

64495
I

ACUERDO DE ENCOMIENDA DE GESTIÓN PARA
EL DESARROLLO Y EJECUCIÓN DE DIVERSOS
PROYECTOS EN MATERIA DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS, ACUÍFEROS, REDES DE
OBSERVACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y
EXPLOTACIÓN DE MASAS DE AGUA

Realización de investigaciones complementarias en la
Loma de Úbeda. Pautas para la sostenibilidad del acuífero

Tomo I. MEMORIA
Capítulos 1 al 8



 Instituto Geológico
y Minero de España



Agencia Andaluza del Agua
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE



DIRECCIÓN GENERAL
DEL AGUA
CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADALQUIVIR



INFORME	Identificación:
	Fecha: Febrero de 2012
TÍTULO	
Realización de investigaciones complementarias en el acuífero de la Loma de Úbeda. Pautas para la sostenibilidad del acuífero. Tomo 1: Memoria. Capítulos 1 al 8 Tomo 2: Memoria. Capítulos 9 y 10 Tomo 3: Anejos	
PROYECTO	
ACUERDO DE ENCOMIENDA DE GESTIÓN PARA EL DESARROLLO Y EJECUCIÓN DE DIVERSOS PROYECTOS EN MATERIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, ACUÍFEROS, REDES DE OBSERVACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y EXPLORACIÓN DE MASAS DE AGUA. Realización de investigaciones complementarias en el acuífero de la Loma de Úbeda. Pautas para la sostenibilidad del acuífero. IGME-CHG-AAA (Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía)	
RESUMEN	
Los trabajos que se incluyen en este documento pretenden mejorar el conocimiento sobre el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos de la Loma de Úbeda. El objetivo fundamental es el establecimiento de límites de explotación del agua subterránea sostenibles, de tal forma que permitan el desarrollo agrario de la zona sin impactos significativos en los acuíferos. Además, se proponen reglas de utilización de los recursos eficaces que permitan la satisfacción de las demandas existentes minimizando el impacto medioambiental. La investigación de los acuíferos implicados se lleva a cabo mediante el seguimiento de la evolución de los niveles piezométricos y a partir del estudio de las características hidroquímicas e isotópicas del agua subterránea, complementado con estudios de la distribución de los puntos de agua existentes, volúmenes de explotación, parámetros hidráulicos y salidas naturales. El proyecto ha contemplado también la mejora del conocimiento geométrico de los acuíferos a partir del estudio geofísico de sondeos desinstalados y de reconocimientos de campo. Los resultados de las investigaciones han servido de base para la elaboración de un modelo tridimensional de flujo, que también se incluye, con el que poder simular distintos escenarios de recarga/explotación para establecer unas reglas de utilización de recursos sostenibles. Además, se ha realizado un modelo de utilización conjunta que integra los recursos superficiales y subterráneos en el alto Guadalquivir y Guadalimar. PALABRAS CLAVE: acuífero profundo, estudios hidroquímicos e isotópicos, evolución piezométrica, gestión hídrica sostenible, modelo tridimensional de flujo, modelo de uso conjunto.	
Revisión	Autor: Antonio González Ramón, Javier Heredia Díaz, Juan de Dios Gómez Gómez, Javier Gollonet Fernández de Trespalacios (Consultor) Alberto Moreno
Nombre: Antonio González Ramón	
Departamento: Investigación y Prospectiva Geocientífica	
Fecha: Mayo 2008	Responsable: Antonio González Ramón

CORREO ELECTRÓNICO

igme@igme.es

RÍOS ROSAS, 23
28003-MADRID
TELÉFONO: 91 349 5700
FAX: 91 442 6216

**REALIZACIÓN DE INVESTIGACIONES COMPLEMENTARIAS EN
LA LOMA DE ÚBEDA. PAUTAS PARA LA SOSTENIBILIDAD
DEL ACUÍFERO**

ÍNDICE

TOMO 1

1 INTRODUCCIÓN

- 1.1 ANTECEDENTES
- 1.2 EQUIPO DE TRABAJO

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

- 2.1 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS
- 2.2 HERRAMIENTAS Y MÉTODOS
- 2.3 TRABAJOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

3 RED PIEZOMÉTRICA

- 3.1 SEGUIMIENTO DE LA RED DE CONTROL PIEZOMETRICA Y ANÁLISIS DE
LA INFORMACIÓN RECOPIADA
 - 3.1.1 Introducción
 - 3.1.2 Antecedentes
 - 3.1.3 Evolución espacial de la superficie piezométrica en los acuíferos de la
Loma de Úbeda desde 1996 hasta la actualidad
 - 3.1.4 Evolución temporal de la piezometría en los acuíferos de la Loma de
Úbeda
 - 3.1.5 Conclusiones
- 3.2 PIEZÓMETROS CONSTRUIDOS POR EL IGME
 - 3.2.1 Introducción
 - 3.2.2 Características técnicas de las obras

4 CAMPAÑAS DE AFOROS EN CAUCES Y MANANTIALES

4.1 INTRODUCCIÓN

4.2 CAMPAÑA DE AFOROS DE 2001

4.3 CAMPAÑAS DE AFORO TRIMESTRALES DE 2003-2004

4.4 REVISIÓN DE DESCARGAS AL RÍO GUADALIMAR EN 2006

4.5 CAMPAÑAS DE AFOROS EN EL ACUÍFERO MIOCENO

5 ENSAYOS DE BOMBEO REALIZADOS EN EL ACUÍFERO Y TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA DE SONDEOS

5.1 ENSAYOS DE BOMBEO REALIZADOS EN EL ACUÍERO

5.1.1 Introducción

5.1.2 Bombeo en La Mina (203670049) y Camino del Cerro (203670063)

5.1.3 Bombeo en S-10 (203640063)

5.1.4 Bombeo en S-11 (203640064)

5.1.5 Bombeo en el sondeo Peñuela III (203640068)

5.1.6 Conclusiones

5.2 TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA DE SONDEOS

6 EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN EL ACUÍFERO MIOCENO

7 CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA E ISOTÓPICA ESPACIAL DE LOS ACUÍFEROS DE LA LOMA DE ÚBEDA

7.1 INTRODUCCIÓN

7.2 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA GENERAL

7.2.1 Características generales

7.2.2 El Acuífero Triásico

7.2.3 El Acuífero Jurásico

7.2.4 El acuífero Mioceno

7.2.5 Los Fenómenos Modificadores

7.2.5.1 REDUCCIÓN DEL SULFATO

7.2.5.2 REDUCCIÓN DEL NITRATO

7.2.5.3 DISOLUCIÓN-PRECIPITACIÓN DEL CARBONATO

7.2.5.4 CAMBIOS DE BASE

7.3 CARACTERIZACIÓN ISOTÓPICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

7.3.1 Oxígeno 18 y Deuterio

7.3.2 Tritio

7.4 CONCLUSIONES

TOMO 2

8 MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

9 MODELO NUMÉRICO TRIDIMENSIONAL DE FLUJO

9.1 INTRODUCCIÓN

9.2 ESTRUCTURA DEL MODELO

9.2.1 Definición del dominio espacial

9.2.1.1 SINOPSIS GEOLÓGICA

9.2.1.2 EVOLUCIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA ACUÍFERO
PROFUNDO DE LA LOMA DE ÚBEDA

9.2.1.3 DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA ACUÍFERO

9.2.1.4 DEFINICIÓN DEL DOMINIO Y DISCRETIZACIÓN ESPACIAL DEL MODELO

9.2.2 Definición del dominio temporal. Discretización

9.2.3 Condiciones de contorno

9.2.3.1 LÍMITE PERIMETRAL DEL DOMINIO DEL MODELO: LÍMITE
IMPERMEABLE

9.2.3.2 HIDROGRAFÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO: CONDICIONES DE RÍO Y
DREN

9.2.3.3 DESCARGA DESDE LAS ESCAMAS ORIENTALES DE LOS CARBONATOS
DE LA Sª DE CAZORLA

9.2.3.4 FRACTURAS REGIONALES: CELDAS INACTIVAS Y PANTALLAS

9.2.4 Parametrización del modelo

9.2.4.1 PERMEABILIDAD, K, Y COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO, S

9.2.4.2 RECARGA DEL SISTEMA ACUÍFERO

9.2.5 Explotación del acuífero: bombeos

9.2.6 Información piezométrica

9.3 MODELACIÓN NUMÉRICA: RÉGIMEN ESTACIONARIO

- 9.3.1 **Introducción: Antecedentes y discusión**
- 9.3.2 **Análisis de la información piezométrica**
- 9.3.3 **Calibración**
 - 9.3.3.1 CRITERIOS DE CALIBRACIÓN
 - 9.3.3.2 AJUSTES ALCANZADOS
 - 9.3.3.3 PARÁMETROS CALIBRADOS
 - 9.3.3.4 BALANCE HÍDRICO: RÉGIMEN ESTACIONARIO
- 9.3.4 **Análisis de sensibilidad**
- 9.4 **MODELACIÓN NUMÉRICA: RÉGIMEN TRANSITORIO**
 - 9.4.1 **Tratamiento de la información piezométrica**
 - 9.4.2 **Definición de la condición inicial**
 - 9.4.3 **Calibración**
 - 9.4.3.1 AJUSTES ALCANZADOS
 - 9.4.3.2 PARÁMETROS
 - 9.4.3.3 PATRÓN DE FLUJO
 - 9.4.4 **Análisis de sensibilidad**
- 9.5 **BALANCE HÍDRICO: PERIODO 2000/01 Y 2005/06**
 - 9.5.1 **Introducción**
 - 9.5.2 **Balance hídrico. Sector: calizas jurásicas libres**
 - 9.5.3 **Balance hídrico. Sector: calizas jurásicas confinadas**
 - 9.5.4 **Balance hídrico. Sector: Trías**
 - 9.5.5 **Análisis comparativo entre los balances hídricos del modelo tridimensional (sistema multicapa) y el correspondiente al modelo bidimensional (carbonatos)**
 - 9.5.5.1 CONSIDERACIONES PREVIAS
 - 9.5.5.2 ANÁLISIS COMPARATIVO. CALIZAS JURÁSICAS LIBRES
 - 9.5.5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO. CALIZAS JURÁSICAS CONFINADAS
- 9.6 **CONCLUSIONES**
 - 9.6.1 **Aportes de los trabajos de modelación numérica**
 - 9.6.2 **Líneas de trabajos futuros**
- 9.7 **REFERENCIAS**

10 ANÁLISIS DE LAS POSIBILIDADES DE UTILIZACIÓN CONJUNTA DEL ACUÍFERO CARBONATADO DE LA LOMA

DE ÚBEDA, LOS EMBALSES SUPERFICIALES Y LA REGULACIÓN GENERAL DEL ALTO GUADALIMAR

10.1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

10.2 METODOLOGÍA

10.3 SISTEMA HÍDRICO DE LA LOMA DE ÚBEDA

10.3.1 Subsistema superficial

10.3.2 Subsistema subterráneo

10.3.3 Aportaciones en régimen natural

10.3.4 Elementos de regulación superficial

10.3.5 Demandas

10.3.6 Retornos

10.3.7 Tomas superficiales y bombeos

10.4 ESTUDIO DE LAS DEMANDAS, USOS Y CONSUMOS

10.4.1 Demandas urbanas

10.4.2 Demandas agrícolas

10.4.3 Demandas no consuntivas. Caudales ecológicos

10.5 SUBSISTEMA SUPERFICIAL. DETERMINACIÓN DE APORTACIONES EN RÉGIMEN NATURAL

10.5.1 División en subcuencas

10.5.2 Datos climáticos y foronómicos

10.5.3 Modelo Precipitación-escorrentía de Témez

10.5.4 Aportaciones en régimen natural

10.6 SUBSISTEMA SUBTERRÁNEO

10.6.1 Acuífero carbonatado de la Loma de Úbeda

10.6.2 Masa de agua subterránea de la Sierra de Cazorla

10.7 SIMULACIÓN DE FLUJO DEL ACUÍFERO DE LA LOMA PARA EL MODELO DE GESTIÓN

10.7.1 Discretización espacial del acuífero

10.7.2 Condiciones iniciales

10.7.3 Condiciones de contorno

10.7.4 Calibración. Parámetros hidrodinámicos

10.7.5 Obtención de los autovalores y autovectores

10.7.6 Definición de las acciones elementales

10.7.7 Definición de los parámetros de control

10.7.8 Obtención de las matrices del modelo de autovalores

10.8 ELEMENTOS DE REGULACIÓN SUPERFICIAL. EMBALSES

10.8.1 Embalse de Guadalmena

10.8.2 Embalse de Giribaile

10.8.3 Embalse de Tranco de Beas

10.8.4 Embalse de Aguascebas

10.8.5 Embalse de Puente Cerrada

10.8.6 Embalse de Siles

10.9 RECURSOS NO CONVENCIONALES. AGUAS RESIDUALES DEPURADAS

10.10 MODELO DE GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS

10.10.1 Alternativas de gestión

10.10.1.1 SIMULACIÓN 1. SITUACIÓN ACTUAL

10.10.1.2 SIMULACIÓN 2. PRIORIDAD BOMBEO EN S^a CAZORLA SOBRE TOMA MOGÓN

10.10.1.3 SIMULACIÓN 3. RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO DE LA LOMA CONFINADO DESDE EL GUADALIMAR

10.10.1.4 SIMULACIÓN 4. RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO DE LA LOMA CONFINADO DESDE EL GUADALQUIVIR

10.10.1.5 SIMULACIÓN 5. RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO DE LA LOMA CONFINADO DESDE EL GUADALIMAR Y GUADALQUIVIR

10.10.1.6 SIMULACIÓN 6. SITUACIÓN ACTUAL CON EMBALSE DE SILES

10.10.1.7 SIMULACIÓN 7. SITUACIÓN ACTUAL CON EMBALSE DE SILES Y RECARGA ARTIFICIAL DESDE GUADALIMAR Y GUADALQUIVIR, Y PRIORIDAD BOMBEO CAZORLA

10.10.1.8 SIMULACIÓN 8. SIMULACIÓN 7 CON INCREMENTO DEMANDA DE REGADÍO

10.11 COMPARACIÓN DE SIMULACIONES

10.12 CONCLUSIONES

10.13 REFERENCIAS

1 INTRODUCCIÓN

La presente memoria corresponde al Informe General y Metodológico de la Asistencia para la "REALIZACIÓN DE INVESTIGACIONES COMPLEMENTARIAS EN LA LOMA DE ÚBEDA. PAUTAS PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL ACUÍFERO" de la masa de agua subterránea 05.23 Úbeda de la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir, llevada a cabo por el INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, IGME.

Estos trabajos se han realizado en el marco del "Acuerdo de Encomienda de Gestión entre la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y el IGME para el desarrollo y ejecución de diversos proyectos en materia de aguas subterráneas, acuíferos, redes de observación hidrogeológica y explotación de masas de agua". Así como con la Agencia Andaluza del Agua conforme a lo establecido en el Real Decreto 1666/2008, de 17 de octubre, sobre traspaso de funciones y servicios de la Administración del Estado a la Comunidad Autónoma de Andalucía en materia de recursos y aprovechamientos hidráulicos, correspondientes a las aguas de la cuenca del Guadalquivir.

Con este proyecto se pretende mejorar el conocimiento sobre el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos explotados en la Loma de Úbeda. El objetivo fundamental es el establecimiento de límites de explotación del agua subterránea sostenibles, de tal forma que permitan el desarrollo agrario de la zona sin impactos significativos en los acuíferos. Además, el proyecto pretende proponer reglas de utilización de los recursos eficaces que permitan la satisfacción de las demandas existentes minimizando el impacto medioambiental.

La investigación de los acuíferos implicados se lleva a cabo mediante el seguimiento de la evolución de los niveles piezométricos en diferentes zonas y a partir de la distribución espacial y temporal de las características hidroquímicas e isotópicas del agua subterránea, complementado con estudios de la distribución de los puntos de agua existentes, volúmenes de explotación y salidas naturales. El proyecto ha contemplado también la mejora del conocimiento geométrico de los acuíferos a partir del estudio geofísico de sondeos desinstalados y de reconocimientos de campo. Otras actividades pretendían mejorar el conocimiento de los parámetros hidráulicos mediante la realización de ensayos de bombeo. En este sentido, estaba previsto hacer un seguimiento de la red de control piezométrica que la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir pretendía construir en los años en que el proyecto se estaba ejecutando, esta red finalmente no ha sido realizada y ha sido necesario replantear parte de las

actividades relacionadas.

Los resultados de las investigaciones han servido de base para la elaboración de un modelo de flujo con el que poder simular distintos escenarios de recarga/explotación para establecer unas reglas de utilización de recursos sostenibles.

1.1 ANTECEDENTES

El primer estudio que permitió definir el acuífero jurásico de la Loma de Úbeda fue finalizado en el año 2001 en el marco del convenio de colaboración entre la DGOH y el IGME e inmediatamente, en el mismo año se elaboró un documento para el establecimiento de normas de concesión de autorizaciones para la MASb 05.23 Úbeda. En 2004, el IGME realizó otro trabajo en el marco del convenio de colaboración entre el IGME y la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía para estudiar las posibilidades de integrar el sector norte del acuífero carbonatado de la Loma de Úbeda en el abastecimiento a la Loma. El IGME también ha realizado un estudio preliminar sobre las posibilidades de recarga artificial con excedentes de agua de los ríos Guadalimar y Guadalquivir, proyecto que finalizó en 2005.

Entre 2005 y 2007 el IGME realizó una serie de trabajos que incluyeron la perforación de 14 sondeos piezométricos de investigación para estudiar las relaciones entre el río Guadalimar y el acuífero jurásico y la zona libre del acuífero jurásico. Desde el año 2001, el IGME mantiene de manera más o menos continuada una red de control piezométrico, que ha sido posible seguir gracias al desarrollo de los diferentes proyectos referidos. Otros trabajos consistieron en la realización de un primer intento de modelización matemática del acuífero jurásico.

Por otra parte, el CEDEX, a instancias de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir ha realizado dos trabajos (2001 y 2006) enfocados al estudio hidroquímico e isotópico del agua subterránea en el acuífero jurásico.

1.2 EQUIPO DE TRABAJO

Por parte del IGME, el equipo de trabajo que ha participado en la elaboración de este trabajo es el siguiente:

Dirección de proyecto y edición de la memoria: Antonio González Ramón

Modelización de flujo: Javier Gustavo Heredia Díaz

Modelo de uso conjunto: Juan de Dios Gómez Gómez

Bases de datos: Jorge Jiménez Sánchez

Recopilación de datos de campo: José Antonio Navarro García

Además, en la elaboración de los trabajos se ha contado con la Asistencia Técnica de la empresa GEOS S.A. con la participación de José Alberto Moreno Martínez y Juan F. Olivares Taléns en la recopilación de datos de campo y la colaboración de Javier Gollonet Fernández de Trespacios y José Alberto Moreno Martínez en la elaboración de la memoria y tratamiento de los datos.

Los diferentes capítulos de los que consta esta memoria han sido redactados por el equipo siguiente:

Capítulo 1. Introducción: Antonio González Ramón.

