

**REALIZACIÓN DE LABORES PARA LA
CREACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE
CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO EN EL
ACUÍFERO PROFUNDO DE LA LOMA DE
ÚBEDA (Nº Expediente 345/06).**

INFORME FINAL

Diciembre, 2006

ÍNDICE

MEMORIA

Pág

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.....	1
1.2.- TRABAJOS REALIZADOS.....	2
2.- CONFECCIÓN DE CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA DIGITALIZADA Y CREACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	3
2.1.- JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	3
2.2.- HERRAMIENTAS Y MÉTODOS.....	3
2.3.- TRABAJOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS	4
3.- ESTUDIO DE LAS RELACIONES RÍO ACUÍFERO.....	10
4.- CAMPAÑAS DE AFOROS EN RÍOS Y MANANTIALES.....	18
5.- CAMPAÑAS DE MEDIDAS PIEZOMÉTRICAS.....	22
6.- TRATAMIENTO DE DATOS HIDROGEOLÓGICOS, PIEZOMÉTRICOS, HIDROQUÍMICOS E ISOTÓPICOS	28

ANEJOS

1.- INTERPRETACIÓN DE ENSAYOS DE BOMBEO EN S-10 Y S-11.	
---	--

1.- INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde al Proyecto "**REALIZACIÓN DE LABORES PARA LA CREACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO EN EL ACUÍFERO PROFUNDO DE LA LOMA DE ÚBEDA**" (Nº Expediente 345/06), realizado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) con la participación del Consultor Javier Gollonet Fernández de Trespalacios. El proyecto se ha realizado bajo la supervisión de D. Antonio González Ramón, por parte del IGME.

1.1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

Durante los últimos años, el IGME y el CEDEX han llevado a cabo, a instancias de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, dos estudios hidrogeológicos en el sector ocupado por el acuífero jurásico profundo de la Loma de Úbeda. El estudio del IGME sentó las bases para la elaboración de las Normas de Explotación de la Unidad 05.23, con el objeto de optimizar la gestión de los recursos hídricos de la zona, mientras que el estudio del CEDEX, basado fundamentalmente en la aplicación de técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas, ha tratado de definir los aspectos básicos de funcionamiento del sistema acuífero, en cuanto al origen y dinámica de las aguas subterráneas.

Otros dos estudios del IGME han ido encaminados a determinar las posibilidades de efectuar operaciones de recarga artificial del acuífero carbonatado y a establecer las posibilidades de apoyar el abastecimiento urbano del Consorcio de Municipios de la Loma de Úbeda con aguas de adecuada calidad y procedentes del citado acuífero.

En 2005 y 2006 se construyeron trece sondeos en el entorno del río Guadalimar. El objeto de la ejecución de estos sondeos fue establecer una red de piezómetros de control de este acuífero, en áreas definidas, de interés hidrogeológico. Así mismo se pretendió obtener datos geológicos e hidrogeológicos para poder definir con mayor exactitud el espesor y características de los materiales permeables. Esta red de control construida permite realizar tomas de muestras para el análisis de las aguas del acuífero existente, medidas periódicas de piezometría, estudiar la relación río-acuífero y

definir la geometría y espesor de los materiales permeables, así como sus características hidrogeológicas.

Estos trabajos sentaron las bases del modelo de funcionamiento hidrogeológico actualmente aceptado y por otra parte, han puesto de manifiesto la necesidad de continuar con la obtención de datos básicos que permitan prever la evolución futura y la respuesta del acuífero a la importante explotación de sus recursos a la que está sometido actualmente.

1.2.- TRABAJOS REALIZADOS

De acuerdo con el Pliego de Condiciones del Proyecto los trabajos llevados a cabo han sido los siguientes:

- Confección de cartografía hidrogeológica digitalizada y creación de un Sistema de Información Geográfica (SIG).
- Estudio de relaciones río –acuífero con información preexistente.
- Campañas de aforos en ríos y manantiales.
- Campañas de medidas piezométricas periódicas.
- Tratamiento de los datos piezométricos, hidroquímicos e isotópicos.
- Elaboración de informe final

En el presente informe se recogen los resultados de todo tipo obtenidos con la realización del Proyecto, que ha tenido lugar entre mayo y diciembre de 2006.

2.- CONFECCIÓN DE CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA DIGITALIZADA Y CREACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

2.1.- JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

En esta actividad se ha elaborado un Sistema de Información Geográfica de carácter geológico e hidrogeológico para la U.H. 05.23, cuyo principal acuífero es el “Acuífero carbonatado profundo de La Loma de Úbeda”, que se sitúa en la provincia de Jaén y comprende las comarcas de La Loma, El Condado y Las Villas.

Desde hace ya mas de seis años el IGME (junto con otros organismos públicos como el CEDEX o CHG) se encuentra trabajando en este área, por lo que el volumen de datos que posee en la actualidad es muy considerable (por ejemplo existen más de 800 puntos de agua inventariados en la zona y la Poligonal de la Unidad ocupa más de mil kilómetros cuadrados). Esta gran masa de información es la base para elaborar modelos de la realidad sobre el territorio, por ello, el principal objetivo de la creación de este SIG es tener una herramienta ágil y flexible con una gran capacidad de almacenar y analizar volúmenes importantes de información georeferenciada. De esta forma, esta herramienta complementaria de unas y complementada con otras (modelos numéricos de flujo por ejemplo) serán claves para la planificación y gestión de los recursos de esta Unidad.

2.2.- HERRAMIENTAS Y MÉTODOS.

Para la creación del SIG se ha usado un programa comercial de la marca ESRI llamado ArcGIS Desktop, versión 9.0 que ha estado funcionando en un ordenador personal equipado con un sistema operativo Windows XP Home Edition versión 2002 service Pack 2, Pentium 4 CPU 2.66 Ghz y 1.00 GB de memoria RAM.

Los datos geológicos y geográficos han sido suministrados mayoritariamente por el IGME (Geología, topografía y base de datos de puntos de agua), aunque el formato vectorial de la información geográfica proviene originariamente del IGN. Una parte de los datos geológicos (fallas en la zona confinada del acuífero carbonatado) han sido tomados de una publicación y elaborados a partir perfiles hidrogeológicos realizados en este mismo proyecto.

2.3.- TRABAJOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

Los trabajos realizados para la creación del SIG de la Unidad hidrogeológica 05.23 en detalle, han sido los siguientes:

Datos geográficos: Proviene íntegramente del proyecto “BADAFI” (Base de datos y funcionalidades informáticas. Sin publicar en la actualidad) integrado en el plan GEODE. En su primera etapa, la ejecución del proyecto BADAFI prevé acometer las tareas de diseñar, estructurar y generar la Base de Datos (BDD) almacén para la totalidad de la información Geológica proveniente del PLAN GEODE así como la Geográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN) proveniente de la cobertura MTN a escala 1:25.000.

Estos datos se han suministrado en formato Shape y ocupan el área de una hoja 1:50.000 del IGN. De los Shapes de líneas se han extraído los datos referentes a topografía y se han unificado para hacer más fácil la representación en el proyecto de trabajo y crear a partir de ellos un Modelo Digital del Terreno. Los Shapes que representan estos datos y con los que trabaja el SIG son “curvasnivelrecortadas” y Curvasparatin” y su ruta de acceso en el proyecto de trabajo es ...GISLOMA\MDTLOMA\Cartografiabase. Cabe señalar que estos archivos no tienen la misma estructura en su base de datos que los archivos originales suministrados, ya que los campos referentes a la cota de las curvas de nivel no eran los apropiados para su etiquetado en el mapa y creación del Modelo Digital del Terreno (MDT). La creación del MDT ha sido esencial para la elaboración del corte topográfico de los perfiles hidrogeológicos comentados en la sección anterior. La carpeta de archivos del MDT se llama “curvaslomatín” y se encuentra en GISLOMA\MDTLOMA.

En la figura 1 que se incluye a continuación se aprecia la estructura en el proyecto ArcGIS “planotrabajo.mxd” y las características de localización de la capa llamada Curvasnivel que corresponde al archivo de formas “curvasparatin”.

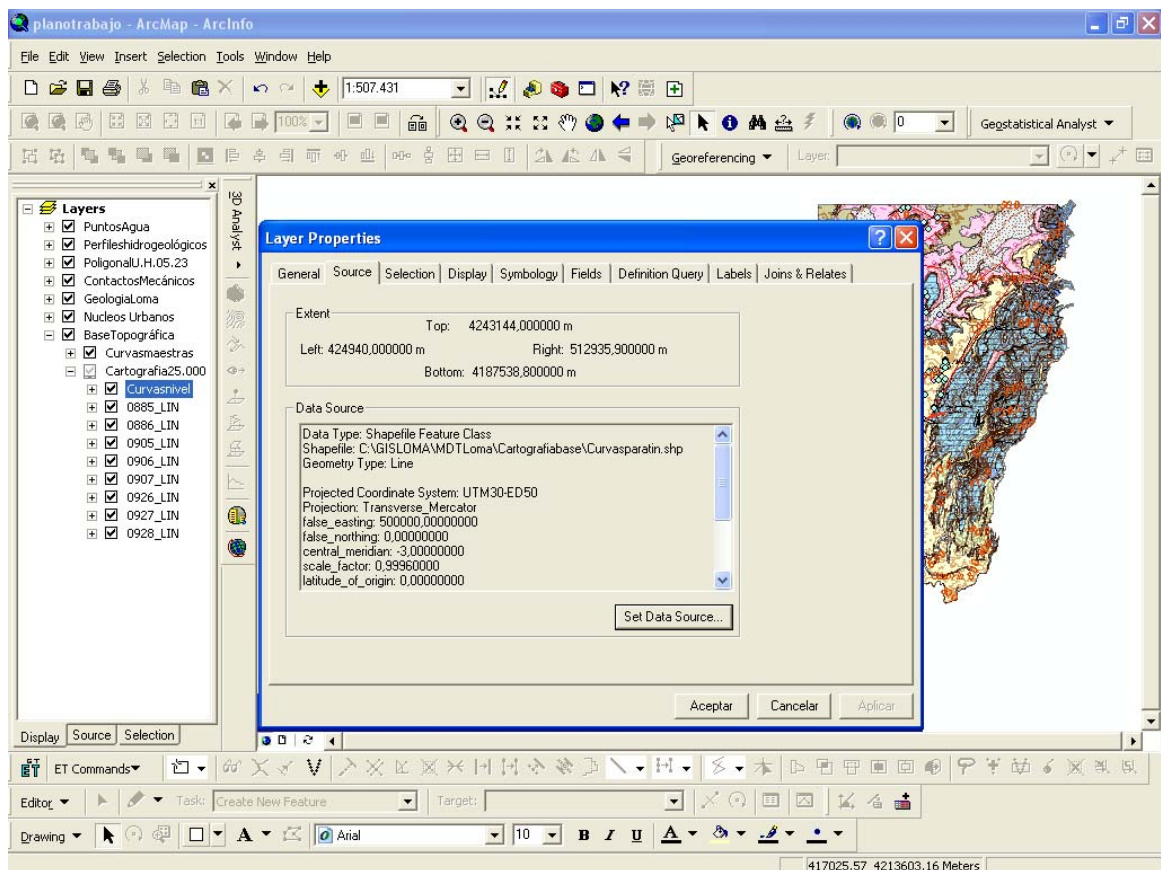


Figura 1.-

Datos geológicos: Los datos geológicos integrados en el SIG comprenden: 1) La cartografía geológica MAGNA digitalizada del IGME, que se está integrando en el anteriormente citado proyecto BADAFI para la creación del mapa geológico continuo digital de España, y de la que se ha usado fundamentalmente datos litológicos y de contactos mecánicos. 2) Cartografía geológica del proyecto “PAIH” del IGME que ocupa una zona importante de la U.H. 05.23. 3) Datos de contactos mecánicos deducidos de geofísica y sondeos mecánicos, extraídos del artículo “Determinación de la profundidad de un acuífero en Jaén mediante integración de datos sísmicos, eléctricos y de sondeos mecánicos.” (Rubio Sánchez-Aguililla, FM y otros), incluido en el libro publicado por el ITGE en el año 2000, “Actualidad de las técnicas hidrogeológicas aplicadas a la Hidrogeología” y 4) datos de contactos mecánicos deducidos de perfiles hidrogeológicos realizados en el marco de otro proyecto.

La metodología de trabajo seguida con los datos originales de la cartografía MAGNA y del proyecto PAIH ha ido encaminada a conseguir un mapa hidrogeológico

continuo de la U.H. 05.23 y zonas adyacentes, de tal forma que se ha realizado primero una síntesis de las unidades geológicas y después la unión de todos los fragmentos. Posteriormente se ha modificado la geometría de algunas unidades según la revisión cartográfica geológica realizada por personal de la oficina de proyectos del IGME de Granada. El resultado es un archivo de formas llamado "GeologiaLoma" (que se encuentra en GISLOMA\hojasgeologicas\l) con formato de base de datos similar al proyecto PAIH. En este archivo se conserva el campo identificador original para las unidades PAIH ("FH"), por lo que la correspondencia con el resultado final es directa dentro de la misma tabla de datos. La equivalencia entre el resultado final y los identificadores originales de la cartografía MAGNA se encuentra en la tabla "leyendafinalMAGNA" de la base de datos "Tablassinteticas.mdb" alojada en "GISLOMA\hojasgeológicas\tablassintesis".

De la cartografía MAGNA también se han usado los archivos de formas correspondientes a líneas, de los que se han extraído los datos de fallas y se han agregado al SIG convenientemente recortados para la zona de trabajo. Los Shapes resultantes se encuentran en el directorio "GISLOMA>Contactomecanicos" con los nombres "FallasMagnaXXX", donde "XXX" corresponde con el número de cada hoja geológica.

Para incorporar los datos de los contactos mecánicos deducidos de geofísica se escaneó y georreferenció el croquis del artículo para la posterior digitalización de las fallas más importantes. El Shape generado se encuentra en "GISLOMA>Contactomecanicos" y se llama "FallasDeducidas". Este Shape incorpora tanto las fallas deducidas por geofísica, como las deducidas de los perfiles hidrogeológicos, estando diferenciadas en la tabla de datos asociada por el campo "TipoFalla". Hay que señalar que debido a que la fuente de datos no incluía escala ni se aportaban datos de la precisión de la ubicación de los contactos, éstos solo han de tenerse como mera referencia de su localización exacta. En el directorio raíz también se incorpora el croquis georreferenciado llamado "rectifyesquemafallas".

