



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



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

Documento 5

Informe Final de la Partida 4 del Contrato: “Mejora del conocimiento de la calidad del agua en las zonas preseleccionadas de los acuíferos, para optimizar su valoración en relación con distintos objetivos (como recursos complementarios procedentes de los acuíferos de cobertera, como áreas preferentes de disminución de bombeos de los acuíferos inferiores, o como áreas más necesitadas de actuación para la protección directa o indirecta de estos últimos)”.

Octubre de 2014

ÍNDICE DEL DOCUMENTO 5: INFORME FINAL DE LA PARTIDA 4 DEL CONTRATO

5.1.- DEFINICIÓN DE LA ACTIVIDAD 4 DEL CONTRATO Y SUS TAREAS

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

5.3.- REPARTO DEL PESO DEL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 4 DEL CONTRATO

5.4.- INFORMES PARCIALES y FINALES REALIZADOS DEL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 4

5.4.1.- Informes anuales, parciales y finales sobre el desarrollo de las tareas de la Partida 4

a) TAREA 1: POR ZONAS PRESELECCIONADAS: ENCUADRE DE SU FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y LA EVOLUCIÓN DE ÉSTE, REFERIDO A LOS PRINCIPALES PROCESOS EXISTENTES QUE AFECTEN A SU CALIDAD DEL AGUA.

a.1) Principales problemas referidos a la calidad del agua, consecuencia de los cambios de funcionamiento hidrogeológico, que afectan a su valoración como zonas estratégicas preferentes de los acuíferos de cobertera (del Documento 111, de 2008).

a.2) Principales problemas referidos a la calidad del agua, consecuencia de los cambios de funcionamiento hidrogeológico, que afectan a su valoración como zonas estratégicas preferentes de los acuíferos inferiores (del Documento 111 de 2008).

b) TAREA 2: REPRESENTATIVIDAD DE PUNTOS DE OBSERVACIÓN DE ACUÍFEROS, Y SU HISTORIAL DE DATOS DE CALIDAD DE ZONAS ESTRATÉGICAS PREFERENTES. SÍNTESIS SUS CARACTERÍSTICAS Y TENDENCIAS DE PUNTOS. INCERTIDUMBRES PRINCIPALES Y NUEVAS INFORMACIONES PARA MEJORA DEL CONOCIMIENTO.

b.1) Contenidos del desarrollo de esta tarea en 2009, del Documento 112.

b.1.1) Complementación / rectificación del registro histórico analítico.

b.1.2) Nuevas informaciones de especial interés: campaña de testificación geofísica de septiembre / octubre de 2009.

c) TAREA 3: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CALIDADES DEL AGUA POR ZONAS Y ACUÍFEROS, Y DE SU EVOLUCIÓN TEMPORAL. POSIBLES PROCESOS ACTUANTES. RESULTADOS E INCERTIDUMBRES.

c.1) Nuevas informaciones de especial interés: campaña de muestreo en bombeo de 2010 (del Documento 113)

c.2) Contenidos del estudio de las zonas preferentes de los acuíferos: elaboraciones e interpretaciones en 2010 (del Documento 113).

c.2.1) Tratamientos hidroquímicos.

c.2.2) Metodologías aplicadas para el estudio de la distribución espacial y temporal del contenido en cloruros.

c.3) Nuevas mediciones de interés en 2011 (De los documentos 127 y 128 de la Fase I)

d) TAREA 4: CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE ZONAS (BOMBEOS COMPLEMENTARIOS DE ACUÍFEROS DE COBERTERA, ÁREAS PREFERENTES DE DISMINUCIÓN DE BOMBEOS DE ACUÍFEROS INFERIORES, O ÁREAS MÁS NECESITADAS DE PROTECCIÓN DE ESTOS ÚLTIMOS), SEGÚN CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS E HIDROQUÍMICAS, FUNCIONAMIENTO Y PROCESOS EN MARCHA.

d.1) Zonas estratégicas para la protección de los acuíferos inferiores (del Documento 113 de 2010)

e) TAREA 5: SÍNTESIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS CALIDADES DEL AGUA Y PROCESOS EXISTENTES EN CADA ZONAS PRESELECCIONADAS Y CLASIFICACIÓN DE LAS MISMAS SIGUIENDO LOS CRITERIOS ESTABLECIDOS.

e.1) 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 2B y 1E)

e.1.1) Obtención de nuevas informaciones físico-químicas representativas de los acuíferos recogidas durante la Fase I (2008-2010) y sus prórrogas (2011-2013).

e.1.2) Estudio de las características físico – químicas del agua de los acuíferos de cobertera

e.1.3) Análisis preliminar de la incidencia de plaguicidas en la zona saturada de Zonas Estratégicas Preferentes

e.1.4) Estudio de las características físicoquímicas del agua de los Acuíferos Inferiores

Informe Final de la Partida 4 del Contrato: “Mejora del conocimiento de la calidad del agua en las zonas preseleccionadas de los acuíferos, para optimizar su valoración en relación con distintos objetivos (como recursos complementarios procedentes de los acuíferos de cobertera, como áreas preferentes de disminución de bombeos de los acuíferos inferiores, o como áreas más necesitadas de actuación para la protección directa o indirecta de estos últimos)”.

Documento 5

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

Se definió la Partida 4 del Contrato como: “Mejora del conocimiento de la calidad del agua en las zonas preseleccionadas de los acuíferos, para optimizar su valoración en relación con distintos objetivos (como recursos complementarios procedentes de los acuíferos de cobertera, como áreas preferentes de disminución de bombeos de los acuíferos inferiores, o como áreas más necesitadas de actuación para la protección directa o indirecta de estos últimos)”.

Comprende 5 tareas:

- a) **tarea 1:** Por zonas preseleccionadas: encuadre de su funcionamiento hidrogeológico y la evolución de éste, referido a los principales procesos existentes que afecten a su calidad del agua.
- b) **tarea 2:** Por zonas preseleccionadas, y teniendo en cuenta el conocimiento más actualizado sobre su funcionamiento y principales procesos existentes en las mismas, análisis de la representatividad de los puntos de observación de cada uno de sus acuíferos, y del historial de datos de calidad en los mismos, para síntesis inicial de sus características y tendencias en la calidad. Incluye definición de incertidumbres principales por acuíferos y planteamiento de nuevas actividades (campañas de campo y otras informaciones), así como selección de puntos de observación de la calidad complementarios, para mejorar su conocimiento a lo largo de esta Fase del Programa.
- c) **tarea 3:** Análisis de la distribución espacial de las calidades del agua, por zonas y acuíferos, y de su evolución temporal, así como de los posibles procesos que las originaron. Resultados e incertidumbres.
- d) **tarea 4:** Establecimiento de criterios de clasificación de zonas, según los distintos objetivos (como recursos complementarios procedentes de los acuíferos de cobertera, como áreas preferentes de disminución de bombeos de los acuíferos inferiores, o como áreas más necesitadas de protección de estos últimos), en base a sus características hidrodinámicas e hidroquímicas, al

funcionamiento hidrogeológico en su entorno y procesos en marcha derivados de su uso, y teniendo en cuenta las exigencias de calidad de las demandas de la zona, las posibilidades de mezcla con otros tipos de recursos, las posibilidades de tratamiento de la calidad para adecuarla a dichas exigencias, etc..

- e) **tarea 5:** Síntesis de las características de las calidades del agua y procesos existentes en cada una de las distintas zonas preseleccionadas (incluye las mejoras en su conocimiento obtenidas en esta fase y sus incertidumbres principales), y clasificación de las mismas siguiendo los criterios establecidos.

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

Esta cuarta Partida del presente Contrato constituye, como el resto de las incluidas en el mismo, una serie de tareas desglosadas del conjunto de las correspondientes a los Trabajos que se definieron para la Fase I del Programa, que estuvieron realizadas de forma coordinada con las otras tareas que han asumido las Partes para alcanzar los objetivos de esta fase. En este caso, con la Partida 4 del Contrato se han realizado tareas tanto de diseño, como de ejecución y de control de calidad.

En el caso de la Partida 4 del Contrato (como también ocurrió con su Partida 3, a la que corresponde el **documento 4** de este Informe Final) las implicaciones con otras Actividades Administrativas del Convenio fueron muy importantes.

De las Actividades Administrativas del Convenio asumidas por la AAA (de la 8 a la 12) esta Partida 4 del Contrato equivale a la **Actividad Administrativa 11** (ver **cuadro 1.2.1** en **documento 1** de este Informe). Como se indicó en la Memoria Final de la Fase I, la Actividad Administrativa número 11 (o cuarta partida de este Contrato) estuvo implicada en un Objetivo y Trabajo de esta fase. En cuanto al primero, se trató del Objetivo 2 que se expone a continuación: - Objetivo 2: Selección de alternativas de bombeo de mayor interés (primera orientación) con reducción en acuíferos inferiores y aumentos en coberteras en zonas estratégicas escogidas.

En el **cuadro 5.2.1** se exponen todos los Trabajos de la Fase I, indicando en él la ubicación donde **quedó integrada** esta Partida 4: el Trabajos 2B que, como se indicó en el **documento 4** de este Informe, está asociado al Trabajo 1E, dado que han contado con muchas tareas que han sido comunes.

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

Trabajos del Objetivo 1

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

Trabajos del Objetivo 2

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

Trabajos del Objetivo 3

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

Trabajos del Objetivo 4

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

Trabajos del Objetivo 5

- 5A Memoria Final

Trabajos del Objetivo 6

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

Cuadro 5.2.1: los Trabajos de la Fase I del Programa, resaltando aquellos en los que intervino la Partida 4 de este Contrato. Del documento entregado en la reunión AAA – EGMASA – IGME de 25 de septiembre de 2009.

La implicación principal de la Partida 4 en los Trabajos de la Fase I (Actividad Administrativa 11 de ésta) también puede observarse en el **cuadro 5.2.2.**

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

Cuadro 5.2.2: Actividades Administrativas implicadas principalmente en la ejecución los Trabajos de la Fase I, señalando en rojo la número 10 (Partida 3 del Contrato) y el Trabajos de la Fase I en que ha intervenido.

Como se observa en el cuadro anteriormente citado, y se expuso en el documento 4 de este Informe, en la Fase I los Trabajos 1E (Actualización del conocimiento de la calidad general del agua en los principales acuíferos) y 2B, fueron considerados conjuntamente, ya que los medios necesarios para alcanzar sus objetivos resultaron en gran parte comunes (la mayoría de la mejora de la información sobre la calidad del agua en las Zonas estratégicas se adquirió en los mismos puntos de agua validados con la Actividad Administrativa 10 para dicho propósito).

5.3.- REPARTO DEL PESO DEL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 3 DEL CONTRATO

En el cuadro 5.3.1 se observa cuál fue el desarrollo por períodos de esta Partida 4 del Contrato (del global y sus tareas, en 2008, 2009, 2010 y 2011-2014). El año con un peso mayor en su ejecución (cerca del 54% fue el 2009 desarrollándose la Partida durante 2008, 2010 y 2011 en proporciones aproximadas (ver cuadro 5.3.1) quedando sólo un 0.6% sin ejecutar (que se aplicó para incluir en la Memoria Final de la Fase I parte de los datos de seguimiento recogidos por el IGME en 2012 y 2013). Durante el año 2008 se llevó a cabo tarea 1. Entre 2008 y 2009 se realizó prácticamente la tarea 2. La tarea 3 se inició en 2008, aunque fue en 2009 y 2010 cuando se desarrolló la mayor parte de la misma, concluyéndose en 2011. La tarea 4 no se inició hasta 2010, realizándose su mayor parte en 2011 y finalizándose en 2012, es decir casi toda ella se llevó a cabo en período de prórroga de la Fase I, durante el cual se ejecutó la tarea 5, cuyas labores se hicieron casi todas en 2011.

PERIODOS →					2008	2009	2010	2011 - 2014
PARTIDA Y ACT. ADM.	precio (sin IVA) €	tarea		% aprox Partida	% ejecu- tado	% ejecu- tado	% ejecu- tado	% ejecu- tado
PARTIDA 4 = Act. Adm. 11	179193.96	zonas act	1	9.0%	9.0%			
		repres punt	2	55.0%	7.7%	47.3%		
		espac temp	3	21.0%	1.2%	6.4%	10.5%	2.9%
		crit clasific	4	5.0%			1.0%	4.0%
		sintesis+cla	5	10.0%				10.0%
	179193.96	Total			100%	17.9%	53.7%	11.5%

Cuadro 5.3.1: Desarrollo temporal de la ejecución de cada una de las tareas de la Partida 4 de este Contrato (Actividad Administrativa 11 del Convenio) para los períodos: 2008, 2009, 2010 y 2011-2014.

En lo que sigue se hace referencia a las informaciones sobre las mismas.

5.4.- INFORMES PARCIALES y FINALES REALIZADOS DEL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 4

5.4.1.- Informes anuales, parciales y finales del desarrollo de las tareas de la Partida 4

La Partida 4 de la presente Asistencia tiene su base en los trabajos llevados a cabo durante 2008 sobre la Partida 2 (trabajos iniciales para la selección previa de zonas estratégicas de mayor interés para la reorientación de extracciones, en **documento 3** de este Informe).

En el volumen 3 del Documento 111 (de diciembre de 2008) se expusieron las mejoras del conocimiento que se pensaba podrían ser asequibles, sobre la calidad del agua en las siete Zonas estratégicas preseleccionadas, con el objetivo concreto de optimizar, en lo posible, su valoración -con las consideraciones en cada caso- para actuar en ellas, bien como zonas de los acuíferos de cobertera para bombeos complementarios (como parte de los de sustitución de bombeos a cancelar en los acuíferos inferiores), bien como zonas preferentes de estos últimos acuíferos, para disminuir sus extracciones, y/o como áreas más necesitadas de actuación para proteger, de forma directa o indirecta, la calidad del agua de los acuíferos, especialmente la de los inferiores.

Atendiendo a los resultados que se fueron obteniendo a lo largo de la Fase I sobre los procesos negativos en progresión en los acuíferos inferiores, se fueron modificando o reforzando planteamientos, enfocándolos a la mejora del conocimiento de los principales procesos negativos para la protección – regeneración posible de este sistema de acuíferos. El desarrollo de la Partida 4 del Contrato, por tareas, fue el siguiente.

a) TAREA 1: POR ZONAS PRESELECCIONADAS: ENCUADRE DE SU FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y LA EVOLUCIÓN DE ÉSTE, REFERIDO A LOS PRINCIPALES PROCESOS EXISTENTES QUE AFECTEN A SU CALIDAD DEL AGUA.

La primera de las tareas de esta Partida 4 se realizó en su totalidad, como se ha dicho, en 2008 en cada una de las siete Zonas estratégicas preferentes, teniendo en cuenta su real o potencial afección a la calidad de su almacenamiento de agua.

En el **documento 3** (de la Partida 2 del Contrato) se expusieron de forma extensa las características más destacables del funcionamiento de cada una de las zonas estratégicas definidas (**Figura 7**, del **documento 3**), de las cuales se preseleccionan como preferentes (las de mayor interés para mejorar su conocimiento durante la Fase I del Programa) a las denominadas: **zona a, zona b, zona c y zona d de las coberteras, y zonas g, zona h y zona j de los acuíferos inferiores.**

En el texto incluido en el **apartado a.1** (del Documento 111, de diciembre de 2008) se sintetizaron los procesos que afectan a la calidad y tenían 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. El planteamiento de los problemas que afectan a la calidad del agua en la zona “AEBN y extremo noroeste del ASC en los Alacranes y Onáyar (zona a)”, se incluye entre los presentes en la zona: “Áreas libres del AIO en la llanura (zona j)”, por constituir un elemento de modificación de la calidad en dicho acuífero (en este caso la llegada de flujos salados al AIO desde el acuífero costero AEBN intruido de agua de mar).

a.1) Principales problemas referidos a la calidad del agua, consecuencia de los cambios de funcionamiento hidrogeológico, que afectan a su valoración como zonas estratégicas preferentes de los acuíferos de cobertera (del Documento 111, de 2008).

Se refiere a las zonas definidas como **Zonas b y c** pertenecientes al ASC: Entorno de Onáyar y Entorno de la Balsa del Sapo (respectivamente), así como a la **Zona d** (coberteras del área de El Viso – Roquetas, hasta el límite con la de La Gangosa) en la que se encuentran los acuíferos ASN y AltN.

Las tres zonas citadas se consideraban como áreas potencialmente cedentes de recursos complementarios para sustituir bombeos de los acuíferos inferiores, con un posible bombeo del ASC (**Zonas b y c**) o de las coberteras encontradas en la **Zona d** (ASN y AltN). Para evaluar este interés habría que tener en cuenta también los condicionantes impuestos desde los propios acuíferos de cobertera (extracciones actuales, relación con zonas de interés ambiental, etc.).