Capítulo 2: Confección de cartografía hidrogeológica digitalizada y creación de un sistema de información geográfica (SIG): José Alberto Moreno Martínez.


Capítulo 3: Red Piezométrica: Antonio González Ramón.

Capítulo 4: Campañas de aforos en cauces y manantiales: Javier Gollonet Fernández de Trespacios y Antonio González Ramón.

Capítulo 5: Ensayos de bombeo realizados en el acuífero y testificación geofísica de sondeos: Javier Gollonet Fernández de Trespacios y Antonio González Ramón.

Capítulo 6: Evaluación del balance hídrico en el Acuífero Mioceno: Javier Gollonet Fernández de Trespacios

Capítulo 7: Caracterización hidroquímica e isotópica espacial de los acuíferos de la Loma de Úbeda: Antonio González Ramón.



Capítulo 8: Modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico: Antonio González Ramón.

Capítulo 9: Modelo numérico tridimensional de flujo: Javier Gustavo Heredia Díaz

Capítulo 10: Análisis de las posibilidades de utilización conjunta del acuífero carbonatado de la Loma de Úbeda, los embalses superficiales y la regulación general del Alto Guadalimar: Juan de Dios Gómez Gómez

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

2.1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Los trabajos realizados en este apartado han consistido en la elaboración de un Sistema de Información Geográfica (SIG) de carácter geológico e hidrogeológico para la Masa de Agua Subterránea 05.23, que se sitúa en la provincia de Jaén y comprende las comarcas de La Loma, El Condado y Las Villas.

Desde hace ya prácticamente diez años el IGME (junto con otros organismos públicos como el CEDEX o la actual Agencia Andaluza del Agua) 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 900 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 MASb.

2.2. HERRAMIENTAS Y MÉTODOS

Para la creación del SIG se ha usado el programa comercial de la marca ESRI ArcGIS Desktop, versión 9.3 con licencia del IGME.

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) ha sido

tomada de información previa de la zona y otra elaborada a partir perfiles hidrogeológicos realizados por el IGME en anteriores proyectos.

2.3. TRABAJOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

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

Datos geográficos: Proviene íntegramente del proyecto "BADAFI" (Base de datos y funcionalidades informáticas). Una de las primeras actuaciones vinculadas al proyecto BADAFI fue la generación de una "Cartografía Geográfica de Referencia", que permitió que los diferentes Proyectos Regionales puedan disponer de una base geográfica común y homogeneizada para todo el territorio español. De esta forma, se facilita la uniformidad en la adaptación de la cartografía geológica, se evitan las discontinuidades entre hojas y regiones vecinas, se mejora la adaptación de aluviales y se unifican los recortes con masas de agua, límites fronterizos, etc. La Cartografía Geográfica se compone de dos capas de información, la denominada Base Cartográfica que integra elementos morfológicos e hidrográficos, incluye la red viaria principal, la toponimia más relevante, las curvas de nivel cada 20 m etc. y la capa de información denominada RESTO que incluye el conjunto de elementos excluidos de la Base Cartográfica como son: usos del suelo, líneas de tendido eléctrico, red viaria menor, etc. Aunque dentro del Plan GEODE, solo se precisa la Base Cartográfica, considerando los beneficios para todos los posibles usuarios, el proyecto BADAFI acometió de forma simultánea a la creación de ambas capas. En consecuencia se dispone en la actualidad de los dos niveles de información completos.

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 de los cortes topográficos de los perfiles hidrogeológicos realizados. La carpeta de archivos del MDT se llama “curvaslomatín” y se encuentra en GISLOMA\MDTLOMA.

En la figura 2.1 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”.

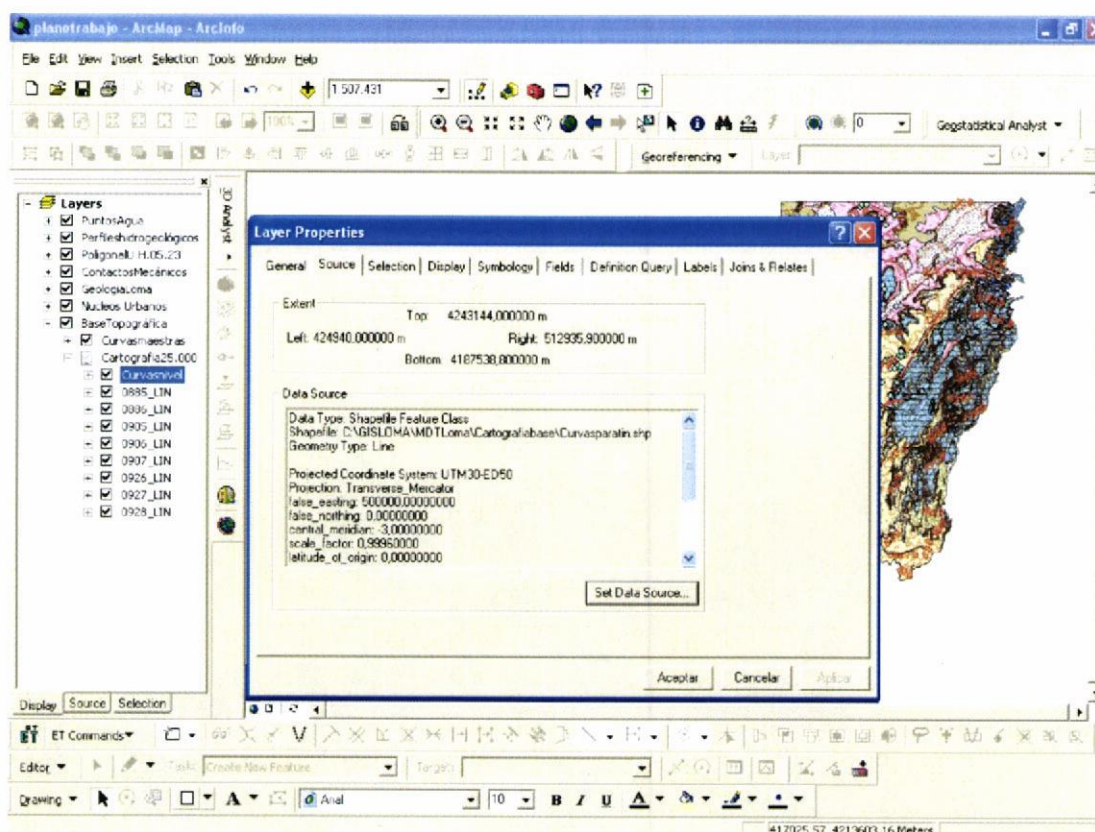


Figura 2.1. Ruta de acceso y propiedades de la capa “Curvasnivel” en el software usado

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 MAS 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\) 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 mas 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”.

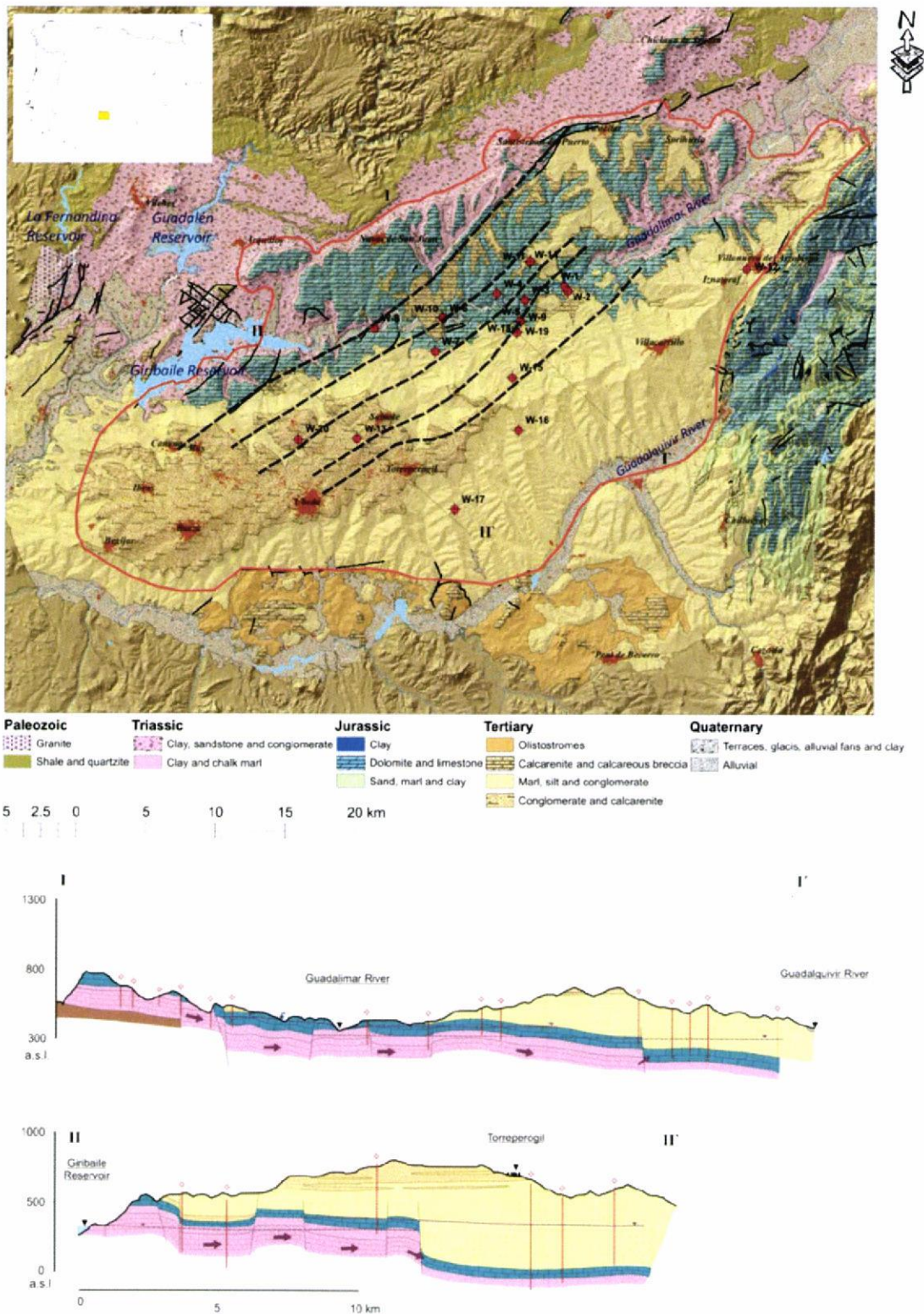


Figura 2.2. Contexto geológico y geográfico de la zona investigada. La línea envolvente corresponde a la zona investigada y las líneas gruesas discontinuas a las fracturas principales deducidas.

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. Posteriormente, las trazas de las fallas han sido modificadas en función de los trabajos de geología de campo realizados y de la nueva información sobre la litología cortada por los sondeos profundos obtenida a lo largo del proyecto. En la figura 2.2 se puede observar la situación de los perfiles realizados, la situación de las fallas deducidas 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.

La información original proviene de la Base de Datos AGUAS XXI (creada a partir de la antigua Base de Datos AGUAS del IGME), cuyo objetivo es permitir el almacenamiento y gestión de información hidrogeológica que anteriormente no era objeto de informatización, pero que estaba registrada en los documentos del Archivo Físico del IGME (Hojas de Inventario, etc.). Asimismo, el desarrollo de la misma en Access permite la incorporación de nuevas tablas y/o campos que, en un futuro, puede enriquecer el contenido documental de la misma.

La Base de Datos AGUAS XXI ha sido definida en referencia a una serie de tablas que han sido agrupadas según se muestra en el siguiente cuadro:

Tipo de Tabla		2.1.1.1.1 Nombre de la Tabla
Maestro		AGMA
Principales	Inventario	AGLI
		AGEB
	Redes	AGPZ
		AGAQ
		AGHD
		AGEX
Codificación		49 Tablas
Auxiliares		AGLO
		AGTE

La base de datos del SIG incluye la información de las Tablas Maestro y Principales

(excepto AGEX) y la de la tabla Auxiliar AGTE. En cada una de estas tablas se incluye distinta información como datos generales, análisis químicos, datos de piezometría, columna litológica, etc.

A continuación se explica el contenido de cada una de las tablas de que se compone la Base de Datos AGUAS XXI y cuya información ha sido incorporada a la Base de Datos del SIG:

Tabla Maestro AGMA: El objetivo de esta tabla es almacenar los datos relativos al inventario nacional de puntos de agua, dispone de 68 campos, de los cuales 3 pueden catalogarse como de identificación (HOJA, OCTANTE, PUNTO), 59 de información y 6 de gestión documental.

Tabla Principal (Litologías) AGLI: El objetivo de esta tabla es almacenar los datos de litologías que acompañan al inventario nacional de puntos de agua. Esta tabla dispone de 19 campos, de los cuales 4 pueden catalogarse como de identificación (HOJA, OCTANTE, PUNTO y N° de Orden), 9 de información y 6 de gestión documental.

Tabla Principal (Ensayos de Bombeo) AGEB: El objetivo de esta tabla es almacenar los datos de ensayos de bombeo, pruebas de bombeo y ensayos de permeabilidad que acompañan al inventario nacional de puntos de agua. Esta tabla dispone de 23 campos, de los cuales 4 pueden catalogarse como de identificación (HOJA, OCTANTE, PUNTO y Fecha de ensayo), 13 de información y 6 de gestión documental.

Tabla Principal (Piezometría) AGPZ: El objetivo de esta tabla es almacenar los datos de medidas de niveles piezométricos bien que sean de las redes o de puntos aleatorios. Esta tabla dispone de 19 campos, de los cuales 5 pueden catalogarse como de identificación (HOJA, OCTANTE, PUNTO, Fecha de medida y Nivel vertical), 8 de información y 6 de gestión documental.

Tabla Principal (Hidrometría) AGHD: El objetivo de esta tabla es almacenar los datos de medidas de hidrometría (aforos) y caudales, dispone de 17 campos, de los cuales 4 pueden catalogarse como de identificación (HOJA, OCTANTE, PUNTO y Fecha de medida), 7 de información y 6 de gestión documental.

Tabla Principal (Análisis Químicos) AGAQ: El objetivo de esta tabla es almacenar los datos de medidas de análisis químicos, dispone de 17 campos, de los cuales 6 pueden catalogarse como de identificación (HOJA, OCTANTE, PUNTO, Fecha de toma, N° de muestra y un código interno), 5 de información, y 6 de gestión documental.

Tabla auxiliar AGTE(Datos Técnicos): Permite almacenar datos sobre especificaciones técnicas (perforación y entubación) recogidos en el inventario nacional de puntos de agua.

La información que reside en el SIG a partir de estas tablas puede resumirse en los más de 900 puntos de agua que existen en la Tabla Maestro, alrededor de 400 registros con medidas piezométricas y datos de hidrometría y los más de 1000 registros con información de columna litológica de la Tabla AGLI.

La incorporación al SIG de estas tablas se ha realizado en base a relaciones con la Tabla Principal Maestra, debido a que solamente en ésta se incluyen datos espaciales (coordenadas UTM). Ya que 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:

"Puntosaguanov09.mdb", es una personal geodatabase de ArcGIS que incluye los archivos de formas (shapefiles) creados a partir de la Base de Datos original y las tablas que contienen las consultas que establecen las relaciones entre cada una de las tablas de la Base de Datos AGUAS XXI.

El nombre de los Shapes que incluyen la información espacial referente al nombre de cada tabla original y la tabla maestra son "PuntosAGAQ"; "PuntosAGHD"; "PuntosAGLI"; "PuntosAGTE"; "PuntosmaestraPz"; "PuntosAGEB".

Las tablas de consulta 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) Desde la Base de Datos exportada de AGUAS XXI se modifican las tablas originales creando un nuevo campo en cada tabla llamado "OrdenXX" siendo "XX" el nombre de cada una de las tablas y rellenando los 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 Base de Datos 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
AGEB	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 que se guarda en la geodatabase "Puntosaguanov09".

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_maccs" 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 RED PIEZOMÉTRICA

3.1 SEGUIMIENTO DE LA RED DE CONTROL PIEZOMETRICA Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

3.1.1 Introducción

Una de las actividades previstas en el proyecto ha sido la continuación con el seguimiento de los niveles piezométricos que actualmente se lleva a cabo en 21 puntos de control en los que se dispone de información previa, si bien los puntos en que existen medidas con algún periodo continuado son 27 (tabla 3.1.1). A lo largo del proyecto se han realizado 29 campañas de medidas piezométricas con una periodicidad mensual, junto a la descarga y control de datos de los cuatro sensores instalados.

La toma de medidas se realiza con sonda manual en todos los casos en que es posible, en aquellos piezómetros que son sondeos instalados y no disponen de tubería piezométrica se utiliza la denominada “medición por burbujeo” que consiste en lo siguiente:

Con este sistema se realiza la medición del nivel midiendo la presión requerida para que un flujo constante de aire venza la presión hidrostática de un líquido. Se basa en el principio de que la presión en el tubo de inyección del aire es igual a la presión hidrostática causada por el nivel; si se mide la presión dentro del tubo, se obtiene la medición del nivel.

Estos sistemas inyectan el aire en forma de burbujas (de ahí su nombre) a través de un tubo transmisor y utilizando un pequeño compresor interno. La columna de agua situada sobre el orificio de salida ejerce una presión que es transmitida a un sensor piezorresistivo de presión.

Un caso particular de este sistema es el denominado en algunas zonas de Andalucía como medida del nivel con compresor, que a continuación se describe con más detalle.