En el caso de los contactos deducidos por los perfiles hidrogeológicos es necesario comentar que la posición de las fallas digitalizadas es una interpretación de los datos usados para realizar los perfiles, por lo que su ubicación y existencia debe ser tomada como orientativa. En cualquier caso este es el primer intento (junto con las fallas deducidas por geofísica) de conocer en detalle la Geología del acuífero confinado

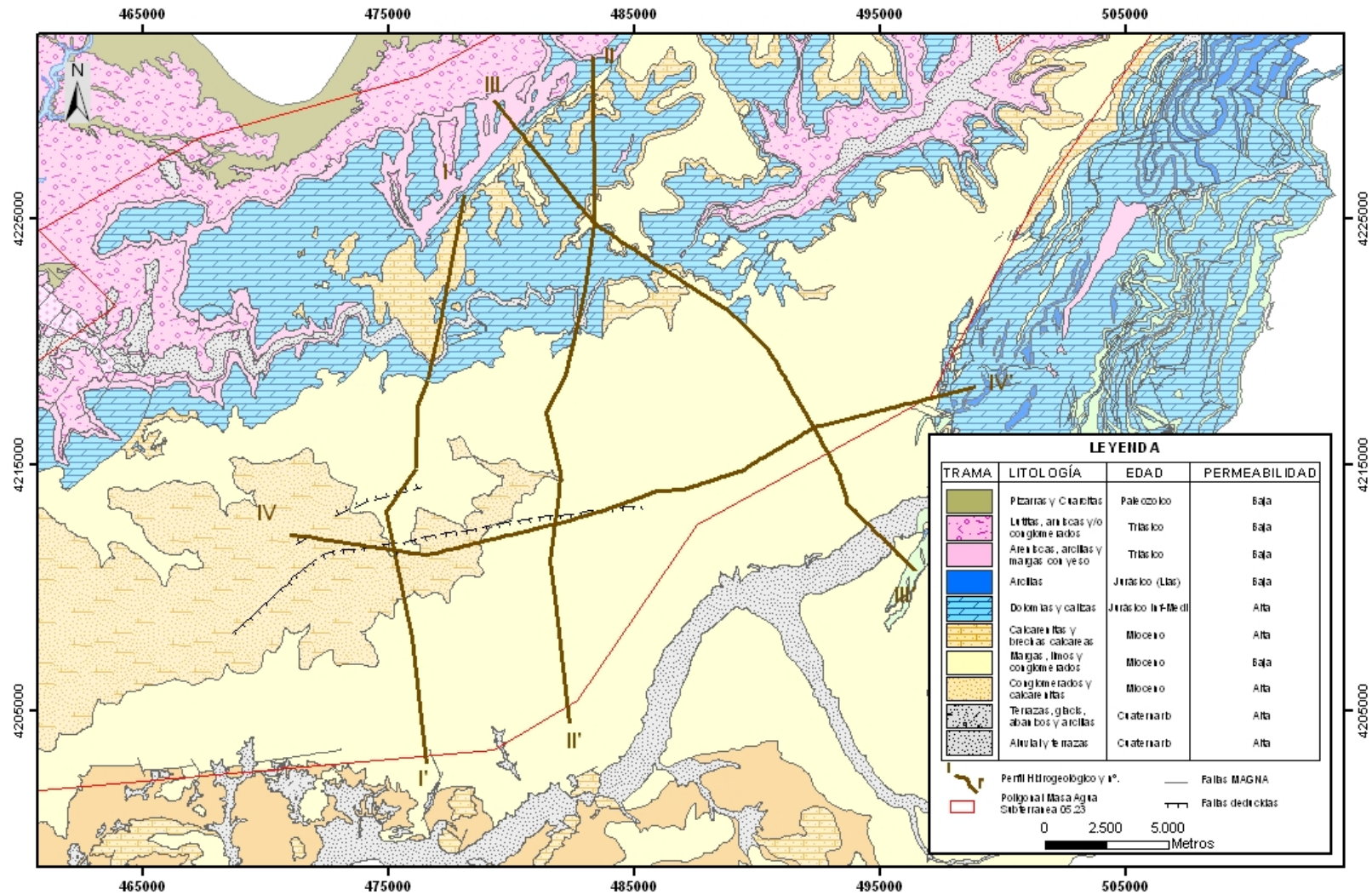


Figura 2.- Esquema geológico y situación de perfiles hidrogeológicos.

profundo de la Unidad. Como se ha comentado anteriormente, el Shape donde se encuentra esta información se llama "FallasDeducidas". En la siguiente figura (figura 2) se pueden observar la situación de los perfiles realizados, la situación de las fallas deducidas (centro de la imagen) y las fallas y geología de la zona.

Base de datos de Puntos de Agua: Uno de los principales objetivos de este trabajo ha sido incorporar la información de la base de datos de puntos de agua del IGME al SIG, de manera que pueda ser usada espacialmente y actualizada periódicamente. Los datos originales se han suministrado como una base de datos de M. Access que incluye las tablas AGMA, AGAQ, AGHD, AGLI, AGLO, AGPZ Y AGTE. En cada una de estas tablas se incluye distinta información como datos generales, análisis químicos, datos de piezometría, columna litológica, etc. Debido a que solamente en la tabla maestra (AGMA) se incluyen datos espaciales (coordenadas UTM) y la estructura general no es apropiada para un sistema de información geográfico (no hay un solo campo que identifique a cada punto en cada una de las tablas) no ha sido posible establecer un método sencillo para la creación y actualización de los datos finales que incorpora el SIG. Además una de las tablas (AGLO) ha sido imposible incluirla en el SIG ya que su estructura es completamente distinta del resto y hubiera sido necesaria una transformación de los campos que no se justifica por la información que aporta la tabla. Los datos que se incluyen en el SIG se encuentran en el directorio "GISLOMA\BaseDatos" y son los siguientes:

- A) "aguaLoma.mdb", es una personal geodatabase de ArcGIS que incluye las tablas originales del IGME y las consultas que establecen las relaciones entre ellas.
- B) Conjunto de Shapes que incluyen la información espacial referente al nombre de cada tabla original y la tabla maestra. Son "PuntosAGAQ"; "PuntosAGHD"; "PuntosAGLI"; "PuntosAGTE"; "PuntosmaestraPz".
- C) Conjunto de cinco archivos dBase exportados desde las consultas de la godatabase que sirven para enlazar tablas antes de generar los archivos de formas finales. Sus nombres tienen el formato "RelaMaXX.dbf", donde "XX" es el nombre de cada una de las restantes tablas.

Para la creación de los archivos de formas finales se ha seguido el siguiente procedimiento:

- 1) Importación de las tablas originales a la personal geodatabase “agualoma.mdb” creada previamente y adición de un nuevo campo a cada tabla llamado “OrdenXX” siendo “XX” el nombre de cada una de las tablas y relleno de registros en cada una de ellas, teniendo especial cuidado en que los registros de la tabla AGMA esten ordenados según el campo “fecha_maccess”.
- 2) Creación de las consultas que relacionen cada una de las tablas con la tabla AGMA haciendo coincidir los campos “Hoja”, “Oct” y “Punto” de cada una de ellas y exportación a formato .dbf para que puedan ser interpretadas por ArcGIS.
- 3) Incorporación de las tablas principales desde la geodatabase y de las .dbf a ArcGIS. Primera unión de cada tabla principal con su correspondiente tabla de relaciones según los campos creados en el paso uno. Segunda unión siguiendo el criterio anterior y el siguiente esquema respetando la categoría de tabla principal y tabla enlazada:

TABLA PRINCIPAL	TABLA ENLAZADA
AGMA	AGPZ
AGLI	AGMA
AGTE	AGMA
AGO	AGMA
AGAAC	AGMA

- 4) Una vez que tenemos las tablas enlazadas y con la información geoespacial en cada tabla, creación de un tema de eventos para cada tabla y transformación a archivo de formas.

Actualización de la Base de Datos: Es imprescindible generar nuevas tablas de relaciones .dbf desde la geodatabase con los nuevos registros y repetir el proceso hasta generar nuevos Shapes. Por esta razón se recomienda importar las tablas de la base de datos original completas cada vez que se quiera actualizar la información, ya que la importación de nuevos registros siguiendo el campo “fecha_maccess” solo es consistente en la tabla AGMA, en el resto existen registros en blanco que nos pueden hacer perder información si lo hacemos de esta manera.

El SIG realizado se adjunta en un cd-rom desde el que se puede ejecutar directamente o copiar al disco duro para su ejecución.

3.- ESTUDIO DE LAS RELACIONES RÍO ACUÍFERO.

A partir de las medidas realizadas en el proyecto “NIVELACIÓN DE PIEZÓMETROS Y ESTUDIO CLIMÁTICO EN EL ENTORNO DEL RÍO GUADALIMAR (PROVINCIA DE JAÉN)” realizado también por el IGME en 2006, se ha llevado a cabo un análisis de las relaciones río acuífero en el entorno del río Guadalimar.

Para ello se ha construido un mapa orientativo de isopiezas del entorno próximo al río (figura 3), basado en datos de cota nivelada del agua en 13 piezómetros y siete puntos próximos en los que se pudo acceder a la lámina de agua del río Guadalimar. Se adjunta también un plano a la misma escala con la situación de los piezómetros para facilitar su identificación (figura 4)

Como se puede observar en el mapa de cotas del agua, solo los piezómetros S-6, S-10 y S-14 tienen claramente el nivel de agua por debajo de la cota del río Guadalimar (26 a 32 metros) que además es inferior en unos 9 metros al del piezómetro S-4 ubicado en la otra margen del río.

De forma siempre aproximada y según el trazado de isopiezas se puede delimitar un ámbito máximo de la zona en que el río es influente de unos 2-3 km de anchura (3-4 km en el trazado sinuoso del río), que abarcaría desde poco antes del meandro en que se ubican los citados piezómetros hasta otro pequeño meandro existente antes del S-5. Frente a S-8 el nivel del acuífero en la margen izquierda vuelve a ser claramente superior al del río, en al menos unos 30 metros, si bien hay que indicar que la inexistencia de piezómetros en la margen izquierda entre S-10 y S-7 (más de 8 km) impide hacer una delimitación más precisa de la citada zona de influencia.

Esta zona de posible alimentación se sitúa en la parte central del paso del río sobre el acuífero carbonatado y parece congruente también con los datos de evolución piezométrica general (figura 5) en los que se observa que precisamente esos tres piezómetros (S-6, S-10 y S-14) tienen cotas del agua intermedias entre las del acuífero libre y el confinado, y una evolución ligeramente descendente y similar a la de los piezómetros más septentrionales del acuífero confinado.

FIGURA 3.- COTAS DEL AGUA EN EL ENTORNO DEL RIO GUADALIMAR E ISOPIEZAS ORIENTATIVAS (16-07-2006)