También, en los tres casos, se trata de zonas muy afectadas por cambios de funcionamiento: en las dos primeras, los descensos controlados del nivel del agua, en los acuíferos de cobertera (ASC), podrían suponer una protección para la calidad de los acuíferos inferiores que reciben sus flujos: en el caso de la **Zona b**, el acuífero receptor es el AIO y en la **Zona c**, la relación de flujos es de descarga, directa o indirectamente, hacia los acuíferos AIN y ASN. En el caso de la **Zona d**, la relación de flujos entre el AIN y el ASN ha presentado hasta 4 inversiones históricas en el sentido de circulación, lo que exige un seguimiento de su estado muy actualizado y un análisis más complejo de sus posibilidades de manejo.

Sin embargo, el análisis de las ventajas de estas actuaciones sobre el nivel de los acuíferos de cobertera precisa de la consideración del balance entre el beneficio del descenso de niveles en estos acuíferos de cobertera (en relación con la disminución del impacto en la calidad del agua del acuífero receptor) y el perjuicio, entre otros, que produciría la disminución de entradas laterales a los acuíferos inferiores, con el consecuente impacto en el aumento de la velocidad de descenso piezométrico en los mismos, y sus consecuencias asociadas. Posteriormente habría que considerarlo, según el estado de los acuíferos inferiores, en cada Zona estratégica y sector de la misma, y también de la situación y viabilidad de control de las masas de agua ya contaminadas con mezclas de agua de mar, en el caso de la **Zona d** según el conocimiento obtenidos (durante los últimos años de la Fase I) del avanzado estado de penetración de dichas masas de agua salinas.

Al programar la Fase I, el planteamiento realizado, sus dos años previstos, pretendía ir mejorando el conocimiento de la calidad del agua en las zonas de los acuíferos de cobertera citados, para cuantificar los contenidos más probables de sustancias en su reserva almacenada (en la horizontal y vertical) y del agua extraída con diferentes alternativas de bombeo en los mismos –en el caso de que éstos se llevaran a cabo- y, en lo posible, para conocer la evolución, en cantidad y calidad del agua extraída con éstos, para evaluar sus posibilidades de uso con los tratamientos más convenientes a lo largo del tiempo. Sin embargo, este planteamiento precisaba de la existencia de puntos adecuados de observación para llegar a los objetivos deseados, lo que correspondía alcanzarse en el tiempo previsto (de 2010 en adelante) para la continuidad del Programa con su

Fase II. De forma preliminar sólo podrían usarse las captaciones existentes, muy lejos de constituir sondeos de investigación adecuados para los estudios requeridos, una situación aún vigente. Con la información disponible en el punto de partida de la Fase I, no parecía que se pudiera avanzar mucho en estos aspectos: se sabía de la existencia de diferencias de calidad de origen natural (en la vertical y horizontal) a las que el uso habría añadido otros factores multiplicadores de dichas diferencias.

Las tendencias generales de estos acuíferos de cobertera, con niveles cada vez más altos, (excepto en el período de fuerte explotación que experimentaron algunas áreas antes de las últimas décadas) suponen un almacenamiento cada vez mayor, y con características hidroquímicas de creciente complejidad, así como una transferencia cada vez más importante (a los acuíferos receptores y a otras áreas de menor carga hidráulica de los propios acuíferos de cobertera) de estas masas con las sustancias que contengan (procedentes de su calidad natural y de los nuevos aportes de aquellas que vienen recibiendo por el uso que se les está dando). En este sentido, para el caso del ASC, la **Zona b** representaba la mayor complejidad potencial por la alta presión de retornos y vertidos de origen urbano en la misma. Para el caso del ASN, las **Zonas d y e**, de estas coberteras, fueron las más receptoras de sustancias potencialmente contaminantes (incluyendo el agua de mar intruida en las mismas).

La falta de datos para esta evaluación de la distribución de calidades (en la horizontal y vertical) precisaba de ensayos en obras actuales y también en nuevas obras (a realizar en la Fase II del Programa). Las conclusiones en esta Fase I sólo cabría pensar que serían muy provisionales por esta escasez de datos, y su grado de acierto dependería de la validez de las informaciones de las nuevas campañas. En cualquier caso, se trataba de una actuación experimental que, como ya se sabe, tiene unas limitaciones temporales condicionadas por los propios objetivos de la actuación.

a.2) Principales problemas referidos a la calidad del agua, consecuencia de los cambios de funcionamiento hidrogeológico, que afectan a su valoración como zonas estratégicas preferentes de los acuíferos inferiores (del Documento 111 de 2008).

Las zonas estratégicas preseleccionadas para el caso de los acuíferos inferiores son las denominadas **Zonas j, g y h** (áreas libres del AIO en la llanura, El Águila -incluyendo el área de Vúcar del AIN- y El Viso (área confinada del AIN).

El estudio en todas ellas estaba orientado a evitar, en 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 derivadas del uso directo en su superficie.

Para el caso de la **Zona j** (correspondiente a las áreas libres del AIO en la llanura) el principal proceso a investigar es la entrada de agua de mar desde el AEBN. También tenía interés 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 del conocimiento de la incidencia de las actividades humanas sobre el propio acuífero en esta zona.

Para el caso de la zona de El Águila – Vúcar (del AIN), los principales procesos de contaminación a investigar fueron: la entrada de mezclas con agua de mar (antigua o reactivada) desde Aguadulce, La Gangosa y, potencialmente, desde El Viso (**Zona h**). También los empeoramientos de la calidad procedentes de los flujos desde las coberteras en sus zonas de relación (comprendidas en El Viso- Roquetas (**Zona d**), y el Entorno de la Balsa del Sapo, **Zona c**). Como en el caso de la **Zona j**, resultaba también de interés conocer la incidencia de las actividades humanas sobre el acuífero en esta zona libre.

Los procesos actuantes en la **Zona 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 cobertera, en parte vía sondeo, y desde distintos niveles de la compleja zona de La Gangosa.

b) TAREA 2: REPRESENTATIVIDAD DE PUNTOS DE OBSERVACIÓN DE ACUÍFEROS, Y SU HISTORIAL DE DATOS DE CALIDAD DE ZONAS ESTRATÉGICAS PREFERENTES. SÍNTESIS SUS CARACTERÍSTICAS Y TENDENCIAS DE PUNTOS. INCERTIDUMBRES PRINCIPALES Y NUEVAS INFORMACIONES PARA MEJORA DEL CONOCIMIENTO.

Partiendo de los resultados reflejados en el apartado a, se inició, en 2008, esta tarea. Con el conocimiento más actualizado adquirido sobre el funcionamiento y procesos generales existentes en este subsistema (expuesto de forma sintética en el documento 3 de este Informe), y atendiendo a las circunstancias presentes en la Fase I, se plantearon nuevas actuaciones que fueron expuestas de forma detallada en los volúmenes anuales correspondientes a esta Partida 4, emitidos en diciembre de 2008 y de 2009.

Como ejemplo de metodologías utilizadas en 2008, en el volumen 4 del Documento 111 se describía la obtención de nuevos muestreos para captación de datos hidroquímicos, en distintas condiciones de extracción de captaciones. En los documentos de 2009 se exponía en detalle el desarrollo de actuaciones como la necesaria complementación del registro histórico analítico, la realización de campañas de muestreo en bombeo complementarias, y la obtención de registros verticales continuos (con toma de muestras a profundidades seleccionadas, etc.) en sondeos mecánicos de los acuíferos de cobertera esencialmente, algunos de cuyos contenidos se refieren en el apartado b.1.

Los puntos considerados como representativos, según el Trabajo 1E (con el que se relacionó la Partida 3 de este Contrato, en documento 4 del Informe) quedaron, como se dijo, también integrados en el Trabajo 2B, al objeto de alcanzar un mejor conocimiento de las Zonas estratégicas elegidas preliminarmente para la reducción de bombeos en los acuíferos inferiores y la protección del AIO (**zonas g, h y j, y zona a**). A esta selección se incorporaron captaciones privadas de los acuíferos inferiores (que pudieron ser estudiadas con más detalle gracias al apoyo de la JCUAPA o a circunstancias del desarrollo del uso de las mismas). De ellas destacaron los sondeos 763-D, 765-D, 782-D y 794-D, en la mayoría de los cuales la colocación de un dispositivo para facilitar el registro continuo, con muestreo en bombeo y muestreo en profundidad en condiciones de extracción, aportó importantes informaciones sobre la distribución de las calidades en el AIO.

Si bien con el apoyo de los puntos seleccionados se produjo una mejora del conocimiento importante, en apoyo a la decisión de disminución de bombeos en ambos acuíferos inferiores, se planteó la necesidad de ejecutar, cuanto antes, una red de sondeos específicos (ROPSAI) para conocer la salinización en profundidad en los acuíferos inferiores antes de la llegada de ésta al fondo de las captaciones en uso, cuyo primer sondeo debería realizarse lo más cercano posible a la zona de entrada de agua de mar desde el AEBN al AIO (en el área de explotación de Tarambana).

Por otra parte, para la selección de los puntos representativos de los acuíferos de cobertera (con los que mejorar el conocimiento de las características de sus Zonas estratégicas preferentes, como complementos de extracción para sustitución de parte de los bombeos de los inferiores) se estudiaron todos los sondeos mecánicos accesibles para su muestreo en condiciones de bombeo (captaciones en uso) o en los que pudieran realizarse registros geofísicos continuos de diversos tipos en ellos (y muestreos en profundidad asociados). A pesar del esfuerzo realizado en estos aspectos, las incertidumbres sobre la representatividad de los sondeos mecánicos estudiados resultó excesiva, considerándose la necesidad de ejecutar una red de sondeos mecánicos nuevos (bien distribuidos entre las Zonas de interés y con las características constructivas adecuadas en cada caso) para el estudio de sus características hidroquímicas y para explotación, en su caso.

b.1) Contenidos del desarrollo de esta tarea en 2009, del Documento 112.

b.1.1) Complementación / rectificación del registro histórico analítico.

Se revisaron todos los análisis históricos archivados (los comprendidos entre los años 1972 y 2001), comprobándose si estaban o no cargados en las bases del IGME, y si los datos cargados eran concordantes con los originales. En segundo lugar se digitalizaron los análisis históricos no cargados y, en tercer lugar, se pasaron a las bases de datos los análisis cargados. Por último, se modificaron algunos casos encontrados de análisis históricos cargados erróneamente en la base.

La distribución espacial de los puntos con registro histórico analítico entre 1972 y 2001, completado con estas labores, se presenta en las **figuras b.1.1 y b.1.2**, con la situación de las Zonas estratégicas de los acuíferos inferiores y de las coberteras, respectivamente.

b.1.2) Nuevas informaciones de especial interés: campaña de testificación geofísica de septiembre / octubre de 2009.

La campaña de testificación geofísica continua en sondeos, realizada entre septiembre y octubre de 2009, destinada principalmente al estudio de los puntos de los acuíferos de cobertera, partió de un total de 144 puntos preseleccionados. De este total de puntos, fueron descartados aquellos que, a través de la revisión de la base de datos del IGME y la comprobación “in situ” del estado de los puntos, por parte de los técnicos de campo, no se encontraban en condiciones de registrarse. Tras esta primera selección fueron visitados con el equipo de testificación geofísica 59 puntos, de los cuales se pudieron registrar 42.

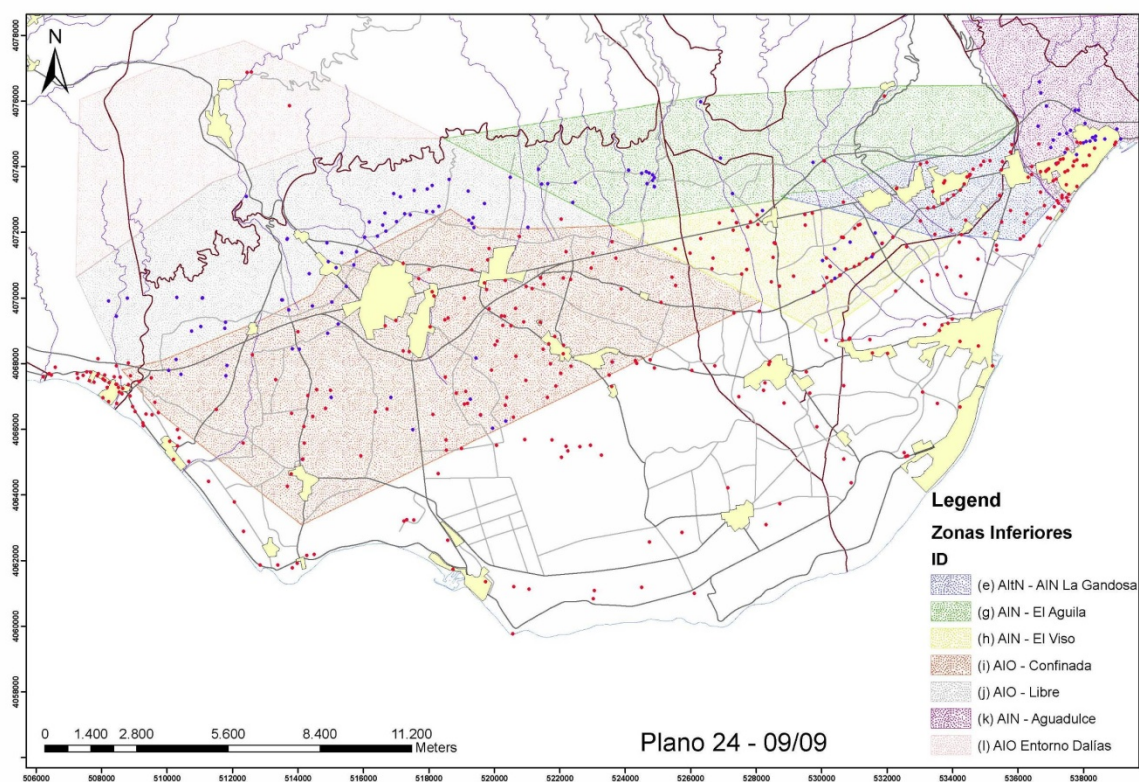


Figura b.1.1: Situación de puntos con registro histórico analítico (1972-2001). En color azul se señalan los puntos correspondientes a los acuíferos inferiores y en color rojo los correspondientes a las coberteras. Se indican los límites de las zonas estratégicas de los acuíferos inferiores.

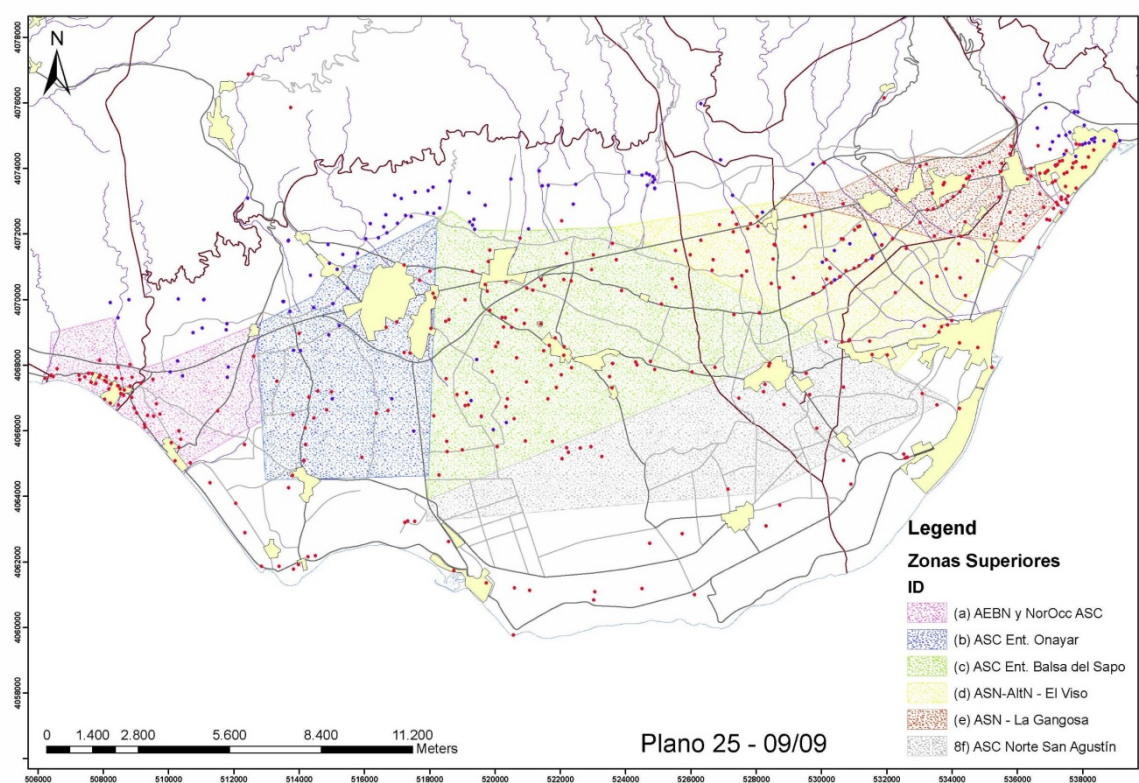


Figura b.1.2: Situación de puntos con registro histórico analítico (1972-2001). En color azul se señalan los puntos correspondientes a los acuíferos inferiores y en color rojo los correspondientes a las coberteras. Se indican los límites de las zonas estratégicas de los acuíferos de cobertera.