La importante profundidad del nivel piezométrico en los sondeos del acuífero confinado de La Loma de Úbeda (superior en muchos casos a 300 m) junto al pequeño diámetro de los sondeos, hace muy difícil la instalación de tubería

piezométrica; esto ha dado como resultado la puesta a punto de un sistema de medida del nivel de agua mediante la utilización de un compresor de aire.

n° IGME	DENOMINACIÓN	COORDENADAS UTM		COTA m s.n.m.	PROF. m	ESPESOR DE CARBONATOS m	OBSERVACIONES
		X	Y				
2035 8 29	Camino	483394	4224912	561			Jurásico y Triás
2035 8 40	S-12/13 Piezómetro Camino	483359,4	4224895,2	563,86	139	89,65	Jurásico libre
2036/3 48	S-9 Huerta Oliva	472256,9	4220115,6	373,6	104	----	Arcillas y areniscas del Triás
2036/4 14	Peñuela I	482417	4219906	438			Jurásico y Triás
2036/4 34	Peñuela II	482493	4219829	441	120	110	Jurásico libre
2036/4 38	Cabeza Alba	482180	4216585	544	220		Jurásico confinado
2036/4 58	S-4 Los Lobos	483010,5	4222148,3	461,03	125	87,1	Jurásico libre
2036/4 59	S-5 Loma del Robledo	481023,4	4222614,9	484,91	87	79,6	Jurásico libre
2036/4 60	S-6 Ayo. Mostazar	482723,7	4220649,3	397,52	135	82,95	Jurásico libre
2036/4 61	S-7 Embalse de Olvera	477108,4	4220855,4	433,71	118	87,55	Jurásico libre
2036/4 62	S-8 Avenazar-Maestro Ponce	476630	4218449,4	419,07	94	63,9	Jurásico libre
2036/4 63	S-10 Ayo. Mostazar 2	482739,7	4220658,4	396,13	150	90	Jurásico libre
2036/4 64	S-11 Embalse de Olvera 2	477144,4	4220852,1	432,42	150	96	Jurásico libre
2036/4 43	S-14 Ayo. Mostazar 3	482771,9	4220668,3	395,86	150,1	87,5	Jurásico libre
2036/6 84	El Puntal	466864	4212135	740	460	20	Jurásico y Triás
2036/7 60	Porvenir I	471082	4212195	789	480		Jurásico y Triás
2036/8 15	Pichilín I	482637	4212843	645	480		Jurásico confinado
2036/8 43	Imagen II	478081	4207157	628	700		Jurásico confinado
2036/8 45	Imagen I	478192	4207293	621	680	18	Jurásico confinado
2135/5 36	S-1 Cruz de Marina	489855,9	4224728,4	441,59	156	----	Arcillas y areniscas del Triás
2135/6 26	Caleruela	491709	4211450	480	360		Jurásico confinado
2136/1 96	S-2 Cortijo del Mojino	485895,7	4223153,4	427,79	67	34,25	Jurásico libre
2136/1 97	S-3 Las Pulgas	486129,8	4222787,7	476,55	93	84,2	Jurásico libre
2136/2 52	Niña Isabel	491573	4222621	569	70		Jurásico libre
2136/2 58	Esperanza Lara	496191	4217490	605	278	90	Jurásico Cazorla
2136/3 51	Pozo Vicente	498939	4224370	712	195	130	Jurásico S. Villanueva
2136/5 41	El Huerto	486435	4212124	553	402	15	Jurásico confinado

Tabla 3.1.1. Características principales de la red de control piezométrico.

El sistema consiste en introducir aire mediante un compresor en una manguera de pequeña sección que previamente se colocó adosada a la tubería de extracción y cuya salida está a la profundidad de la motobomba. Con esta operación se pretende evacuar toda el agua existente dentro de la manguera

hasta que se consigue vencer la carga de la columna de agua. Esta columna de agua es, en definitiva, la existente por encima de la bomba.

Una vez vaciada la manguera, en el manómetro del compresor se observa que cesa el aumento de la presión, permaneciendo la aguja del mismo oscilando levemente en un valor que se puede traducir a metros de carga de agua sobre el punto de salida de la manguera. En esa situación, se para el compresor y se observa que el manómetro permanece estabilizado en ese valor de la presión ya que el agua del sondeo tiende a penetrar en la manguera hasta equilibrar la presión dentro de la misma con la del nivel libre de agua en el sondeo.

Por lo tanto, para conocer el nivel de agua en el sondeo, solamente tendremos que conocer la profundidad del punto de salida de la manguera y la carga de agua en metros que hemos medido con el manómetro del compresor que equivale a la diferencia entre ese punto de salida y el nivel de agua en el sondeo.

Como se observa en la figura 3.1.1, la distancia H , que es la diferencia de cota entre los puntos 1 y 2, será equivalente a la presión medida en el manómetro que a su vez es debida a la empleada para vencer la columna de agua existente dentro de la manguera.

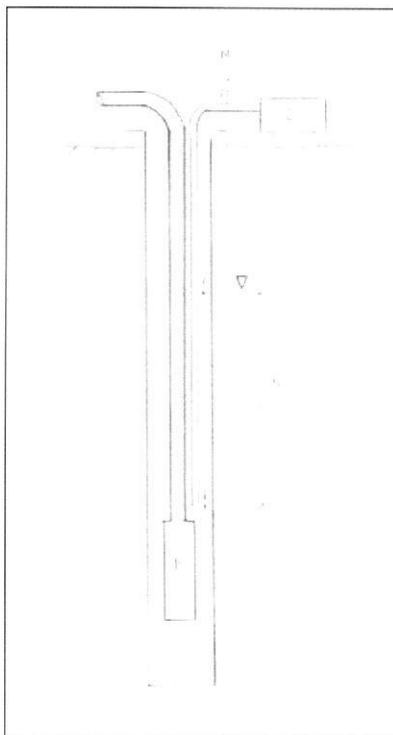


Figura 3.1.1

La recogida de datos en campo para la elaboración de este proyecto ha sido realizada por la empresa GEOS, S.A. con la colaboración del geólogo consultor Javier Gollonet Fernández de Trespalacios, y la dirección de los trabajos y elaboración de la memoria que sigue por Antonio González Ramón, investigador titular de IGME.

3.1.2 Antecedentes

La información sobre la morfología de la superficie piezométrica del acuífero jurásico más antigua disponible procede del trabajo realizado por el IGME, en colaboración con la DGOH, que se denominó: *Proyecto para la Actualización de Infraestructura Hidrogeológica de las Unidades 05.01, 05.02 y 07.07: Sierra de Cazorla, Quesada-Castril y Segura-Cazorla*. Este proyecto finalizó en el año 2000, e incluyó medidas realizadas entre marzo y junio de 1996 en 66 sondeos, 25 de ellos ubicados en la parte de acuífero libre y 41 en la zona confinada. Muchos de estos datos son medidas directas, pero otros son información del nivel suministrada por los propietarios. Con estos datos pudo trazarse por primera vez un mapa de isopiezas del acuífero que se incluyó en el mencionado proyecto y se reproduce en la figura 3.1.2.1. Tiene un gran valor, pues muestra la situación en los inicios del proceso de explotación intensiva de recursos que el acuífero sufrió en los años posteriores. Por desgracia, no se dispone de ninguna información sobre la piezometría del acuífero en condiciones no influenciadas por los bombeos. El mapa incluye también isopiezas correspondientes al acuífero Mioceno, basadas en 49 medidas realizadas en julio de 1994 por la CHG. Este plano de isopiezas es hasta la fecha el único realizado en este acuífero, ya que la mayoría de los trabajos se han centrado en el acuífero jurásico.

En 2001, la CHG llevó a cabo una revisión de inventario de puntos de agua en la zona confinada del acuífero, que incluyó medidas de nivel piezométrico en 15 sondeos no instalados.

Entre mayo y junio de 2001 el IGME realizó una campaña de medidas de nivel piezométrico en 44 puntos, 20 de ellos pudieron tomarse con sonda eléctrica, en el resto se realizaron mediante el "método del compresor" con el que se alcanza una precisión de orden métrico.

En 2001, el IGME inició una serie de medidas sistemáticas en 10 puntos en su mayoría ubicados en la zona confinada del acuífero, pero con puntos representativos de otras zonas. Entre junio de 2001 y septiembre de 2002 se realizaron 12 campañas de medidas.

En marzo de 2004 el IGME realizó una campaña flash de medidas piezométricas en 40 puntos, aunque sólo en 11 de ellos pudieron hacerse con sonda eléctrica, en el resto, el dato fue obtenido por el "método del compresor".

Entre marzo de 2003 y noviembre de 2004 se realizaron 16 campañas sistemáticas de medidas en la red previamente establecida de 10 puntos.

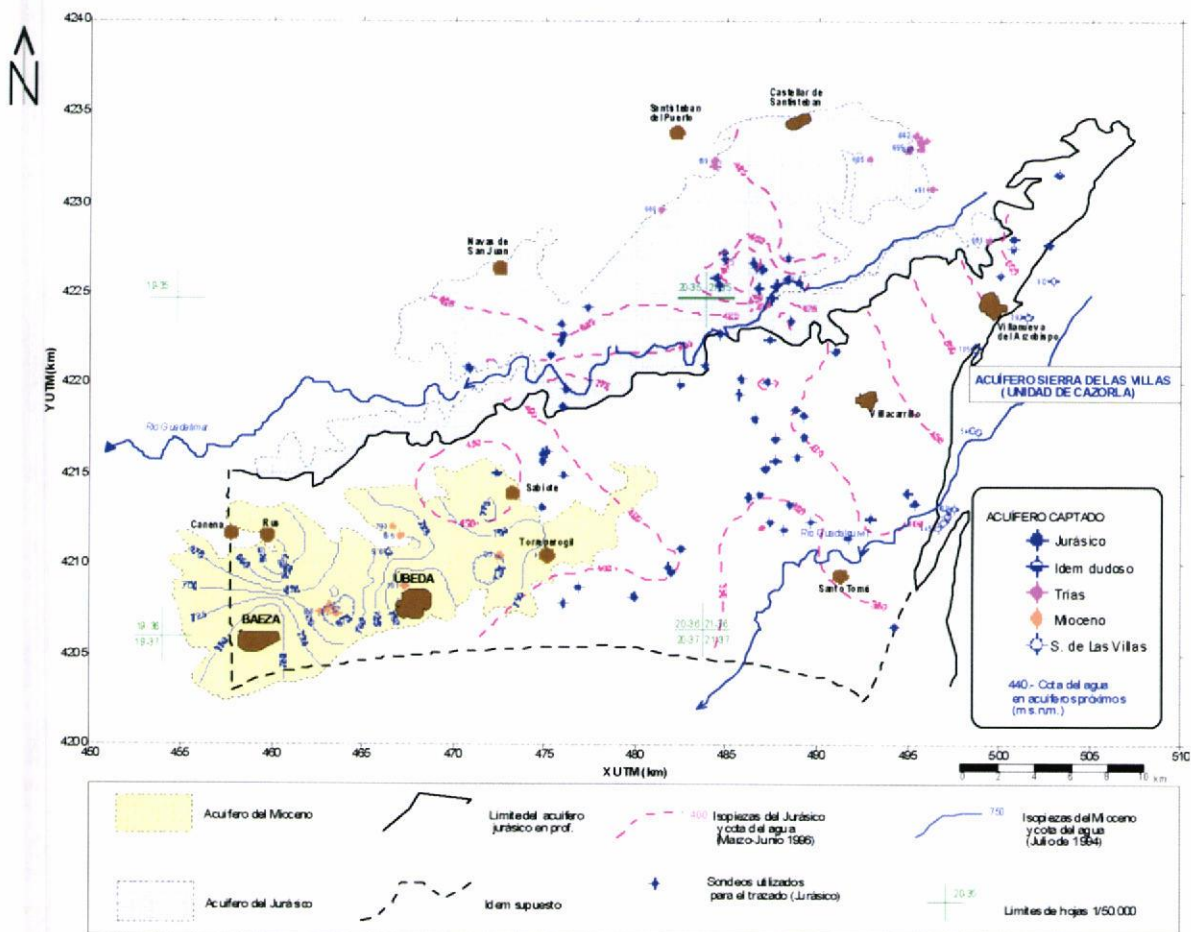


Figura 3.1.2.1 Plano de isopiezas del acuífero mioceno y jurásico de la Loma de Úbeda elaborado en el Proyecto de Actualización de Infraestructura Hidrogeológica de las Unidades 05.01, 05.02 y 07.07: Sierra de Cazorla, Quesada-Castril y Segura-Cazorla.

En 2001 se instalaron dos sensores para el control continuo de la evolución del nivel piezométrico. Uno de los sensores fue ubicado en el denominado sondeo Pichilín (nº IGME 20/8/1536) en uno de los sectores de mayor explotación del acuífero confinado. Este sensor estuvo operativo desde enero hasta diciembre de 2003, aunque con un fallo importante entre finales de abril y primeros de agosto. El otro sensor se ubicó en el denominado "Pozo Vicente" (nº IGME 2136/3/51), en la zona de Villanueva del

Arzobispo. En este último se dispone de datos desde octubre de 2003 hasta abril de 2004.

Durante el año 2005, el IGME construyó en el entorno del cauce del río Guadalimar, a su paso por el acuífero jurásico de la Loma de Úbeda, 14 sondeos de investigación; 12 fueron perforados con la técnica de rotación con testigo continuo y 2 a rotoperCUSión para poder realizar bombeos que permitieran estudiar la influencia del río en el acuífero. Posteriormente se inició un control sistemático de evolución de niveles en todos los puntos, con medidas mensuales, a excepción de 4 de ellos en los que se instalaron sensores para el control detallado de las evoluciones del nivel piezométrico.

En julio de 2005 la red piezométrica pasó a ser de 22 puntos, que fueron controlados mensualmente hasta junio de 2006.

Entre julio y diciembre de 2006 se realizaron campañas de medidas piezométricas en 24 puntos.

En 2007 se realizaron campañas de medidas mensuales en 23 puntos desde febrero a junio.

Entre agosto de 2007 y febrero de 2008 se realizaron otras cinco campañas de medidas en 21 puntos.

Finalmente, desde marzo de 2008 hasta la actualidad se realizan medidas mensuales en estos mismos puntos y está prevista la continuación de los trabajos de control piezométrico hasta finales del año 2010.

3.1.3 Evolución espacial de la superficie piezométrica en los acuíferos de la Loma de Úbeda desde 1996 hasta la actualidad

Marzo-abril de 1996

En la figura 3.1.3.1 se muestra un plano donde se han situado los puntos con información piezométrica válida obtenida entre los meses de abril y mayo de 1996, en el plano se han incluido, además, los principales manantiales indudablemente asociados al acuífero jurásico.

La mayor parte de los sondeos que se sitúan en la mitad septentrional del acuífero cortan directamente el acuífero triásico o se ubican sobre carbonatos pero perforan también el acuífero triásico. Los datos del nivel piezométrico obtenidos en los sondeos

que se sitúan más al norte muestran la posición del nivel freático en la zona de afloramiento del acuífero triásico.

El acuífero triásico aflora en un amplio sector ubicado en el bloque levantado de una importante falla de dirección NE-SO que lo pone directamente en contacto con el acuífero jurásico que aflora en el bloque hundido. En el bloque levantado de la falla, y cerca de su traza se dispone de información piezométrica en tres sondeos, en los que el nivel se sitúa entre 660 y 669 m s.n.m (figura 3.1.3.2). Más hacia el este, entorno al núcleo de Sorihuela de Guadalimar existe un grupo de puntos que muestran valores del nivel piezométrico en su mayoría ligeramente por encima de 600 m s.n.m.

Hacia el sur, en la zona central del acuífero libre jurásico, se dispone de información en diversos puntos, todos ellos excepto uno cortan también el acuífero triásico. Las cotas del nivel se encuentran entre 400 y 470 m s.n.m., menos en el único que corta exclusivamente el acuífero jurásico donde el nivel se sitúa claramente por encima, a cota 525 m s.n.m. Al oeste y cerca del trazado de la falla anteriormente comentada los niveles se encuentran en torno a 430 m s.n.m. independientemente del acuífero que corten.

En el borde del acuífero jurásico, en la margen derecha del río Guadalimar, cuando éste comienza a atravesar los carbonatos en dirección E-O, se encuentran los manantiales del Tobazo (nº IGME 2135/5/5), Huerta Ornero (2135/5/6) y Castañetas (2135/5/8), que drenan un caudal conjunto del orden de 10 l/s . Estos manantiales se ubican a cotas entre 452 y 460 m s.n.m.; en la misma zona hay dos sondeos que atraviesan el acuífero jurásico y triásico a diferente profundidad, el sondeo más profundo presenta el nivel piezométrico en torno a 360 m s.n.m. y 385 m s.n.m. en el otro, en ambos casos las cotas se sitúan claramente bajo el cauce del río Guadalimar (410 m s.n.m. en esta zona). En todo el borde de la margen derecha del Guadalimar, los niveles piezométricos en el acuífero jurásico se sitúan sobre la cota del cauce, excepto cerca del puente de la carretera de Sabiote-Navas de San Juan, donde un sondeo muestra cotas en torno a 355 m s.n.m; otro sondeo situado en la margen izquierda frente a éste, presenta cotas similares. A la salida del río del afloramiento de carbonatos por el oeste, en el arroyo de la Estrella, el nivel se encuentra a 430 m s.n.m. en el acuífero jurásico; en un sondeo cercano que podría atravesar materiales triásicos el nivel se sitúa a 390 m s.n.m.

En la margen izquierda del río Guadalimar, en el entorno del área en que el acuífero jurásico es recubierto por margas miocenas, existen diversos sondeos cuyas cotas de niveles piezométricos son sistemáticamente inferiores en los más profundos (que

alcanzan areniscas triásicas). Más al sur, donde el acuífero jurásico se encuentra a grandes profundidades los sondeos no suelen atravesar por completo los carbonatos jurásicos, y se desconoce si existen areniscas triásicas bajo ellos.

En resumen, de los datos expuestos en las figuras 3.1.3.1 y 3.1.3.2 puede deducirse lo siguiente:

- Las cotas más elevadas del nivel piezométrico se sitúan al norte, en el borde del afloramiento de carbonatos y están relacionadas con las areniscas triásicas, pues los carbonatos apenas presentan espesor saturado.
- Al sur de Navas de San Juan y Santisteban del Puerto, las areniscas triásicas se ponen en contacto directo con los carbonatos jurásicos a causa de la existencia de una importante fractura de dirección NE-SO, alimentándolos. En este entorno los niveles piezométricos en ambos acuíferos presentan continuidad.
- Más al sur, en los sondeos que alcanzan el acuífero triásico, sistemáticamente el nivel piezométrico se sitúa a menor cota que en los que cortan sólo al acuífero jurásico, además, en los sondeos que alcanzan el Triás, los más profundos presentan los niveles más bajos.
- En el río Guadalimar, el nivel piezométrico en el acuífero jurásico se sitúa por encima del cauce en todo su trazado excepto en dos pequeños sectores. En el acuífero triásico, el nivel piezométrico se encuentra por debajo del cauce en todo su trazado.

La figura 3.1.3.2 muestra un nuevo plano de isopiezas elaborado con la información obtenida entre abril y mayo de 1996. En este plano se han incluido indistintamente los puntos relacionados con el acuífero jurásico y con el triásico, puesto que, como se expone en este capítulo, ambos acuíferos parecen estar relacionados, al menos en las zonas de fracturas importantes que los ponen en contacto. El plano muestra la situación del acuífero en una etapa de explotación inicial; en el año 1996-98 las extracciones ya se calculaban en más de 18 hm³ anuales. En 1996 pudo obtenerse información piezométrica en algunos sondeos recién construidos que aún no habían sido instalados; en ese año, que sucedió a la sequía de la primera mitad de la década de los noventa, se estaban construyendo gran número de sondeos en la zona.

Las isopiezas muestran la existencia de un conoide de bombeo al sur de acuífero en la zona confinada, al este de Torreperogil. En esta zona, se construyeron algunos de los primeros sondeos de gran profundidad, capaces de aportar importantes caudales. Las

cotas más elevadas, como ya se ha comentado, se sitúan al norte, donde parece encontrarse la principal zona de alimentación del acuífero, en la margen derecha del río Guadalimar. También en la margen izquierda existen puntos con cotas elevadas en la zona de Villanueva del Arzobispo, sobre este aspecto se discutirá más adelante.

