos de principales procesos	453	Dominguez, P.
AÑO 2002							
Campo de Dalías	2002	RESUMEN DE COMUNICA-CIÓN	Symp. Intensive exploitation of aquifers (SINEX) (Valencia)		Difficulties in the study of the behaviour of interrelated aquifer systems of intensive use: the case of "Campo de Dalías" (Almería, Southeastern Spain	454	Dominguez, P. et al.
Campo de Dalías	2002	TRES PANELES	Symp. Intensive exploitation of aquifers (SINEX) (Valencia)	CD	Panelles: Hydrogeological system of "Sierra de Gádor" and aquifers of its surrounding basins	455	Dominguez, P. et al.
Provincia	2002	TEXTOS DE DIVULGA-CIÓN	I Feria de Energías Renovables y tecnologías del Agua (Aguadulce, Almería)	Papel 28 pp.	Planteamiento de los estudios del IGME sobre los acuíferos almerienses: 1969-2002, y otros textos de acuíferos principales	457	González, A. et al.
Provincia	2002	PANELES	I Feria de Energías Renovables y tecnologías del Agua (Aguadulce, Almería)	CD	Panelles de los principales acuíferos almerienses: estructura, funcionamiento y calidad del agua	458	González, A. et al.

AMBITO HIDROGEO-LÓGICO	año	TIPO	MARCO (localidad)	Tomo paginas	TITULO	número archivo Unidad del IGME	Autores
Sistema S ^a de Gádor, con énfasis en subsistema sur (C. de Dalías)	2002	DIPTICO	XVIII ExpoAgro Almería (Aguadulce, Almería)	papel	IGME: Más de 30 años de investigación y seguimiento continuo de los acuíferos almerienses	459	González, A. et al.
Sistema S ^a de Gádor, con énfasis en subsistema sur (C. de Dalías)	2002	PANELES	XVIII ExpoAgro Almería (Aguadulce, Almería)	CD	Paneles del sistema hidrogeológico de la Sierra de Gádor (estructura, funcionamiento), y de su subsistema meridional (estructura, funcionamiento, calidad, contaminación.)	460	González, A. Domínguez, P. Franqueza, P.A.
AÑO 2003							
Campo de Dalías	2003	COMUNICA-CIÓN	TIAC 2003 (Alicante)	I, 423-432	Sistema costero de Sierra de Gádor: observaciones sobre su funcionamiento y relaciones con los ríos Adra y Andarax, y con el mar	464	González, A.
Campo de Dalías	2003	COMUNICA-CIÓN	Jorn. Agua y Globalización en el Mediterráneo (AGLOMED) (Granada)	CD	Los acuíferos del Campo de Dalías (Almería, España): un sistema costero intensamente explotado	465	Dominguez, P. et al.
Campo de Dalías	2003	ARTÍCULO	Divulgación conocimiento acerca de acuíferos. Revista Almería Agrícola CITA	57, 20-26	Charla - Coloquio conocimientos alcanzados acerca del Sistema A, S ^a Gádor, con atención especial a los acuíferos del Campo de Dalías.	467	Dominguez, P. et al.
Campo de Dalías	2003	COMUNICA-CIÓN	Congreso Internacional del Agua. AIH (Madrid)	CD	Campo de Dalías: uso intensivo, evolución del impacto y del conocimiento del mismo	468	Dominguez, P. et al.
Campo de Dalías	2003	FOLLETO	XIX ExpoAgro (Aguadulce, Almería)	LIBRO 36 pp.	Resultados del proyecto sobre conocimientos alcanzados de los acuíferos del sur de Sierra de Gádor - Campo de Dalías. Avance - resumen de su próxima publicación	469.00	González, A. et al.
Campo de Dalías	2003	RESUMEN DE COMUNICA-CIÓN	18 –SWIM (Murcia)	CD	Investigation of contamination in intensively exploited aquifers of complex structure: the experience of the system of aquifers of Campo de Dalías (Almería, SE Spain).	471	Dominguez, P. et al.
AÑO 2004							
Campo de Dalías	2004	PONENCIA y COLOQUIO	Charla Coloquio sobre acuíferos del Campo de Dalías. Comunidad de usuarios de los acuíferos de la Sierra de Gádor	Papel 82 pp.	Conocimientos alcanzados sobre los acuíferos del Campo de Dalías	472	González, A. et al.
Campo de Dalías	2004	COMUNICA-CIÓN	Jorn. II Feria de Energías Renovables y Tecnologías del Agua (Almería)	CD	Síntesis del documento de divulgación: Resultados del proyecto sobre conocimientos alcanzados de los acuíferos del sur de Sierra de Gádor - Campo de Dalías.	473	González, A. et al