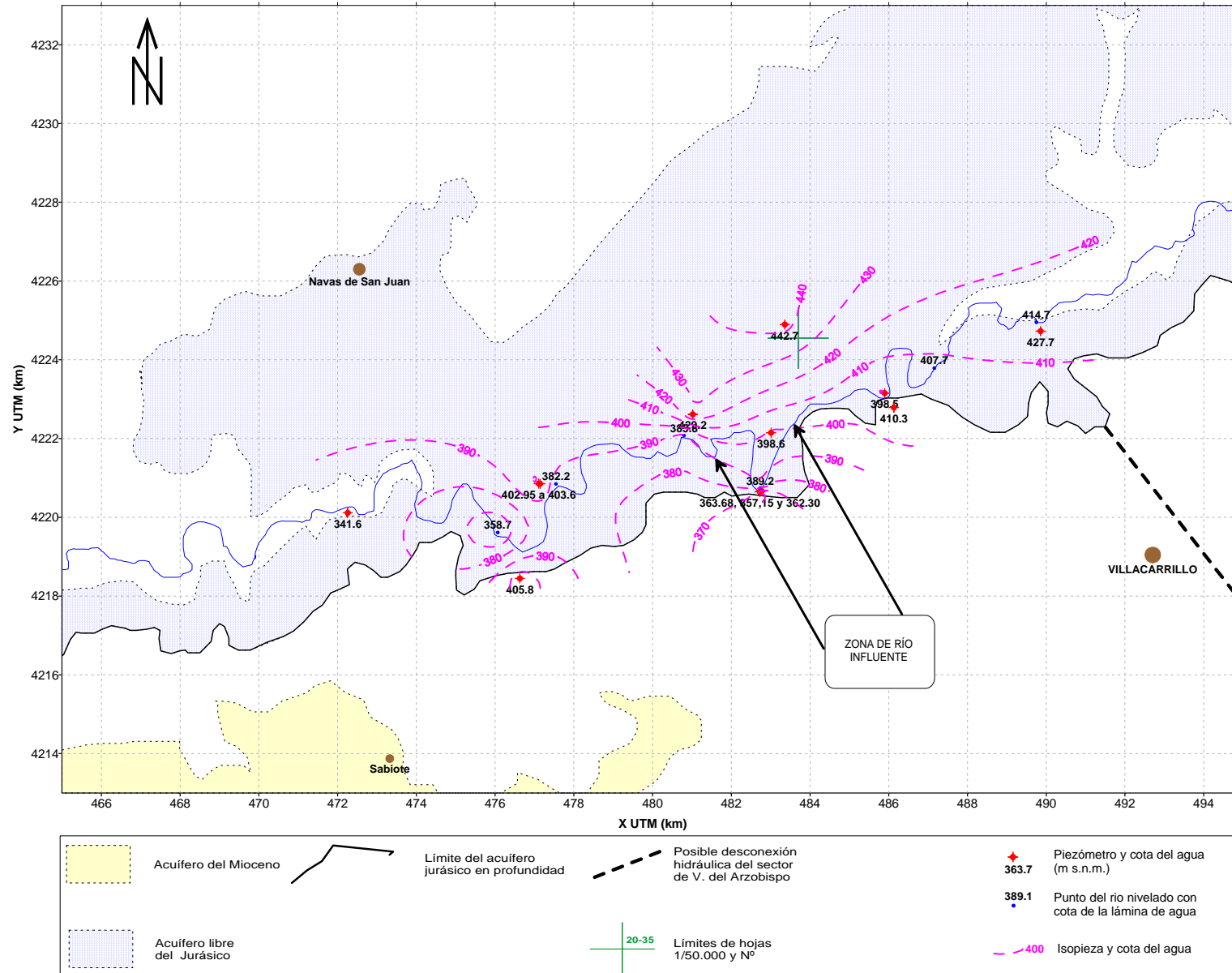


FIGURA 4.- SITUACIÓN DE PIEZÓMETROS EN EL ENTORNO DEL RIO GUADALIMAR

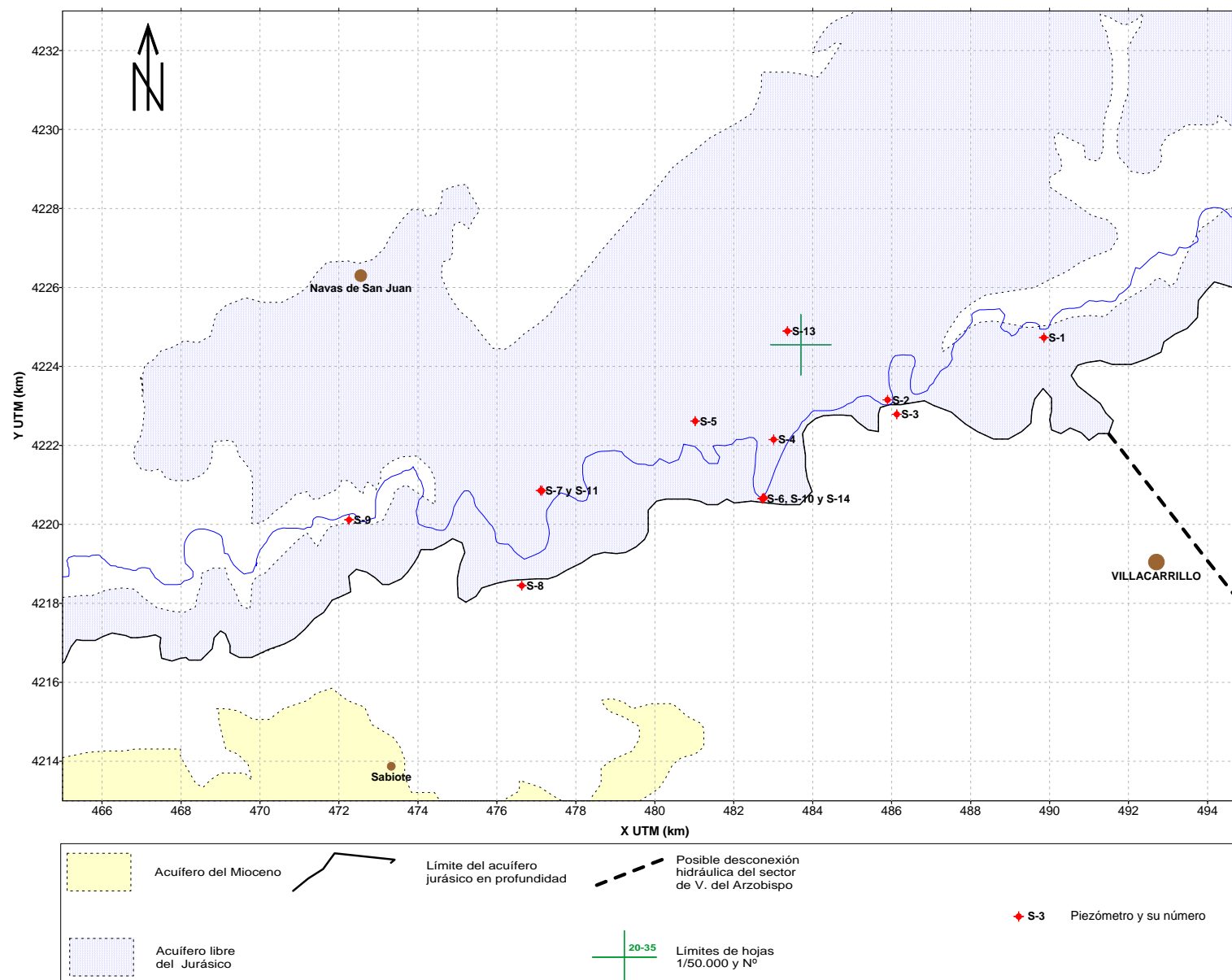
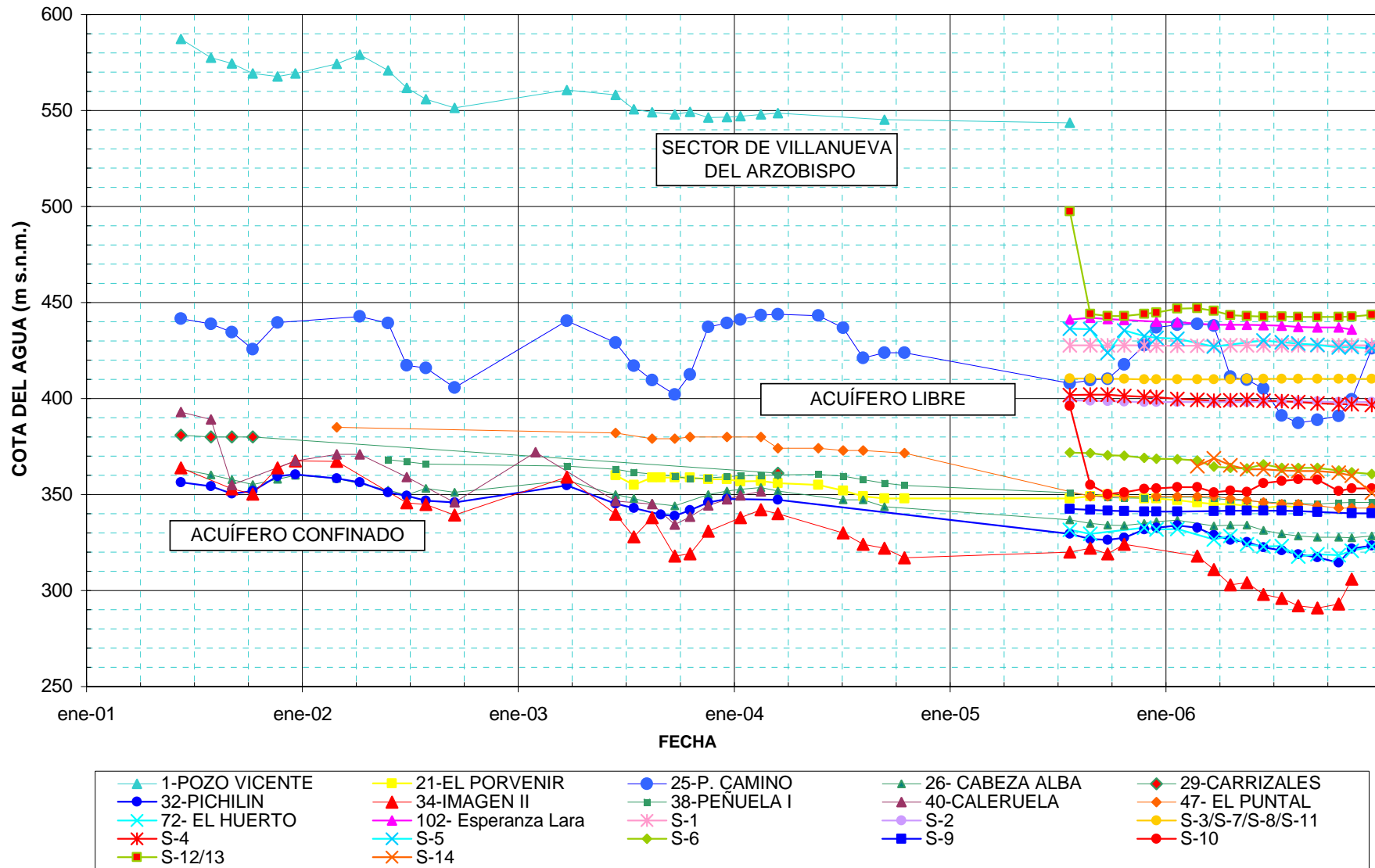


FIGURA 5.- ACUÍFERO CARBONATADO DE ÚBEDA. EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA 2001-2006
(Acuífero confinado, libre y sector de Villanueva del Arzobispo)



Por otra parte, en el registro videográfico del S-10 se vio claramente la entrada por el interior del entubado de unos 20 l/s de caudal continuo, manteniéndose un nivel de agua superior en los dos piezómetros de menor diámetro próximos a aquél, lo que puede indicar que de forma natural la conexión río-acuífero se vea dificultada por la existencia de niveles menos permeables en el seno de las calizas, que darían lugar a niveles colgados en relación con el río, pero en los que el paso del agua al nivel general se haría solo a través de zonas de fractura o de sondeos que atravesen ambos niveles con diámetro suficiente. Otra hipótesis posible es que los niveles más altos de S-6 y S-14 correspondan a aguas en tránsito recargadas por el río, cuya entrada al nivel regional se vería dificultada por las arcillas que el río habría introducido en los carbonatos, en sus primeros 20-30 metros.

En definitiva sería una relación compleja y variable espacialmente, con un predominio de zonas de descarga del acuífero al río y escasa incidencia de la alimentación del río al acuífero en condiciones naturales, limitada a ese tramo máximo de unos 2-3 Km y a posibles zonas de fractura o a sondeos de mayor diámetro que intercomunican los niveles colgados con el nivel inferior del acuífero.

Este mismo comportamiento parece deducirse del gráfico piezométrico detallado del entorno del piezómetro S-10, (figura 6 a). Los piezómetros S-6 y S-14 indicarían el nivel de las zonas colgadas, continuamente en descenso entre Agosto y Diciembre de 2006, a pesar de las precipitaciones producidas (figura 6 b), mientras que el pozo de bombeo S-10 daría el nivel más próximo al real del acuífero. Si se comparan sus períodos ascendentes con los del caudal circulante por el río (sacados de la web de CHG en la que figuran como entradas al embalse de Giribaile) se observa una cierta correlación entre ambos, indicativa de un aumento de las entradas de agua paralelo al incremento de los caudales circulantes por el río, y que provoca una subida relativa del nivel de agua en el acuífero (periodo de finales de mayo a 20 de septiembre y otros menores), siendo aparentemente menos decisiva o clara la influencia de las lluvias, al menos en el periodo citado.

FIGURA 6 a.- ACUÍFERO CARBONATADO DE UBEDA. EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA 2005-2006
(Entorno piezómetro S-10)

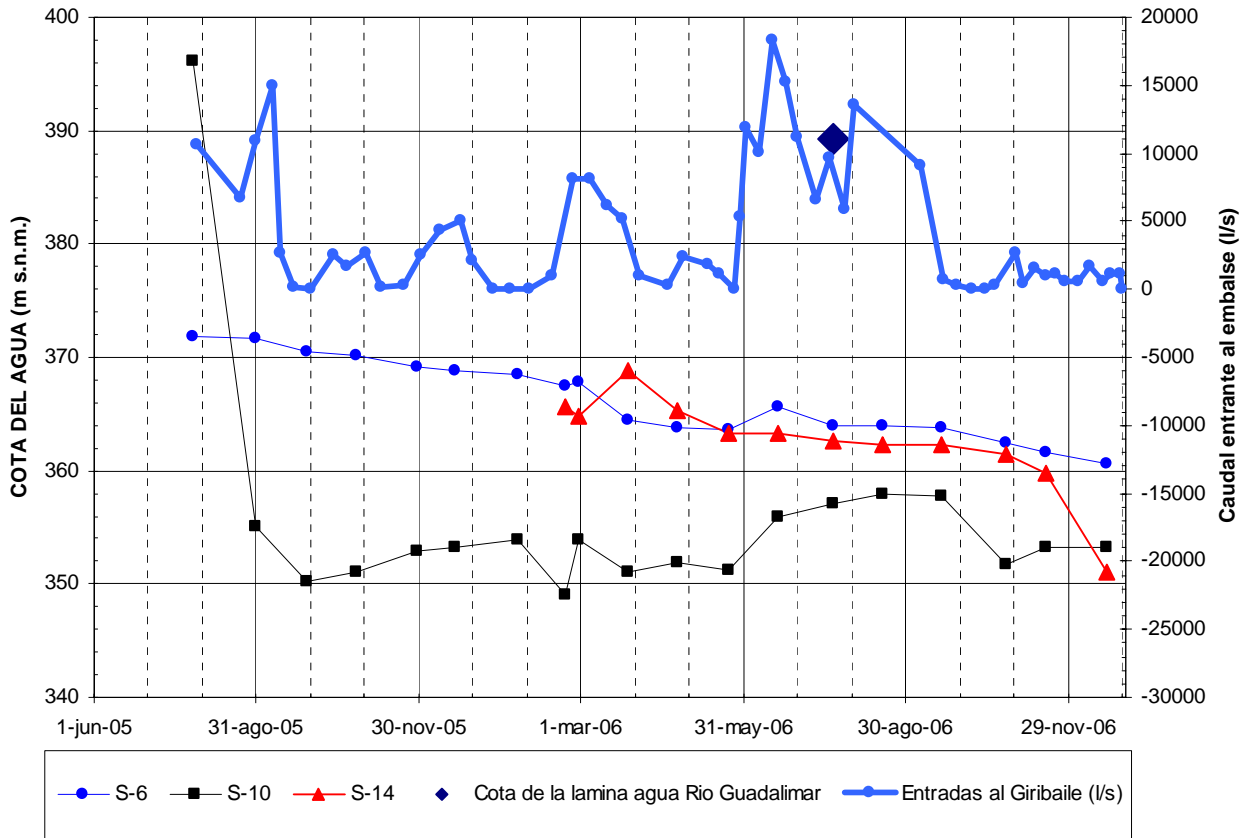
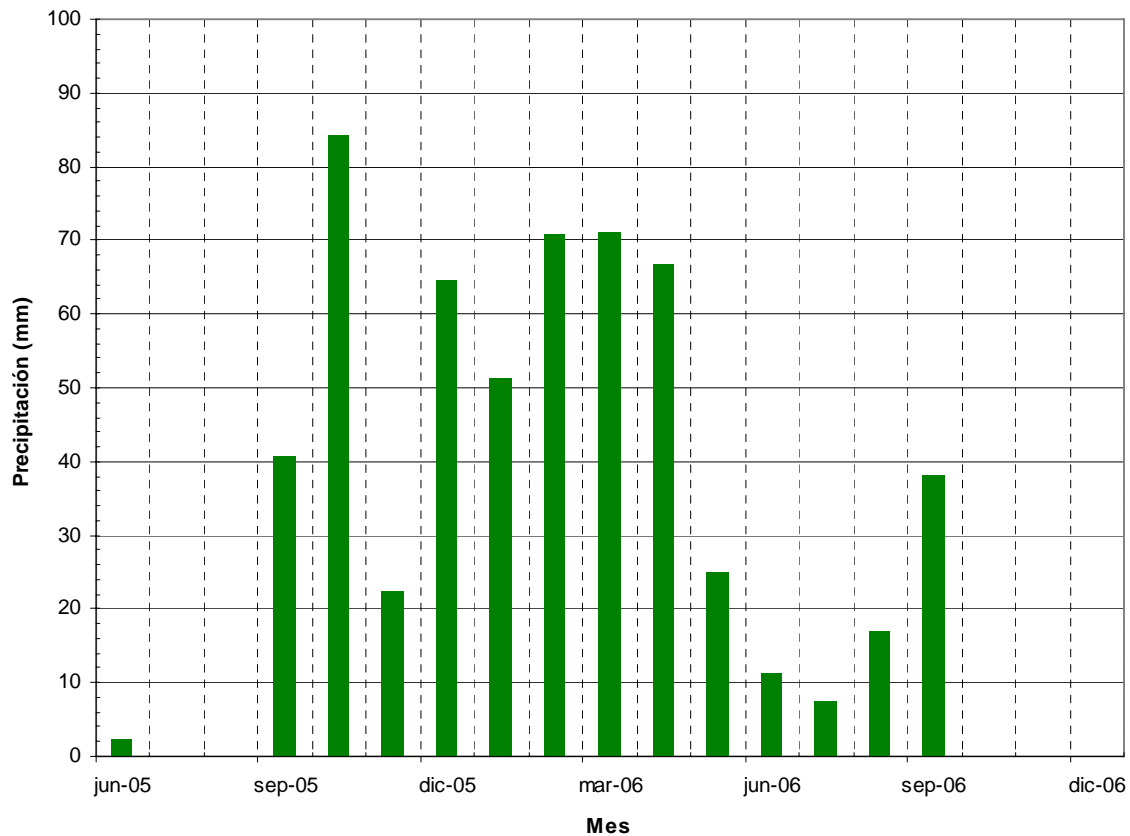


FIGURA 6 b.- Precipitaciones en la estación de Castellar de Santistéban



Dentro de este capítulo se ha incluido, por último, la interpretación de los tres bombeos de ensayo realizados en los piezómetros del Guadalimar (dos en S-11 y otro en S-10), cuya realización se incluyó en el proyecto "*Revisión del inventario de puntos de agua y realización de labores de apoyo en el estudio hidrogeológico del acuífero jurásico profundo de la Loma de Úbeda*", finalizado por el IGME en Julio de 2006, como parte del seguimiento de sondeos.

En el anejo nº 1 se incluyen los gráficos de bombeo con su interpretación (15 gráficos), y en el cuadro nº 1 se muestra un resumen de los resultados obtenidos. Los bombeos fueron controlados dentro de otro proyecto del IGME realizado en 2005, si bien para facilitar la consulta de sus datos numéricos se incluyen en la Documentación Técnica del presente proyecto, que se entrega en un cd-rom, en una hoja de cálculo.

Como se deduce del cuadro-resumen, en el entorno del pozo S-10 la transmisividad estaría comprendida, como valor más probable, entre 500 y 1000 m²/día, con una porosidad eficaz del orden del 2-5 %, si bien cabe destacar algunas anomalías y que todo el ensayo estuvo afectado por los niveles colgados existentes en el entorno y que dan lugar a la entrada de agua en el propio pozo de bombeo.

Por lo que respecta a los ensayos de S-11 los valores obtenidos son de unos 50 a 80 m²/día para la transmisividad y de 1 a 5 % la porosidad eficaz. También en este caso el segundo ensayo presentó anomalías, por una posible obstrucción de los filtros al alcanzar el agua la rejilla del pozo de bombeo al final del primer ensayo y por comenzar el segundo ensayo con una depresión residual de 1.76 m respecto al nivel estático de partida.

Un último aspecto de interés, por lo que respecta a la relación río-acuífero, son los espesores saturados de acuífero jurásico, que se incrementan progresivamente desde el NE al SE a lo largo del río Guadalimar, desde unos 10-15 metros a la altura de S-2 y S-3 hasta alcanzar 55 metros bajo S-6 y 55-65 metros en la transversal de S-7 y S-8. Llama también la atención el mínimo espesor saturado en el piezómetro del Camino (S-13), de apenas 5 metros, lo que hace pensar que gran parte del afloramiento principal del jurásico, la situada al norte de S-13, sería tan solo una zona de tránsito de agua sin llegar a constituir una auténtica zona saturada, especialmente si se piensa que es una formación subtabular, sin apenas plegamientos ni otras deformaciones estructurales.