Este reducido número de registros se debió al **estado de abandono de muchos de los puntos, tras décadas de desuso**. En total se registraron los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, concentración en NaCl y oxígeno disuelto (expresado tanto en % como en mg/L) en un total de 2.973 m, tomándose 83 muestras en profundidad, permitiendo gran cantidad de análisis diversos.

En 17 puntos se hicieron testificaciones de rayos gamma, por no existir testificaciones de este tipo en campañas previas, sumando un total de 1.376 m registrados. El mayor número de puntos correspondió a las Zonas estratégicas preferentes de las coberteras (**figura b.1.3**), como se ha dicho, a las que se unieron las **Zona estratégicas e y k** por su relación con la **Zona d** del Sector Noreste del Campo.

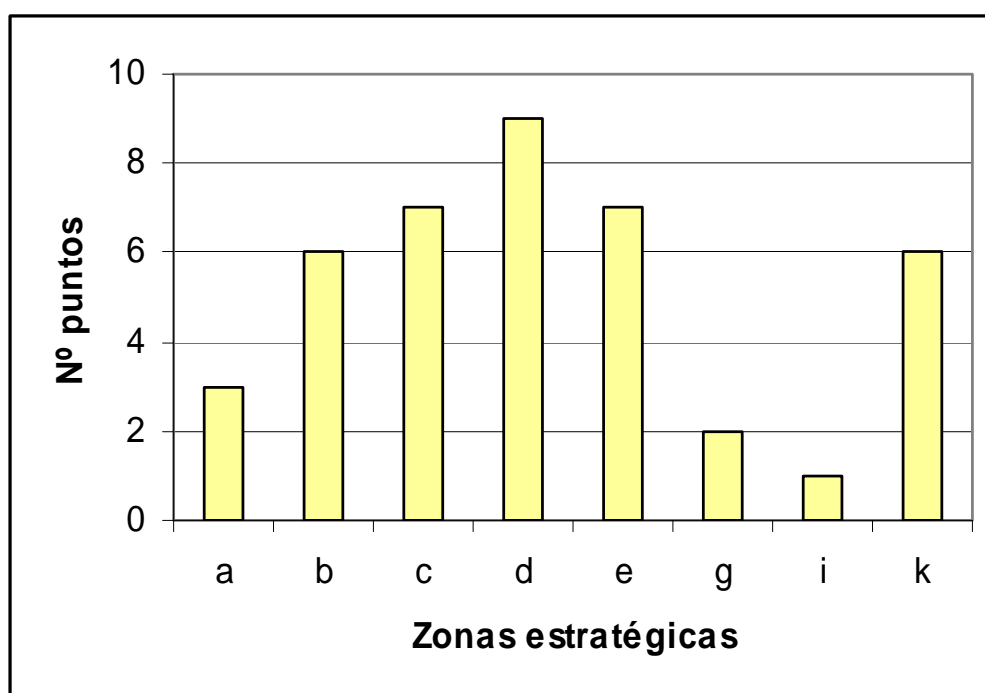


Figura b.1.3.- Número de puntos registrados por Zonas estratégicas. Las abreviaciones corresponden a las zonas: **a)** AEBN y extremo noroccidental del ASC en los Alacranes y Onáyar; **b)** entorno de Onáyar en ASC; **c)** entorno de la Balsa del Sapo (ASC); **d)** coberteras del área del Viso- Roquetas, hasta límite con la Gangosa (ASN-AItN); **e)** La Gangosa (AItN); **g)** El Águila (AIN); **i)** área confinada del AIO; **k)** Aguadulce (AIN). La campaña se dedicó fundamentalmente al estudio de las zonas de los acuíferos de cobertera.

Los puntos estudiados se presentan en la **Figura b.1.4**, con los límites de las Zonas estratégicas de las coberteras.

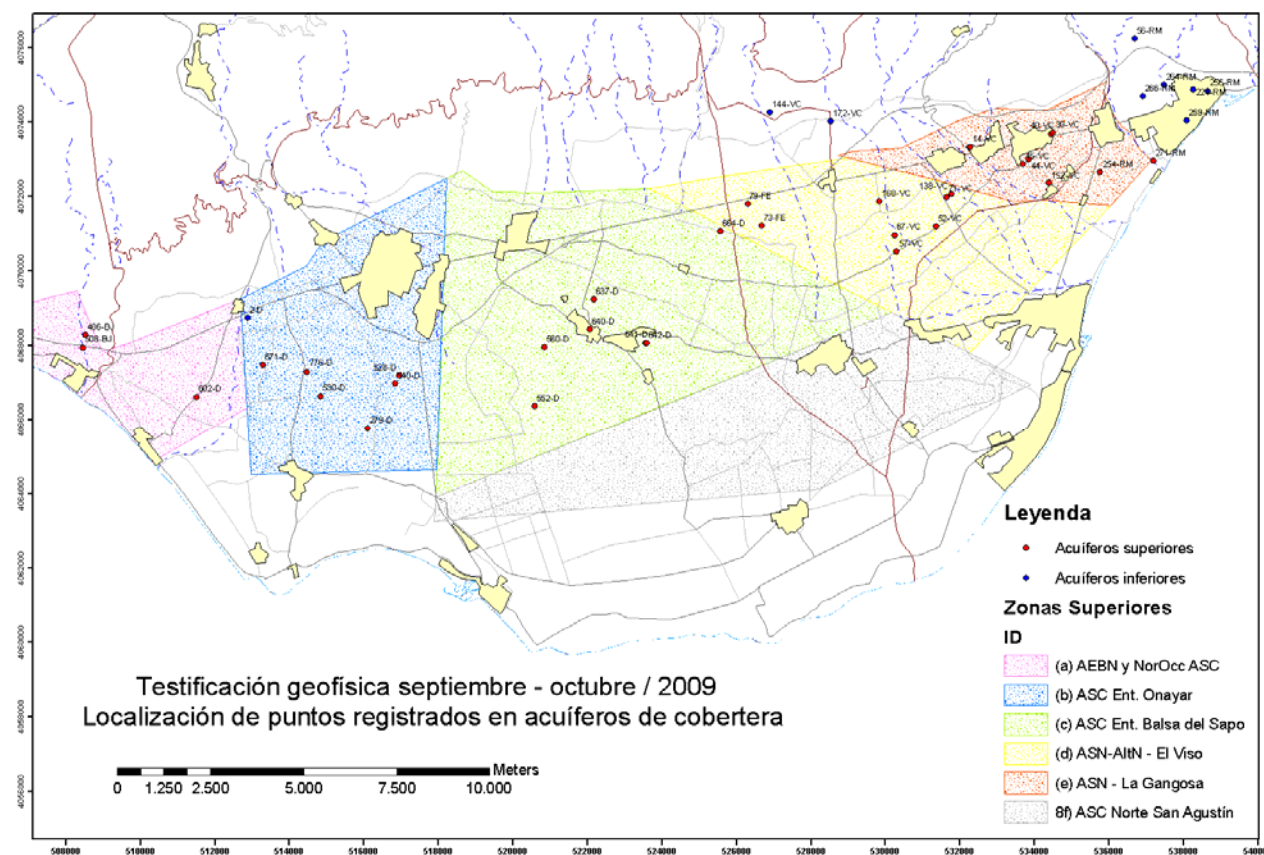


Figura b.1.4.- Localización de los puntos de registro de la campaña de testificación geofísica con indicación de los acuíferos captados y las Zonas estratégicas de los acuíferos de cobertera.

c) TAREA 3: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CALIDADES DEL AGUA POR ZONAS Y ACUÍFEROS, Y DE SU EVOLUCIÓN TEMPORAL. POSIBLES PROCESOS ACTUANTES. RESULTADOS E INCERTIDUMBRES.

En 2008, se iniciaron las discusiones sobre los planteamientos para la mejora del conocimiento de la distribución espacial de la calidad en las Zonas Estratégicas preferentes, comenzando por las del objetivo de disminución de extracciones (de los acuíferos inferiores), y en 2009, con los primeros nuevos datos obtenidos, se desarrolló este análisis atendiendo a los tramos acuíferos y subacuíferos captados por cada punto de observación, y relacionando los valores encontrados en las mezclas de bombeo con los obtenidos de los registros en profundidad, en función de las características constructivas de cada punto.

Durante 2010, de forma simultánea al desarrollo de una campaña de ensayos hidrodinámicos en captaciones de las coberteras (para el Trabajo 2D de la Fase I), se desarrolló una campaña de obtención de nuevos datos hidroquímicos, cuyas características quedaron detalladas en el volumen 3 del Documento 113 (de diciembre de 2010), algunas de las cuales se exponen en el apartado c.1 siguiente.

En el informe anual de 2010 (Documento 113) se sintetizaron las elaboraciones e interpretaciones llevadas a cabo sobre esta tarea 3 de la Partida 4. Se describieron las metodologías de elaboración de la información, y los tratamientos de interés: integrando tratamientos hidroquímicos, con algunos ejemplos en los acuíferos inferiores. Así, partiendo de 109 localizaciones verticales (38 en el AIN y 71 en el AIO), con 166 captaciones (44 y 122 sondeos de captación, históricos o en uso, para cada acuífero referido), y del orden de 1400 análisis químicos, se seleccionan los que aportaban mayor información y contenían nuevas medidas de 2008 y 2010. Algunos de estos contenidos se exponen en el apartado c.2.1.

También en el volumen 3 del Documento de 113 se reflejó en detalle la metodología seguida para la mejora del conocimiento de la distribución espacial de la salinidad en los acuíferos inferiores (teniendo en cuenta la infraestructura de sondeos de observación disponible durante la Fase I, necesariamente a complementar en fases posteriores del Programa), con la intención de orientar lo mejor posible los sectores de sus Zonas estratégicas más necesitados de disminución de bombeos (se describe en el apartado c.2.2). El uso de esta metodología resultó trascendental para analizar la distribución de la salinidad en el AIO, dada la presencia de flujos procedentes del acuífero de cobertera ASC, cuya influencia fue necesario determinar.

En cuanto a las mayores incertidumbres sobre los resultados de estos trabajos, el problema principal estaba en la falta de captaciones de los acuíferos de cobertera donde obtener datos representativos, tanto de la variación espacial de la calidad como de la evolución temporal de la misma, dado que las extracciones en estos acuíferos han ido descendiendo en el tiempo, y creciendo las circunstancias de abandono en las que se han ido encontrando muchos de sus puntos de agua. De esta manera, no resultaba viable trasladar la información obtenida de los escasos puntos útiles encontrados a la representatividad de la totalidad de estos acuíferos.

En 2011, se llevaron a cabo trabajos para corroborar informaciones y tendencias observadas en sondeos de interés, con una campaña de recogida de datos para llevar a cabo los diagnósticos más precisos sobre medidas y puntos. De ella se obtuvieron conocimientos sobre la presencia de mezclas de aguas en algunas captaciones que limitaron el registro histórico utilizable de las mismas. En el apartado c.3, se trata sobre estas actuaciones realizadas en 2011, en base a los Documentos 127 y 128 de la Fase I.

Las interpretaciones finales sobre esta tarea 3 de la Partida 4 quedaron recogidas en el año siguiente y, posteriormente, en avances de los resultados principales de la Fase I (Documentos 176, 199 y 203 emitidos en el año 2012, y Documentos 224 de 2013, todos en el Anexo 13 de la Memoria Final) y, finalmente, en cita Memoria.

c.1) Nuevas informaciones de especial interés: campaña de muestreo en bombeo de 2010 (del Documento 113)

En esta campaña de 2010, simultánea con ensayos hidrodinámicos, se muestrearon 21 captaciones del ASC y sólo uno del ASN, lo que nos da una idea de las pocas posibilidades de observación de este acuífero superior de la **Zona preferente d**.

El reparto por acuíferos de los puntos muestreados, durante dicho año, se presenta en la **figura c.1.1**, mientras la localización de los puntos se presenta en la **figura c.1.2**. En su mayoría, los puntos muestreados se localizaron en la **Zona estratégica preferente c** -en el ASC, como se ha dicho- con algunos puntos en la **Zona b**, del mismo acuífero (entorno de Onáyar).

Como en el resto de las nuevas campañas de campo, durante el desarrollo de la de 2010 se siguieron los protocolos de la Fase I, en cuanto a calibraciones, recogida de informaciones en campo y de muestras de agua, descritos en detalle en el Documento 113.

El interés de esta campaña radicó en las posibilidades de obtener informaciones de captaciones de los acuíferos de cobertera hasta tiempos más prolongados de extracción, para intentar maximizar la presencia de aguas más profundas de estos acuíferos (que hay mayor probabilidad de observar con tiempos de bombeo superiores).

En la **figura c.1.3** se observa, con un ejemplo de historial analítico (1987 – 2010), este efecto de modificación de las características hidroquímicas entre las muestras obtenidas a los primeros minutos de extracción y las de tiempos prolongados; en este intervalo temporal también hubo que considerar la presencia de un período de recargas excepcionales al ASC (en 2009/10) por lo que las incertidumbres de comparación de las calidades del registro histórico se consideraron excesivas.

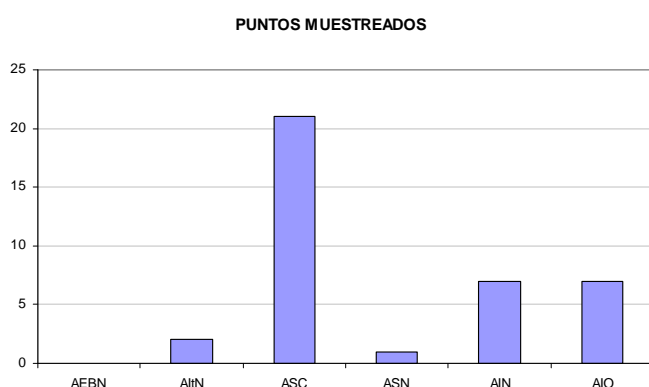


Figura c.1.1.- Número de puntos muestreados por acuífero en la campaña de muestreo de 2010

c.2) Contenidos del estudio de las zonas preferentes de los acuíferos: elaboraciones e interpretaciones de 2010 (del Documento 113).

Se describió en detalle el tratamiento realizado de los datos, 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 registros geofísicos verticales, y las muestras obtenidas a profundidades específicas en base a los datos anteriormente citados.

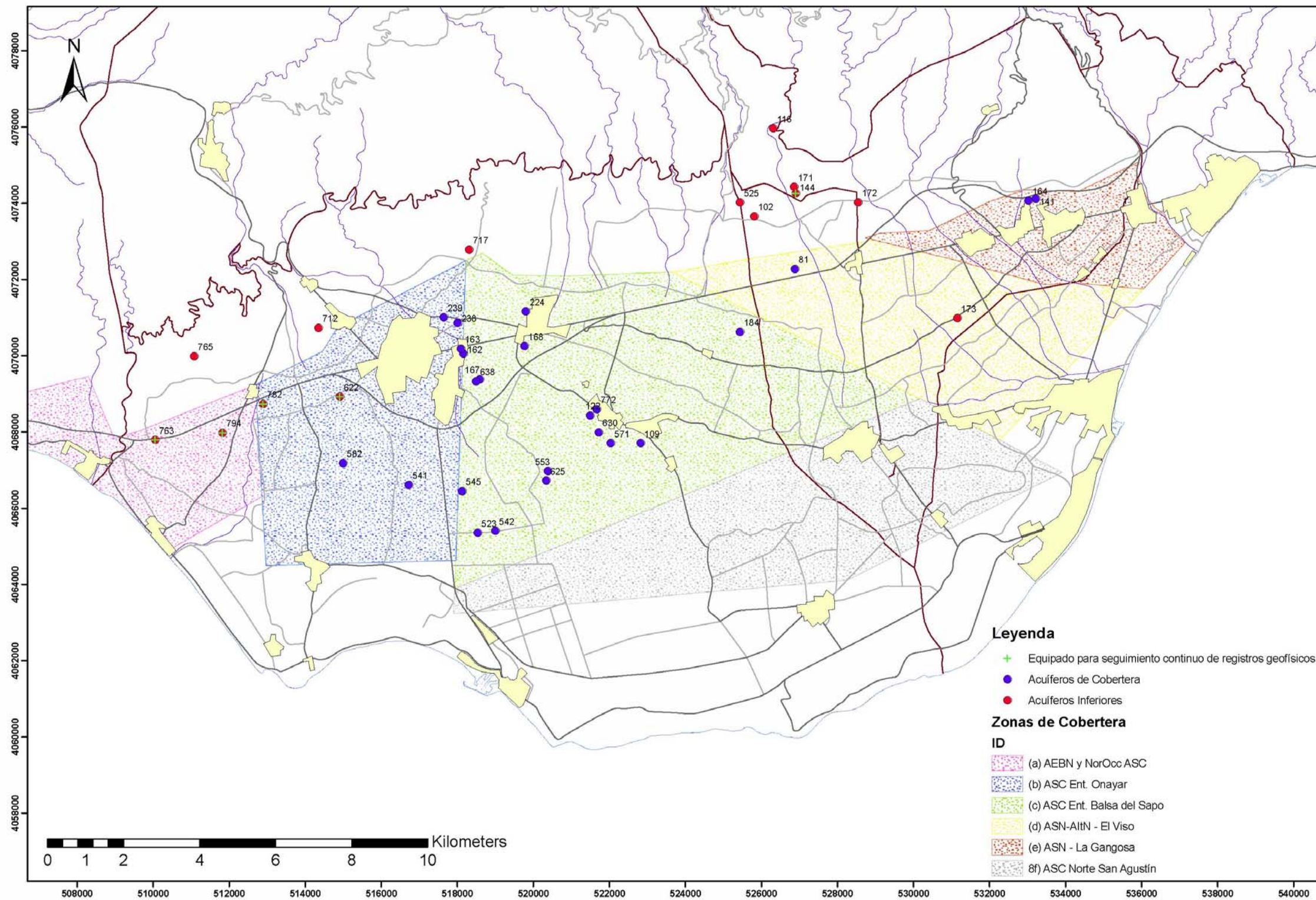


Figura c.1.2: Situación de los puntos muestreados en bombeo en 2010. En rojo se señalan los puntos correspondientes a los acuíferos inferiores y en azul los puntos correspondientes a las coberteras, señalándose así mismo aquellos puntos equipados para seguimiento continuo de registros geofísicos, con los límites de las Zonas estratégicas de las coberteras.