AMBITO HIDROGEO-LÓGICO	año	TIPO	MARCO (localidad)	Tomo paginas	TITULO	número archivo Unidad del IGME	Autores
Campo de Dalías	2004	CAPÍTULO	LIBRO: Monitoring, modelling and Management of coastal aquifers: concepts and case studies in Andalusia (Spain) and Morocco	Papel 255-277	The aquifers of Campo de Dalías (Province of Almería, South Eastern Spain): an intensively exploited complex coastal system	474	Dominguez, P. et al.
Campo de Dalías	2004	COMUNICA-CIÓN y RESUMEN	32 International Geological Congress (Florencia, Italia)	CD	Knowledge about the "Sur de Sierra de Gádor - Campo de Dalías" subsystem of aquifers (Almería, South-eastern Spain).	475	Dominguez, P. et al.
Campo de Dalías	2004	COMUNICA-CIÓN	VIII Simposio de Hidrogeología (Zaragoza)	XXVII, 443-452	El conocimiento hidrogeológico en apoyo a la gestión sostenible de los acuíferos; el subsistema "Sur de Sierra de Gádor - Campo de Dalías" (Almería).	476	González, A. et al
AÑO 2005							
Sistema S ^a de Gádor, con énfasis en subsistema sur (C. de Dalías)	2005	COMUNICA-CIÓN	VI SIAGA (Sevilla)	855-867	Actualización hidrogeológica general del sistema de Sierra de Gádor (Almería) destacando el subsistema meridional "Campo de Dalías", en apoyo a su gestión	479-01	Dominguez, P. et al.
Afección uso aguas residuales en acuíferos (genérico)	2005	PONENCIA y COLOQUIO	Mesa Redonda. IEA. Jornadas sobre depuración y uso de aguas residuales (Almería)	Papel 3 pp.	Algunas consideraciones sobre la incidencia en los acuíferos de prácticas agrícolas con aguas residuales regeneradas	484	Domínguez, P.
Campo de Dalías	2005	INFORME	AAPP, USUARIOS	Papel 5 pp	Nota Preliminar acerca de la evacuación de excedentes sin tratar de aguas bombeadas de la Balsa del Sapo (Campo de Dalías)	485	González, A. et al
AÑO 2006							
Campo de Dalías	2006	COMUNICA-CIÓN	AQUAinMED (Málaga)	367-374	Consideraciones sobre las alternativas de actuaciones urgentes ante el problema de inundaciones en la balsa del Sapo (Campo de Dalías, Almería)	486	Dominguez, P. et al.
AÑO 2007							
Campo de Dalías	2007	PONENCIA	Jornadas El Agua subterránea en el Poniente Almeriense (Almería). IGME - AEUAS	Papel 54 pp.	Los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor - Campo de Dalías. Características generales de los acuíferos. Consecuencias positivas y negativas de su utilización. Propuesta para su protección y regeneración. Plan Estratégico	674	Dominguez, P. y Franqueza, P.
Campo de Dalías	2007	PONENCIA	Jornada Técnica: "Los regadíos en el Poniente Almeriense. Situación actual y perspectivas de futuro. IFAPA. Almería	Papel 41 pp.	Los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor - Campo de Dalías como fuente principal de abastecimiento. Evolución histórica y situación actual	675	Dominguez, P. y Franqueza, P.
Campo de Dalías	2007	COMUNICA-CIÓN	Congreso Tecnología de la Intrusión marina. 2007 (TIAC'07)	939-946	El uso del conocimiento hidrogeológico contrastado para el diseño del Plan de sostenibilidad de acuíferos: el caso de los acuíferos del Sur de Sierra de Gádor - Campo de Dalías	676	Dominguez, P. et al.