Cuadro nº 1.- Resumen de parámetros hidráulicos obtenidos en ensayos de bombeo de piezómetros del Guadalimar

Ensayo	Punto	Método	Transmisividad m ² /día	Porosidad eficaz (%)	Fiabilidad	Observaciones
S-10 (Arroyo del Mostazar I)	Piezómetro 1 (S-6) a 18'5 m	Jacob (descenso)	1384	25	Media	Desciende menos que Piezómetro 2 aunque está a menor distancia
	Piezómetro 2 (S-14) a 33'5 m	Jacob (descenso)	549	1.9	Media	Comportamiento anómalo ultimo tramo (sube nivel)
	Pozo de bombeo S-10	Jacob (recuperación)	1057	---	Media	Tendencia 0.21 m vaciado
	Piezómetro 1 (S-6) a 18'5 m	Theis (ascensos recuperación)	1384	0.39	Media	Tendencia a recuperación completa
	Piezómetro 2 (S-14) a 33'5 m	Theis (ascensos recuperación)	976	0.35	Media	Tendencia 0.38 m vaciado
	Pozo bombeo y piezómetro 1	Jacob (descenso-distancia) a 1380 minutos de bombeo	365	96	Media	Valor absurdo de S.
	Pozo bombeo y piezómetro 2	Jacob (descenso-distancia) a 1380 minutos de bombeo	469	7.6	Media-alta	
	Pozo bombeo y piezómetro 1	Jacob (descenso-distancia) a 780 minutos de bombeo	602	63.5	Media	Valor absurdo de S.
	Pozo bombeo y piezómetro 2	Jacob (descenso-distancia) a 780 minutos de bombeo	969	0.25	Media-alta	
Valores más probables del entorno de S-10 (con espesor saturado de unos 37-43 m en el ensayo). K de 11,6 a 27,0 m/día			500-1000	2-5		Todo el ensayo afectado por niveles colgados
S-11 (Embalse de Olvera 2).- Primer ensayo	Pozo de bombeo S-11	Jacob (descenso)	18.5	---	Media	Tramo no afectado por descenso a la rejilla
	Piezómetro 1 (S-7) a 36'3 m	Jacob (descenso)	722.0	5.1	Media-baja	Evolución anómala con estabilizaciones
	Pozo de bombeo S-11	Jacob (recuperación) Tramo 1	1.4	---	Media	
	Pozo de bombeo S-11	Jacob (recuperación) Tramo 2	77	---	Media	
	Piezómetro 1 (S-7) a 36'3 m	Jacob (recuperación)	---	---		Ininterpretable por estabilización nivel
	Pozo bombeo y piezómetro	Jacob (descenso-distancia)	32	1.2	Media-alta	Para t= 360 minutos, antes de afectar descenso s rejilla.
S-11 (Embalse de Olvera 2).- Segundo ensayo	Pozo de bombeo S-11	Jacob (descenso)	4.2	---	Baja	Evolución anómala con estabilizaciones
	Piezómetro 1 (S-7) a 36'3 m	Jacob (descenso)	2174.0	3.35E-04	Baja	Evolución anómala con estabilizaciones. Muy mal ajuste y valor de S anómalo (confinado)
	Pozo de bombeo S-11	Jacob (recuperación) Tramo 1	2.5	---	Baja	
	Pozo de bombeo S-11	Jacob (recuperación) Tramo 2	61.3	---	Baja	
	Piezómetro 1 (S-7) a 36'3 m	Jacob (recuperación)	1748.0	---	Baja	Evolución anómala con estabilizaciones. Muy mal ajuste.
	Pozo bombeo y piezómetro	Jacob (descenso-distancia)	11.6	0.66	Baja	
Valores más probables del entorno de S-11 (con espesor saturado de unos 65 m en el ensayo). K de 0,77 a 1,23 m/día			50-80	1-5		2º ensayo afectado por posible taponamiento de filtros

4.- CAMPAÑAS DE AFOROS EN RÍOS Y MANANTIALES

Dado que se trataba de una época seca y en período de estiaje, en que los arroyos de la zona llevaban muy escaso caudal se decidió, de acuerdo con la Dirección del Proyecto, cambiar los aforos previstos por un reconocimiento detallado de las márgenes del río Guadalimar, en la zona de afloramiento de las calizas jurásicas, y especialmente de los arroyos de la margen izquierda que en las 5 campañas de aforos realizadas entre 2001 y 2004 presentaban un mayor caudal: el del Arbolón, con caudal medio de 24 l/s, aunque variable de 2 a 60 l/s, y el del Carrizal, cuyo caudal oscilaba entre 1 y 35 con una media de 10 l/s.

Así, durante los días 20 a 22 de diciembre de 2006 se recorrieron en una primera fase los dos arroyos tributarios al río Guadalimar por su margen izquierda intentando reconocer la situación y cuantificar las descargas de posibles niveles colgados del acuífero carbonatado jurásico. Así mismo se reconocieron dos manantiales sin relación con arroyos, uno situado en la margen izquierda del Guadalimar (punto 9, junto a la carretera de Navas a Úbeda) y otro en su margen derecha (El Acebuchal, punto nº 4) con caudales muy reducidos de 0'03 y 0'1 l/s, respectivamente.

Los arroyos se recorrieron en toda la parte de su curso que discurre por calizas y en la transición al Mioceno y al Trías. En uno de ellos, Ayo Arbolón, se pudieron realizar dos aforos con flotador, uno al comienzo de su paso por calizas y otro en la transición al Trías. Ambos aforos, que se realizaron con métodos aproximados, dieron caudales similares de 3-4 l/s, sin que fuera apreciable ninguna descarga procedente de las calizas. En este mismo arroyo se localizó un manantial muy cerca del cauce, aunque de caudal mínimo (1/2 litro por minuto escaso) estando a una cota 120 metros por encima del nivel regional del acuífero.

En el segundo arroyo (El Carrizal) se encontraron muchas dificultades para acceder al cauce, aunque se pudo situar una zona de surgencia en el mismo arroyo que en conjunto daba aproximadamente 1 l/s. Esta zona de surgencia se encuentra a unos 40-50 metros sobre el nivel regional del acuífero, si bien en esta zona el nivel piezométrico no está controlado adecuadamente.

Los manantiales reconocidos no tienen caudal significativo, aunque en la fecha de la visita había llovido muy poco, por lo que es probable que sufran variación tras

épocas de lluvia, pero en cualquier caso parece tratarse de descargas de mínima cuantía. Las cotas de los manantiales demuestran claramente que drenan pequeños niveles colgados del acuífero.

En la segunda campaña de reconocimiento, realizada durante los días 20 y 21 de febrero de 2007, se visitaron exclusivamente puntos sin relación con los arroyos objeto de aforos por el IGME en proyectos anteriores. La naturaleza de los puntos visitados es la de pozo artesano de poca profundidad en los tres casos, que son utilizados tradicionalmente por los agricultores de la zona para abastecimiento propio y riego puntual.

De los puntos visitados en esta campaña, dos de ellos tienen un nivel piezométrico similar a la cota del agua regional del Acuífero Libre de la Unidad. Sin embargo, la cercanía de estos pozos al Río Guadalimar (a menos de cien metros del río y con el nivel piezométrico unos 3 a 6 metros más alto que la cota del agua en el cauce), los hace interesantes para conocer y controlar las relaciones Río-Acuífero en esta zona, máxime ante la inexistencia de piezómetros de control en esa zona de la margen izquierda.

El tercer punto reconocido es otro pozo cuya cota (deducida en topografía 1:10.000) si se corresponde claramente con un nivel colgado situado unos 50 metros por encima del nivel piezométrico de la zona.

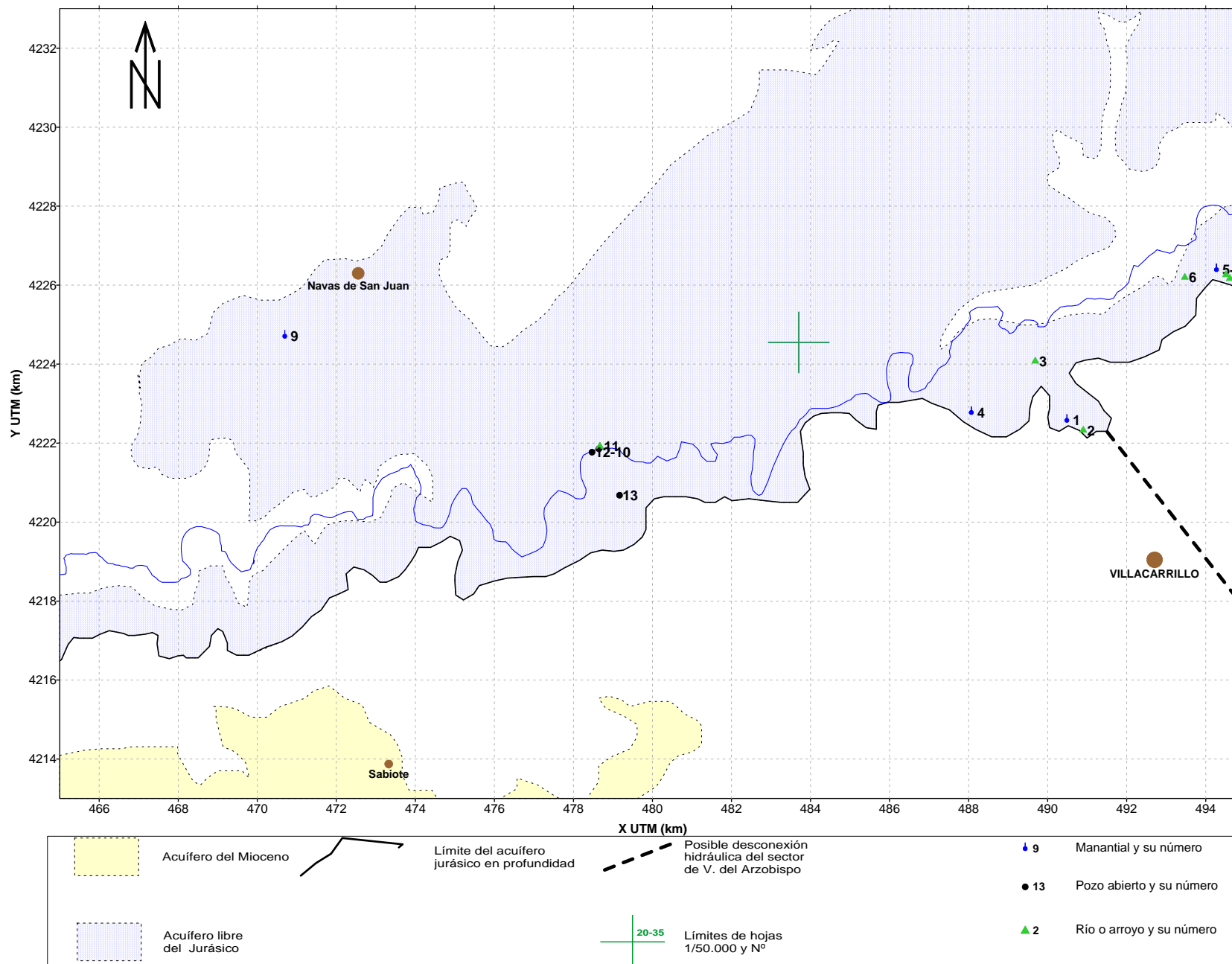
En el cuadro nº 2 se resumen las características de los puntos visitados en ambas campañas, cuya situación se muestra en el mapa de la figura 7.

Tres de los puntos visitados (el pozo Ramblas 1, el Dornajo y el propio río Guadalimar) fueron objeto de recogida de muestras de agua y análisis químicos, cuyos resultados se adjuntan en la Documentación Técnica del Proyecto y se comentarán en el apartado dedicado a hidroquímica. Otras muestras recogidas no han podido ser objeto de análisis por rotura de los frascos en su envío a Laboratorio.

Cuadro nº 2.- Reconocimiento de los márgenes del río Guadalimar para detectar la presencia de posibles niveles colgados

Nº Punto	Nombre	Campaña Revisión	X utm	Y utm	Z (1:10.000)	Cota agua acuífero zona	Q estimado (l/s)	Cond. agua (uS/cm)	ph	Tª (°C)	observaciones
1	Manantial en Ayo Arbolón.	dic-06	490485	4222576	525	405	0.007	911	7.5	-	Es una pequeña excavación circular de unos 60 cm de diámetro con unos 40 cm de lámina de agua cerrada con obra de mampostería y que rebosa hasta una alberca. Puede ser el punto IGME 2136/1/16, Fte de Mª José con UTM 490513, 4222613. Tomada MUESTRA 1. Aforo volumétrico (1/2 litro en 73 s)
2	Aforo 1 Ayo Arbolón	dic-06	490900	4222325	525	-	3-4	-	-	-	Punto de aforo justo después de la unión de los dos ramales del arroyo.
3	Aforo 2 Ayo Arbolón	dic-06	489685	4224075	440	-	3-4	-	-	-	Punto de aforo aguas abajo del puente que cruza el río. Cerca de la antigua sección de aforo del ayo Arbolón.
4	Manantial "Acebuchal"	dic-06	488067	4222775	480	405	0.1	1200	7.7	16.6	Punto sin relación con Arroyos. Se encuentra en una zona de alteración importante (parece una zona de fractura) y hay una caseta y aljibe subterráneo construidos. Posible punto IGME 2136/1/3 o 1/5. Tomada MUESTRA 2. Aforo volumétrico.
5	¿Manantial / Sondeo?	dic-06	494270	4226392	555	-	-	-	-	-	Zona con caseta y alberca que puede ser sondeo o manantial.
6	Ayo Carrizal (cerca de puente carril)	dic-06	493469	4226196	475	-	1	-	-	-	Arroyo Carrizal con agua, cerca del límite con el Triás. Caudal estimado. El agua se capta (¿o se infiltra?) aguas abajo, ya que a la altura del puente ya no hay agua.
7	Ayo Carrizal. Punto 1 de zona surgencia(cota mas baja)	dic-06	494511	4226264	565	-	?	-	-	-	Final de la zona de surgencia (cota mas baja) caracterizada por presencia de cañas. Sin acceso para tomar muestra y aforar.
8	Ayo Carrizal. Punto 2 de zona surgencia(cota mas alta)	dic-06	494607	4226169	575	-	?	-	-	-	Comienzo de la zona de surgencia (cota mas alta). Aguas arriba de este punto el arroyo está seco. Sin acceso para tomar muestra y aforar
9	Manantial Ctra Navas-Ubeda	dic-06	470695	4224706	605	-	0.033	965	7.9	17.2	Punto sin relación con Arroyos. Puede ser el punto IGME 2035/7/40 (CEDEX F-7). Tomada MUESTRA 3. Aforo volumétrico
10	Pozo "Las Ramblas I"	feb-07	478644	4221855	388	390-400	-	572	8	13.9	Es un pozo artesano de 1,10 m de diámetro y 5,23 m de profundidad. El nivel estático el día 21/2/07 estaba a 4,49 m El día anterior había llovido unos 7 l/m ² . Se toma muestra 4. Según fuentes verbales el pozo no se agota y cuando se construyó hace 15 años el nivel estaba casi a ras de suelo.
11	Río Guadalimar en Las Ramblas	feb-07	478668	4221920	385	390-400	-	610	8.2	11.6	Se toma Muestra 5 cerca de los pozos de Las Ramblas para comparación con la muestra de uno de estos pozos. El día anterior llovió unos 7 l/m ² .
12	Pozo "Las Ramblas II"	feb-07	478469	4221770	388	390-400	-	-	-	-	Pozo artesano de 1,46 m de diámetro y 6,44 m de profundidad. El nivel estático el día 21/2/07 estaba a 5,00 m. El día anterior había llovido unos 7 l/m ² . Según fuentes verbales este pozo tardaba mas en recuperarse después de sacar agua.
13	Pozo "El Dornillo"	feb-07	479166	4220679	430	380	-	586	7.5	14.8	Pozo artesano cuadrado de 1,06 m de lado y 1,84 m de profundidad. El nivel estático el día 21/2/07 estaba a 0,54 m referido al nivel del suelo. Tomada muestra 6.