Análisis	Punto / fecha/ tiempo de bombeo
1	523-D / 05-87 / B:120
2	523-D / 10-87 / B:120
3	523-D / 05-88 / B:120
4	523-D / 11-88 / B:120
5	523-D / 10-01 / B:5
6	523-D / 07-09 / B:360
7	523-D / 07-09 / B:5
8	523-D / 04-10 / B:140

Gráfico de Collins

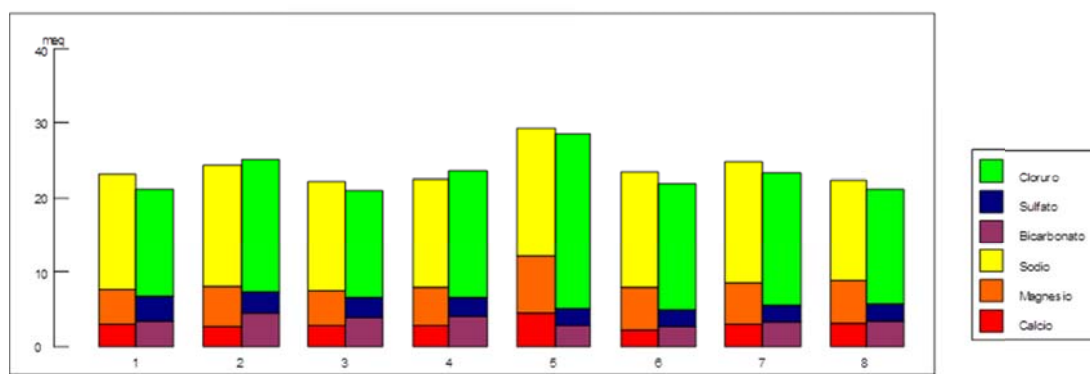


Figura c.1.3: Ejemplo de historial analítico (meq/L) del punto 523-D situado en la Zona c. El cuadro superior presenta las fechas y condiciones de muestreo del mismo. Las muestras 5 y 7 fueron obtenidas al arrancar el sondeo, presentando diferencias con las de número 6 y 8 de más de 2h de bombeo.

c.2.1) Tratamientos hidroquímicos.

Antes de proceder al tratamiento de los datos se realizó una validación / rectificación del registro de datos de análisis de cada punto, eliminando posibles errores e informaciones no comparables. Una vez preparados los datos, como primer chequeo se elaboraron quimiogramas elementales de cada punto, donde se representó la evolución de los elementos mayoritarios, comenzando por 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 cobertera, sobre los que se asientan poblaciones y la mayor parte de los cultivos). Ambas variables aportan 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.

Como ejemplo, en el Documento 113 se presentaron los tratamientos de algunas localizaciones verticales (los puntos 87-D y 719-D, de distinta penetración en el AIO 196 y 305 respectivamente). Con la información recabada y ordenada de estos puntos, se podía observar que el 87D, en 1992, tenía más cloruros de los que, posteriormente, presentó el 719-D que, con el tiempo, fue aumentando en su concentración. Además, en el 719D se detectó incremento de la salinidad con el tiempo de bombeo. Los datos de la vertical seleccionada como ejemplo estaban de acuerdo, como ocurría con los de otras verticales, en la presencia de flujos influenciados por la descarga del ASC en el AIO en horizontes más superficiales. Además se deducía un incremento de

salinidad en profundidad por efecto de la entrada lateral de agua salada, desde inicios de la década de 1980, en el acuífero inferior, a consecuencia de su relación lateral con el acuífero costero AEBN ya prácticamente intruido de agua marina.

Además de los contenidos de las evoluciones de cloruros y nitratos, se realizaron gráficos donde se mostraban el resto de los aniones y cationes mayoritarios, con indicación de las fechas y condiciones de muestreo (este tipo de gráficos pudo llevarse a cabo con el desarrollo de tareas de la Partida 5 de este Contrato (en documento 6 de este Informe), de mejora de aplicaciones informáticas necesarias en relación con la base de datos AGAQ del IGME.

Se llevó a cabo el tratamiento hidroquímico de los datos, en cada punto seleccionado, con la realización de una serie de cálculos de índices e indicadores, así como la elaboración de gráficos hidroquímicos, realizados, en este caso, con el programa INAGUAS (aplicación en formato Excel para la ayuda a los cálculos hidroquímicos de análisis de aguas subterráneas, que hubo que adaptar a las circunstancias de las bases de datos de este Estudio, como se describe en la tarea 1 del documento 6 de este Informe). Los cuadros c.2.1 son un ejemplo de este tipo de elaboraciones.

Muestra	F Toma	Balance iónico			Índices de D'Amore						Relaciones iónicas					
		Cationes	Aniones	Error	A	B	C	D	E	F	Mg/Ca	K/Na	Na/Ca	Na/Ca+Mg	Cl/HCO3	SO4/Cl
782-D	15/11/2007	16,15	15,42	4,63	-5,44	-24,07	-24,29	12,03	42,21	-19,49	1,26	0,03	1,74	0,77	4,96	0,28
1-D	04/06/2009	21,07	20,10	4,74	3,25	-36,58	-12,01	18,68	26,97	-41,42	2,76	0,02	4,27	1,14	3,35	0,25
782-D	04/06/2009	19,05	18,15	4,81	6,33	-34,95	-21,75	11,86	33,00	-32,10	2,18	0,02	2,91	0,92	3,70	0,18
782-D	10/09/2009	22,40	21,33	4,88	5,42	-39,71	-33,01	16,52	39,38	-26,30	1,41	0,02	2,17	0,90	6,30	0,09
2-D	17/09/2009	22,64	22,03	2,75	-0,05	-25,23	-24,30	1,02	40,12	-27,22	2,59	0,02	2,65	0,74	3,95	0,25
782-D	17/09/2009	22,78	21,89	4,00	6,03	-39,85	-34,48	15,71	40,01	-25,50	1,40	0,02	2,12	0,88	6,43	0,08
782-D	13/05/2010	23,14	22,72	1,83	-0,40	-25,05	-24,72	2,11	40,60	-25,67	2,31	0,02	2,43	0,73	4,05	0,25
782-D	13/05/2010	19,19	18,33	4,57	4,74	-29,69	-26,80	6,18	38,79	-23,52	1,82	0,02	2,13	0,75	3,93	0,19
782-D	13/05/2010	19,02	18,17	4,57	5,76	-31,94	-29,81	7,74	39,70	-22,46	1,65	0,02	2,01	0,76	4,38	0,15

Muestra	F Toma	Índice de cambio de bases		mg/l	Facies hidroquímica				mg/l
		icb	icb(-)		Dureza	Anionica	Cationica	Ani	
782-D	15/11/2007	0,31	0,63	454,17	Cl	Na Mg	20	23	959
1-D	04/06/2009	0,08	0,12	492,50	Cl	Na Mg	20	23	1290
782-D	04/06/2009	0,24	0,48	496,67	Cl	Na Mg	20	23	1143
782-D	10/09/2009	0,37	1,41	588,33	Cl	Na Mg	20	23	1292
2-D	17/09/2009	0,28	0,47	650,83	Cl	Na Mg	20	23	1367
782-D	17/09/2009	0,38	1,57	604,17	Cl	Na Mg	20	23	1316
782-D	13/05/2010	0,31	0,54	666,67	Cl	Na Mg	20	23	1409
782-D	13/05/2010	0,32	0,65	546,67	Cl	Na Mg	20	23	1145
782-D	13/05/2010	0,35	0,85	540,00	Cl	Na Mg	20	23	1125

Cuadros c.2.1: Ejemplo de parámetros calculados con el programa INAGUAS (en este caso para el entorno 1-D/2-D/782-D, situado en la Zona preferente j, área de explotación de Pampanico del AIO).

c.2.2) Metodología aplicada para el estudio de la distribución espacial y temporal del contenido en cloruros.

De entre las distintas características hidroquímicas del agua, se escogió la concentración de cloruros, por tratarse de una sustancia conservativa que sufre modificación únicamente por mezcla con otras aguas. Para su estudio, se trataron tanto muestras de bombeo como datos de registros geofísicos verticales en sondeos mecánicos y sus muestras en profundidad asociadas.

Se tuvieron en cuenta las siguientes circunstancias que se emplearon para mejorar el conocimiento sobre la distribución temporal y espacial de la calidad química del agua en estos acuíferos, teniendo en cuenta el encuadre de cada localización en el modelo conceptual de los mismos:

- para cada captación y mezcla de bombeo: 1) si se observa variación con el tiempo de bombeo durante el ensayo. 2) si se observa evolución de las mezclas de bombeo con en el tiempo.
- en una misma vertical (localización): si se observa variación con la penetración en las captaciones existentes o, directamente, si hay variación vertical con la profundidad, teniendo en cuenta el muestreo a diversas profundidades específicas o los registro geofísicos verticales existentes.
- el estudio de los registros verticales en circunstancias estáticas y/o dinámicas

Como se ha dicho, la aplicación de esta metodología ha resultado trascendental para el AIO, dada la presencia de flujos desde el acuífero de cobertera ASC, cuyo origen ha sido necesario determinar.

Con el estudio, se ha detectado en el AIO la presencia de salinización en profundidad a cotas de captación del acuífero, en diversas localizaciones del mismo, principalmente de su zona semiconfinada – confinada, en las áreas de explotación de Tarambana, Pampanico y Profunda.

Se ha observado este proceso en el AIO de forma directa (con muestreo en profundidad y registros geofísicos verticales), o ha sido deducido de los datos de las mezclas de bombeo de la serie histórica en las distintas verticales de estudio. Así, para el año 2010 se mostró esta salinización mediante los registros verticales realizados en 5 localizaciones (equipadas a tal efecto) de las tres áreas de explotación citadas anteriormente, y también se ha podido deducir de las observaciones históricas y actuales de las mezclas de bombeo en 9 verticales situadas en Tarambana y Pampanico.

Los resultados del estudio de las zonas estratégicas del AIN siguieron, en 2010, detectando la variación de la salinidad del agua en profundidad en las áreas interiores de explotación, de forma directa en las verticales en las que se había podido acceder para llevar a cabo registros geofísicos en sondeos mecánicos (total 3, una en el Águila y dos en el área de explotación de El Viso), y deducida de las variaciones de salinidad de las mezclas de bombeo en sus captaciones.

c.3) Nuevas mediciones de interés en 2011 (De los documentos 127 y 128 de la Fase I).

Las actividades de las nuevas mediciones realizadas en la denominada “Campaña de diagnósticos”, finalizada en enero de 2011, fueron los siguientes:

- Diagnosticar la utilidad de los puntos en entornos históricos de observación de especial interés, principalmente aquellos en los que se habían planteado problemas que impedían su uso, tanto para la adquisición de nuevas medidas necesarias para conocer la calidad del agua en profundidad durante los trabajos en marcha de la Fase I, como para llevar a cabo en los mismos operaciones similares en las fases siguientes del Programa, en apoyo a la protección-regeneración de estos acuíferos.
- Diagnosticar sobre la permanencia de la idoneidad de los puntos de especial interés, utilizados actualmente para la observación, que plantearon dudas sobre sus historiales de datos hidroquímicos.

La nueva campaña tuvo una duración total de 19 días (entre diciembre de 2010 y enero de 2011) y se trabajó sobre un total de 19 puntos. Algunos sondeos se encontraban instalados, por lo que hubo que desinstalarlos para la realización de los trabajos. Además, se realizó la rehabilitación del acceso y acondicionamiento de dos piezómetros de control. El reconocimiento del equipamiento se realizó con videocámara sumergible marca Laval Mod. R2000, con velocidad de reconocimiento variable en función de las necesidades de observación.

La distribución vertical de la salinidad se realizó con la Sonda Idronaut, a velocidad de registro en movimiento (ascenso-descenso) es 4 m/min, complementado con muestreos a profundidades definidas para llevar a cabo analíticas de diversos tipos. Antes de medir la distribución vertical de la salinidad, y siguiendo las prescripciones técnicas específicas de la Unidad de Almería del IGME, se realizaron verificaciones de los parámetros medidos con la sonda y los instrumentos de medida del IGME. Además de estas verificaciones diarias, se realizaron calibraciones al principio y el final de la campaña, según los protocolos para ello. De sus valores normalizados a 25°C se obtuvieron los cálculos de ClNa equivalente, necesarios para la comparación de las medidas realizadas con el resto de datos históricos y de los recogidos durante la Fase I del Programa.

El perfil de permeabilidad aproximado se realizó con la Sonda 2PGA-1000 (Gamma Natural), a velocidad de registro de 4 m/min y en condiciones de descenso, cuyos datos se transformaron en unidades de cps y se realizaron modificaciones para corregir la atenuación de la medida al entrar la sonda en el agua, en función de los diámetros de cada sondeo.

Especial interés presentaron los trabajos realizados sobre el reconocimiento del equipamiento de los sondeos, ya que se pudo observar, en algunos de ellos, la presencia de entradas de agua (desde la superficie o mediante aberturas en tramos de tuberías supuestamente ciegas) según las informaciones consultadas al respecto (ver ejemplo en **figura c.3.1**).

Para cada sondeo se elaboraron recomendaciones con las que tratar de paliar, en actuaciones posteriores, los problemas encontrados, a fin de poder utilizar sus medidas en el futuro para el estudio de las características hidroquímicas del acuífero captado.



Figura c.3.1: Ejemplo de resultados de los reconocimientos realizados en la Campaña de diagnósticos: Visión axial del reconocimiento del sondeo 794-D con videocámara, donde se observó la entrada de agua al mismo desde el ASC, por el ojal de la tubería, a 90.65 m.

d) TAREA 4: CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE ZONAS (BOMBEOS COMPLEMENTARIOS DE ACUÍFEROS DE COBERTERA, ÁREAS PREFERENTES DE DISMINUCIÓN DE BOMBEOS DE ACUÍFEROS INFERIORES, O ÁREAS MÁS NECESITADAS DE PROTECCIÓN DE ESTOS ÚLTIMOS), SEGÚN CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS E HIDROQUÍMICAS, FUNCIONAMIENTO Y PROCESOS EN MARCHA.

Esta tarea se desarrolló entre 2010 y 2012, al estar asociada al Trabajo 2D de la Fase I que finalizó en el último año citado. En 2010 se ratificó la importancia de la **Zona estratégica preferente a**, clasificada como zona de protección de los acuífero inferiores, según quedó expuesto en los diferentes documentos de avance de los resultados de la Fase I y en el volumen 3 del Documento anual 113 (contenidos del mismo vienen comprendidos en el **apartado d.1** siguiente).

Ya en 2010, con los resultados alcanzados sobre la influencia de los procesos de entrada de agua salada en profundidad en los acuíferos inferiores, se tenía clara la necesidad de disminuir las extracciones, tanto en el AIO como en el AIN, en las tres zonas preferentes (**zonas g, h y j**) definidas de los mismos. La clasificación de las Zonas estratégicas preferentes de las coberteras quedó reflejada en el informe de avance de 2012 (Documento 199) -al que corresponde la **figura d.1**- en paralelo al desarrollo y finalización del Trabajo 2D (“Análisis del conocimiento hidrodinámico de las zonas estratégicas y su mejora en las preferentes”).

De las 13 zonas estratégicas definidas, se han considerado siete como preferentes para un análisis muy detallado y permanentemente actualizado, con la siguiente clasificación:

- 3 en los Acuíferos Inferiores (las ya citadas **Zonas g, h y j**), para reducción de los bombeos en ambos acuíferos.
- 4 en los Acuíferos de cobertera: 2 zonas para localizar bombeos con los que obtener recursos complementarios de sustitución y contribuir a la corrección del problema de inundaciones (**Zonas b y c**). 1 zona para corrección del problema de salinización del AIO, desde el AEBN (**Zona a**), y 1 zona para vigilancia de la eventual contaminación por transferencia de flujos con mezcla de agua marina desde el ASN – AItN, al AIN (**Zona d**).