En la margen izquierda del río Guadalimar, cerca de su cauce, se observan dos zonas deprimidas, con cotas de nivel inferiores a 370 m s.n.m. Se trata de los únicos sectores donde el nivel piezométrico se sitúa bajo el cauce del río Guadalimar y podría indicar vías de alimentación preferente hacia el acuífero confinado jurásico. La ausencia de datos en un amplio sector al sur de estas zonas impide estudiar mejor esta cuestión.

Finalmente, se intuye la presencia de un domo piezométrico bajo el acuífero mioceno, que parece indicar la existencia de recarga diferida proveniente de este acuífero.

En resumen, la movilización del flujo en el acuífero confinado, parece ser consecuencia de la existencia de un importante conoide de bombeo ubicado al este de Torreperogil, en la zona central y más meridional del acuífero confinado.

Marzo-junio de 2001

En la figura 3.1.3.3 se expone el plano de isopiezas obtenido a partir de datos recopilados entre los meses de marzo y junio de 2001. El plano presenta algunas diferencias significativas con respecto al obtenido en 1996, algunas de ellas achacables a los diferentes puntos utilizados para la elaboración de ambos mapas. Esta podría ser la causa de que no aparezca bien delimitado el conoide de bombeo observado en 1996 al sur del acuífero, pues en 2001 la densidad de datos en esa zona es mucho menor.

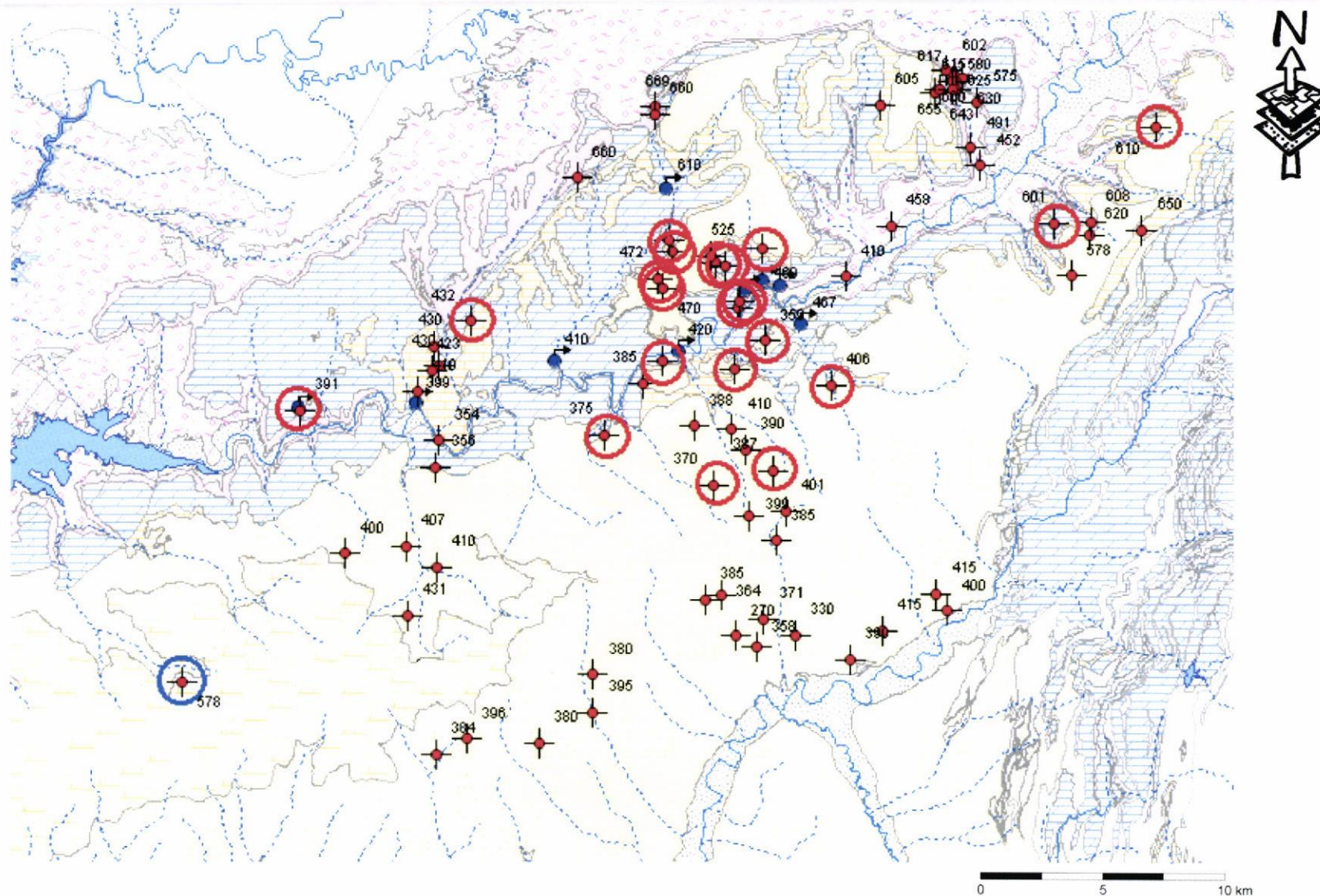


Figura 3.1.3.1. Puntos con datos piezométricos de 1996. Los círculos rojos corresponden a sondeos que cortan el acuífero jurásico y triásico y el círculo azul a un punto que corta exclusivamente el acuífero mioceno.

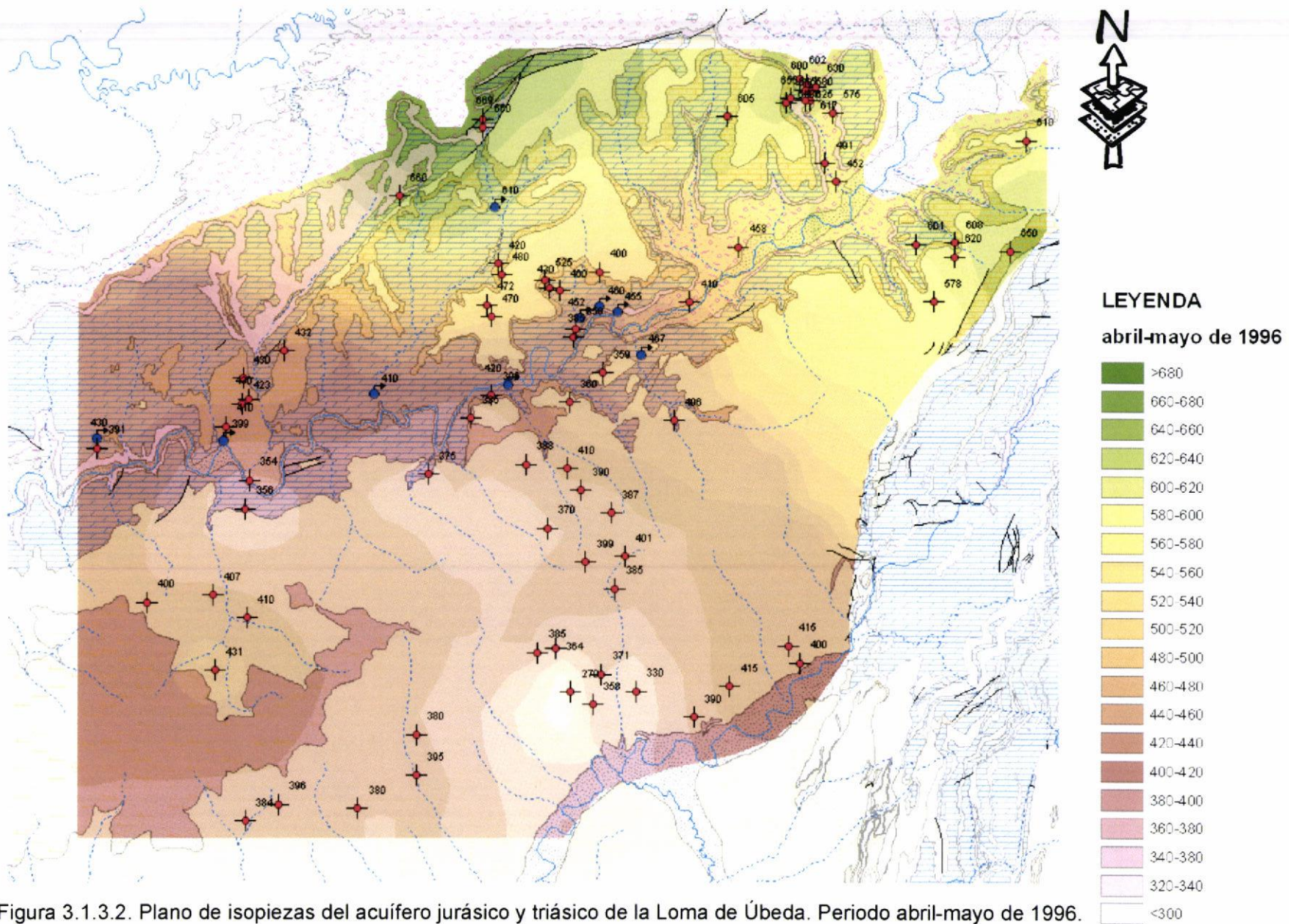


Figura 3.1.3.2. Plano de isopiezas del acuífero jurásico y triásico de la Loma de Úbeda. Periodo abril-mayo de 1996.

Otra causa podría ser la generalización de la explotación en todo el acuífero confinado. Por otra parte en 2001 se dispone de bastante más información en la zona situada justo al sur de la entrada del río en el acuífero, en su margen izquierda. Aquí se observa una disparidad de datos piezométricos en un corto espacio aparentemente contradictorios, desde valores de 500 m s.n.m a 330 m s.n.m. Esta disparidad es consecuencia de que, en esta zona, el muro de los carbonatos está sobre-elevado con respecto a las zonas más occidentales y muchos de los sondeos construidos han podido profundizar en el acuífero triásico. Los sondeos que más profundizan en este acuífero presentan las cotas de niveles más bajas; en líneas generales el nivel característico del acuífero triásico se sitúa en esta zona entre 375 y 390 m s.n.m., los niveles inferiores parecen corresponder a medidas de nivel dinámico o a errores de otro tipo.

En todo el acuífero se observa un descenso generalizado de niveles con respecto a los datos de 1996 que, con reservas, puede cifrarse en cerca de 20 m en la zona central del acuífero jurásico libre, aunque afecta al acuífero triásico, en unos 10 m junto al río Guadalimar en su margen izquierda y en el entorno de Villacarrillo y Villanueva del Arzobispo, y en unos 30-40 m al sur de Torreperogil.

Marzo de 2004

El plano de la figura 3.1.3.4 muestra la situación del acuífero en marzo de 2004 a partir de los datos obtenidos por el IGME en la correspondiente campaña flash. En relación con el plano de 2001 se observa que en el acuífero libre, en la margen derecha del Guadalimar, los niveles se mantienen con cotas similares.

Al sur de Torreperogil los niveles continúan descendiendo en unos 14 m más, con lo que el descenso total acumulado desde que se dispone de datos supera los 50 m. En la zona oeste, al norte de Baeza y Úbeda, se registran descensos de unos 10 m en relación con los datos de 2001.

En la zona de Villanueva del Arzobispo el descenso que se registra, en el único punto medido, es de 36 m con respecto al nivel en 2001, con un descenso total acumulado de casi 50 m.

Finalmente se observan dos conoides de depresión relacionados con dos puntos que presentan niveles por debajo de 315 m s.n.m. Estos mismos puntos también fueron medidos en 2001, el situado más al norte registró el nivel 55 m por encima del medido en 2004 y 28 m el situado más al sur.

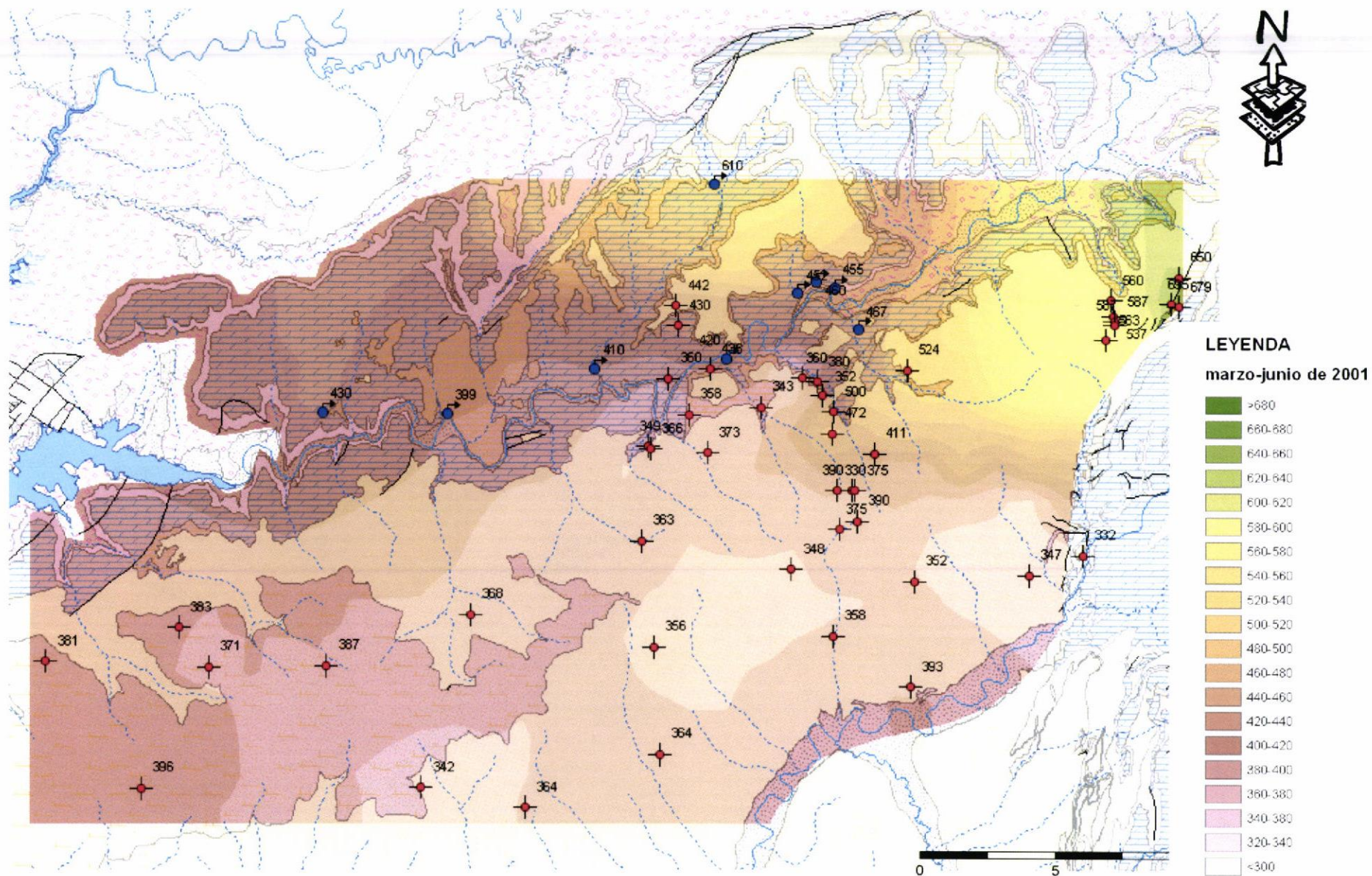
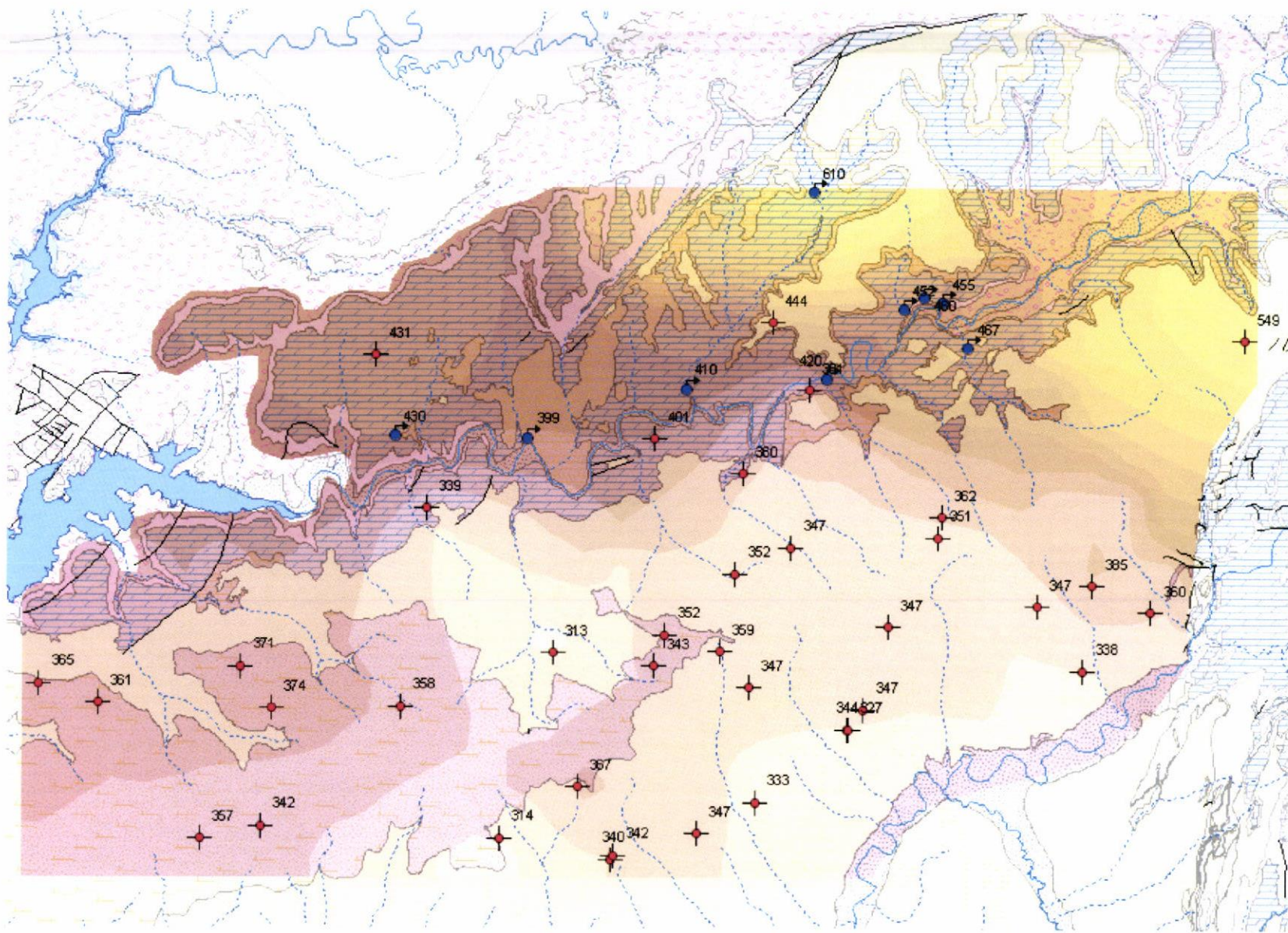


Figura 3.1.3.3. Plano de isopiezas del acuífero jurásico y triásico de la Loma de Úbeda. Periodo marzo-junio de 2001.