AMBITO HIDROGEO-LÓGICO	año	TIPO	MARCO (localidad)	Tomo paginas	TITULO	número archivo Unidad del IGME	Autores
Campo de Dalías	2007	CAPITULO DE LIBRO	Libro: El Ejido, territorio y sociedad	34 pp.	capítulo 6: El agua	677	González, A. et al

c) Algunos documentos completos de interés acerca de la investigación de la intrusión marina:

Se incluyen 8 documentos (en formato digital) realizados a lo largo del Estudio. Sus referencias (según la clasificación documental de la Unidad de Almería del IGME) son las siguientes: Ref. 86, Ref. 150 (asociado a Ref. 439), Ref. 155, Ref. 198, Ref. 426, Ref. 432, Ref. 472 y Ref. 474. Se trata de:

- Ref. 86: IGME 1986. Intrusión marina en el Campo de Dalías (Almería). Seminario Interfase agua dulce-salina, Granada. Servicio de Estudios del IARA. Financiación IGME – IARA.
- Ref. 150-03: ITGE 1995: Análisis de la situación del Campo de Dalías en relación con la declaración de sobreexplotación. Para la Confederación Hidrográfica del Sur. Financiación: fondos propios IGME.

Un resumen de este informe quedó editado en el de Ref. 439: ITGE. 1995. Situación de los acuíferos del Campo de Dalías (Almería) en relación con su declaración de sobreexplotación. Publicado en: *VI Simposio de Hidrogeología*. Sevilla: 443-467.

- Ref. 155 Domínguez P. et al. 1996: Síntesis de los cambios en la distribución de flujos subterráneos en los acuíferos del sector Noreste del Campo de Dalías. IV SIAGA, Almería, I, 239-249.
- Ref. 198: IGME – UPC 2000: Investigación sobre el funcionamiento hidrogeológico y mecanismos de intrusión marina en acuíferos carbonatados de estructura geológica compleja. Aplicación al Acuífero Inferior Noreste (AIN) del Campo de Dalías, Almería”. Tesis Doctoral de Patricia Domínguez dirigida por el Dr. Emilio Custodio Gimena, presentada en el DIP de la UPC, obteniendo sobresaliente “cum laude”.
- Ref. 426: Domínguez P. y González, A. 1987. Intrusión marina en el Campo de Dalías (Almería). IV Simposio de Hidrogeología, Palma de Mallorca, XII, 101-115.
- Ref. 432: Domínguez, P. y Custodio, E. 1991. Sea Water Intrusion in the lower north-eastern aquifer of the “Campo de Dalías” (Almería, Southeastern Spain): Preliminary study of monitoring data. SWIM, Barcelona, 631-659.
- Ref. 472: Domínguez et al. 2003. Charla-coloquio de divulgación sobre los “Conocimientos alcanzados acerca del Sistema Acuífero de Sierra de Gádor, con atención especial a los Acuíferos del Campo de Dalías”, Roquetas de Mar, 17p.
- Ref. 474: Domínguez, P. et al. 2004. The aquifers of Campo de Dalías (Province of Almería, South Eastern Spain): an intensively exploited complex coastal system. En: Monitoring,

modelling and Management of coastal aquifers: concepts and case studies in Andalusia (Spain) and Morocco. Benabente, J. y Larabi, A. (Ed), Granada, 255-277.

12.2- ANEXO 2: SOBRE LA ACTUALIZACIÓN DE EXPLOTACIONES POR BOMBEO (TRABAJO 1A)

Contiene diversos tipos de documentos (de trabajo, informes y de datos):

- Datos y fichas de trabajo de: las características y cálculos de los aforos en los puntos de explotación (Documentos 13 y 60), y de los datos e informaciones mensuales por puntos (Documento 94).
- Informes y datos parciales / provisionales (hasta 2007/08): del Documento 161.1 (2010)
- Informaciones sobre elaboraciones finales mensuales (2011): Documento 170
- Informes generales (2010) y datos finales (2012): incluidos en una parte del Documento 113 y en los ficheros del apartado “datos finales anuales”, respectivamente.