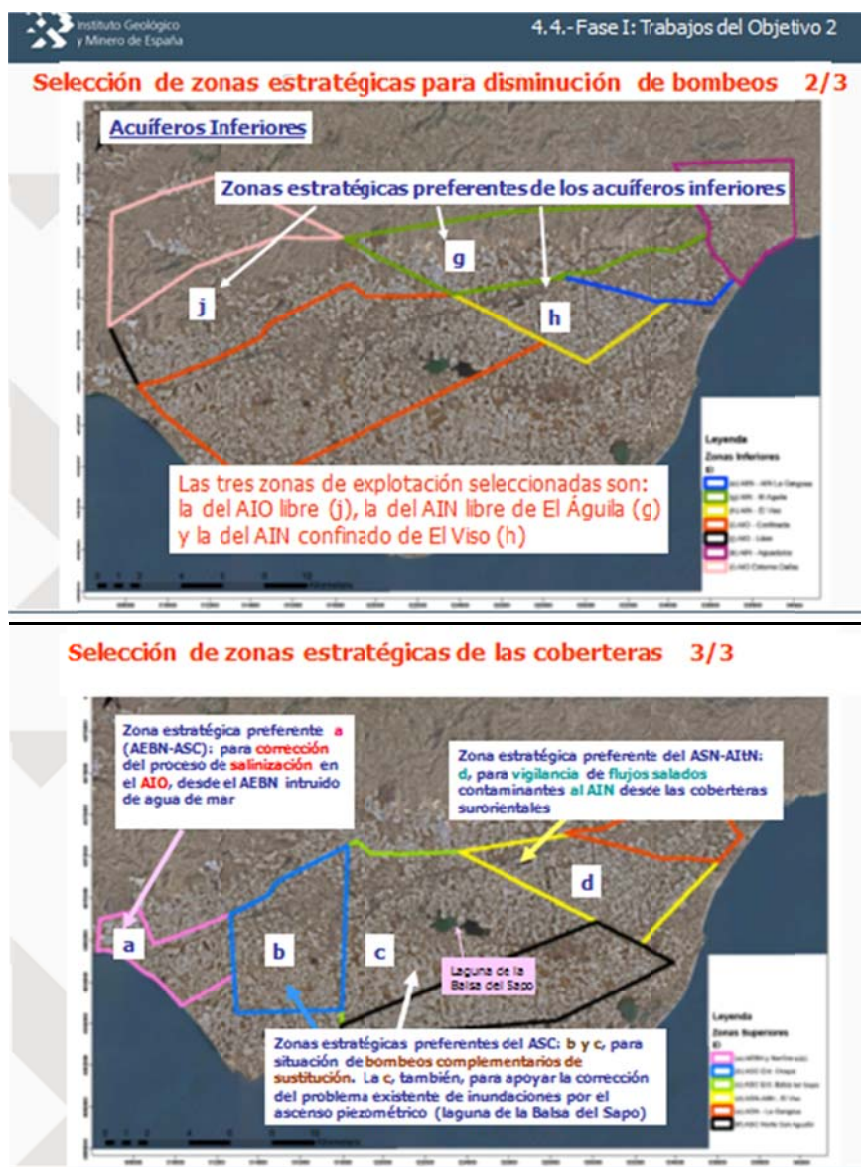


Figura d.1: Clasificación de Zonas estratégicas preferentes: de los inferiores (superior) y de las coberteras (inferior). Tomada del Documento 199 de julio de 2012 (en Anexo 13 de la Memoria Final de la Fase I)

Las calidades del agua de los acuíferos de cobertera no serían los condicionantes definitorios para la clasificación de las **Zonas b, c y d**, ya que su mejora de conocimiento, a pesar del esfuerzo realizado, resultó poco importante (al estar supeditada a la ejecución de nuevas

captaciones en fases posteriores del Programa) y eran susceptibles de variar las características del agua utilizada de las mismas mediante mezclas de aguas y tratamientos.

Aparte de las estimaciones hidrodinámicas preliminares que se realizaron dentro del Trabajo 2D ya citado, los problemas existentes en estas zonas (como la subida de niveles del agua en la laguna de la Balsa del Sapo en la **Zona c**) fueron factores importantes para su clasificación.

En apoyo a la resolución de los problemas de inundaciones en Las Norias, la Consejería de Medio Ambiente solicitó la realización de dos informes (Documentos 146 y 148) a partir de los cuales se llevó a cabo un incremento (de 500 L/s) sobre el ya vigente (de 180 L/s) realizado en la laguna, cuya extracción resultante podrían utilizarse como aportaciones complementarias del ASC, para sustitución de parte de los bombeos a cancelar de los acuíferos inferiores, tras llevar a cabo los tratamientos adecuados para ello.

d.1) Zonas estratégicas para la protección de los acuíferos inferiores (del Documento 113 de 2010)

Teniendo en cuenta los importantes resultados de las investigaciones llevadas a cabo en el AIO en la Fase I, según los cuales se detectó ya el alcance de 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 cobertera costero de la Escama de Balsa Nueva), el citado acuífero de cobertera se convierte en una Zona estratégica de gran importancia por su papel en la contaminación y, por ello también, en la protección del AIO, donde se deben 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 ya (y afectado a sus reservas dulces) pueda salir del acuífero; sólo cabe llevar a cabo operaciones que apoyen los estudios de viabilidad pertinentes, que permitan detener, o aminorar al máximo, la entrada de este agua salada.

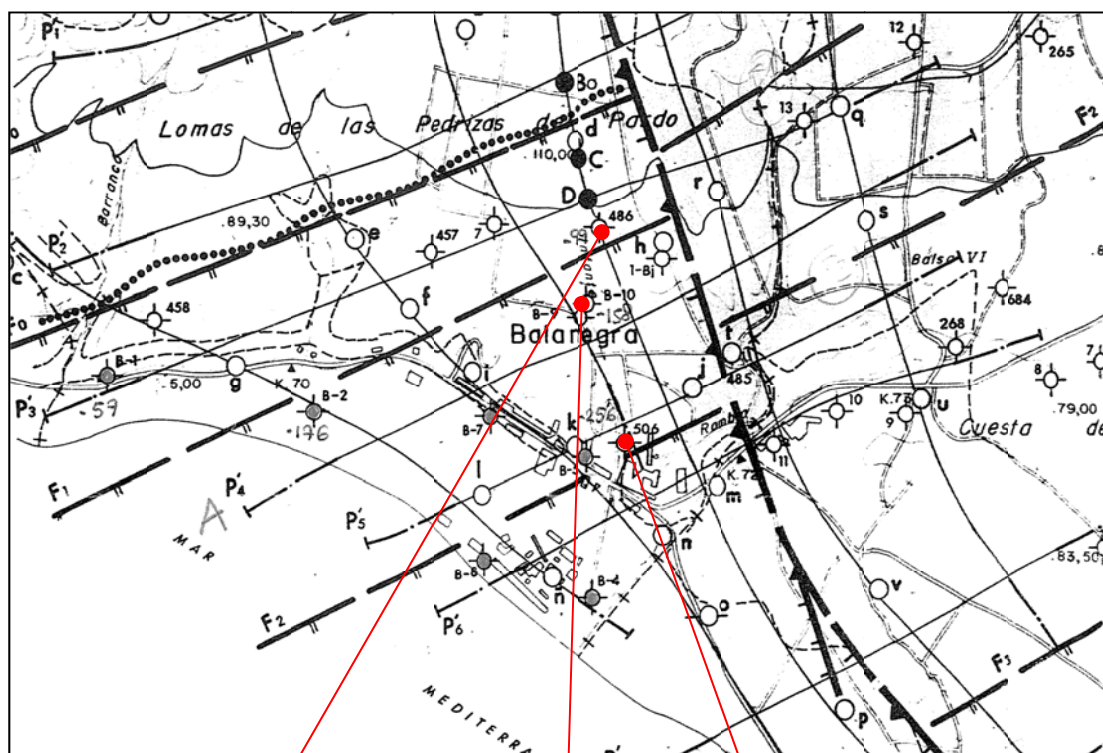
Conocida la importancia de los resultados aludidos, fue trasladada la problemática del AIO a los gestores y usuarios de los acuíferos del Poniente (en reuniones técnicas con las Partes del Convenio) con el fin de dar la oportunidad a que se prepararan los proyectos necesarios para avanzar en la posibilidad de llevar a cabo las operaciones más convenientes, para dichos estudios de viabilidad, considerando además (entre otras posibles alternativas) la existencia de excedentes superficiales no regulados del Río Adra que pudieran utilizarse para recargar el AEEN en las zonas donde la influencia de esta recarga fuera la más favorable posible en relación con la entrada de agua de mar al AIO.

En este sentido, por parte del equipo experto del IGME (en conexión con el Trabajo 17a de la Fase I) se consideraron tres sondeos mecánicos preexistentes de interés para llevar a cabo recarga directa en los mismos, teniendo en cuenta una serie de prescripciones para controlar las operaciones a desarrollar. Los que se señalaron fueron los sondeos denominados: 486BJ, 508BJ y 506BJ. La situación y características de dichos sondeos se adjuntan a continuación en el **cuadro d.1.1** y la **figura d.1.1** (se enseñaron en campo las características y emplazamientos de estas captaciones).

Punto	INVENTARIO IGME	X	Y	Z (m msnm)	Prof. (m)	Ranurado
486-BJ	214440108	508530	4068273	98,47	200,00	118 m – 198 m
506-BJ	214440110	508609	4067514	31,76	236,00	34 m – 236 m
508-BJ (B-10)	214440104	508454	4067934	78,53	242,00	90 m – 236 m

Cuadro d.1.1: Características de los sondeos propuestos.

Durante 2010 no fue posible llevar a cabo ensayos en estos puntos para conocer su capacidad para la recarga directa, ya que no se pudo contar con los excedentes de agua superficial que existieron, debido a la rotura de la conexión entre el Pantano de Benínar y el Campo. Posteriormente, aunque estuvo arreglada la avería, tampoco se llevaron a cabo, y no llegaron a iniciarse los proyectos por la AAA para llevar a cabo las operaciones de ensayo de recarga en los sondeos señalados y sus efectos en los niveles del AEBN.



Sondeo 486-Bj

Sondeo 508-Bj

Sondeo 506-Bj

Figura d.1.1: Localización de sondeos preseleccionados para ensayar experiencias de recarga para la protección del acuífero inferior (AIO) de la entrada de agua de mar por intrusión marina desde el AEBN.

e) TAREA 5: SÍNTESIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS CALIDADES DEL AGUA Y PROCESOS EXISTENTES EN CADA ZONAS PRESELECCIONADAS Y CLASIFICACIÓN DE LAS MISMAS SIGUIENDO LOS CRITERIOS ESTABLECIDOS.

La elaboración de esta síntesis formó parte de los documentos de avance de los resultados principales de los Trabajos de la Fase I, que se fueron elaborando desde 2011 y que finalizaron en el año 2014 (incluyendo datos obtenidos por el IGME, ajenos al Convenio, de 2012 a 2013).

El documento final de la interpretación del Trabajo 2B (al que apoyó esta Partida 4 del Contrato) se incluye en el Documento 242 (Memoria Final de la Fase I) que, en su capítulo 6 apartado 5 (página 6-57) trata de dicho Trabajo y del Trabajo 1E de la Fase I (al que apoyó la Partida 3). Este documento completo de la Fase I se incluye como **apartado e.1** en este Informe Final del Contrato.

e.1) 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 2B y 1E)

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 coberteras), 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 las mezcla con los de cobertera, 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, una copia digital del mismo se anexa a este Informe del Contrato NET 965081) y las elaboraciones realizadas (con herramientas específicas, aplicaciones generadas para las 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, sobrepuesta 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 contruidos 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) de la Memoria Final, 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 cobertera 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 cobertera a los inferiores (en distintos casos y circunstancias), como se ha reflejado en el apartado 6.2 de la Memoria Final, 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 cobertera 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 coberteras 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 coberteras, y Zonas g, Zona h y Zona j de los acuíferos inferiores**, definidas en el Trabajo 2A, (**Documento 2** del Informe del Contrato) 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 cobertera, 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 (coberteras del área de El Viso – Roquetas, hasta el límite con el área de La Gangosa) en la que se encuentran los acuíferos ASN y AltN. 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 coberteras de la ZEP d (ASN y AltN). Para evaluar este interés hay que tener en cuenta también los condicionantes impuestos desde los propios acuíferos de cobertera (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 cobertera 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 coberteras. Sin embargo, el **análisis de las ventajas de estas actuaciones sobre el nivel de los acuíferos de cobertera**, con los nuevos datos obtenidos, **precisa de la consideración del balance** entre el **beneficio del descenso de niveles en estos acuíferos de cobertera** (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 cobertera 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 coberteras 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 cobertera (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 Benínar, 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 cobertera) 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 Vúcar 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 derivadas 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 coberteras 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, transferían 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 cobertera, 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 el epígrafe siguiente.

e.1.1) 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 Documentos 111, 112 y 113 principalmente).

- La obtención de análisis microbiológicos se planteó para puntos de las coberteras 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 muestrearon captaciones de las coberteras, 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 coberteras (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 diagráfias se realizaron durante los dos años de la Fase I (2008-2100), y sólo el 40% restante en los tres años siguientes de prórrogas. El Documento 231 en Anexo 6 de la memoria Final recoge en detalle las características y datos aportados por todos estos trabajos geofísicos.

La **Figura e.1.1** (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 diagráfias 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 presentaron 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.**

e.1.2) Estudio de las características físico – 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 periodos 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 e.1.2** 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 de la Memoria Final) 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).

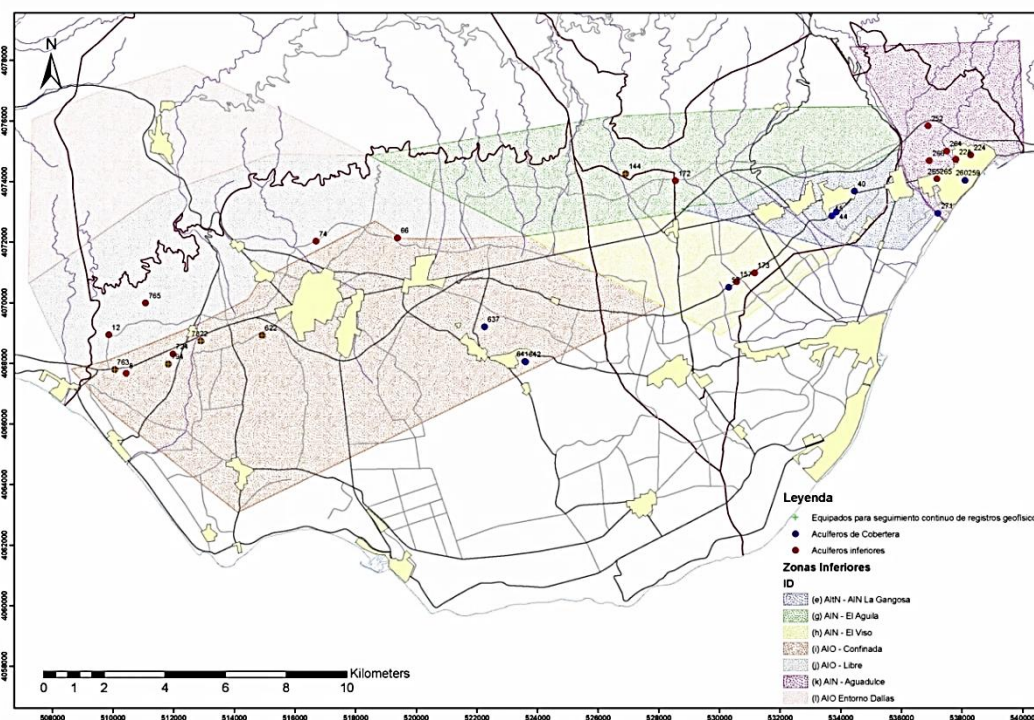
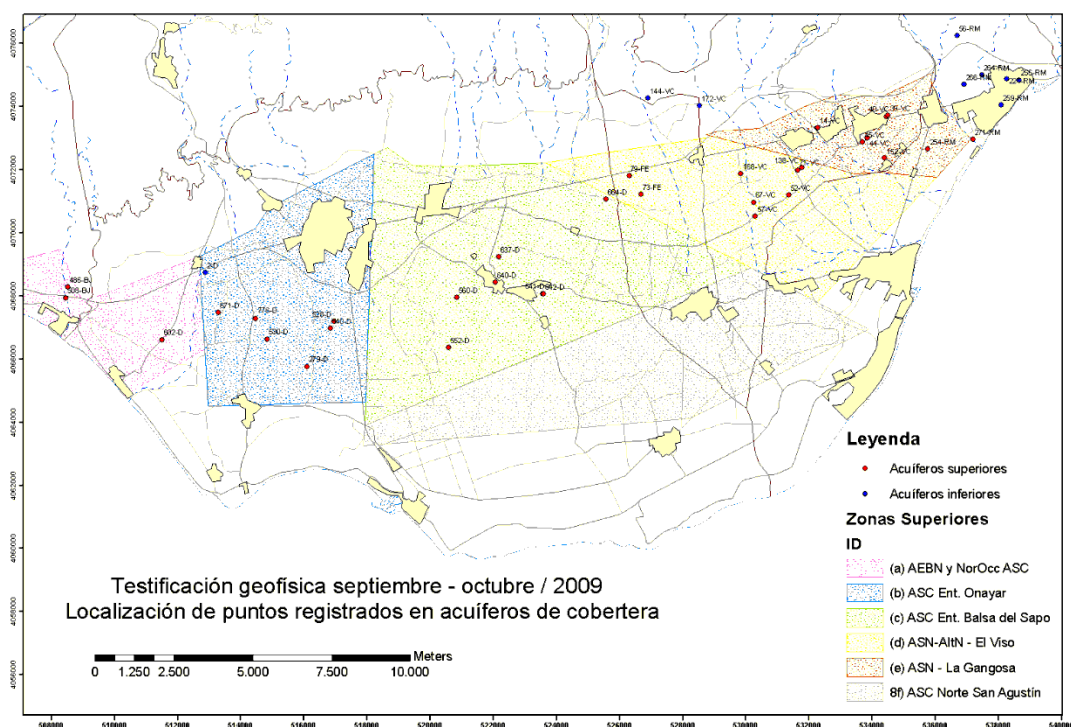


Figura e.1.1: Localización de los puntos en los que se realizaron registros geofísicos de las campañas de septiembre de 2009 (superior) la que incluyó un mayor número de sondeos en los acuíferos de cobertera,- y de abril de 2010 (inferior) con la delimitación de las ZEP de las coberteras (parte superior) y de los acuíferos inferiores (abajo). De los documentos 112_2B y 113_1E, 2009 y 2010.