FIGURA 7.- RECONOCIMIENTO DE ARROYOS EN EL ENTORNO DEL RIO GUADALIMAR



5.- CAMPAÑAS DE MEDIDAS PIEZOMÉTRICAS.

Tal como estaba previsto se tomaron medidas piezométricas mensuales en la red de control existente, compuesta por 10 puntos del acuífero confinado y 14 puntos del acuífero libre, durante seis meses consecutivos entre Julio y Diciembre de 2006. En los cuatro piezómetros de control próximos al río Guadalimar instalados con registradores de nivel se aprovecharon las campañas de piezometría para recoger los datos almacenados y contrastar los niveles medidos con los registrados, realizando además las labores propias de mantenimiento para garantizar su correcto funcionamiento.

Los datos de control obtenidos se reflejan en el cuadro nº 3 adjunto y en las figuras 8 a 10 se muestran los gráficos más representativos desde el inicio de las redes de control sobre el acuífero, comparados con las precipitaciones sobre la zona.

En el primero de ellos (Figura 8) se observa cómo en los puntos del acuífero libre más meridionales, como el S6 y S10 que se sitúan en la zona en que el río es influente, las cotas del agua son ya intermedias entre las del libre y el confinado, y por otra parte se observa en S6 una cierta tendencia al descenso en los últimos años (unos 10 m entre 2005 y 2006) con un cierto paralelismo al acuífero confinado, a diferencia de la mayoría de los puntos del acuífero libre en los que hay una tendencia estable. El S6 refleja agua de recarga del río Guadalimar que está en tránsito hacia el acuífero confinado, mientras que el S10 refleja claramente los niveles del confinado, similares a los de la Peñuela, pero con claros ascensos temporales que deben responder a la recarga del río.

El piezómetro del Camino (nº 25), con fuertes oscilaciones estacionales, debe presentar un nivel colgado que se agota al inicio de los bombeos y a partir de ahí marca niveles inferiores o incluso del Trías, por lo que no sería representativo del acuífero libre, como se ha podido comprobar al realizar el piezómetro S-13 en sus inmediaciones, con una tendencia estable y escasas oscilaciones, que sólo en determinadas épocas sin bombeos mantiene niveles similares al anterior.

Las tendencias del acuífero confinado (figura 9) muestran descensos comprendidos entre 5 m/año entre 2001 y 2006 para la zona más septentrional próxima al río Guadalimar (sondeo nº 38, La Peñuela) y 12 m/año en la zona meridional (sondeo 34,

Cuadro nº 3.- Medidas piezométricas del proyecto

Id	Nombre	Nivel (16 al 20/07/06)	Nivel (16 al 18/08/06)	Nivel (18 al 20/09/06)	Nivel (25 al 27/10/06)	Nivel(15 al 17/11/06)	Nivel(19 al 21/12/06)	Observaciones	Dif. Prof. Nivel Borde Tub/caja
21	El Porvenir I	444.00	444.00	445.00	446.00	445.00	445.50		
25	Piezómetro Camino	169.95	173.64	172.08	170.19	161.39	134.92		
26	Cabeza Alba	214.36	215.65	216.32	216.35	216.6	215.66		
32	Pichilín I (viejo)	323.99	326.1	327.7	330.36	323.2	321.62		
34	La Imagen II (Caseta)	332.00	336.00	337.00	335.00	322.00			
35	La Imagen I (balsa)	318	321						
38	La Peñuela I	92.25	92.63	93.00	92.23	92.17	92.02		
40	La Caleruela							Anulado por cambio de instalación. Sin tubería piezométrica	
47	El Puntal	395	395	396	397	397	397		
102	Esperanza Lara y otros	167	167.8	168	168	169			
72	El huerto	229.73	235.29	234.22	234.5	232.22	230.07	Los datos de nivel de agosto y septiembre de 2006 son tomados en regimen dinámico.	
S-1	Cruz de Marina	13.93	13.94	13.83	13.86	13.91	13.96		0.26
S-2	Cortijo del Mojino	29.33	29.34	29.35	29.58	29.64	29.69		0.28
S-3	Las Pulgas	66.23	66.26	66.27	66.43	66.35	66.41		0.11
S-4	Los Lobos	62.4	62.94	63.46	63.95	64.05	64.35		0.13
S-5	Loma del Robledo	55.67	56.17	57.07	58.36	58.14	58.67		
S-6	Arroyo del Mostazar 1	33.58	33.55	33.75	35.03	35.83	36.83		0.26
S-7	Embalse Olvera 1	30.78	31.09	31.36	31.59	31.62	31.63		0.1
S-8	Avenázar.- Maesto Ponce	13.29	13.38	13.45	13.57	13.61	13.65		0.28
S-9	Huerta Oliva	31.98	32.27	32.62		33.26	33.43		0.06
S-10	Arroyo del Mostazar 2	38.98	38.25	38.44	44.31	42.93	42.83		
S-11	Embalse de Olvera 2	29.36	29.77	30	30.27	30.29	30.3		
S-13	Piezómetro Camino 2	121.19	121.35	121.39	121.33	121.11	120.11		0.17
S-14	Arroyo del Mostazar 3	33.31	33.56	33.55	34.42	36.01	44.86		0.25

Nota: En los piezómetros del Guadalimar (S1 a S14) todas las medidas se refieren al borde de la tubería metálica del sondeo

**FIGURA 8.- ACUÍFERO CARBONATADO DE UBEDA. EVOLUCION PIEZOMETRICA 2001-2006
(Sondeos más representativos de la Red de Control)**

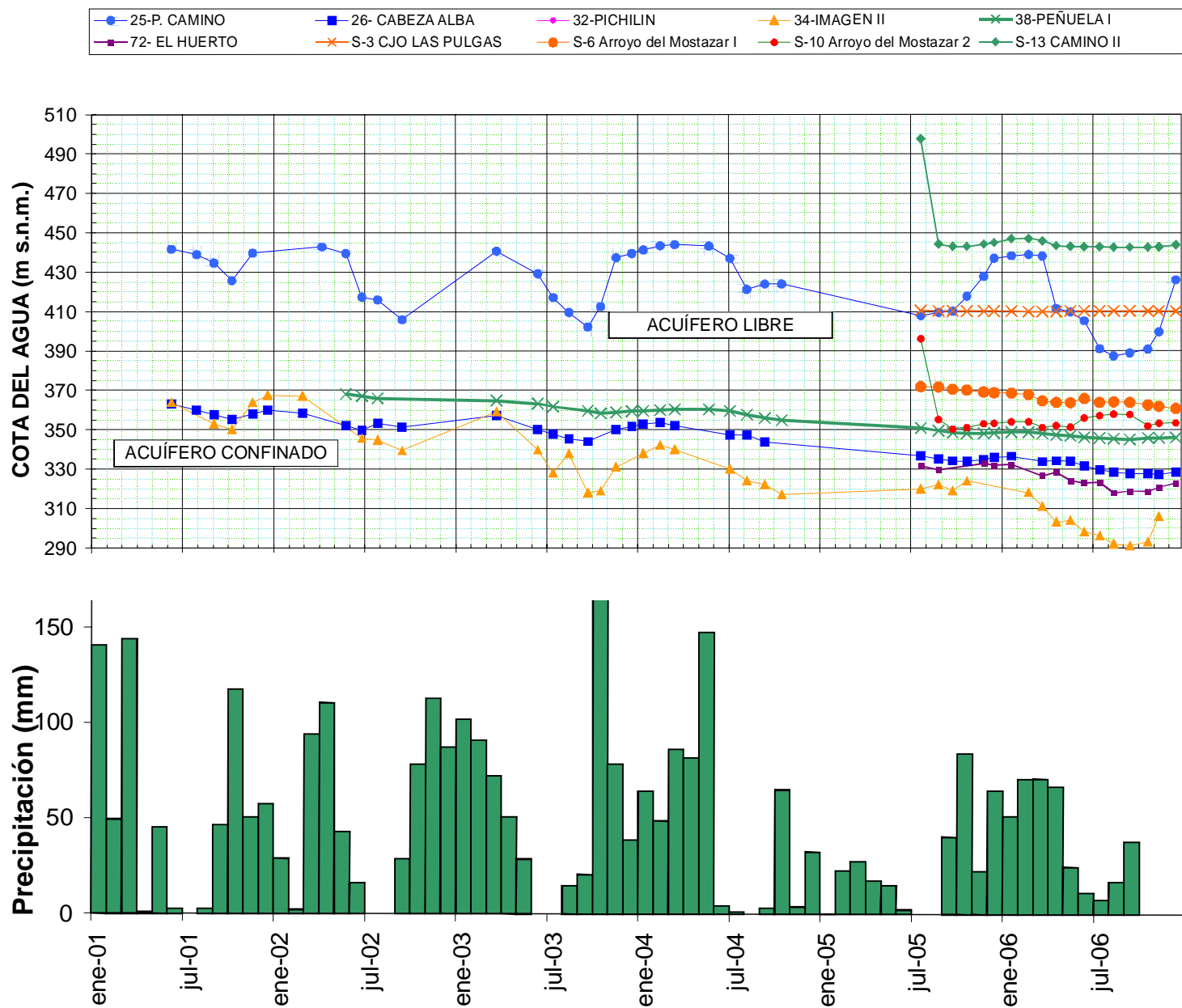


FIGURA 9.- ACUÍFERO CARBONATADO DE UBEDA. EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA 2001-2006
 (Sondeos más representativos del acuífero confinado)

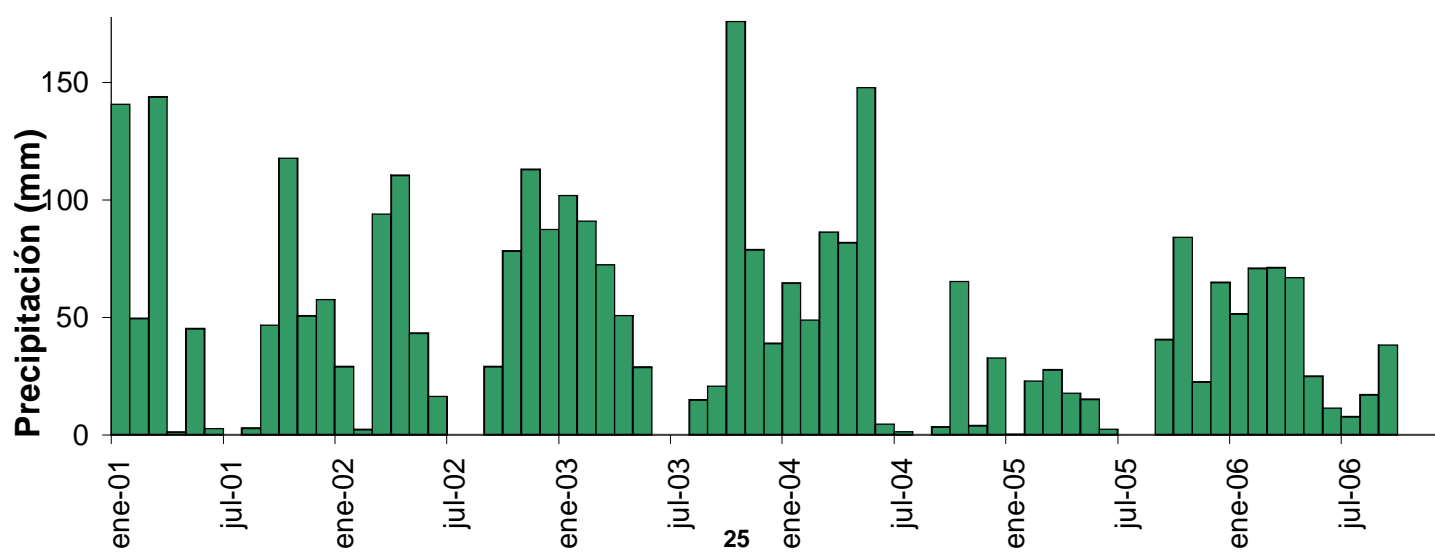
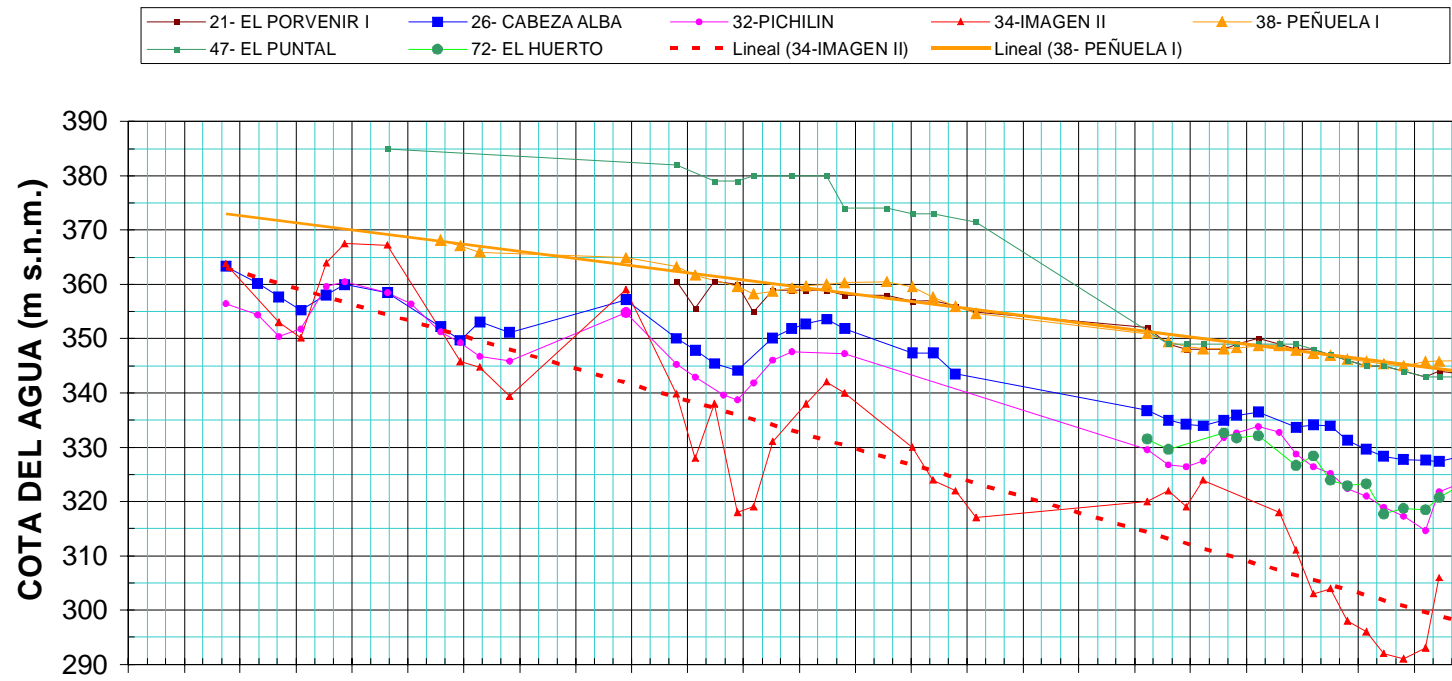
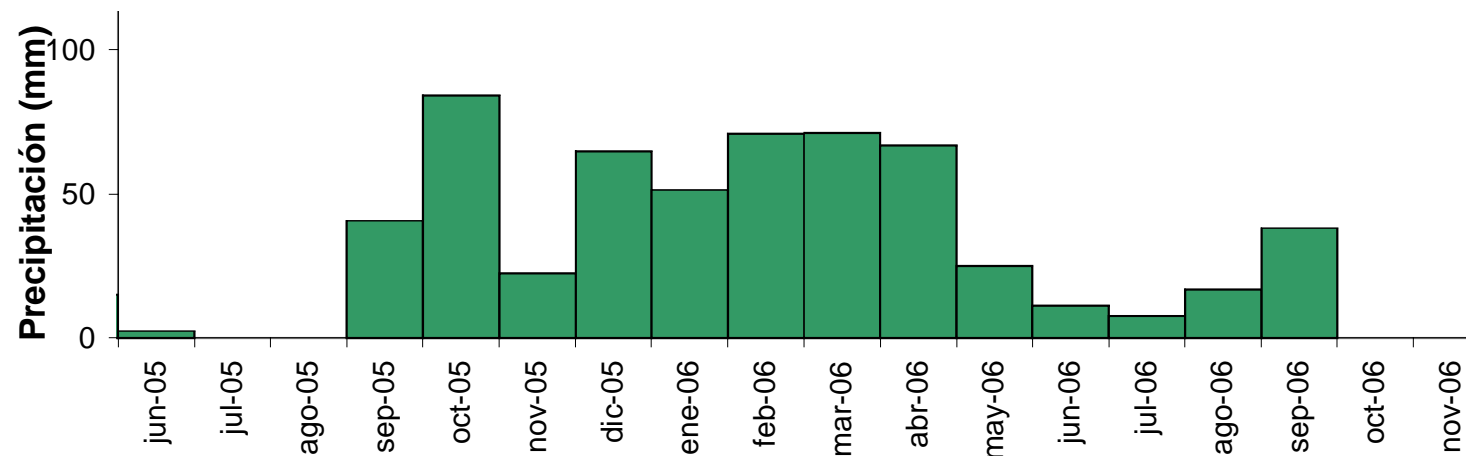
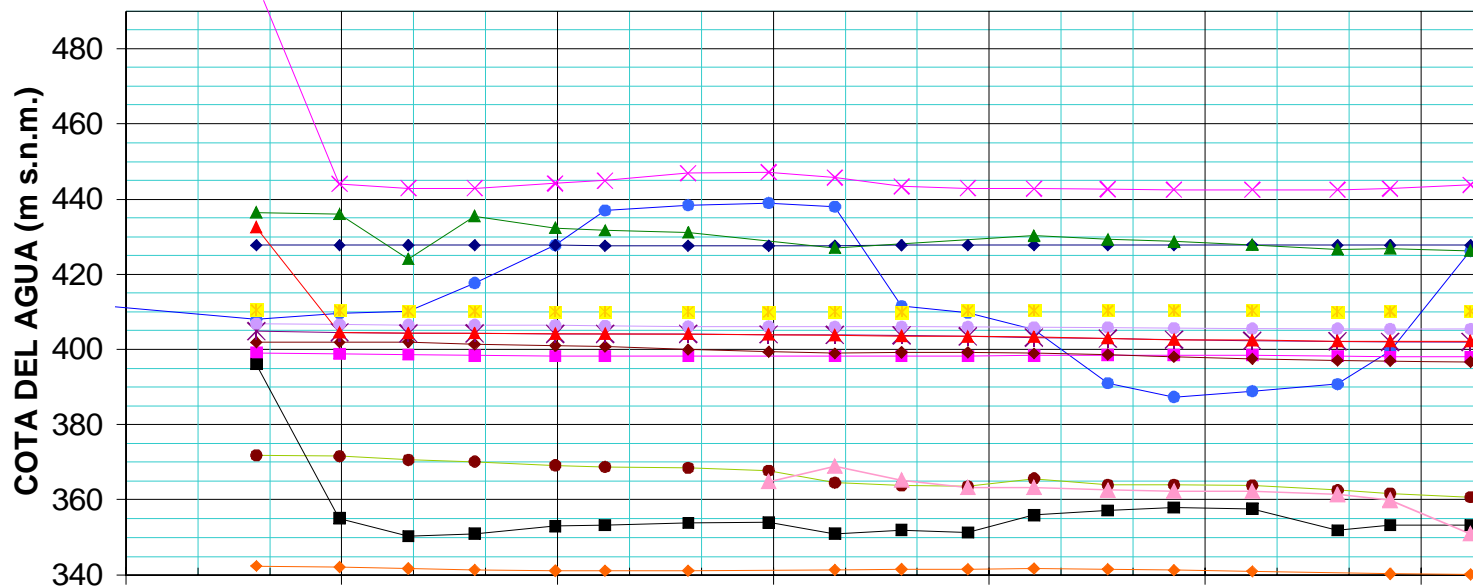
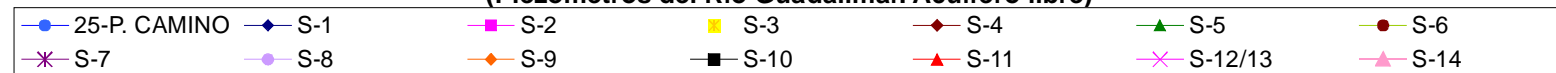