Las informaciones generadas sobre las explotaciones por bombeo, por captaciones, de 2007/08 y 2008/09 se encuentran almacenadas en la base de datos de Explotaciones del IGME.

12.3-ANEXO 3: SOBRE LA ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LA PIEZOMETRÍA (TRABAJO 1B)

En este anexo se han incluido cuatro documentos:

- En el documento 121 (de octubre de 2010): datos piezométricos obtenidos en campañas extensivas entre 2008 y 2010, recogidos en listados de mediciones, figuras de localización de puntos, así como esquemas de elaboraciones e interpretaciones provisionales y/o parciales (dado que incluye trabajos únicamente hasta 2010).
- En el documento 113 se recoge un informe, a fecha de diciembre de 2010, con la elaboración final del esquema de distribución de flujos correspondiente a febrero de dicho año, así como de los hidrogramas de piezómetros estudiados para el período 2001 -2010.
- El documento 146 incluye también un informe sobre el funcionamiento del ASC, especialmente en el entorno de la laguna de la Balsa del Sapo, realizado a solicitud de la AAA en febrero de 2011 (actividad no programada para la Fase I).
- En el documento 237 (de diciembre de 2013) se recoge los seguimientos temporales de piezómetros, coetáneos con el control de limnígrafos realizado por el IGME, hasta diciembre de 2013.

Todos los datos piezométricos validados (los obtenidos entre 2008 y 2013 directamente en la Fase I y sus prórrogas, y los de origen exterior a ésta) se encuentran almacenados en la base de datos AGPZ del IGME.

12.4- ANEXO 4: SOBRE EL TRABAJO CONTRASTE / MODIFICACIÓN DEL MODELO DE GEOMETRÍA DEL SUBSISTEMA (TRABAJO 1C)

Se incluyen dos documentos: el 161.2 (con fichas de inventario de puntos estudiados, plano de su situación y explicación de las distintas tareas llevadas a cabo, todo ello a fecha de diciembre de 2010); el Documento 241 (actualizado a 2013) es el plano de situación de los sondeos mecánicos particulares estudiados a lo largo de la Fase I, incluidos en la versión de 2005 del plano de isohipsas del techo de los materiales alpujárrides del Campo de Dalías.

Todas las informaciones y elaboraciones validadas sobre las características de los puntos de agua (los obtenidas entre 2008 y 2013 directamente en la Fase I y sus prórrogas) se encuentran almacenadas en la base de datos Maestro de Aguas del IGME.

12.5- ANEXO 5: SOBRE EL TRABAJO DETECCIÓN PRELIMINAR DE LOS PRINCIPALES FOCOS DE CONTAMINACIÓN POR SU POTENCIAL INFLUENCIA EN LOS ACUÍFEROS INFERIORES (TRABAJO 1D)

Este anexo incluye el documento final del trabajo, Documento 161.4, con texto descriptivo, planos, cuadros y fichas de focos potenciales de contaminación.

12.6- ANEXO 6: SOBRE LA ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE LA VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA EN LOS PRINCIPALES ACUÍFEROS, CON ESPECIAL ATENCIÓN A LOS PROCESOS DE INTRUSIÓN MARINA (TRABAJOS 1E Y 2B)

Se integran en este anexo 29 documentos, la mayoría de los cuales corresponde a tareas de exposición de interpretaciones y elaboraciones para la obtención de los resultados de estos trabajos (incluidos en informes, ponencias, comunicaciones, etc.), realizados entre 2008 y 2013. En relación con las nuevas informaciones obtenidas destacan las de los registros geofísicos (Documento 231 y 127).

Se trata de los documentos: 34_1 y 34_2, 53, 70, 78, 111_1E, 111_2B, 112_1E, 112_2B, 113_1E, 113_2B, 127, 128, 167, 168, 169, 190, 191 214, 228 (1 a 4) y 231.