LEYENDA
marzo de 2004

- >580
- 660-680
- 640-660
- 620-640
- 600-620
- 580-600
- 560-580
- 540-560
- 520-540
- 480-500
- 480-480
- 440-460
- 420-440
- 390-400
- 360-380
- 340-360
- 320-340
- <300

Figura 3.1.3.4. Plano de isopiezas del acuífero jurásico y triásico de la Loma de Úbeda. Periodo marzo de 2004. 5 10 km

3.1.4 Evolución temporal de la piezometría en los acuíferos de la Loma de Úbeda

En el año 2001 el IGME inició la medida de niveles piezométricos sistemática en el acuífero de Loma de Úbeda. El número de piezómetros medidos y la periodicidad en las tomas de datos ha variado con el tiempo, debido a las diversas vicisitudes surgidas en relación con los propios puntos de medida o en los proyectos que han permitido las tomas de datos. La situación de los puntos medidos a lo largo de todo este tiempo se muestra en el plano de la figura 3.1.4.1, las principales características de estos puntos pueden encontrarse en las bases de datos que se adjuntan con el Sistema de Información Geográfica de la Masa de Agua y en la Tabla 3.1.1.

En la figura 3.1.4.2. se muestra un gráfico en el que se exponen los datos obtenidos en los 27 puntos que han sido controlados en algún periodo. En esta figura se observa una importante variedad en las evoluciones del nivel piezométrico y en las cotas. En relación con las cotas, parece intuirse que los niveles medidos tienden a agruparse en tres intervalos diferentes:

1. Entre 520 y 590 m s.n.m. Corresponde a los piezómetros Niña Isabel (2136/2/52) y Pozo Vicente (2136/3/51), que se ubican en la zona más oriental del acuífero (Sector de Villanueva del Arzobispo).
2. Entre 380 y 480 m s.n.m. En este margen de cotas se encuentran todos los piezómetros ubicados en el acuífero libre con algunas excepciones:
 - a. Esperanza Lara (2136/2/58). Se ubica en los límites de los acuíferos de Cazorla, con los que podría tener relación.
 - b. S-1 (2135/5/36). Es un sondeo cuya columna corta arcillas y en menor medida areniscas triásicas en la zona oriental del acuífero, antes de la entrada del río Guadalimar en los carbonatos jurásicos.
 - c. Los piezómetros ubicados en el acuífero libre cerca del meandro en que desemboca el arroyo del Mostazar en el río Guadalimar presentan cotas por debajo de los 380 m s.n.m. Se trata de los piezómetros S-6 (2036/4/60), S-10 (2036/4/64), S-14 (2036/4/43), y los Peñuela I y II (2036/4/14 y 34).

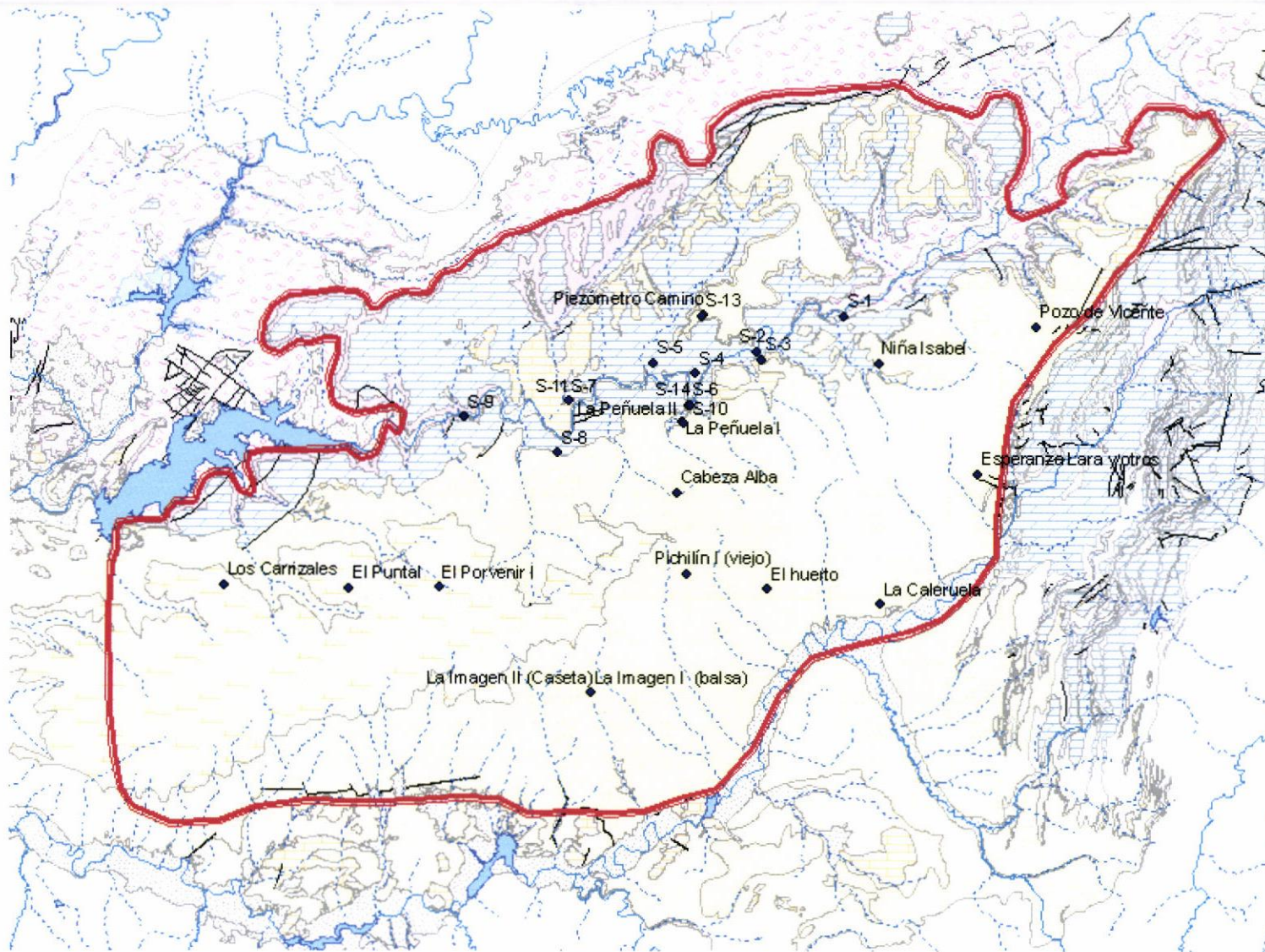


Figura 3.1.4.1. Puntos de control piezométrico en el acuífero de la Loma de Úbeda.

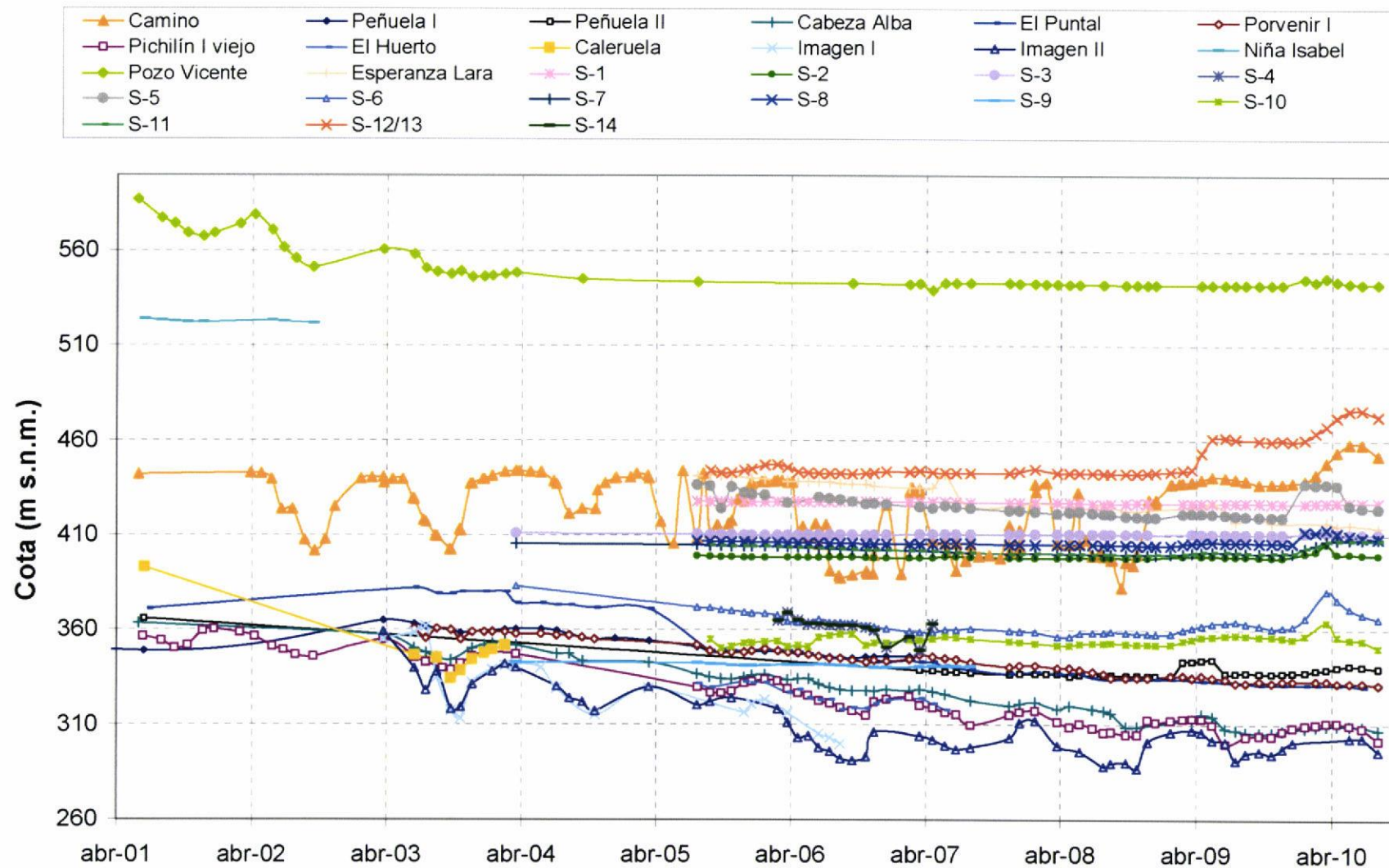


Figura 3.1.4.2. Evolución del nivel piezométrico en los puntos de la red de control de la Masa de Agua Subterránea 05.23 Úbeda.

- Entre 290 y 380 m s.n.m. En este grupo se encuentran todos los piezómetros de la zona confinada y el meandro del Mostazar, excepto los piezómetros del Sector de Villanueva del Arzobispo y el piezómetro Esperanza Lara. Se incluye también en este grupo el piezómetro S-9 (2036/3/48) que corta arcillas con finos niveles de areniscas triásicas pero en la zona occidental del acuífero a la salida del río Guadalimar de los carbonatos jurásicos.

Sector Villanueva del Arzobispo

A partir de los primeros datos piezométricos obtenidos en el acuífero, en 1996, fue detectada, en la zona nororiental de la masa de agua, un sector con los niveles piezométricos sobre-elevados con respecto al resto. En este sector se localizaban importantes captaciones de comunidades de regantes como la denominada “Minerva”.

En abril de 2001, el IGME comenzó a controlar la piezometría en el “Pozo Vicente” (2136/3/51) mediante un sensor de registro continuo que estuvo instalado hasta agosto de 2005 (figura 3.1.4.3). Además el nivel ha sido registrado mediante medida manual con sonda hasta la actualidad.

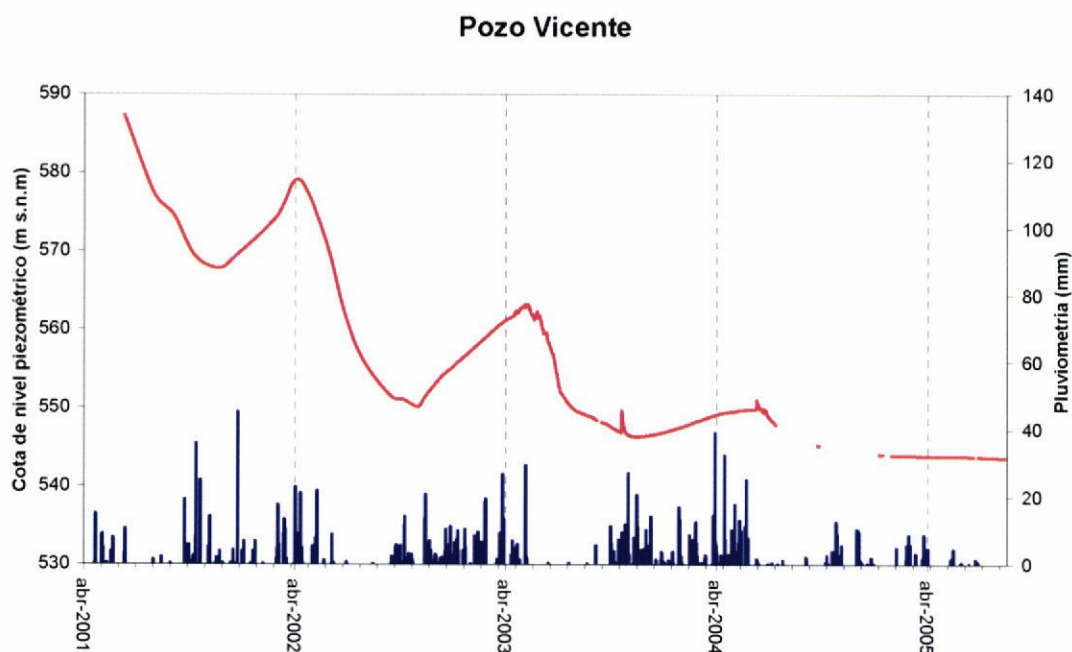


Figura 3.1.4.3. Registro obtenido mediante sensor en el piezómetro 2136/3/51 entre abril de 2001 y agosto de 2005 y datos diarios de pluviometría de la estación climática de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía ubicada en Sabiote.

El sensor mostró una tendencia descendente del nivel piezométrico desde 587 m s.n.m de cota al inicio del periodo de control hasta 543 m s.n.m al final, con un

descenso total de más de 40 m. En el gráfico de la figura 3.1.4.3 se observan variaciones del nivel piezométrico entre los años 2001 y 2004 que muestran ascensos temporales en tres años, que se inician a principios de noviembre y culminan en abril en 2002, en mayo en 2003 y en junio en 2004. Los ascensos son consecuencia del inicio de los periodos lluviosos tras el cese de la temporada de riego, que suele ocurrir a finales de septiembre, lo que demuestra la existencia de recarga por precipitaciones. El comienzo de los descensos es coincidente con la nueva temporada de riego y, una vez iniciada ésta, no se invierte la tendencia aunque se produzcan nuevas precipitaciones. A partir de la primavera de 2005 el nivel piezométrico alcanza la cota 543 m s.n.m. y ya no vuelve a registrar ascensos temporales (figura 3.1.4.2); el nivel continúa un descenso lento sin variaciones temporales hasta los 542 m s.n.m. en que se encuentra en agosto de 2010.

A partir de estos datos pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- El acuífero jurásico en el sector de Villanueva del Arzobispo se recarga a partir de las precipitaciones.
- Entre los años 2001 y 2004 se produjo una explotación del agua subterránea en este sector en un volumen superior a la recarga hasta el práctico agotamiento de las reservas acumuladas en el acuífero.
- Actualmente la explotación continúa en un mismo orden que las entradas, con lo que no se produce recuperación del nivel en las épocas de recarga.

El piezómetro denominado "Niña Isabel" (2136/2/52) fue controlado entre junio de 2001 y septiembre de 2002. No se conoce bien su profundidad, pues los datos existentes son contradictorios; por las características de la piezometría parece un sondeo poco profundo que corta materiales miocenos y bajo ellos el acuífero jurásico. La cota del nivel varía entre 521 y 525 m s.n.m. notablemente inferior a la registrada en el Pozo Vicente en este mismo periodo (entre 550 y 580 m s.n.m), pero superior a la de los pozos situados más al sur. El nivel parece representar valores característicos del acuífero jurásico aunque posiblemente influenciados por los materiales miocenos que lo recubren. El Mioceno tiene en esta zona a muro un paquete permeable de calcarenitas y areniscas. El registro en detalle presenta un periodo descendente durante el estiaje de 2001 y un periodo ascendente en la primavera de 2002 con variaciones del orden de 2 m.

Acuífero Jurásico libre

La mayoría de los sondeos piezométricos que muestran la evolución del nivel en el acuífero Jurásico libre se sitúan en el entorno del río Guadalimar. Solo el piezómetro Camino (2035/8/29) y el S-12/13 (2035/8/39) se sitúan más alejados, en el centro del afloramiento de los carbonatos jurásicos.

Como se indicó anteriormente, los sondeos que cortan el acuífero jurásico en su zona libre presentan mayoritariamente los niveles piezométricos a cotas comprendidas entre 380 y 480 m s.n.m. En la figura 3.1.4.4 se muestra el registro detallado de este conjunto de piezómetros para el periodo agosto de 2005 – agosto de 2010, en el que se dispone de información de 9, cuyos registros pueden ser comparados. La figura incluye los datos de precipitación diaria correspondiente a la estación pluviométrica de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía de Sabiote.

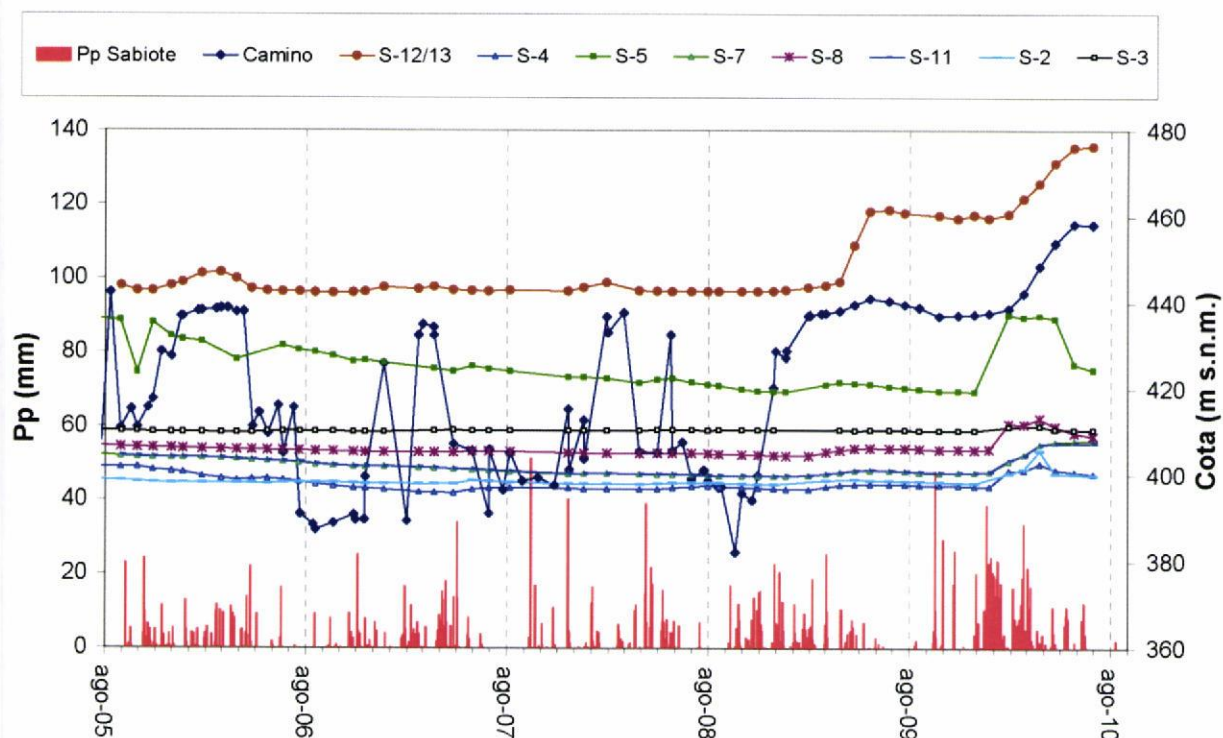


Figura 3.1.4.4. Registro piezométrico para el periodo Agosto 05-Agosto 10 en los sondeos ubicados en el acuífero jurásico libre y datos diarios de pluviometría de la estación climática de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía ubicada en Sabiote.