FIGURA 10.- ACUÍFERO CARBONATADO DE UBEDA. EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA 2005-2006

(Piezómetros del Río Guadalimar. Acuífero libre)



La Imagen II), en la que además parece ser que las oscilaciones estacionales debidas a la época de riego son más amplias cada año. Aunque al tratarse de un acuífero confinado y un periodo con varios años secos podría interpretarse aún como una situación de adaptación a un nuevo equilibrio, la tendencia general más bien podría indicar ya un desequilibrio entre alimentación y descargas por bombeo, dada la continuidad de los descensos durante algo más de 5 años.

Llama la atención la evolución del sondeo El Puntal (nº 47), que al principio de la época de control mantenía un paralelismo con el de La Peñuela pero con una diferencia de cota del agua de unos 20 metros, mientras que a partir de Julio de 2005 muestra cotas idénticas a éste, habiendo descendido los 20 metros de diferencia en menos de un año, si bien coincide con un periodo sin datos piezométricos. En principio no se encuentra una explicación clara a tal fenómeno salvo la posible existencia de bloques mal intercomunicados entre sí dentro del acuífero o incluso niveles colgados. En principio la hipótesis más probable es que las primeras medidas reflejen niveles colgados por el interior del sondeo que hayan dejado de tener influencia.

Un último aspecto a destacar, en el acuífero confinado, es el progresivo aumento de gradiente en sentido N-S que se deduce de los datos piezométricos. Así, si se comparan los niveles de los piezómetros de La Peñuela y La Imagen, separados unos 13,3 km, se observa que el gradiente hidráulico entre ellos en época sin bombeos en el año 2002 era casi nulo (0,02 %), mientras que en Noviembre de 2005 ha pasado a un 0,2 %. De igual forma al final de las campañas de bombeos el gradiente observado entre ellos se incrementa del 0,15- 0,2 % al 0,4 % entre Octubre de 2001 y Septiembre de 2006.

En el acuífero libre los datos abarcan solo algo más de un año, por lo que son menos representativos. En cualquier caso la tendencia general es de equilibrio en la zona más septentrional y con una cierta tendencia descendente en las inmediaciones del río, si bien es más patente en piezómetros que corresponden a niveles colgados (S-6 y S-14) mientras que en S-10, muy próximo a los anteriores y que marca el nivel regional, la tendencia es igualmente de equilibrio. En este piezómetro es en el que se detectó la entrada de unos 20 l/s por el interior del entubado, procedentes de un nivel colgado en relación con el río, y ya se ha visto que presenta cotas del agua similares a las del confinado en la zona de La Peñuela, aunque con ascensos relativos que se interpretan como recarga del río.

6.- TRATAMIENTO DE DATOS HIDROGEOLÓGICOS, PIEZOMÉTRICOS, HIDROQUÍMICOS E ISOTÓPICOS.

Geometría del techo y muro del acuífero carbonatado.

Dentro de este capítulo se ha procedido, en primer lugar, a un análisis de los datos proporcionados por las nuevas columnas de sondeos obtenidas dentro del proyecto “*Revisión del inventario de puntos de agua y realización de labores de apoyo en el estudio hidrogeológico del acuífero jurásico profundo de la Loma de Úbeda*” (IGME, julio de 2006), gracias al cual los puntos con datos de columna litológica en el acuífero carbonatado han pasado de 33 a 104, incluidos los 12 piezómetros del Guadalimar que afectan al jurásico. Los ajustes de isobatas e isohipsas del jurásico realizados en el año 2000 se pueden mejorar, evidentemente, con los nuevos datos disponibles, lo que se ha llevado a cabo mediante ajustes por krigeage, con auxilio del programa Surfer.

La información disponible en los ajustes del 2000 consideraba un total de 99 datos, de los que solo 33 eran sondeos, correspondiendo el resto a SEV (47), puntos de apoyo deducidos de prospección sísmica (6) o afloramientos del techo (13). Al haberse incrementado notablemente la información de sondeos y, tras analizar los datos disponibles (168 puntos en total), en los que la información de SEV era en numerosas ocasiones poco congruente con los datos de sondeos próximos, se decidió no utilizar los datos de SEV más que en las zonas de Villanueva del Arzobispo y Úbeda, en las que había escasa información, con lo que finalmente se han utilizado para los ajustes de isobatas e isohipsas del techo del acuífero un máximo de 105 puntos, si bien en esta ocasión 80 corresponden a sondeos, 11 a afloramientos del techo, 8 a SEV y 6 a puntos deducidos de las campañas sísmicas, además de estar todas las coordenadas de sondeos deducidas con GPS. Los nuevos ajustes se consideran por consiguiente más fiables, aunque el número total de puntos utilizados no difiera en gran medida. En el caso de las isohipsas del muro solo se disponía de 23 sondeos con datos de techo y muro más otros 12 (en su mayoría piezómetros del Guadalimar) que solo aportaban la cota del muro del acuífero. Tras comprobar que el espesor medio de los 23 sondeos con datos era de 100 metros, se decidió utilizar para el ajuste los valores resultantes de restar a la cota del techo 100 metros para deducir así la cota del muro en los puntos sin información al respecto. Aunque es una aproximación la calidad del ajuste mejora notablemente por la distribución espacial de la información. La traza supuesta de la falla que desconectaría el

sector de Villanueva del Arzobispo se ha considerado como una línea de ruptura en todos los ajustes.

A pesar del esfuerzo realizado, los mapas de isobatas e isohipsas del techo del jurásico son a grandes rasgos muy similares a los del año 2000, salvo en detalles muy concretos. El mapa de isohipsas del muro, aunque orientativo, es nuevo en esta fase ya que en 2000 solo había 16 puntos con datos y con espesores mínimos poco fiables.

En las figuras 11 a 15 se muestran los resultados obtenidos. En el caso de las isobatas e isohipsas del techo, se han incluido los ajustes realizados en el año 2000 a continuación de los ahora realizados, para facilitar su comparación. Los datos utilizados para todos los ajustes se incluyen en una hoja de cálculo con la documentación técnica del presente proyecto.

Modulación estacional y plurianual de los bombeos para riego

Un segundo aspecto tratado en este capítulo ha sido la distribución de los bombeos a lo largo del año y su variación de años secos a húmedos, como dato de partida para repartir los bombeos realizados sobre el acuífero en el periodo comprendido entre Octubre de 2000 y Septiembre de 2006, que es el periodo en el que se pretende calibrar en transitorio el modelo de flujo en curso de realización.

La modulación anual se basa en datos del estudio "Superficie de los Cultivos de Regadío y sus Necesidades de Riego, en la Demarcación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir" (CHG, Mayo 2005), realizado por Convenio de Colaboración entre la Sociedad Estatal Aguas de la Cuenca del Guadalquivir S.A. (AQUAVIR) y la Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero S.A, estudio muy detallado (123 pags) y que se puede consultar en internet, y en un método estimativo propio que considera la climatología de la zona y la tipología de los años secos, medios y húmedos según las precipitaciones caídas en la época de riego normal (de Abril a Octubre).

Los datos utilizados y los resultados de la clasificación de los distintos años se muestran en los cuadros 4 a 7 adjuntos.

Figura 11:- Isobatas del Jurásico (A3- de Surfer) año 2006

Figura 12:- Isobatas del Jurásico (A3- de Surfer) año 2000

Figura 13.- Isohipsas del techo (A3 de Surfer)-2006

Figura 14.- Isohipsas del techo (A3 de Surfer)-2000

Figura 15.- Isohipsas del muro del Jurásico (A3, de Surfer). 2006

Cuadro 4.- Información del estudio "Superficie de los Cultivos de Regadío y sus Necesidades de Riego, en la Demarcación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir" (CHG, Mayo 2005) (1)*					
ÁMBITO	Superficie (ha)	Dotación (m ³ /ha/a)	Necesidades max (m ³ /ha/a)		
			Seco	Normal	Húmedo
Sist. Explot. 05105 (Jaén)	19734,4	2554	5701	4221	2833
Origen subterráneo-Jaén	3581,5	1843	5054	3630	2373
Olivar-Jaén	17816	2213	5554	4032	2569
Olivar-Guadalquivir	322257	2281	5654	3678	2807
Sist. Explot. 05105 (Jaén) (%)			135,1	100	67,1
Origen subterráneo Jaén (%)			139,2	100	65,4
Olivar Jaén (%)			137,8	100	63,7
Olivar Guadalquivir (%)			153,7	100	76,3
MEDIA GLOBAL Y % RELATIVO		2223	141,4	100	68,1

(1)*.- Convenio de Colaboración entre la Sociedad Estatal Aguas de la Cuenca del Guadalquivir S.A. (AQUAVIR) y la Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero S.A.

Como se observa, las necesidades máximas de riego estén comprendidas entre un mínimo del 63'7 % en años húmedos y un máximo del 153'7 % en años secos en los distintos ámbitos de estudio considerados en relación con el olivar, que se consideran representativos de años extremos. Para años secos y húmedos se pueden considerar válidos valores intermedios del 141'4 % y 68'1 %, respectivamente. En definitiva los volúmenes de riego utilizados tendrían la siguiente variación según el tipo de años.

Cuadro 5.- Modulación anual de bombeos		
Criterios años	% Vol r.s.m.	Época de riego
a) Años muy húmedos	63,7	Mayo-Septiembre (5 meses)
b) Años húmedos	68,1	Abril-Septiembre (6 meses)
c) Años medios	100	Abril-Octubre (7 meses)
d) Años secos	141,4	Marzo-Octubre (8 meses)
e) Año extremo seco	153,7	Marzo-Noviembre (9 meses)

Para clasificar los distintos años según su tipología en la zona de estudio se han calculado las precipitaciones netas caídas en la época normal de riego (de Abril a Octubre) comparándolas con las caídas en un año medio (cuadro nº 6).

Dentro del periodo de 6 años hidrológicos estudiado habría un año extremo húmedo, otro extremo seco, dos secos, uno húmedo y uno medio.

Aplicando los porcentajes de volumen de riego sobre la media antes obtenidos se llega a los resultados que se muestran (cuadro nº 6), calculados a partir de un volumen medio de riego en del acuífero de 35'6 hm³/año deducido en estudios anteriores.

Cuadro 6.- PRECIPITACIONES EN ESTACIÓN 5029 (Castellar de Santistéban) y años tipo																	
AÑO	O	N	D	E	F	M	A	M	JN	JL	A	S	TOTAL	P anual en época riego (P _{aer} ; mm)	% P _{aer} sobre P _{mer} (46 años)	% Vol. riego sobre media	Vol. riego (hm ³ /a)
00-01	86,5	95,2	123,6	140,6	49,4	143,8	1,1	45,1	2,6	0,0	2,8	46,7	737,4	184,8	72,8	141,4	50,318
01-02	117,7	50,6	57,5	28,9	2,1	93,8	110,4	43,2	16,3	0,0	0,0	29,0	549,5	316,6	124,7	68,1	24,237
02-03	78,3	112,9	87,4	101,7	90,9	72,3	50,8	28,8	0,0	0,0	14,8	20,7	658,6	193,4	76,2	141,4	50,318
03-04	175,8	78,6	38,8	64,4	48,8	86,2	81,6	147,7	4,5	1,2	0,0	3,3	730,9	414,1	163,0	63,7	22,666
04-05	65,2	3,9	32,6	0,2	22,9	27,6	17,7	15,1	2,4	0,0	0,0	40,6	228,2	141,0	55,5	153,7	54,687
05-06	84,2	22,4	64,8	51,4	70,8	71,1	66,8	24,9	11,3	7,6	16,9	38,1	530,3	249,8	98,4	100,0	35,575
Media 00-05	101,3	60,6	67,5	64,5	47,5	82,5	54,7	50,8	6,2	1,5	5,8	29,7	572,5	250,0	98,4	100,0	35,575
Media 60-05	68,0	72,4	91,4	77,5	81,0	63,9	67,1	49,7	27,6	5,0	7,6	28,9	640,1	254,0	100,0	sd	sd

Como se observa, el resultado final indica que en el periodo modelizado, para unos bombeos teóricos medios de partida valorados en abstracto en 35'6 hm³/a, los bombeos reales por años habrían estado comprendidos entre 22,7 y 54,7 hm³/a, con una media real en esos años de 39,6 hm³/a. En principio tal resultado no parece disparatado, según el conocimiento que se tiene de la zona, aunque la metodología es inevitablemente teórica y aproximada. La única forma de contrastar o mejorar esos resultados serían nuevas labores de campo, recopilando y analizando exhaustivamente los datos de consumos eléctricos de un mínimo de 50 pozos representativos para todo el período que se quiera y distribuidos por meses o bimestres si es posible.