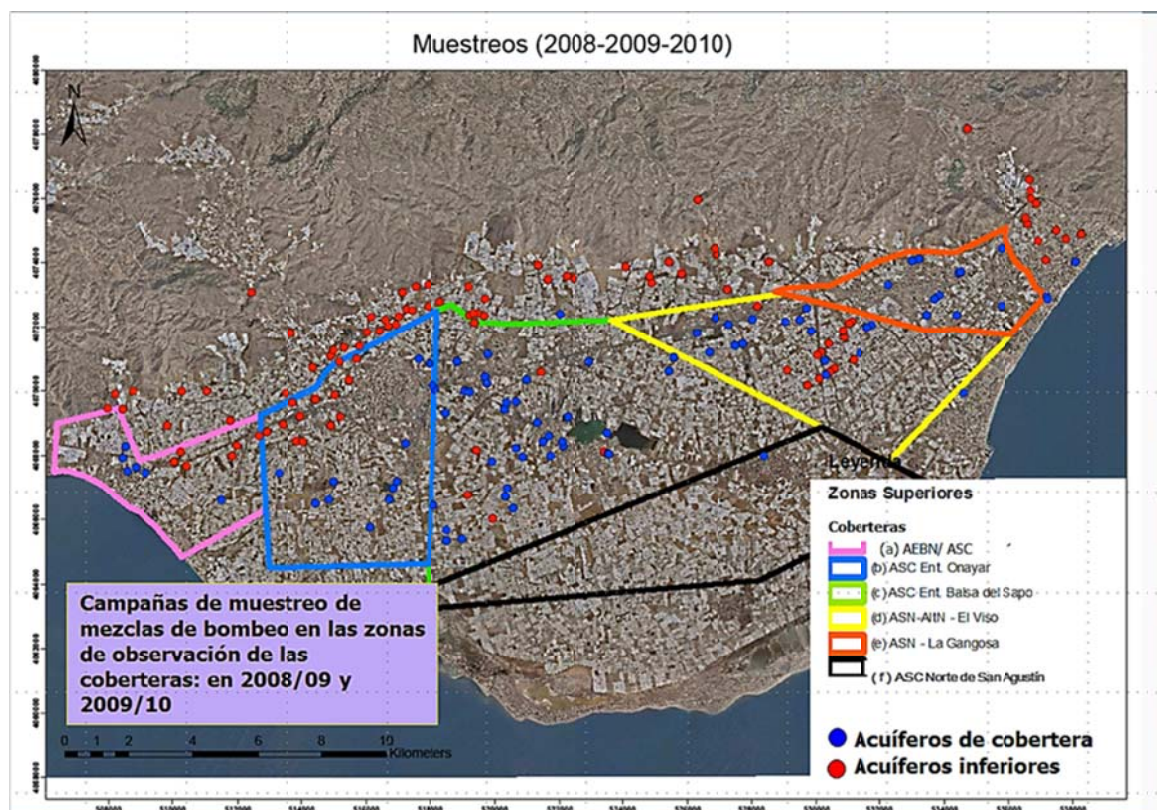


Figura e.1.2: Situación de los puntos muestreados para conocer la variación de las características físico-químicas de los acuíferos. Los de las cobertera se señalan azul y los de los inferiores en rojo. Las líneas corresponden a las Zonas Estratégicas Preferentes de las coberteras. Del documento 102 de 2010, en Anexo 6 de la Memoria Final.

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 cobertera (ASC-El Ejido, ASC-La Mojonera, ASC-Las Norias, ASC-Los Alacranes, ASC-Onáyar, ASN-Aguadulce, ASN-El Viso, ASN-Roquetas, AltN-Aguadulce, AltN-El Viso, AltN-La Gangosa, AltN-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 cobertera. Como ejemplos de estos gráficos y planos se presentan los de las **Figuras e.1.3** a **e.1.5**.

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 coberteras 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 coberteras 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 físico – 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.

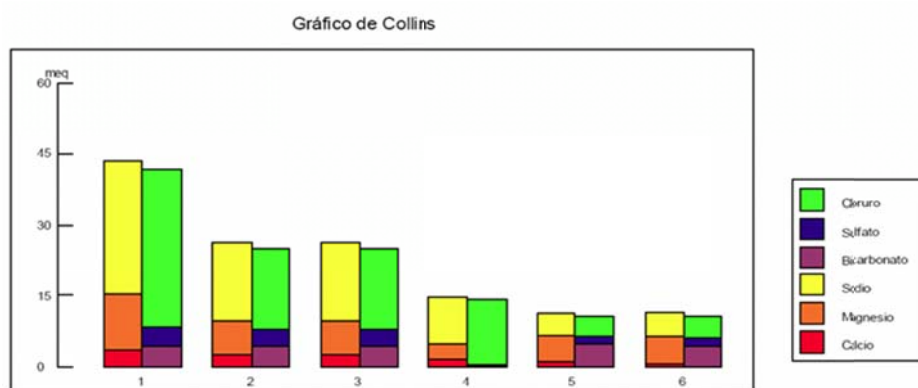


Figura e.1.3: Gráfico de Collins donde, como ejemplo de elaboraciones gráficas, se muestran las concentraciones en Cloruros, Sulfatos, Bicarbonatos, Sodio, Magnesio y Calcio de los puntos muestreados en el área de Onáyar del ASC (Zona Estratégica b). Los análisis señalados con 1, 4, 5 y 6 correspondieron 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 de la Memoria Final.

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 e.1.6** 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 cobertera (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.

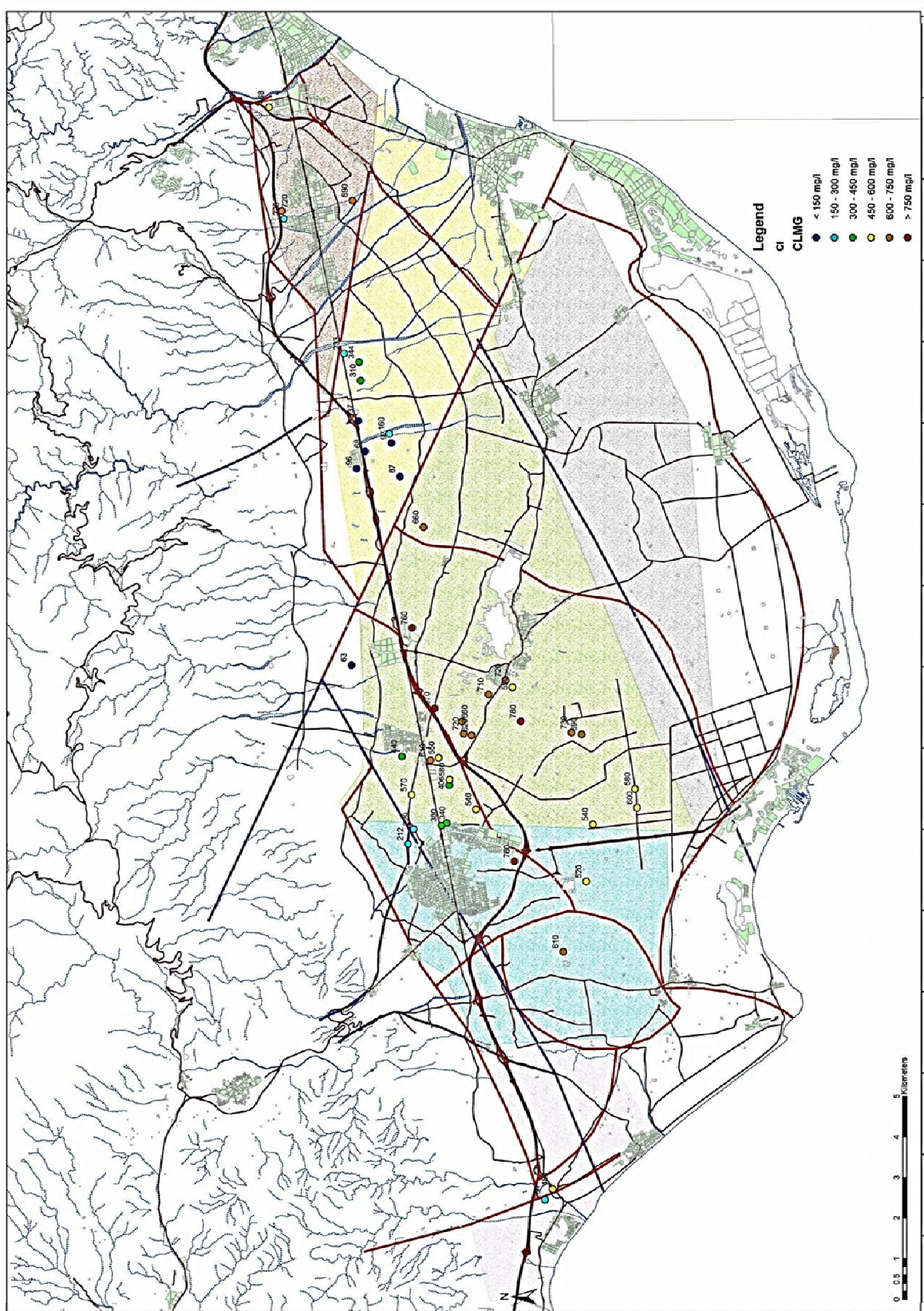


Figura e.1.4: Distribución del contenido en cloruros (mg/L) en las muestras seleccionadas de los acuíferos de cobertera. Datos de 2009. Del documento 167.

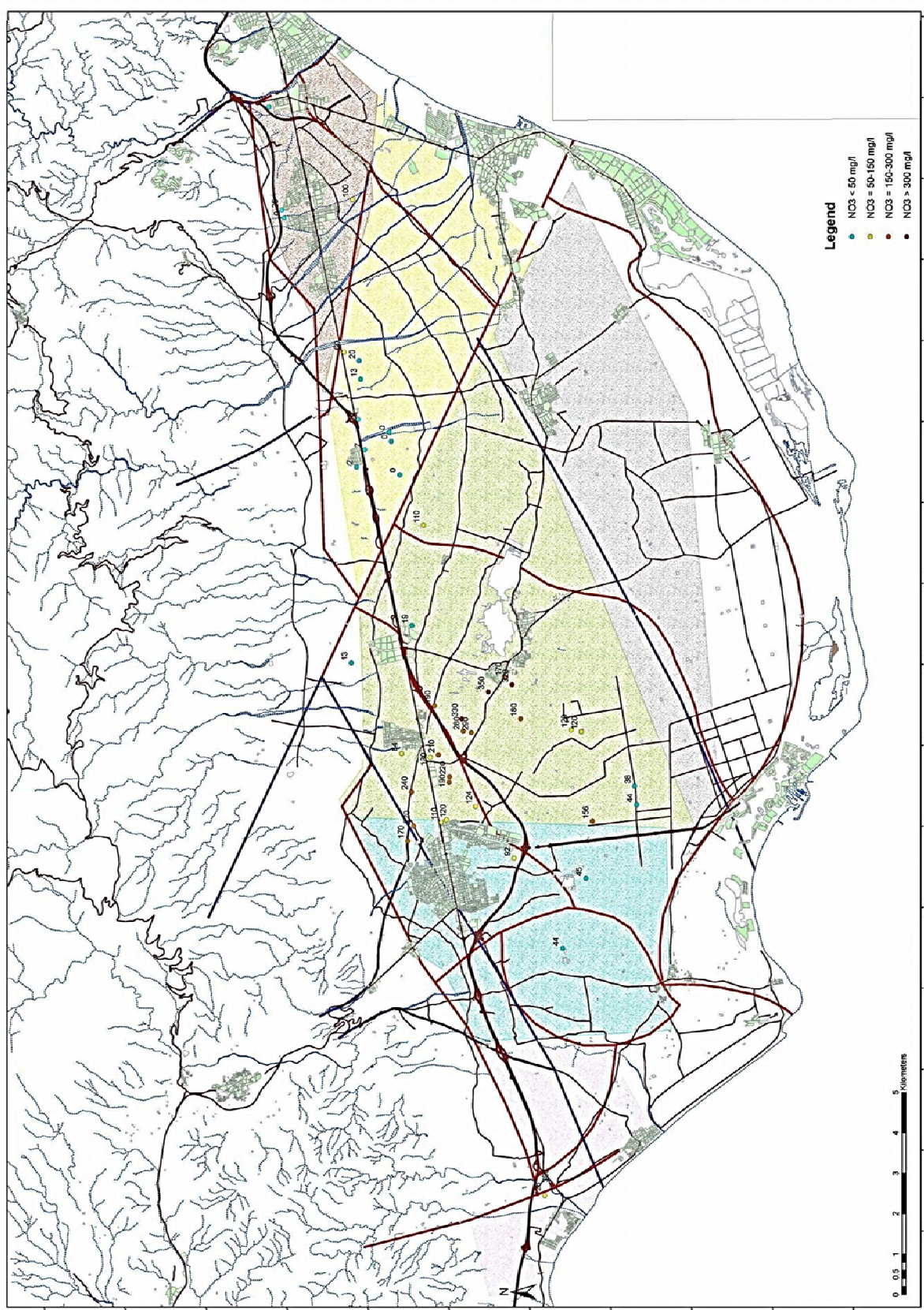


Figura e.1.5: Distribución del contenido en nitratos (mg/L) en las muestras seleccionadas de los acuíferos de cobertera. Datos de 2009. Del documento 167.

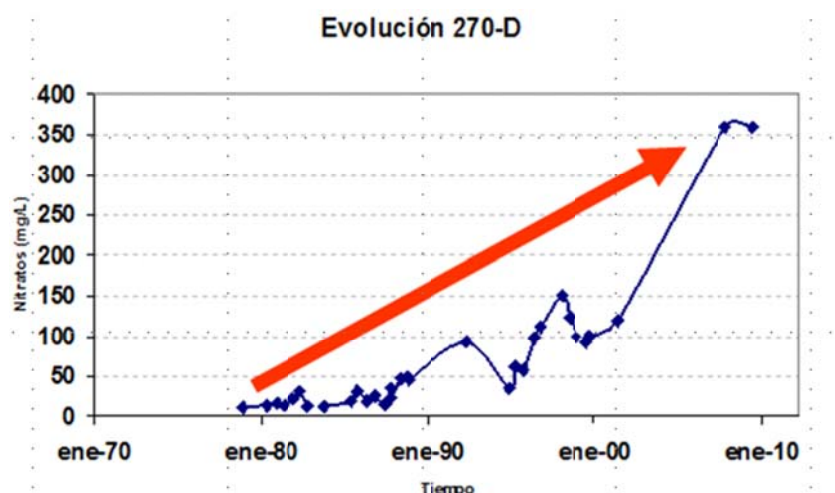


Figura e.1.6. Evolución aparente de la concentración de nitratos (mg/L) en un sondeo del límite ASC / AEBN. Del documento 104, 2010

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 cobertera del Sector Noreste, incluidos en el apartado 6.5.4.

e.1.3) Análisis preliminar de la incidencia de plaguicidas en la zona saturada de Zonas Estratégicas Preferentes.