Los datos del piezómetro Camino proceden de los tomados por el IGME, completados con los obtenidos por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, que inició en marzo de 2002 la toma mensual sistemática de datos en el mismo punto.

En el gráfico de la figura 3.1.4.4 llama poderosamente la atención el comportamiento irregular del piezómetro Camino con respecto al resto, incluido el piezómetro S-12/13, que se sitúa tan sólo a unos metros de distancia de él. Este último piezómetro presenta las cotas de niveles más elevadas, como corresponde al punto situado más al norte, en el área de recarga preferencial de los carbonatos. El piezómetro Camino presenta una evolución similar pero sólo en lo que respecta a los datos de aguas altas (invierno y primavera), mientras que en aguas bajas (verano y otoño) los descensos son bruscos y muy acusados, algo que no se observa en ningún otro piezómetro. La explicación a esto se debe a la diferente profundidad que alcanzan los sondeos. El sondeo S-12/13 tiene una profundidad de 139 m con una columna litológica consistente en carbonatos jurásicos hasta los 123 m y arcillas triásicas hasta los 139 m; el nivel medido representa por tanto las evoluciones del acuífero jurásico. Del piezómetro Camino se desconoce su profundidad, aunque se sabe que llega a alcanzar las areniscas triásicas infrayacentes a las arcillas. La explicación a las bruscas variaciones del nivel se debe a este hecho, pues el acuífero triásico presenta menor carga hidráulica que el jurásico. En el sondeo S-12/13, el espesor saturado en los carbonatos varía entre 1,2 m y algo más de 20 m; cuando el espesor saturado es inferior a 1,5 m, el nivel en el piezómetro Camino se desploma, pasando a mostrar un registro propio del acuífero triásico. Posiblemente esto provoca un descuelgue del nivel en el acuífero jurásico con caída de agua desde cotas superiores, lo que puede provocar a veces errores en las medidas con sonda. Por desgracia no disponemos de ningún piezómetro que muestre exclusivamente las evoluciones del nivel en el acuífero triásico para poder efectuar comparaciones.

Merece la pena comentar la evolución del nivel durante los años 2009 y 2010. Tanto en el piezómetro Camino como en el S-12/13 se registran las cotas más elevadas del periodo de observación, debido a las abundantes precipitaciones del otoño de 2008 e invierno y primavera de 2009 y 2010, hasta tal punto, que durante el estiaje no llega a producirse el descuelgue del nivel de los carbonatos en el piezómetro Camino. En años con abundantes precipitaciones las campañas de riego empiezan más tarde y la explotación es más moderada, lo que contribuye a un equilibrio en el nivel piezométrico de los acuíferos.

La evolución del resto de piezómetros, situados junto al río Guadalimar, se muestra con mayor detalle en el gráfico de la figura 3.1.4.5. El sondeo S-5 (2036/4/59) es el que presenta el nivel a cotas más elevadas, y el S-2 (2136/1/96), en 2005, y S-4 (2036/4/58), en los años posteriores, son los que las presentan más bajas, ambos curiosamente ubicados en la margen derecha del río Guadalimar.

En los piezómetros ubicados en la margen derecha de río Guadalimar, el S-5 corta el muro del acuífero a 407 m s.n.m, casi 68 m más elevado que en el S-7, unos 34 m más que en el S-4 y unos 10 m por encima del S-2; estos datos son congruentes con la existencia de un escalón entre el sondeo S-5 y S-7, que podría ser consecuencia de la existencia de una falla de dirección NE-SO a la que se ajusta el cauce del Arrollo Robledo. Los registros piezométricos también apoyan la presencia de este escalón, pues muestran correlación en algunos tramos de las curvas de evolución piezométrica en los tres sondeos situados en el bloque levantado (S-5, S-4 y S-2), especialmente con el sondeo S-4, y una relación menos clara con los piezómetros S-7 y S-11. Además, el nivel piezométrico en el sondeo S-7, se sitúa por encima del nivel en los sondeos S-2 y S-4, lo que no es lógico si existiese continuidad hidrogeológica, pues la cota de muro en este punto es notablemente más baja y el punto se sitúa aguas abajo, cerca de la salida del río Guadalimar. Parece observarse una confluencia de flujo en el bloque levantado de la posible falla hacia el meandro donde se encuentran los sondeos S-4, S-6 y S-10, que constituiría el área principal de descarga de toda esta zona desde el acuífero libre hacia el acuífero confinado, con existencia de flujo bajo el río Guadalimar.

El sondeo S-5 presenta un registro descendente desde su inicio hasta finales de 2008, en que el nivel se estabiliza debido a la elevada pluviometría que se registra en el otoño de 2008 y el invierno y primavera de 2009. La tendencia descendente es algo superior a 3 m/año, con lo que el espesor saturado del acuífero jurásico, en este punto, pasa de tener 29 m al inicio del registro, a 12 m a finales de 2008. El año 2010 es el más lluvioso de la serie, como consecuencia se registra una fuerte subida que devuelve el nivel a su cota histórica más elevada, hasta la llegada del estiaje en que baja de nuevo, pero se estabiliza a unos 5 m por encima del inicio de la subida. Los periodos de descenso comienzan en el mes de mayo-junio, cuando empieza el estiaje y finalizan en marzo con una inversión temporal de la evolución del nivel producida por la recarga de primavera, en los meses en que hay además ausencia de explotación. Los últimos años son una excepción, pues han sido muy lluviosos y, como consecuencia los ascensos comienzan antes, en enero e incluso en diciembre.

El piezómetro S-4 presenta una tendencia descendente similar al S-5 hasta abril de 2007, donde los niveles se estabilizan tras un descenso acumulado desde el inicio de las medidas de unos 6 m. Los piezómetros S-8, S-2 y S-4 responden de manera similar al pico de recarga de 2010, y de forma diferente a los piezómetros S-7 y S-11. El registro muestra periodos de recarga, en las mismas fechas que en el piezómetro S-5.

En la figura 3.1.4.6 se representan aún con mayor detalle los registros de los piezómetros del entorno del Guadalimar eliminando el S-5, para poder analizar mejor la variación del nivel.

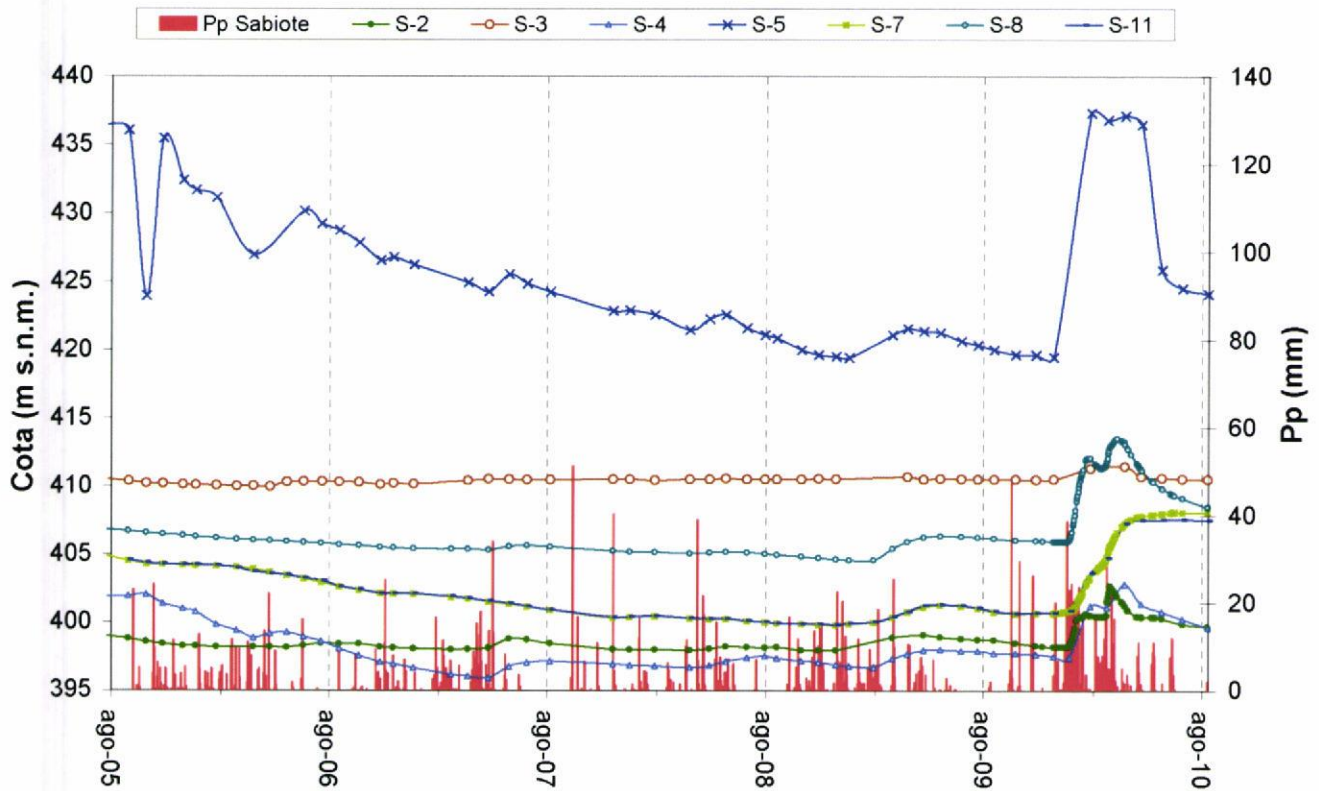


Figura 3.1.4.5. Registro piezométrico para el periodo Agosto 05-Agosto 10 en los sondeos ubicados en ambas márgenes del río Guadalimar y datos diarios de pluvimetría de la estación climática de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía ubicada en Sabiote.

Llama la atención que los sondeos ubicados en la margen derecha (S-2, S-4, S-7 y S-11) presenten cotas del nivel inferiores a las que se observan en los piezómetros de la margen izquierda (S-3 y S-8), con la excepción de los piezómetros S-6 y S-10 que serán analizados posteriormente.

El piezómetro S-2 se encuentra al este del S-4, aguas arriba del río Guadalimar y en la misma margen. Al inicio de las medidas es, curiosamente, el que menor cota presenta, a pesar de situarse aguas arriba de todos los demás en relación con el río. El registro muestra el nivel más o menos estabilizado durante todo el periodo, en torno a la cota 398 m s.n.m., con variaciones siempre inferiores a 1 m excepto en la crecida de 2010 donde lleva a subir más de 4 m. El espesor saturado en los carbonatos en este punto

es muy pequeño, tan sólo de 4-5 m lo que puede explicar la estabilidad del nivel registrada. Se encuentra además cerca del río Guadalimar con el nivel freático por encima de la cota del río, que en esta parte corta casi por completo el paquete de carbonatos. El registro del S-4 es claramente diferente al del S-2 hasta abril de 2004, cuando la cota del S-4 pasa a ser inferior a la del S-2, a partir de este momento ambos sondeos muestran una evolución similar.

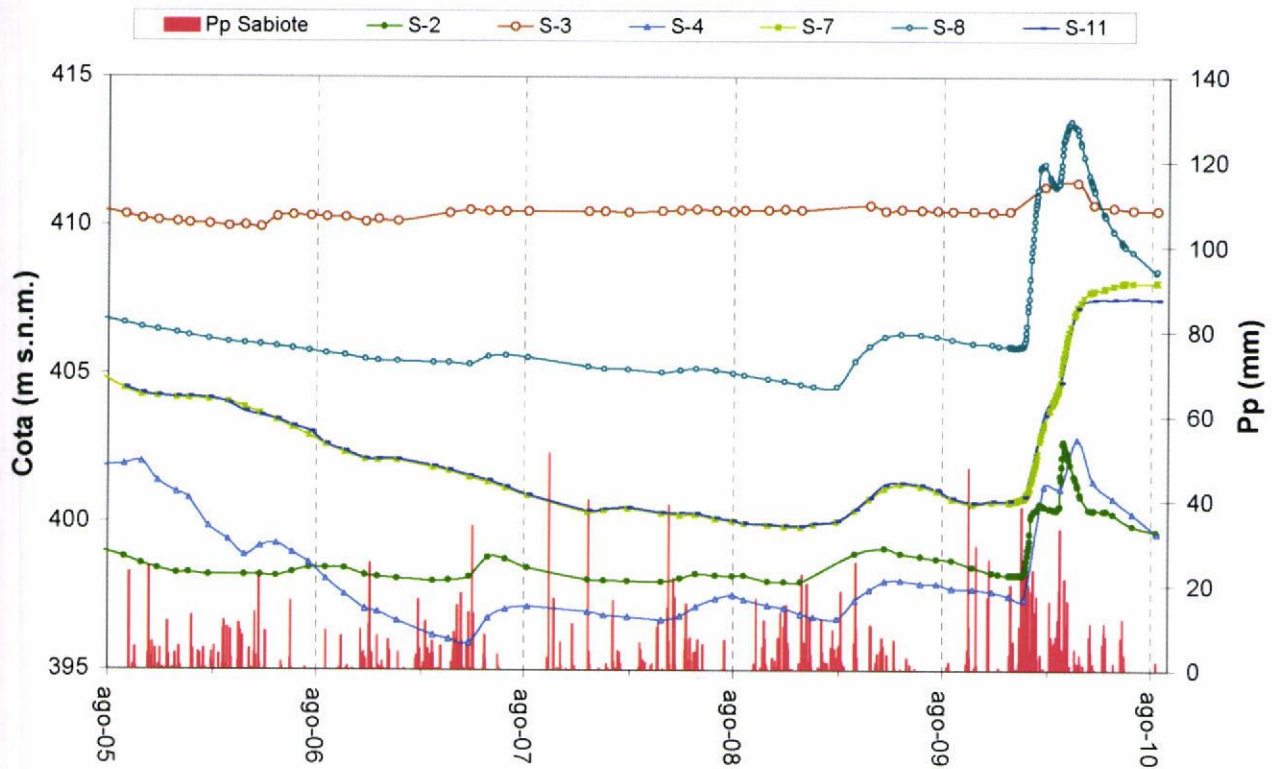


Figura 3.1.4.6. Detalle del registro piezométrico para el periodo Julio 05- Octubre 09 en los sondeos ubicados en ambas márgenes del río Guadalimar, excepto S-5, S-6 y S-10 y datos diarios de pluviometría de la estación climática de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía ubicada en Sabiote.

Los piezómetros S-7 y S-11 se encuentran cerca de la central de Olvera, aguas abajo del río Guadalimar y en el bloque hundido de la posible fractura a la que se adapta el Arroyo Robledo. Ambos piezómetros están a unos metros de distancia entre si, por lo que la evolución del nivel es paralela. En la figura 3.1.4.6 se observa que el registro obtenido es diferente al que muestran el resto de piezómetros ubicados en la misma margen, con una fase descendente desde el inicio (cota 404 m s.n.m.) hasta noviembre de 2007, que se atenúa en el año siguiente hasta situarse por debajo de la cota 400 m s.n.m. en noviembre de 2008, en que se estabiliza en torno a la cota 400 m s.n.m. A partir de esa fecha se observa una fase de recarga consecuencia de las

abundantes precipitaciones registrada en 2008/2009 y sobre todo en 2010, con una fuerte crecida diferente al resto de piezómetros, pues los niveles se mantienen elevados tras la llegada del estiaje. Parece como si existiese una recarga adicional a la producida por las lluvias que alarga la crecida. En los años anteriores, los periodos de recarga se reflejan muy débilmente.

En la margen izquierda se muestra el registro de dos piezómetros (figura 3.1.4.6), el S-3 está ubicado al este, en la zona en la que el río Guadalimar entra en contacto con el acuífero, el S-8 se ubica aguas abajo, cerca de la central de Olvera. Los dos sondeos muestran el nivel piezométrico por encima de la cota del cauce del río Guadalimar y de los sondeos situados frente a ellos en la margen derecha, esto descarta que, en estas zonas, se esté produciendo paso de agua a través del acuífero jurásico de una margen del río a otra.

El S-8 muestra un periodo descendente hasta enero de 2009, con un gradiente en torno a 0,1% totalizando un descenso de unos 2 m, una recuperación en el invierno y primavera de 2009 donde se alcanzan niveles parecidos a los obtenidos al inicio del registro y una fuerte crecida tras las lluvias de 2010. Su evolución a partir de 2007 es, sorprendentemente, similar a la de los piezómetros S-2 y S-4 situados en la margen contraria, unos siete km aguas arriba el más cercano (S-4) y ambos con el nivel freático varios metros más profundo. Los episodios de recarga en años anteriores apenas son apreciables, ni los periodos de estiaje y bombeo.

El S-3 presenta el nivel piezométrico a cotas ligeramente por encima de los 410 m s.n.m. con débiles variaciones, siempre inferiores a 0,5 m excepto en la crecida de 2010 que llega a ser de 1 m. El espesor saturado es escaso, de unos 15 m, lo que podría explicar la débil variación del nivel.

La posición del nivel tanto en el piezómetro S-8 como en el S-3 implica la existencia de descargas del acuífero jurásico al río Guadalimar en estas zonas.

Acuífero jurásico confinado

En la figura 3.1.4.7 se muestra el registro obtenido en todos los piezómetros con los niveles a cotas por debajo de 380 m s.n.m desde que se iniciaron las medidas. La mayor parte de ellos corresponden a los ubicados en la zona en que el acuífero jurásico se encuentra confinado, con la excepción del S-6 y S-10 de características especiales al resto de los piezómetros ubicado en el entorno del Guadalimar, y de los piezómetros "Peñuela", que se encuentran en el límite entre ambas zonas y cerca de

los dos anteriores. En el gráfico se ha incluido también la pluviometría de la estación de Sabiote.