Para el reparto mensual de los bombeos, y considerando las costumbres observadas en la zona, se ha creído conveniente repartir los bombeos en un número variable de meses entre 5 para el año extremo húmedo y 9 en años extremos secos, con valores intermedios en el resto, siempre a partir de los 7 meses que constituyen la campaña de riego normal. Los porcentajes de bombeo resultantes para cada mes y año se muestran en el cuadro n° 7.

Cuadro 7.- REPARTO MENSUAL-TIPO DE BOMBEO SEGÚN PRECIPITACIONES EN LA ÉPOCA DE RIEGO (%)					
Mes/Tipo año>>>	Muy húmedo	Húmedo	Normal (1)*	Seco	Muy seco
Octubre	0,00	0,00	10,25	8,00	7,00
Noviembre	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00
Diciembre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Enero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Febrero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Marzo	0,00	0,00	0,00	4,00	3,50
Abril	0,00	5,18	4,65	8,00	7,00
Mayo	17,27	16,38	14,70	13,00	12,00
Junio	18,57	17,60	15,80	14,00	13,00
Julio	22,33	21,17	19,00	19,00	18,00
Agosto	21,27	20,17	18,10	18,00	17,00
Septiembre	20,56	19,50	17,50	16,00	16,50
Total anual (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Nº meses riego	5	6	7	8	9
(1)*.- La misma fuente y distribución del reparto anterior (informe 2004)					

Los bombeos así deducidos se han extrapolado a nivel mensual con igual criterio y para el periodo modelizado (Octubre 2000 a Septiembre 2006) para los 233 puntos de explotación hasta la fecha detectados sobre el acuífero, calculados en m³/mes y m³/día para su utilización en el modelo en curso. Los resultados obtenidos se incluyen en una hoja de cálculo con la documentación técnica del proyecto.

Análisis de datos hidroquímicos e isotópicos

La última actividad contemplada en este capítulo era el tratamiento de los datos hidroquímicos e isotópicos generados en el muestreo de Julio de 2005 dentro del ya citado proyecto de “*Revisión del inventario de puntos de agua y realización de labores de apoyo en el estudio hidrogeológico del acuífero jurásico profundo de la Loma de Úbeda*” (IGME, julio de 2006). En el mismo fueron objeto de análisis químicos e isótopos estables (Deuterio y O₁₈) 30 puntos repartidos por el acuífero. Los resultados analíticos de todo tipo se adjuntan en una hoja de cálculo con la Documentación Técnica del presente proyecto.

En primer lugar se presenta un diagrama de Piper de los puntos muestreados (figura 16), en el que se distinguen por su facies sulfatada los puntos que alcanzan el Trías bajo las calizas y los del acuífero libre por la escasa presencia de sodio y cloro, que se incrementan continua y gradualmente en el confinado, de forma similar a lo ya establecido en anteriores muestreos, conforme se avanza a posiciones más meridionales del acuífero.

En el diagrama de Piper de la figura 17 se han seleccionado los puntos más representativos del acuífero libre, los del acuífero confinado más próximos al río Guadalimar y cercanos a la zona en que el río es influente, y se han añadido siete análisis del río Guadalimar y uno correspondiente a un nivel colgado que se tomó en el reconocimiento de sus márgenes. Se indican en el diagrama las distancias en línea recta desde los puntos considerados en el acuífero confinado hasta el río Guadalimar.

Como se puede observar en dicho diagrama, las aguas del río Guadalimar, las del acuífero libre e incluso las del confinado más próximas al río son muy similares en sus facies hidroquímicas, pudiendo hablarse en cierto modo de un proceso de mezcla entre el río y el acuífero libre para las situadas a menos de 2 Km. Conforme se avanza hacia el sur-sureste, alejándose del río, las aguas se enriquecen rápidamente en cloruros y sodio, manteniendo casi intacta su proporción calcio/magnesio y con alguna variación de la relación sulfatos/bicarbonatos, tal como se reflejaba ya claramente en el diagrama general (figura 16). El único punto disponible correspondiente a un nivel colgado se diferencia por su mayor carácter carbonatado y bajo contenido en sulfatos, si bien por lo que respecta a los cationes tiene una composición idéntica a la del acuífero libre, dentro de su variabilidad. Son aguas con muy escasa circulación por materiales carbonatados del acuífero.

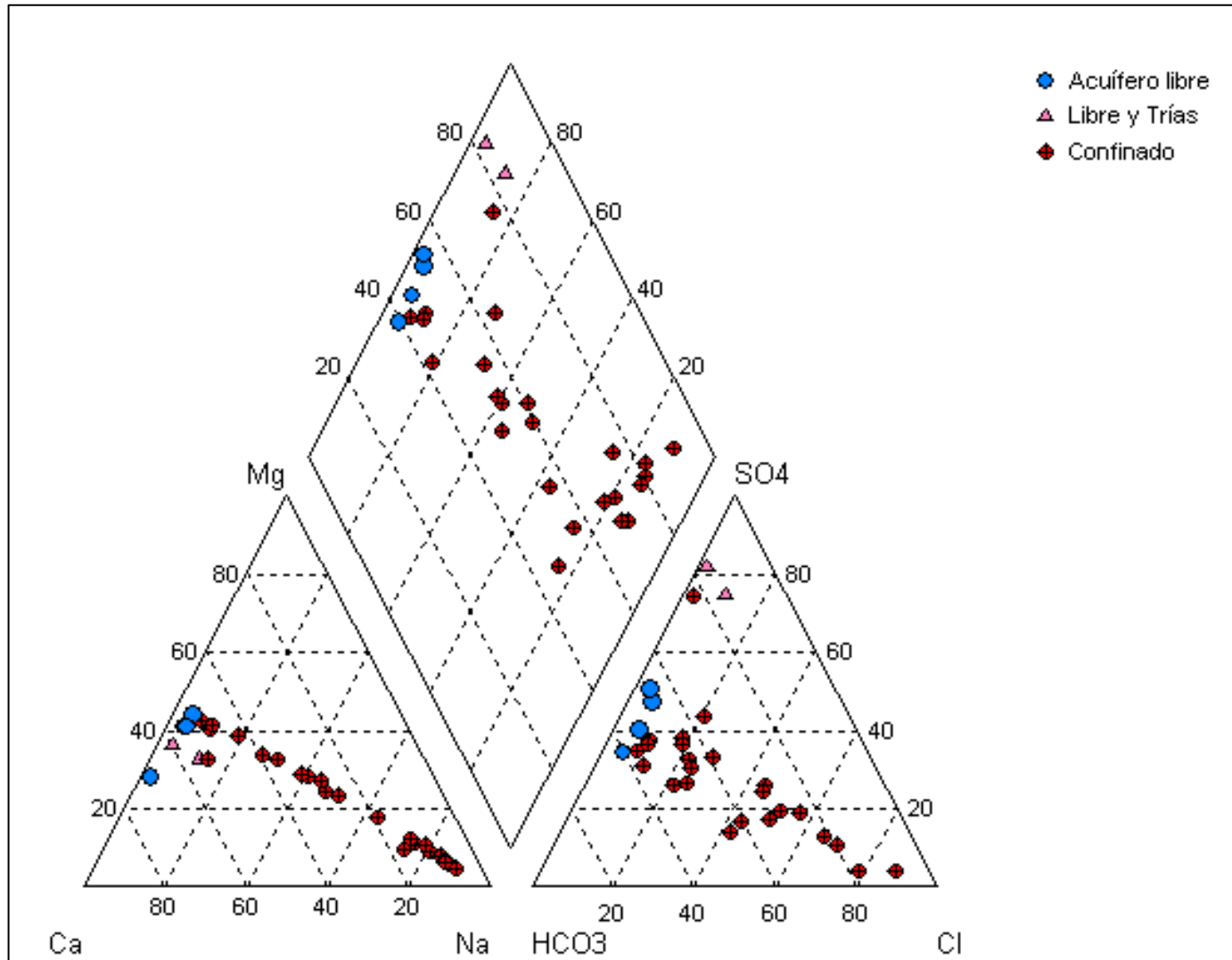


Figura 16.- Diagrama de Piper de la Campaña de muestreo de Julio de 2005

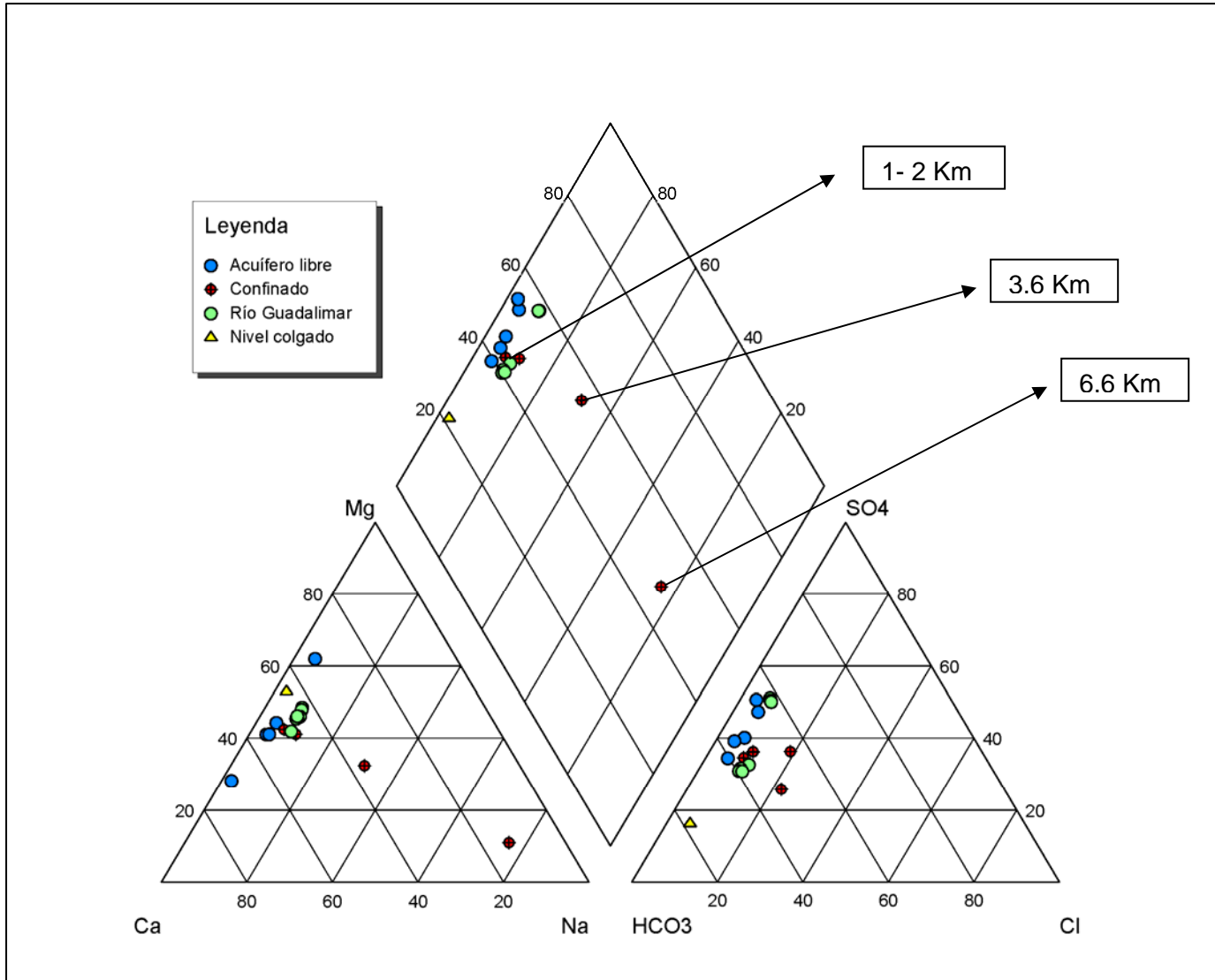


Figura 17.- Diagrama de Piper del entorno del río Guadalimar

Hay que destacar que los puntos de muestreo no estaban identificados más que con un número de orden, sin hacer referencia a inventarios preexistentes (IGME, CEDEX, CHG o puntos Flash de proyectos anteriores), ni figura en la fuente original el acuífero captado, por lo que ha sido necesario identificar éste último según la posición, aunque no es posible comparar los resultados de este muestreo puntualmente con los de muestreos anteriores para deducir la posible evolución temporal del agua.

En las figuras 18 y 19 se han representado los valores de la relación Deuterio/Oxígeno-18 correspondientes al muestreo de Julio de 2005 y los mismos comparados con los resultados obtenidos por el CEDEX en 2002.

En ambos casos las determinaciones del acuífero libre y confinado quedan en líneas de mezcla entre la recta local y la correspondiente al río Guadalimar, con valores similares en ambas campañas a grandes rasgos, si bien parece observarse un cierto desplazamiento general de la nube de puntos de muestreo en 2005 hacia aguas más pesadas, que habría que interpretar con precaución al no ser los mismos puntos de muestreo.

Con las determinaciones analíticas de componentes principales se han construido sendos mapas de isolíneas para la temperatura, conductividad, sulfatos, cloruros, bicarbonatos, calcio, magnesio, nitratos y amonio, que muestran la distribución espacial de estos parámetros en el acuífero (figuras 20 a 35, incluida la primera de ellas que refleja la numeración de los puntos de muestreo utilizados). Dado que el muestreo más completo hasta la fecha en cuanto al nº de puntos en el confinado es el del CEDEX de 2002, se han tomado de informes anteriores las isolíneas del mismo, que se incluyen a continuación de las actuales para facilitar su comparación para los parámetros en que estaban disponibles. En los casos en que para tal muestreo no se disponía de isolíneas se incluyen las correspondientes al muestreo del IGME de Agosto de 2004, de alcance más limitado por sus fines específicos de localizar aguas potables para uso urbano, por lo que se centró en la zona más próxima al río Guadalimar y a las conducciones generales del Consorcio de la Loma de Úbeda. Los nuevos mapas obtenidos confirman, en general, la distribución espacial deducida en campañas de muestreo anteriores (IGME 2000 y 2004, CEDEX 2002) con diferencias que se pueden considerar puntuales debidas a anomalías locales y a la diferente situación y número de los puntos de muestreo utilizados en cada campaña, que también se hicieron con objetivos diferentes en cada caso.