Este estudio se planteó para las coberteras, 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. e.1.7**. 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 e.1.1**) 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	Pirimetamil
Ametrina	Dicofol	Imazapir	Pirimifos metil
Atrazina	Dieldrin	Iodosulfuron metil	Procimidona
Atrazina desetil	Difenoconazol	Isodrin	Prometrina
Atrazina	Diflubenzuron	Isoproturon	Propaquizafop
Azinfos metil	Diflufenican	Isoxaflutol	Propaquizafop
Azoxistrobina	Diuron	Kresoxim metil	Propazina
Banalaxil	Endosulfan	Lambda cihalotrin	Propiconazol
Bensulfuron	Endosulfan	Lenacilo	Propizamida
Bentazona	Endosulfan	Linuron	Prosulfuron
Beta-Lindano	Endosulfan	Malation	Quinalfos
Bifrentrin	Endosulfan	Matidation	Quinmerac
BPO	Endrin	Metamitrona	Quinometionato
Bromopropilato	Endrin	Metazacloro	Quizalofop etil
Captan	Esfenvalerato	Metiocarb	Rimsulfuron
Carbaril	Etion	Metobromuron	Sebutilazina
Carbofenotion	Etoprofos	Metolacloro	Setoxidim
Carbofurano	Etrimfos	Metomilo	Simazina
Cianazina	Famfur	Metoxicloro	Simetrina
Cicloxidim	Fenamifos	Metoxuron	Sulfotepp
Ciflutrin	Fenarimol	Metribuzina	Tebuconazol
Cinidon etil	Fenitrotion	Metsulfuron metil	Tebutam
Cinosulfuron	Fenmedifan	Miclobutanil	Tepraloxidim
Cipermetrin	Fenoxapropo-	Mirex	Terbumetona
Ciproconazol	Fenoxicarb	Monolinuron	Terbutilazina
Ciprodinil	Fenpropatrin	Nicosulfuron	Terbutilazona
Cletodim	Fluazifop butil	Nuarimol	Terbutrin
Clodinafop	Flucitrinato	Orizalina	Tetraconazol
Clopiralida	Fludioxonil	Oxamilo	Tetradifon
Clorfenvinfos	Flufenxuron	Oxifluoren	Tetrametrina
Cloridazona	Fluoroxipil	p,p'-DDD+o,p'-DDT	Tiazopir
Clorpirifos	Flusilazol	p,p'-DDE	Tifensulfuron
Clorpirifos	Forclorfenuron	p,p'-DDT	Triadimefon
Clorsulfuron	Fosmet	Paration etil	Trialato
Clortalonil	Fospet	Paration metil	Triasulfuron
Clortoluron	Gamma-	Pendimetalina	Triclorfom
Clozolinato	Haloxifop	Pentaclorobenceno	Trietazina
Delta-Lindano	Heptacloro	Permetrin	Trifluralin
Deltametrin	Heptacloro	Picloram	Vinclozolina

Cuadro e.1.1: Plaguicidas analizados durante la Fase I. Del Documento 113.

Se trató de: Acrinatrín, Alfa-Lindano, Atrazina, Atrazina desisopropil, Azoxistrobina, Benelaxil, Beta-Lindano, Bifentrin, BPO, Carbofurano, Ciproconazol, Ciprodinil, Clorfenvinfos, Clorpirifos, Clorpirifos metil, Clortalonil, Clortluron, Diazinona, Dicofol, Dieldrín, Difenconazol, 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, Miclobutanil, 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.

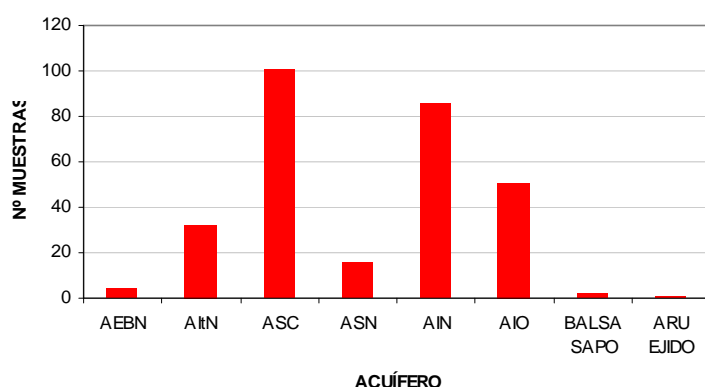


Figura e.1.7: Muestreos de plaguicidas, realizados en 2008 y 2009 y su distribución por captaciones de acuíferos.

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 cobertera (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 coberteras.

e.1.4) 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 coberteras 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 cobertera 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 e.1.2** 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.

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 cobertera, 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 coberteras, 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.

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 Coberturas	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 e.1.2.: Puntos y entornos estudiados de los acuíferos inferiores, con indicación de aquellos con registro geofísico de la Fase I hasta 2010. Del documento113_2B, de 2010.

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 e.1.8** para un punto de observación histórica en el área de Aguadulce del AIN abandonado en 1985 por su salinización.

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 de la Memoria Final).

La **Figura e.1.9** 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).

En la parte superior de la **Figura e.1.8** 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.

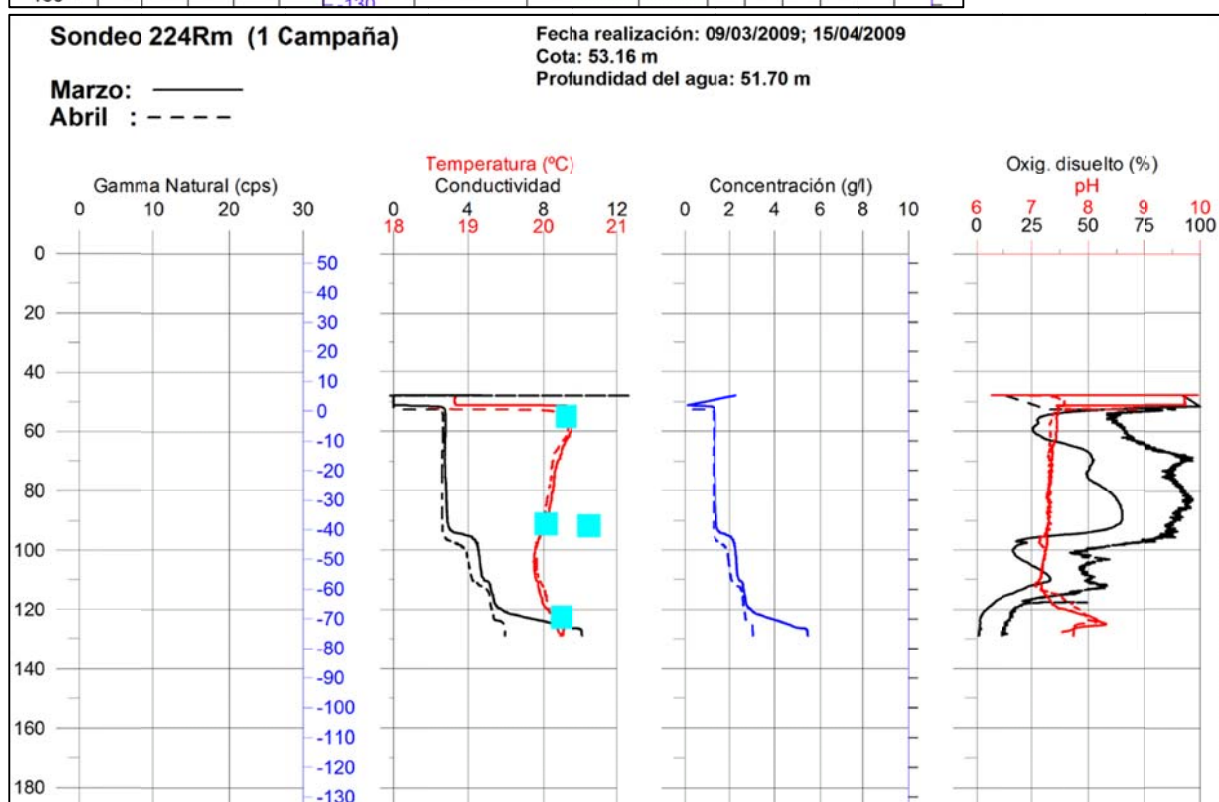
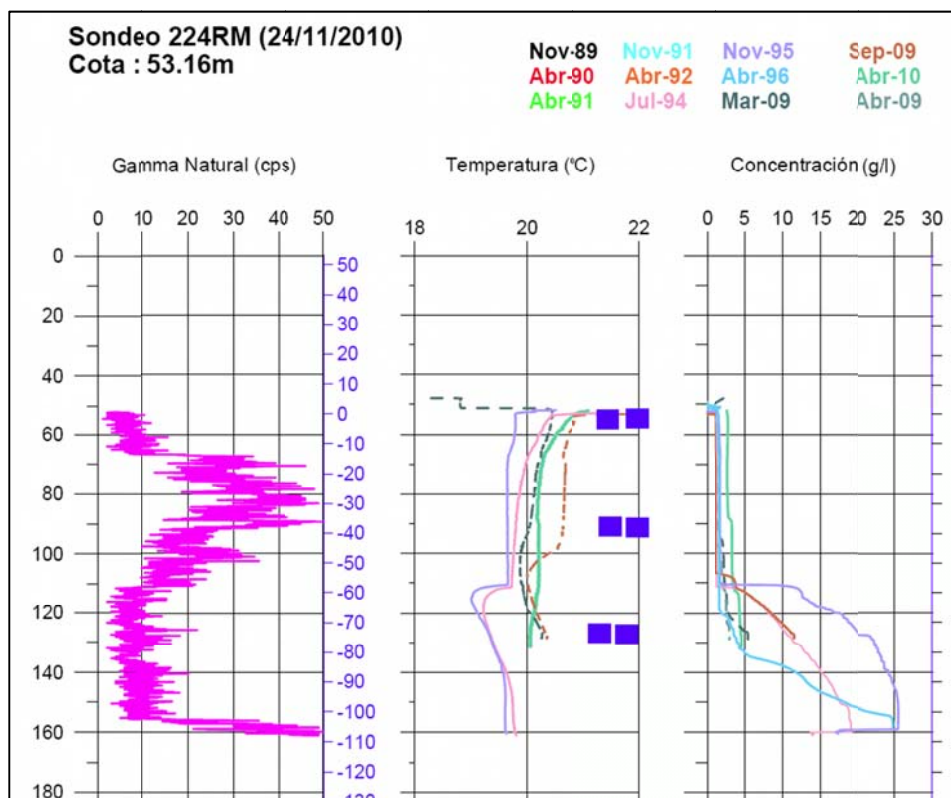


Figura e.1.8: Registros de salinidad (como concentración equivalente de ClNa en g/L), temperatura, pH y OD en el sondeo 224RM, realizados en marzo y abril de 2009 (parte inferior), y comparación con medidas de este tipo realizadas entre 1994 y abril de 2010 (parte superior).

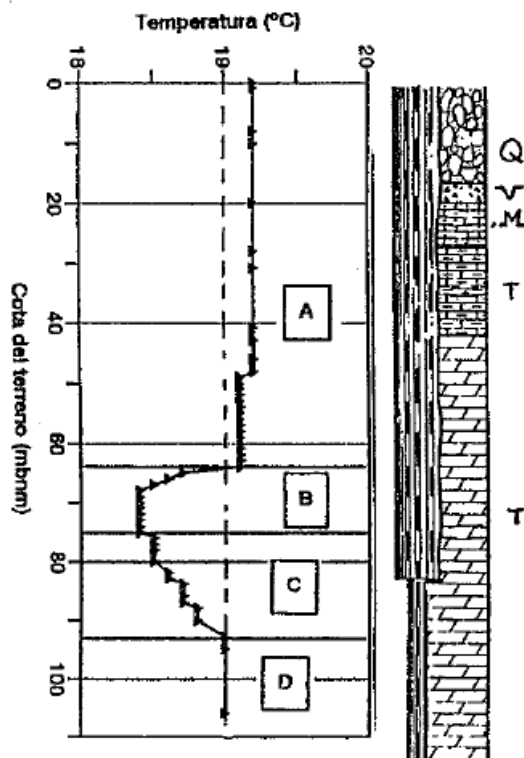


Figura e.1.9: Sondeo 224RM en el AIN en el área costera de Aguadulce. **Parte derecha:** Acondicionamiento de la obra y columna litoestratigráfica (Q= conglomerados cuaternarios; V= materiales volcánicos miocenos; M= miocenos prevolcánicos; T= calizas y dolomías triásicas). **Parte izquierda:** diferenciación 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.

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 cobertera 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: 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 e.1.8** 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 cobertera, 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 Vúcar), 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 e.1.10**, 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).

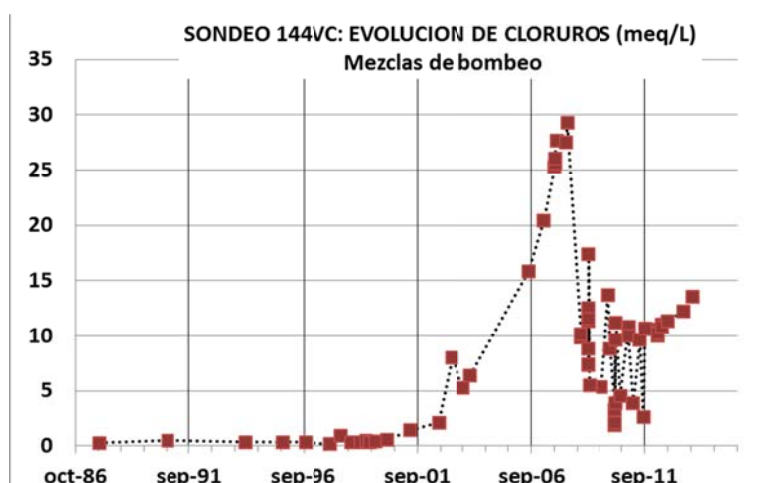


Figura e.1.10: Registro histórico de datos de concentración de cloruros de muestras de bombeo del sondeo 144VC (en meq/L, 1 meq/L= 35.5 mg/L de cloruros). Se observa tendencia al aumento de la salinidad desde septiembre de 2011 a 2013.

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 e.1.11**).

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. e.1.0**). 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 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.

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.

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 cobertera a los inferiores.

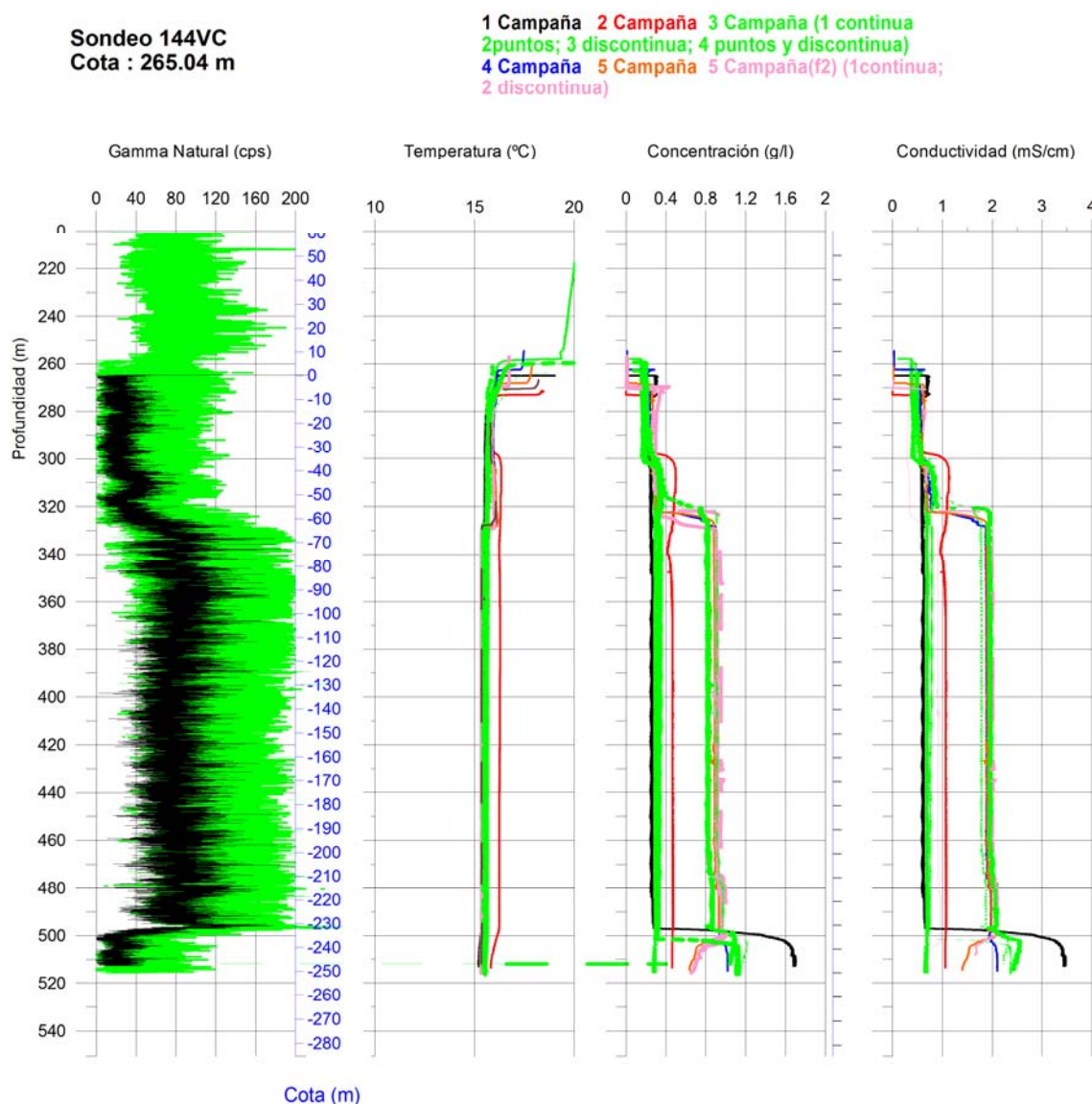


Figura e.1.11: Registros geofísicos en el sondeo 144VC durante las distintas campañas de la Fase I y controles de sus prórogas. El registro de gamma natural muestra el carácter más arcilloso de los materiales que producen, en esta vertical del AIN, la separación hidráulica de dos tramos, el inferior con incremento de la salinidad en profundidad, variable según las circunstancias hidrogeológicas.