Todos los datos validados obtenidos para estos trabajos entre 2008 y 2013 directamente en la Fase I y sus prórrogas, y los de origen exterior a ésta) se han almacenado en la base de datos AGAG del IGME.

12.7- ANEXO 7: SOBRE LA SELECCIÓN PRELIMINAR DE ZONAS ESTRATÉGICAS PREFERENTES PARA LA REORIENTACIÓN DE EXTRACCIONES (TRABAJO 2 A)

Contiene la parte del Documento 111, de 2008, relativo a este trabajo (Documento 111_2A), actualizada.

12.8- ANEXO 8: SOBRE EL ANÁLISIS DEL CONOCIMIENTO HIDRODINÁMICO DE LAS ZONAS ESTRATÉGICAS Y SU MEJORA EN LAS PREFERENTES (TRABAJO 2 D)

Este anexo incluye los informes finales de las tres partes de este Trabajo que se reflejan en los Documentos 181, 179 y 184.

12.9- ANEXO 9: SOBRE LA ACTUALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DE LOS ACUÍFEROS INFERIORES: PROPUESTA DE CORRECCIÓN A 2012 (TRABAJO 2 E)

El Documento 176 constituye el anexo de apoyo al texto de la Memoria sobre este trabajo.

12.10- ANEXO 10: SOBRE EL ANÁLISIS DE LA CONVENIENCIA/VIABILIDAD DE RECARGAS EN EL AEBN COMO MEDIDA PROTECTORA DEL AIO (TRABAJO 2 F)

Incluye el informe más actualizado sobre el Trabajo: Documento 189.

12.11- ANEXO 11: SOBRE LAS PRIMERAS INVESTIGACIONES DE MULTITRAZADORES EN APOYO A LA EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LOS CAMBIOS EN LAS TENDENCIAS NEGATIVAS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS ACUÍFEROS INFERIORES (TRABAJO 3 A)

Como ejemplo de estas investigaciones, se incluye el Documento 113_3A, que describe, como ejemplo, el análisis realizado en relación con el uso de la sonda de Oxígeno Disuelto.

12.12- ANEXO 12: SOBRE LA CLASIFICACIÓN DOCUMENTAL DE NUEVAS INFORMACIONES/ELABORACIONES EN RELACIÓN CON LA FASE I (TRABAJO 2 C)

Contiene el listado de clasificación de todos los documentos generados (Documento 230) y los resultados de un trabajo realizado en 2010 como apoyo al estudio simultáneo de observaciones en GIS (Documento 123).

Todos los documentos generados durante la Fase I y sus prórrogas están consultables, en formato papel y/o digital en la Unidad Territorial de Almería del IGME.

12.13- ANEXO 13: SOBRE LA DIRECCIÓN, GESTIÓN Y COORDINACIÓN DE EQUIPOS TÉCNICOS Y DE LA INFORMACIÓN (TRABAJO 6 A)

Se incorporan a este anexo 36 documentos procedentes de la gestión, dirección general y coordinación de equipos técnicos del Programa (2008-2013), y de la gestión informativa del estado técnico y económico-administrativo, al IGME y a la Comisión de Seguimiento, así como de la Coordinación del Convenio (2008-2010 y 2011-2013).

Se incluye las actas de las reuniones de la Comisión de Seguimiento; la redacción de las prescripciones técnicas de los pliegos de los trabajos; documentos sobre informes y seguimientos técnicos generales; las ponencias realizadas y otras actividades de difusión de los resultados del Programa, etc. Son los documentos: 34 (1 y 2), 53, 55, 58, 70, 102, 139 (1 a 7), 146, 148, 155, 163, 176, 191, 199-1, 203, 206, 224, 226, 229, 234, 238, 239 y 240 (1 a 7).

12.14- ANEXO 14: DATOS E INFORMACIONES GENERADOS/ ELABORADOS DURANTE LA FASE I Y SUS PRÓRROGAS

Estas medidas e informaciones fueron cargadas en las Bases de Datos del IGME (consultables en www.igme.es) y han sido trasladadas a la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, cada uno de los años de desarrollo de los trabajos de este Convenio.