Las cotas más elevadas se observan en el piezómetro S-6 y en la primera etapa de medidas del piezómetro "El Puntal" (2036/6/84), hasta agosto de 2005. De este último piezómetro se dispone de información de su columna litológica gracias a la memoria de perforación del sondeo, procedente del informe solicitado por la CHG para la tramitación de la solicitud de concesiones. El sondeo tiene una profundidad de 470 m y se ubica en la zona occidental del acuífero confinado (figura 3.1.4.1). Corta 300 m de margas con niveles de areniscas del mioceno, 20 m de carbonatos jurásicos, 70 m de arcillas triásicas y unos 100 m de areniscas y arcillas triásicas. La columna indica un espesor muy reducido en el acuífero jurásico y que el acuífero principal explotado son las areniscas triásicas. En el registro se observa un periodo hasta agosto de 2005 con el nivel situado a cotas entre 371 y 382 m s.n.m. que no presentan correlación con ningún otro registro obtenido en el resto de piezómetros. A partir del estiaje de 2005 se observa un brusco descenso del nivel hasta la cota 349 m s.n.m, cota que es similar a la de los piezómetros Porvenir I y Peñuela I, con los que pasa a estar correlacionado.

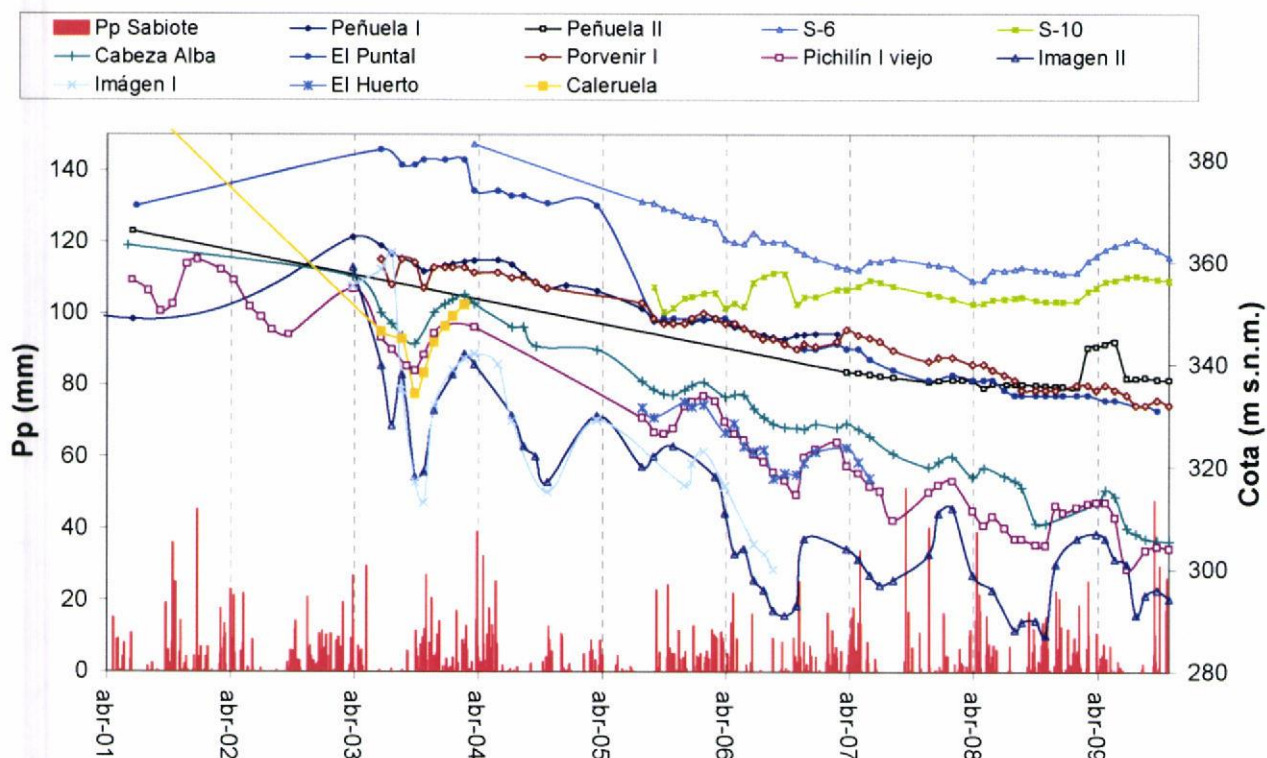


Figura 3.1.4.7. Registro piezométrico para el periodo abril 01-octubre 09 en los sondeos situados en la zona confinada y datos diarios de pluviometría de la estación climática de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía ubicada en Sabiote.

El sondeo S-6 se sitúa a tan sólo unos 100 m de distancia del cauce del río Guadalimar, en su margen izquierda. La lámina de agua del río en esta zona fue nivelada en junio de 2006 con una cota resultante de 389,23 m s.n.m. El sondeo en esa fecha tenía el nivel a 364 m s.n.m., 25 m por debajo de la cota del río. En esta zona, el muro del acuífero jurásico se encuentra a 313,1 m s.n.m. lo que implica un espesor saturado superior a 50 m. En resumen, el meandro donde se ubica este sondeo presenta las cotas más bajas de nivel piezométrico de todos los piezómetros del entorno del río y también mayor espesor saturado en el acuífero jurásico. El registro muestra un periodo descendente desde la construcción del sondeo hasta marzo de 2007 casi lineal, con descensos cifrados en 8 m anuales, una posterior estabilización y un periodo con tendencia ascendente desde enero de 2009.

A tan solo a 20 m de distancia del S-6 se construyó otro sondeo de mayor diámetro (S-10). Una vez finalizado este sondeo, el nivel piezométrico se situó, sorprendentemente, unos 15 m por debajo del medido en el sondeo contiguo S-6. Las causas de esta diferencia de niveles se estudiaron mediante testificación geofísica (figura 3.1.4.7) con realización en el sondeo S-10 de registros videográfico, pH, eH, conductividad, temperatura, flujos verticales, gamma natural, desviación e inclinación y diámetro. El reconocimiento fue realizado por la empresa CAYPE, S.L. y puso de manifiesto la existencia de dos importantes entradas de agua por encima del nivel estabilizado en el sondeo. A partir de los registros de la sonda "flowmeter", que mide los cambios verticales en el flujo de agua, se observó un flujo descendente en toda la zona saturada hasta los 82 m de profundidad, cerca del muro del acuífero. El registro "gamma natural" muestra la existencia en los primeros 12 m de un elevado contenido en arcillas, y otros dos tramos con alto contenido en arcillas entre 28 m y 32 m y entre 49,5 m y 59,5 m (figura 3.1.4.8).

Con esta información puede interpretarse la diferencia de nivel observada entre los dos sondeos como consecuencia del equilibrio existente entre los volúmenes de entrada de agua "colgados" y el nivel regional en el acuífero. El sondeo de menor diámetro (S-6), mostraría la situación de un volumen de agua "en tránsito" hacia la zona saturada principal, mientras que el de mayor diámetro (S-10) reflejaría las evoluciones del nivel regional influenciadas por la entrada de agua de los niveles superiores.

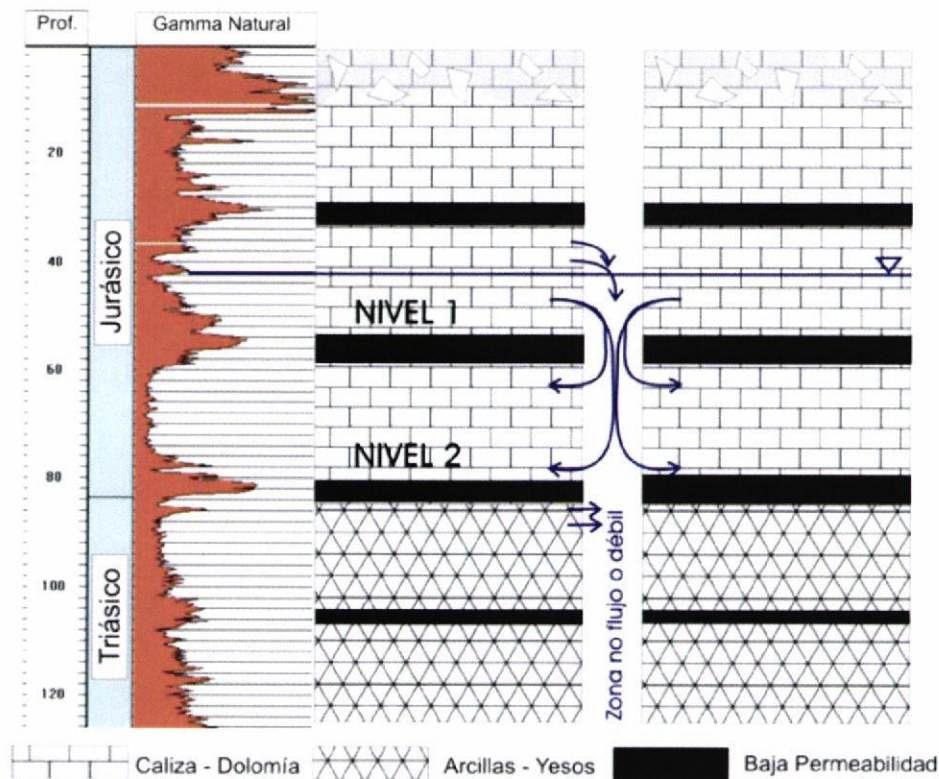


Figura 3.1.4.8. Interpretación de la testificación geofísica realizada en el sondeo S-10.

En la figura 3.1.4.9 se muestra con mayor detalle la evolución piezométrica de los sondeos más cercanos al río para poder compararla con las evoluciones en los sondeos S-6 y S-10, a partir del periodo en que se inicia la toma de datos sistemática en estos dos sondeos (agosto de 2005).

Los sondeos S-6 y S-10 muestran registros casi opuestos hasta mayo de 2007, mientras el S-6 desciende, el S-10 asciende. El descenso en el S-6, como se indicó anteriormente es muy lineal excepto en la primavera de 2006 en que muestra un descenso brusco que se observa aún más pronunciado en el S-10. Este descenso no tiene correlación con la pluviometría, pues se trata de un periodo lluvioso, tampoco es detectado por los sondeos situados más al sur, zona en la que se producen las explotaciones, por lo que no parece estar relacionado con bombeos cercanos. La explicación podría encontrarse en los caudales circulantes por el río Guadalimar, que dependen en gran medida de los desembalses producidos en el embalse del Gaudalmena. Los desembalses, en años normales, se producen en verano y en primavera el caudal es retenido. En el año 2005/6 se observa que la máxima aportación al embalse se produce precisamente en el estiaje. Las evoluciones piezométricas en el S-6 y S-10 parecen influenciada por el caudal circulante por el río,

especialmente apreciable en la crecida registrada en el estiaje de 2006, que sólo puede ser explicada por esta causa (figura 3.1.4.9). Esto demuestra la existencia de una contribución del río a la recarga del acuífero jurásico.

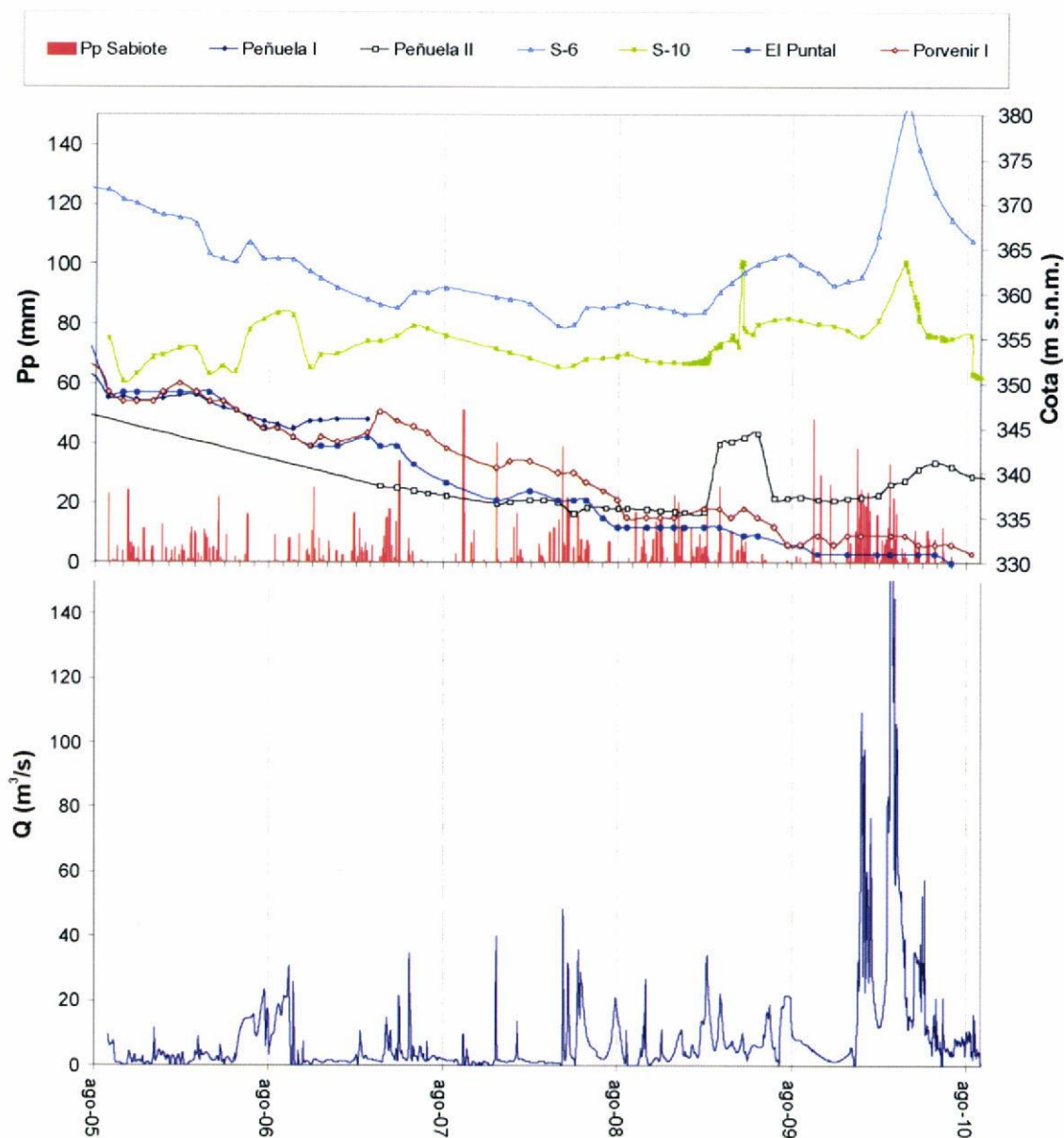


Figura 3.1.4.9. Registro piezométrico para el periodo agosto 05-octubre 09 en los sondeos situados en la zona confinada, curva de datos mensuales de entradas al embalse del Giribaile y datos diarios de pluviometría de la estación climática de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía ubicada en Sabiote

Los piezómetros Peñuela I y II se encuentran a tan sólo 800 m al sur del S-6. El piezómetro Peñuela I comenzó a controlarse sistemáticamente a partir de la primavera de 2003, aunque se dispone de datos aislados en años anteriores. Su control se llevó

a cabo hasta febrero de 2007 en que dejó de medirse, pues fue desinstalada la tubería piezométrica existente. A partir de esa fecha fue sustituido por el Peñuela II. El piezómetro Peñuela II es un sondeo que actualmente no se utiliza, situado a unos 100 m del anterior. En este último sondeo se ha realizado una testificación geofísica con motivo de este proyecto para conocer mejor su columna litológica. El sondeo presenta actualmente 110 m de profundidad y perfora exclusivamente carbonatos jurásicos. El Peñuela I, en cambio, es un sondeo más profundo, y llega a alcanzar las areniscas triásicas.

El Peñuela I muestra una cota y una evolución de niveles similar a la del piezómetro Porvenir I (figuras 3.1.4.7 y 3.1.4.9) , que se sitúa al suroeste del mismo y muy alejado, a casi 14 km de distancia, y lo mismo ocurre con el piezómetro Puntal a partir de agosto de 2005, que se sitúa aún más alejado. Los datos piezométricos demuestran que los tres sondeos perforan un mismo acuífero y los datos litológicos indican que se trata del acuífero triásico. La evolución del nivel en los tres piezómetros muestra una tendencia lineal descendente desde marzo de 2003 hasta la actualidad, que puede cifrarse en unos 5 m anuales y llama la atención de que apenas se han visto afectados por los importantes periodo de recarga que se produce en los años hidrológicos 2008/09 y sobre todo 2009/10, de abundantes precipitaciones, y que afectan claramente al resto de piezómetros. Hay que hacer notar que el nivel piezométrico en estos sondeos se sitúa, a partir de mayo de 2008, por debajo de la cota 340 m s.n.m., que es la cota en la que las aguas almacenadas en el embalse del Giribaile entran en contacto con las areniscas triásicas, con las que pudiera existir continuidad hidrogeológica. El piezómetro Puntal se encuentra 6 km al sur de la cola del embalse.

El Peñuela II, que perfora exclusivamente carbonatos jurásicos, muestra un registro diferente, con una evolución más parecida a la del piezómetro S-6.

Las cotas más bajas aparecen en los piezómetros Imagen I y II, Pichilín, El Huerto, Caleruela y Cabeza Alba, que, con excepción de este último, son los situados más al sur, donde el acuífero jurásico se encuentra a mayor profundidad. Todos ellos muestran una similar evolución en el nivel piezométrico, lo que demuestra que perforan un mismo horizonte acuífero.

De estos piezómetros se dispone de datos a partir del año 2001 en el piezómetro Pichilín, que es el que tiene el registro más largo y completo. En el resto de puntos la toma sistemática de datos se inició en abril de 2003.

La figura 3.1.4.7 muestra un gráfico donde puede compararse el registro de estos piezómetros con los situados más al norte. Se observa cómo hasta abril de 2004, la

diferencia en la cota del nivel piezométrico entre este grupo de piezómetros y los situados más al norte (Peñuela I y Porvenir I) es pequeña, hay momentos en que el nivel en Pichilín, e incluso en el Imagen I, se encuentra por encima de la cota del Peñuela I. Durante este periodo se observa que los niveles están más o menos estabilizados, aunque a partir de abril de 2003, comienza a aparecer una clara tendencia descendente, que se agudiza en el año siguiente.

Los descensos en los niveles piezométricos muestran un sucesivo descuelgue entre los piezómetros situados más al norte y los situados más al sur, con un salto en las cotas que va incrementándose en el tiempo. Se observa un gradiente en los descensos más acusado en los piezómetros situados más al sur. La evolución del nivel sigue pautas parecidas entre ambos grupos de piezómetros, con ascensos que se inician en el otoño y culminan en enero-febrero, y descensos que comienzan en la primavera como consecuencia del inicio del nuevo periodo de explotación del agua subterránea. Sin embargo se aprecian variaciones anuales mucho más acusadas en los piezómetros situados más al sur.