La **Figura e.1.12** 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 muestreadora **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.

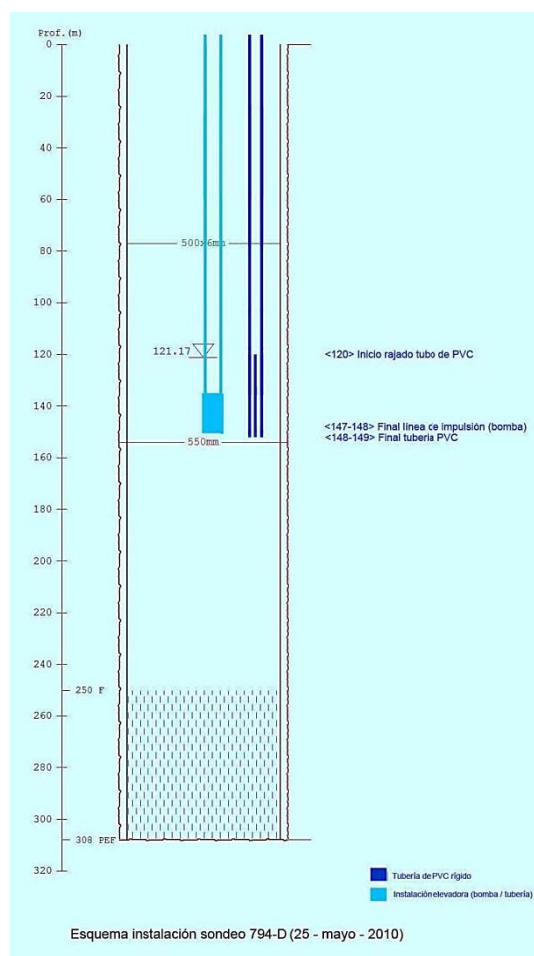


Figura e.1.12: Dispositivo instalado en sondeos de explotación de los acuíferos inferiores para la realización de registros de salinidad y muestreos en profundidad simultáneos al bombeo: esquema del localizado en profundidad en el sondeo 694-D del AIO: con el acondicionamiento constructivo, localización 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 Balerna.** La **Figura e.1.13** 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.

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 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 cobertera AEBN (que acabó intruido de agua de mar prácticamente en su totalidad), desde el cual se viene transmitiendo al AIO (**Figura e.1.14**). 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.

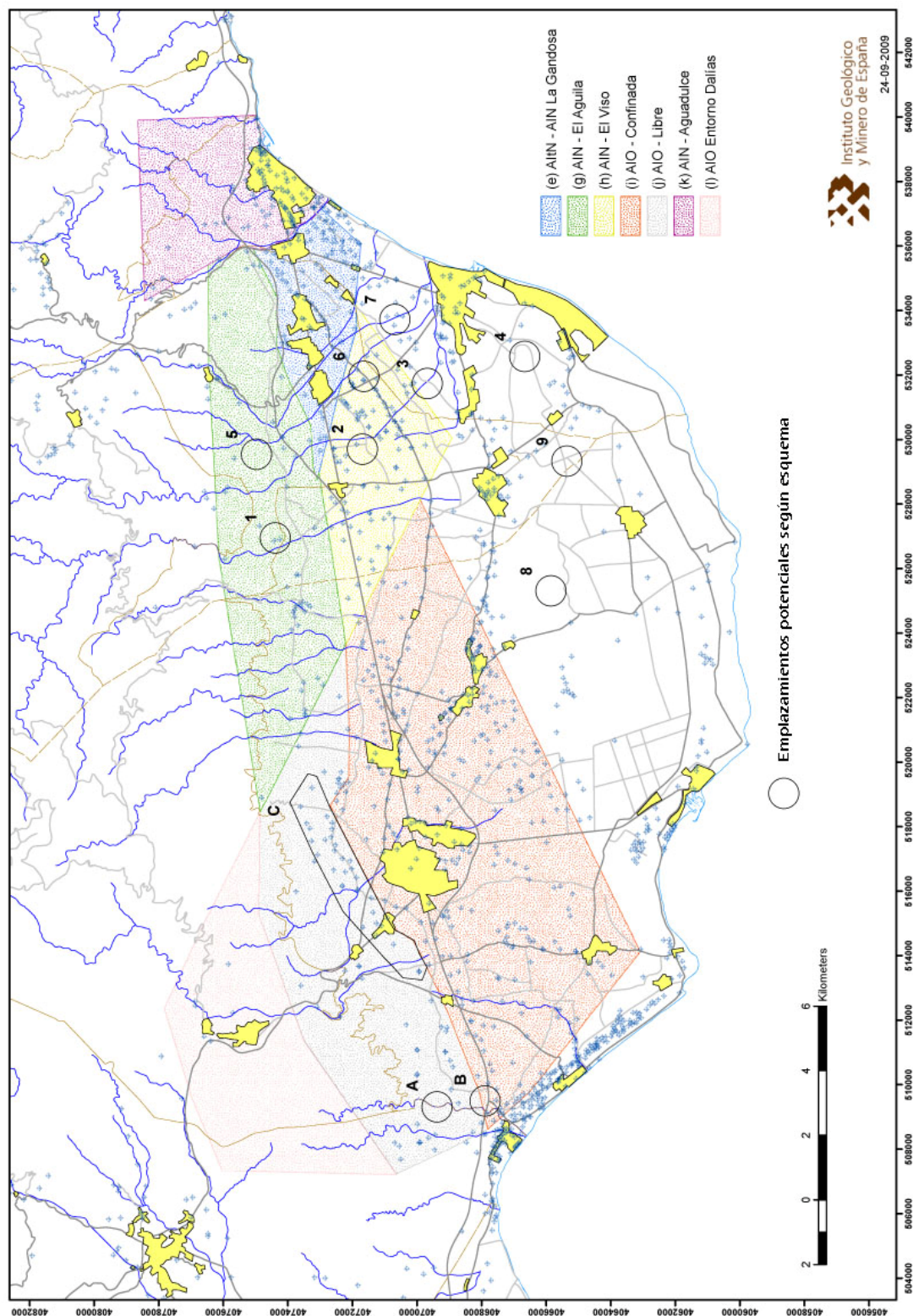


Figura e.1.13: Situación del esquema preliminar de red potencial de observación en profundidad de la salinización de los acuíferos inferiores (ROPSAI), con delimitación de las ZEP de éstos. Del documento 34-1, IGME, 2009.

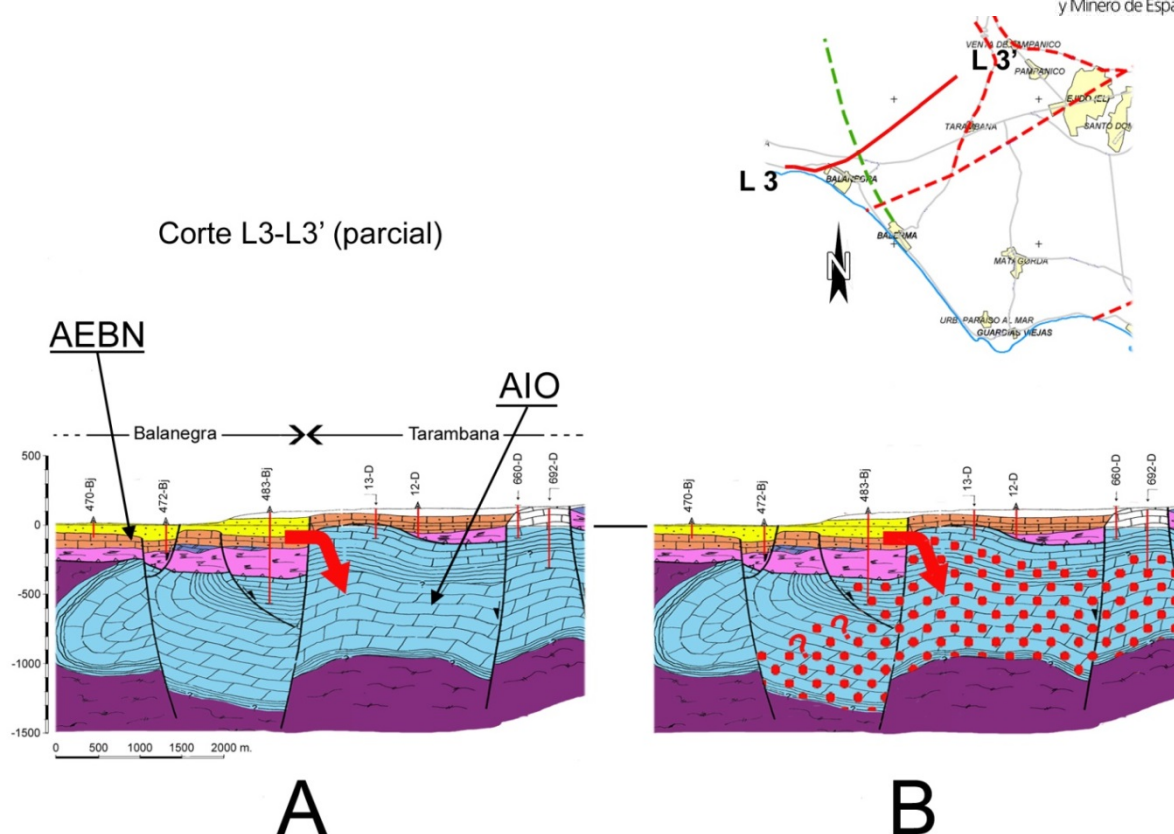


Figura e.1.14 Esquema de la transferencia de flujos de agua salada al AIO desde el AEBN. En A: inicio del proceso (1980/81). En B: esquema de la situación actual de la salinización en la parte occidental del AIO. La flecha roja indica la zona y sentido de entrada, y la trama punteada simula el área de influencia de la mezcla con agua de mar en el AIO. Ver leyenda de cortes en Figura 3.7.5 (apartado 3.7 de la Memoria Final).

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 e.1.14** esquematiza el proceso en una sección transversal a la estructura geológica que pasa por las zonas libres del AIO y del AEBN

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 e.1.15**).

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. e.1.16** 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.

Captaciones estudiadas para el análisis de la evolución de la salinidad en el AIO (16/06/10)

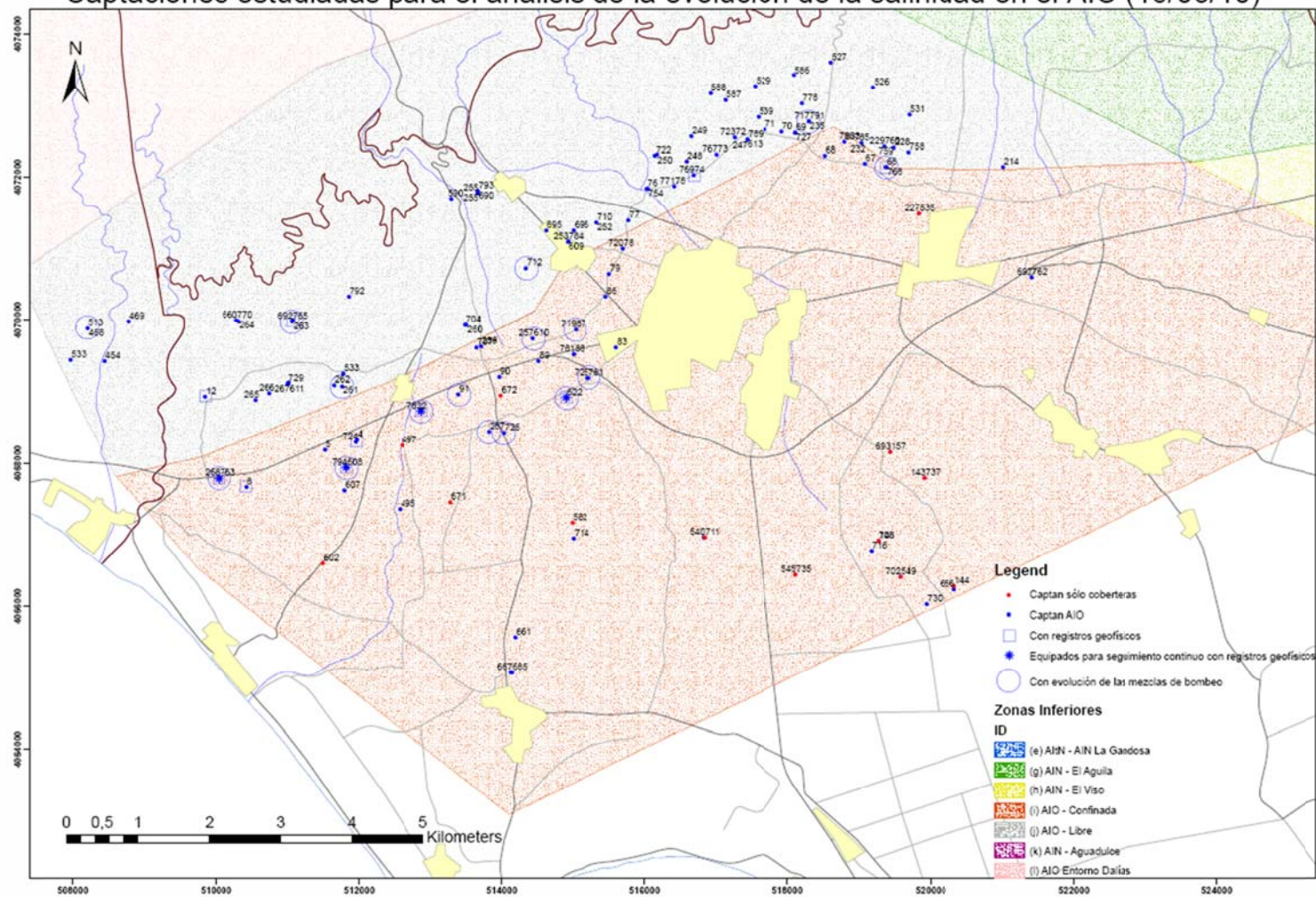


Figura e.1.15: Puntos estudiados y resultados sobre la influencia de la salinización por entrada de agua salada (desde el AEBN intruido al AIO). Del documento 78, 2010.

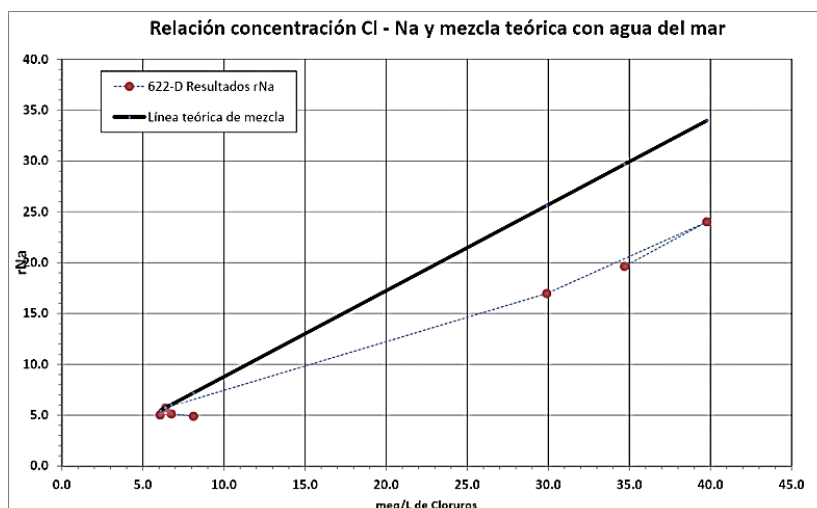


Figura e.1.16: Relación iónica (en miliequivalente) cloruros - Na de muestras en profundidad del sondeo 622D, y comparación con la mezcla teórica con agua de mar. Se observa déficit de Na y K y exceso de Ca y Mg (en la figura sólo se representa el Na) coherente con la influencia cada vez mayor en profundidad del agua marina en la captación

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 coberteras (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 áreas 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 cobertera 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, de la Memoria Final) 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 cobertera del Sector Noreste, hace falta una red específica, teniendo en cuenta el **interés de controlar el movimiento de los flujos** existentes desde **áreas de coberteras 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).