FIGURA 18.- Relación Deuterio-O18 (Muestreo Campaña IGME 2005)

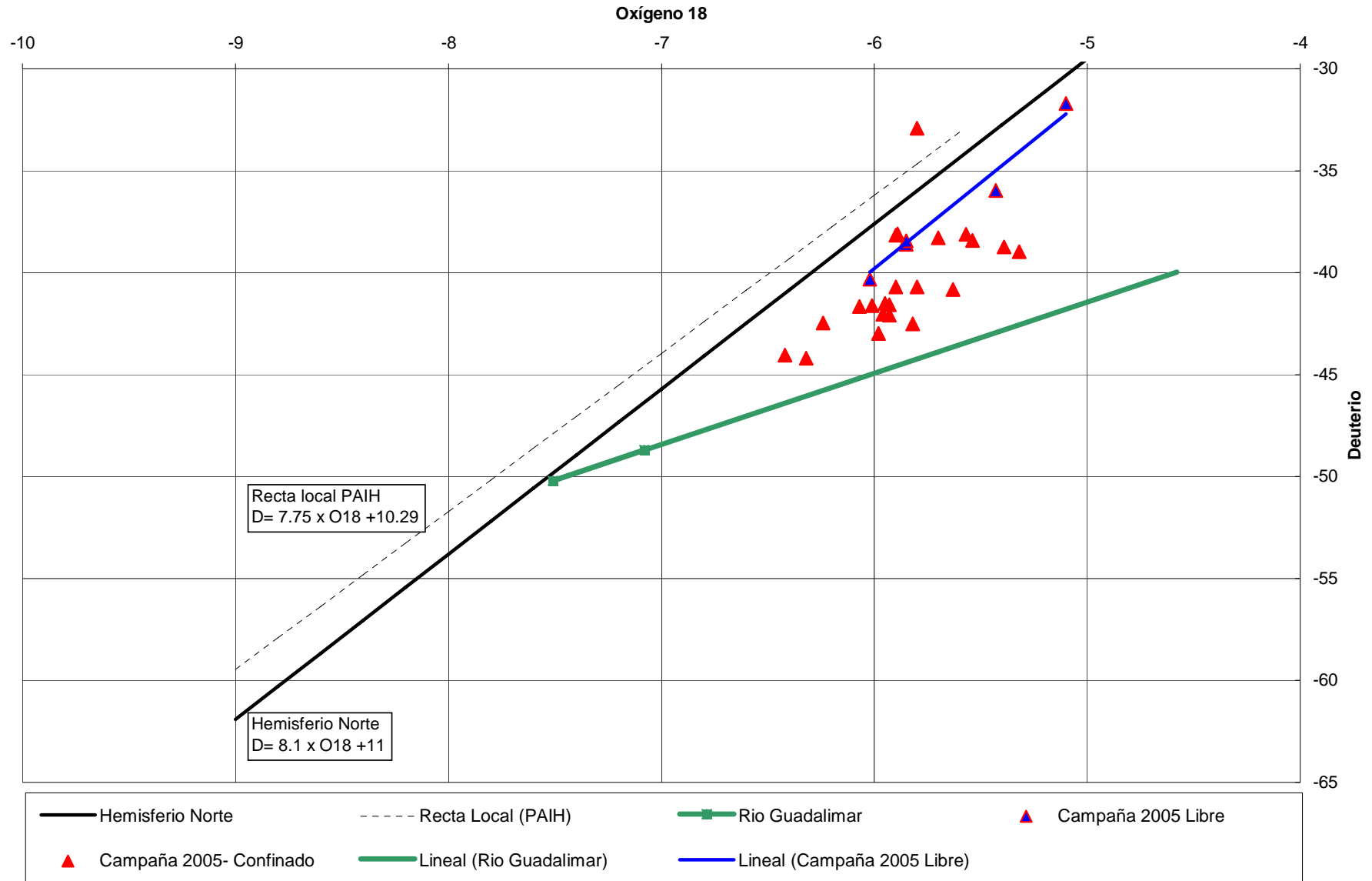
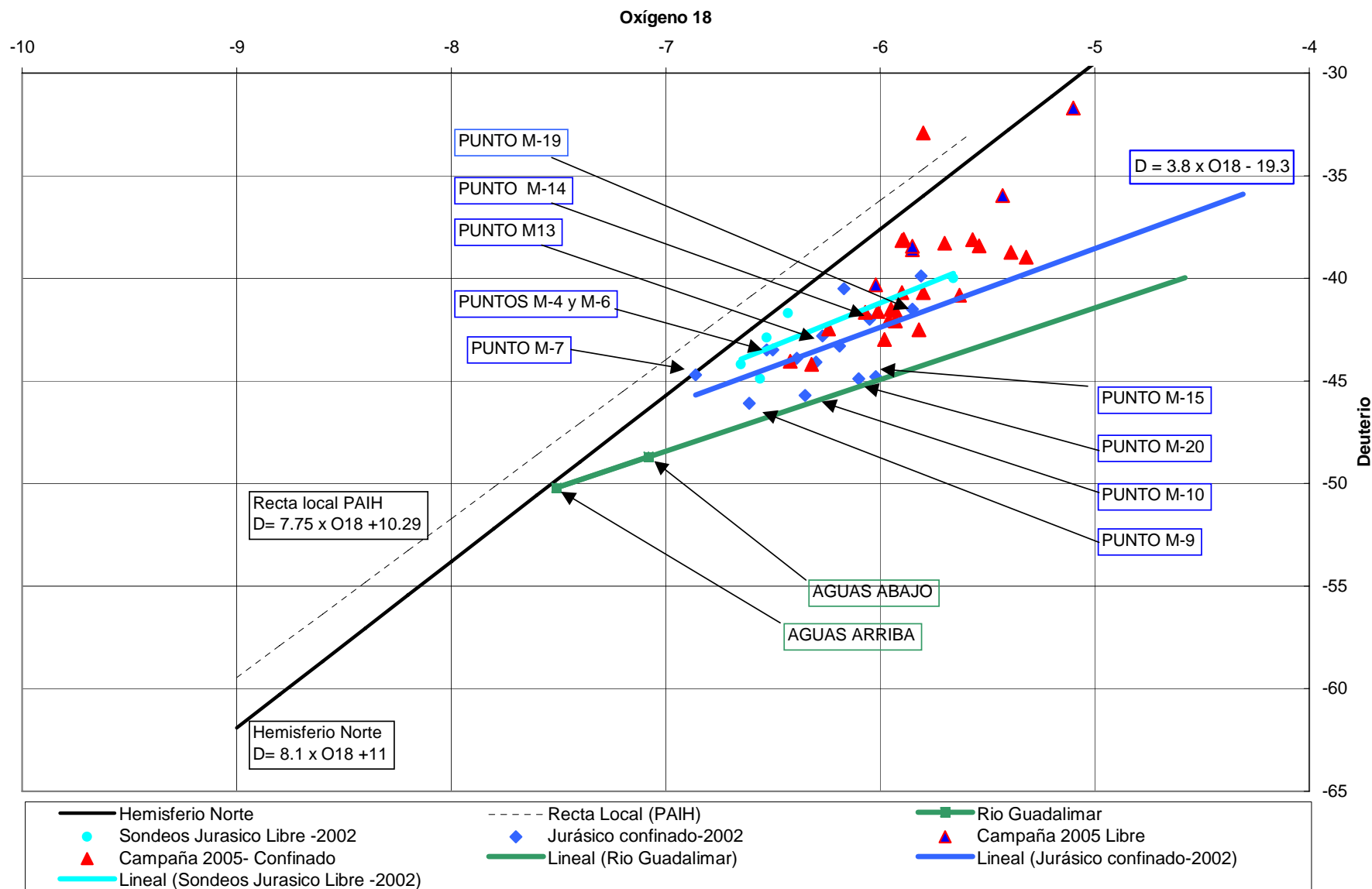


FIGURA 19.- Relación Deuterio-O18 (Muestreo CEDEX 2002 y Campaña IGME 2005)



Figuras 20 a 35 (A3 de Surfer) 16 páginas A3 de mapas de isolíneas.

Las isotermas (figuras 21 y 22) muestran valores de la temperatura del agua comprendidos entre algo menos de 25 °C en el entorno próximo al río Guadalimar hasta más de 40 °C en el extremo meridional, al sur de Torreperogil, con una disposición general de las isolíneas coherente con la geometría del acuífero deducida de las isobatas e isohipsas del techo y un trazado muy similar al deducido en estudios anteriores, especialmente si se considera que no son idénticos los puntos de muestreo. En el muestreo de 2002 (figura 22) se llegaron a medir temperaturas superiores a 50 °C, al muestrearse puntos más meridionales.

Las isolíneas de conductividad del agua (figura 23) muestran unos valores generalizados comprendidos entre 1000 y algo más de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el acuífero, congruentes con los deducidos en anteriores muestreos (figura 24), pero se ven bruscamente modificadas en torno a los puntos nº 3 (El Ahorcado) y 23 (Camino de Graná), que presentan valores anómalos de 4810 y 6080 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. A ese respecto hay que advertir que ya se han detectado en esas zonas pozos cuya conductividad cambia sensiblemente con el tiempo de bombeo, de manera que apenas arrancados dan valores superiores a 6000 y al poco tiempo de bombeo (15-30 minutos) han bajado a menos de 2000, probablemente por fenómenos de mezcla de aguas de diferentes niveles productivos. Tal puede ser el caso del nº 23, próximo a los de Camino del Cerro (C.R. Flechet-Cañada del Armero) y La Mina (C.R. Tosaires-Las Cabañas), en los que durante el bombeo de ensayo realizado en Marzo de 2003 pudieron comprobarse valores de conductividad de 7700 a 8400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ recién arrancados y que bajaban a 1600-1700 tras menos de media hora de bombeo continuo. Estos fenómenos deberían ser objeto de una investigación específica al respecto, en sondeos en los que se disponga de columna litológica preferiblemente y con muestreos realizados tras un seguimiento de la conductividad un tiempo prudencial. Entretanto los valores así obtenidos no se consideran representativos del acuífero sino anomalías puntuales.

Las líneas de isocontenidos en sulfatos (figura 25) han sido las más variables en las distintas campañas de muestreo, condicionadas generalmente por puntos anómalos. En la presente campaña hay un predominio casi generalizado de valores comprendidos entre 100 y 250 mg/l, característica común con otros muestreos anteriores, así como una tendencia a disminuir hacia el Sur, en la zona en que hay ambiente reductor. No obstante, la existencia de dos puntos próximos al río Guadalimar, que alcanzan valores próximos o superiores a 1000 mg/l (nºs 36 y 39) y que captan el Trías en profundidad, cambia totalmente la disposición de las isolíneas y hacen que sean poco

comparables con campañas previas (figura 26). Quizá parece deducirse un cierto aumento general del contenido en sulfatos entre 2002 y 2005 en el acuífero confinado y, de hecho, las determinaciones analíticas de 2005 dan un promedio de 174 mg/l con 22 puntos de muestreo mientras que las del CEDEX en 2002 dan 145 mg/l con 18 puntos muestreados. Ello podría interpretarse como una disminución relativa del ambiente reductor por la mezcla con aguas más jóvenes, pero se insiste en la precaución que impone el tratarse de diferentes puntos de muestreo.

Por lo que respecta a las concentraciones en cloruros (figura 27) la tónica general y la disposición de las isóneas es similar a la de campañas anteriores (figura 28), con valores predominantes entre algo menos de 100 y 350 mg/l, que aumentan hacia el Sur y zona central del acuífero confinado. No obstante en esta campaña aparecen dos zonas claramente anómalas, una en el sector centro-meridional, entre Torreperogil y Santo Tomé, donde se superan localmente los 1000 mg/l (en el muestreo del CEDEX en 2002 ya se alcanzaban valores de 500-600 mg/l) y otra al sur de Torreperogil, donde se llegan a medir 1700 mg/l. Sobre estas anomalías, especialmente la de Torreperogil (punto 23, Camino de Graná) cabe hacer las mismas consideraciones ya citadas para la conductividad, por la presencia de puntos que cambian bruscamente de salinidad durante el bombeo, por causas desconocidas, lo que impide sacar conclusiones más precisas sobre la representatividad de tales anomalías, si bien en la de Santo Tomé-Torreperogil si hay varios puntos próximos con valores progresivamente crecientes, que apoyarían la existencia de un sector con mayores concentraciones, dependiendo los máximos detectados hasta la fecha del alcance de los muestreos hacia el sur de dicha zona. Por ello, aunque aparentemente podría deducirse de las isóneas un aumento relativo de conductividad entre 2002 y 2005, si se elimina el valor anómalo del punto 23 en 2005 el promedio de cloruros es muy similar entre ambas campañas (199 mg/l en 2002 y 192 mg/l en 2005).

Las concentraciones en bicarbonatos (figura 29) son bastante constantes en el confinado, comprendidas en general entre 300 y 350 mg/l, con una cierta tendencia al descenso hacia la parte suroccidental, visible en unos 3 puntos de muestreo, y una tendencia al aumento hacia el sureste (entre Villacarrillo y Santo Tomé), donde se superan siempre los 350 mg/l. El punto 28 (Juan Romero) se puede considerar anómalo en su entorno, con un valor de 492 mg/l, máximo del muestreo, que pudiera estar provocado por mezcla de aguas con el acuífero superior del Mioceno, aunque no se puede concluir nada al respecto. No hay referencias de isóneas de este parámetro en muestreos anteriores.

Las isolíneas de contenidos en calcio (figura30), también de nuevo trazado en este proyecto, muestran una disposición lógicamente coherente con las de sulfatos, con una tendencia general descendente hacia el sur y centro del acuífero confinado, con dos puntos claramente anómalos y que deben captar el Trías en profundidad, también coincidentes en sus anomalías de sulfatos (nºs 36 y 39). Salvo en la zona próxima al río Guadalimar las concentraciones de calcio son inferiores a 100 mg/l y decrecientes hacia el sur.

Las concentraciones del agua en ión magnesio (figura 31) muestran una disposición general de las isolíneas muy similar a las de calcio y sulfatos, ya comentadas, con los puntos 36 y 39 anómalos y que presumiblemente captan el Trías en profundidad y una disminución en el confinado desde valores próximos o inferiores a 60 mg/l en las inmediaciones del río Guadalimar hasta valores cercanos a 10 mg/l en la parte central y meridional del acuífero (al este de Torreperogil). Tampoco se dispone de isolíneas de este parámetro de muestreos anteriores que sirvan de referencia.

Las concentraciones en nitratos (figura 32) también son similares a las de campañas anteriores (figura 33), con valores puntuales en el acuífero libre de 50-100 mg/l por contaminación de actividades agrícolas sobre el acuífero, valores generalizados en el confinado inferiores a 10 (salvo algunos puntos próximos al río Guadalimar) y que llegan a ser nulos hacia el Sur, en la zona de ambiente reductor, si bien en algunos casos de puntos sobre el Mioceno se detectan valores de 34 mg/l (punto 28, Juan Romero), que inducen a pensar que hay mezcla de aguas del acuífero confinado con las del Mioceno calcarenítico, donde sí hay contaminación por nitratos. Como se recordará, dicho punto daba también una anomalía elevada de bicarbonatos. Una vez más los cambios de puntos en cada muestreo y la inexistencia de datos de columna litológica en la mayoría de puntos muestreados dificulta la interpretación general y hace que los trazados de isolíneas cambien en los detalles por valores puntuales presuntamente anómalos o cambios de los puntos muestreados, pero sí es generalizada la desaparición de los nitratos en la zona meridional de ambiente reductor.

El último mapa trazado es el de contenidos en ión amonio (figura 34), que muestra la práctica ausencia de amonio en el acuífero libre y en la mitad septentrional del confinado, mientras que hacia el sur se incrementa progresivamente, hacia la zona con ambiente reductor, alcanzando valores de entre 5 y 10 mg/l si bien en este muestreo, a

diferencia de otros anteriores (figura 35, correspondiente al de Agosto de 2004), se alcanza un máximo de 25 mg/l en el punto presuntamente anómalo nº 23 (Camino de Graná) con un aumento brusco respecto a su entorno y que como se vió puede estar afectado por fenómenos de mezcla de aguas de diferentes niveles productivos. Por lo demás, las concentraciones habituales en la mitad meridional del confinado están comprendidas entre 5 y 10 mg/l en todos los puntos muestreados, similares a los del muestreo de Agosto de 2004.

Granada, Diciembre de 2006.



Fdo: Javier Gollonet Fernández de Trespalacios
Hidrogeólogo

Vº Bº,

Fdo: Antonio González Ramón
Director del Proyecto

ANEJOS

ANEJO 1.- INTERPRETACIÓN DE ENSAYOS DE BOMBEO EN S-10 Y S-11.