El piezómetro Imagen II, el situado más al sur, muestra una estabilización interanual de niveles a partir de septiembre de 2006, que, aunque más tarde, parece también ocurrir en el piezómetro Pichilín.

El piezómetro Cabeza Alba se encuentra al sur del Peñuela I, a tan sólo 3,4 km de distancia. Esta distancia es muy inferior a la de los piezómetros Puntal y Porvenir, sin embargo, su registro piezométrico es similar al de los piezómetros más alejados y situados más al sur. Esta diferenciación parece estar provocada por la existencia de fracturas de dirección NE-SO, detectadas en perfiles sísmicos y similares a las observadas en la zona en que los carbonatos afloran, comentadas en los epígrafes anteriores. Estas fracturas parecen dificultar el flujo del agua subterránea de una zona a otra, aunque la similitud de la evolución del nivel en ambas zonas parece que no lo impide. Un salto de falla superior a 100 m podría provocar la desconexión del paquete de carbonatos en ambos labios de las fallas, sin embargo pondría en contacto el acuífero triásico con el jurásico, con transferencias de agua entre ambos. Este hecho explicaría porqué existe una menor carga hidráulica en el acuífero triásico que en el jurásico a pesar de presentar el primero áreas de recarga a cota superior al segundo.

Finalmente merece la pena comentar el registro obtenido en el piezómetro Caleruela en el año 2003/04. Este sondeo se sitúa en el talud vertiente al río Guadalquivir entre las localidades de Mogón y Santo Tomás. Muestra una evolución similar a la de los piezómetros Imagen, Pichilín y El Huerto, lo que demuestra que perfora el mismo

horizonte acuífero y sirve para acotar su extensión hacia el sureste. Los piezómetros que ha estado controlando la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir en el entorno de Mogón, en la margen izquierda del Guadalquivir muestran cotas de nivel muy diferentes y también una distinta evolución, lo que demuestra una desconexión hidrogeológica entre el acuífero de la Loma de Úbeda y los carbonatos del acuífero de Beas de Segura, incluido en la MAS Sierra de Cazorla.

3.1.5 Conclusiones

Del análisis de la piezometría del acuífero a partir de los datos de 1996 se deduce que las cotas más elevadas del nivel freático se encuentran en el borde norte del afloramiento de carbonatos; superan los 600 m s.n.m. y están relacionadas con las areniscas triásicas, pues los carbonatos apenas presentan espesor saturado en esa zona. Existe una importante fractura de dirección NE-SO, cartografiada en las correspondientes hojas geológicas, al sur de Navas de San Juan y Santisteban del Puerto que pone en contacto directo los acuíferos triásico y jurásico, de tal forma que permite el flujo de agua entre ambos. En los puntos con información piezométrica situados en el entorno de esta fractura se observa continuidad en las cotas de los niveles en ambos acuíferos. Más al sur, los sondeos más profundos, que alcanzan el acuífero triásico, muestran sistemáticamente el nivel piezométrico a menor cota que los que cortan exclusivamente el acuífero jurásico. Finalmente, en el entorno del río Guadalimar, el nivel piezométrico en el acuífero jurásico se sitúa por encima del cauce en todo su trazado excepto en dos pequeños sectores que son el entorno del puente de la carretera de Sabiote y el meandro del Arroyo del Mostazar. En el acuífero triásico, el nivel piezométrico se encuentra por debajo de la cota del cauce en todo su trazado.

El plano de isopiezas realizado a partir de los datos obtenidos en 1996 (figura 3.1.3.2), muestra la presencia de un conoide de bombeo que se sitúa al sur del acuífero, en la zona confinada, donde el nivel piezométrico alcanza cotas incluso por debajo de 300 m s.n.m. En el resto de la zona confinada el nivel se encuentra entre 380 y 400 m s.n.m., las cotas más elevadas parecen situarse cerca del afloramiento del acuífero mioceno, lo que podría indicar la existencia de recarga diferida a partir de este acuífero. El plano también muestra la existencia de una zona entorno al núcleo de Villanueva del Arzobispo donde los niveles superan la cota 600 m s.n.m.

El conoide de bombeo detectado al sur del acuífero parece ser el responsable de la movilización del flujo del agua subterránea en el acuífero confinado, que en

condiciones naturales debería ser casi inexistente, como parece indicar la similitud de cotas que presentan el resto de puntos en la zona confinada, con gradientes poco acusados.

El plano de isopiezas realizado en 2001 (figura 3.1.3.3) muestra un descenso generalizado de niveles con respecto a 1996 cifrado en cerca de 20 m en la zona central del acuífero jurásico libre, que en realidad afecta al acuífero triásico infrayacente, en unos 10 m en el entorno del río Guadalimar y de Villacarrillo y Villanueva del Arzobispo y en unos 30-40 m al sur de Torreperogil, en la zona de mayor confinamiento del acuífero jurásico.

Las isopiezas correspondientes a 2004 indican que en la margen derecha del Guadalimar, los niveles se mantienen más o menos estabilizados con respecto a los de 2001. Al sur de Torreperogil y en el sector de Villanueva del Arzobispo se alcanza un descenso acumulado desde 1996 de más de 50 m. Finalmente, en la zona oeste, al norte de Baeza y Úbeda, el descenso registrado es de unos 10 m con respecto a los datos de 2001.

La evolución temporal del nivel piezométrico ha sido controlada en una serie de piezómetros desde 2001. Los datos obtenidos muestran diferencias en varios sectores.

En el sector de Villanueva del Arzobispo, se observa un descenso desde la cota cercana a 580 m s.n.m hasta casi los 540 m s.n.m. en el periodo de control. De la curva piezométrica obtenida se deduce la existencia de recarga a partir de las precipitaciones, pero en un volumen inferior a la exploración para regadío. Este volumen de explotación continúa en la actualidad, pues no se detecta recuperación de niveles.

Del análisis de las evoluciones y cotas de niveles en el resto de piezómetros se deduce que en la zona de afloramiento de carbonatos y entorno del río Guadalimar hay importantes diferencias en las cotas de los niveles piezométricos y en las evoluciones, condicionadas en primer lugar por los sondeos que cortan el acuífero triásico frente a los que cortan exclusivamente el acuífero jurásico.

En el acuífero triásico el nivel varía entre 380 y 400 m s.n.m. en la margen derecha del río, según la información deducida del piezómetro "Camino"; en la margen izquierda, el piezómetro "Peñuela I" muestra cotas entre 345 y más de 360 m s.n.m. con descensos continuados desde abril de 2003. Los piezómetros "Puntal" y "Porvenir" situados a más de 14 km al este muestran una elevada correlación con el "Peñuela I", lo que demuestra que los tres tienen estrecha relación hidrogeológica.

Los piezómetros construidos por el IGME, que sólo cortan el acuífero jurásico, presentan el nivel piezométrico a cotas comprendidas entre 380 y 470 m s.n.m., con excepción de los situados en el meandro del arroyo del Mostazar (S-6 y S-10). Todos los piezómetros, excepto los dos citados, muestran cotas por encima del cauce del río Guadalimar. Su análisis indica diferencias entre ellos que sugieren posibles compartimentaciones en la margen izquierda, la principal podría estar provocada por una fractura de dirección NE-SO a la que se adaptaría el cauce rectilíneo del Arroyo Robledo. Los datos también muestran que en gran parte de la margen derecha el flujo en el acuífero jurásico confluye hacia el meandro del Mostazar, única zona en la que el nivel piezométrico del acuífero jurásico aparece por debajo del cauce del río Guadalimar, como indican los registros de los piezómetros S-6 y S-10.

Estos dos piezómetros muestran una particular evolución piezométrica, que, como rasgo más sobresaliente, demuestra la influencia del caudal circulante por el río Guadalimar en la recarga del acuífero jurásico.

En la zona confinada los piezómetros analizados muestran similitud de cotas en los primeros años de control, hasta el año 2003. A partir de este año, se observa una acusada tendencia descendente con variaciones debidas a los periodos de recarga del invierno y la primavera y descensos en estiajes causados por el cese de la recarga y, sobre todo, por el inicio de la temporada de bombeos. La tendencia descendente es diferente en el grupo de piezómetros situados más al sur que en los situados más al norte (Peñuela, Puntal y Porvenir), los gradientes son más acusados en los situados al sur, y también las variaciones interanuales. De los datos se deduce la existencia de accidentes tectónicos causados probablemente por fallas de dirección NE-SO que dificultan la conexión entre ambas zonas, pero no la impiden. Los tres piezómetros situados más al norte muestran la evolución del acuífero triásico, en cambio, los situados más al sur cortan sólo el acuífero jurásico. La conexión entre ambos acuíferos podría ser consecuencia de las citadas fracturas, ya que un salto de falla superior a 100 m desconectaría el paquete de carbonatos en ambos labios, pero pondría en conexión el acuífero jurásico y triásico, como parece que indican los datos piezométricos.

En resumen, los datos piezométricos sugieren que existen dos niveles acuíferos principales que se ponen en contacto gracias a la presencia de fallas en dos zonas concretas: en la margen derecha del río, en una falla situada al sur de Navas de San Juan-Santisteban del Puerto, y en la zona central del acuífero confinado. En ambos casos las fallas parecen presentar direcciones NE-SO. Además, los datos demuestran la existencia de recarga en la zona confinada a partir de las precipitaciones y por

infiltración del río Guadalimar en zonas muy localizadas. También podría existir recarga diferida desde el acuífero mioceno.

Los piezómetros Puntal y Porvenir, que registran niveles del acuífero triásico, se encuentran unos 6 km al sur del vaso del embalse de Giribaile, donde afloran areniscas triásicas. Actualmente la cota del nivel piezométrico se sitúa por debajo de 340 m s.n.m., que es la cota de la lámina de agua del embalse del Giribaile, por lo que existe la posibilidad de que se produzca una llamada del agua almacenada en el embalse hacia el acuífero triásico a través de las areniscas aflorantes, en caso de que exista continuidad hidrogeológica con los niveles captados por los sondeos.

3.2 PIEZÓMETROS CONSTRUIDOS POR EL IGME

3.2.1 Introducción

Para tratar de mejorar el conocimiento de la relación entre el río y el acuífero jurásico, el IGME perforó, durante el año 2005, catorce sondeos de reconocimiento en su mayoría en las inmediaciones del cauce del río, y comenzó posteriormente a controlar la evolución de niveles piezométricos de forma sistemática.

En la tabla 3.2.1.1 se muestran las características principales de los puntos perforados; su situación puede observarse en el plano de la figura 3.2.1.1. Los sondeos, una vez construidos y acondicionados, fueron nivelados con un receptor GPS Trimble 5800 con una precisión horizontal y vertical de orden decimétrico.

Para tener la posibilidad de comparar con precisión los niveles piezométricos en los sondeos con el nivel en el cauce del río, se nivelaron también diversos puntos cercanos al cauce, de tal forma que permitieran conocer la cota de la lámina de agua circulante por el río en las cercanías de los sondeos construidos. En la tabla 3.2.1.2, se muestran las principales características de estos puntos.

Los sondeos S-2 y S-3, ubicados en la zona en la que el río entra en el acuífero y los sondeos S-7 y S-8, cercanos a su salida, fueron equipados con sensores "OTT Orpheus mini" configurados para una medición horaria de nivel y temperatura del agua.

nº IGME	DENOMINACIÓN	COORDENADAS UTM		COTA m s.n.m.	PROF. m	ESPESOR DE CARBONATOS m	OBSERVACIONES
		X	Y				
2135/5/36	S-1 Cruz de Marina	489855.9	4224728.4	441.59	156	----	Arcillas y areniscas del Triás
2136/1/96	S-2 Cortijo del Mojino	485895.7	4223153.4	427.79	67	34,25	
2136/1/97	S-3 Las Pulgas	486129.8	4222787.7	476.55	93	84,2	
2036/4/58	S-4 Los Lobos	483010.5	4222148,3	461,03	125	87,1	
2036/4/59	S-5 Loma del Robledo	481023.4	4222614.9	484.91	87	79,6	
2036/4/60	S-6 Ayo. Mostazar	482723.7	4220649,3	397.52	135	82,95	
2036/4/61	S-7 Embalse de Olvera	477108.4	4220855.4	433.71	118	87,55	
2036/4/62	S-8 Avenazar-Maestro Ponce	476630	4218449.4	419.07	94	63,9	
2036/3/48	S-9 Huerta Oliva	472256.9	4220115.6	373,6	104	----	Arcillas y areniscas del Triás
2036/4/63	S-10 Ayo. Mostazar 2	482739,7	4220658,4	396,13	150	90	
2036/4/64	S-11 Embalse de Olvera 2	477144.4	4220852.1	432.42	150	96	
2035/8/40	S-12/13 Piezómetro Camino	483359.4	4224895.2	563,86	139	89,65	
2036/4/43	S-14 Ayo. Mostazar 3	482771.9	4220668,3	395,86	150,1	87,5	

Tabla 3.2.1.1. Características principales de los sondeos de investigación construidos.

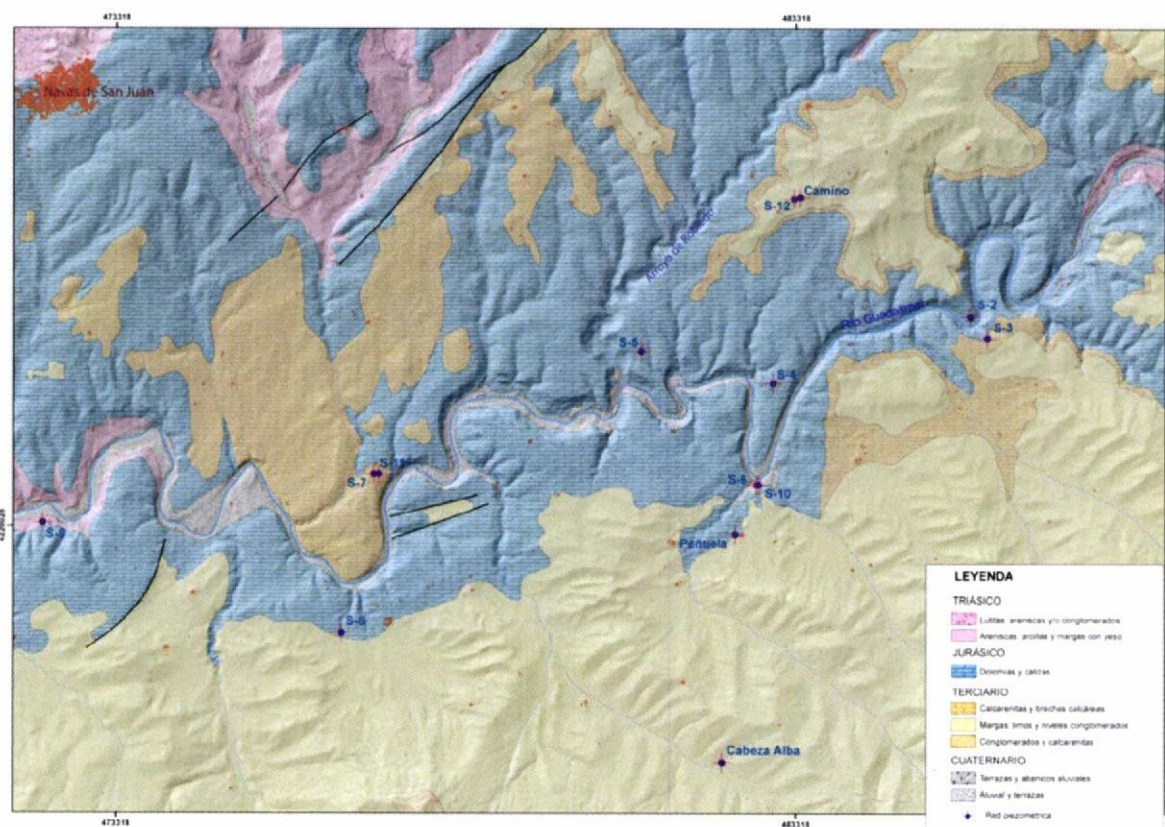


Figura 3.2.1.1. Contexto geológico y situación de los piezómetros construidos por el IGME en el entorno del río Guadalimar.

DENOMINACIÓN	COORDENADAS UTM		COTA	COTA AGUA	OBSERVACIONES
	X	Y	m s.n.m.	m s.n.m.	
Lámina agua entre S-4 y S-14	482731,8	4220741,8	389,23	389,23	
Río entre S-4 y S-14	482699,3	4220731,8	390,94		Estaca en la llanura de inundación
Lámina de agua frente S-1	489748,7	4224953,5	423	414,66	
Puente Cerro Molinos	487157	4223788,7	421,98	407,71	Clavo sobre el puente
Lámina agua frente S-5	480799	4222076,5	385,8	385,8	
Central Olvera	482723,7	4220649,3	397,52	382,19	Borde lateral del muro de hormigón
Puente Sabote	477108,4	4220855,4	433,71	358,69	Clavo sobre el puente

Tabla 3.2.1.2. Características principales de los puntos nivelados junto al río Guadalimar.

Los sondeos S-10 y S-11 fueron construidos junto a los piezómetros S-6 y S-7 respectivamente, con un diámetro suficiente que permitiera posteriormente la realización de ensayos de bombeo para estudiar las características hidráulicas del acuífero en esos puntos y su influencia en el caudal circulante por el río, los resultados de los ensayos realizados se incluyen en el epígrafe 5.

3.2.2. Características técnicas de las obras

Sondeo nº 1 (S-1): "CRUZ DE MARINA" (2135.5.0036)

- Empresa de perforación:
- Sondeos Minería y Desarrollo, S.L.
- C/. Armengol Nº 3. 1º C. 28019 – Madrid
- Tfn.: 914726635 – 676491767
- FAX: 914719936
- E-mail: sonmide@telefonica.net
- Maquinaria: CRAELIUS CR - XF- 750
- Método de perforación: rotación con recuperación de testigo continuo.
- Profundidad: 156 m.

- Diámetro de perforación: 96 mm. (HQ)
- Diámetro de entubación: 75 mm.
- Metros entubados: 156 m.
- Tipo de tubería: PREUSSAG PVC – U – 75 mm x 5 de 12 Bares.
- Ranurado: se ha colocado tubería ranurada en la totalidad del sondeo
- Emboquille:
- Diámetro de perforación = 220 mm
- Diámetro de entubación = 180 mm (tubería metálica)
- Longitud = 5 metros
- Cementación: se han cementado los 5 metros superiores, correspondientes al emboquille.
- Nivel Estático: 14,90 metros
- Columna litológica:

0 – 4,00 m: Arena calcárea con cantos

4,00 – 5,00 m: Arcilla verdosa con cantos (depósitos aluviales)

5,00 – 9,95 m: Conglomerado calcáreo de matriz arenosa (depósitos aluviales)

9,95 – 16,45 m: Arena roja suelta

16,45 – 20,50 m: Arena arcillosa roja

20,50 – 21,00 m: Arcilla arenosa roja

21,00 – 23,60 m: Arenisca roja

23,60 – 26,30 m: Arcilla arenosa roja

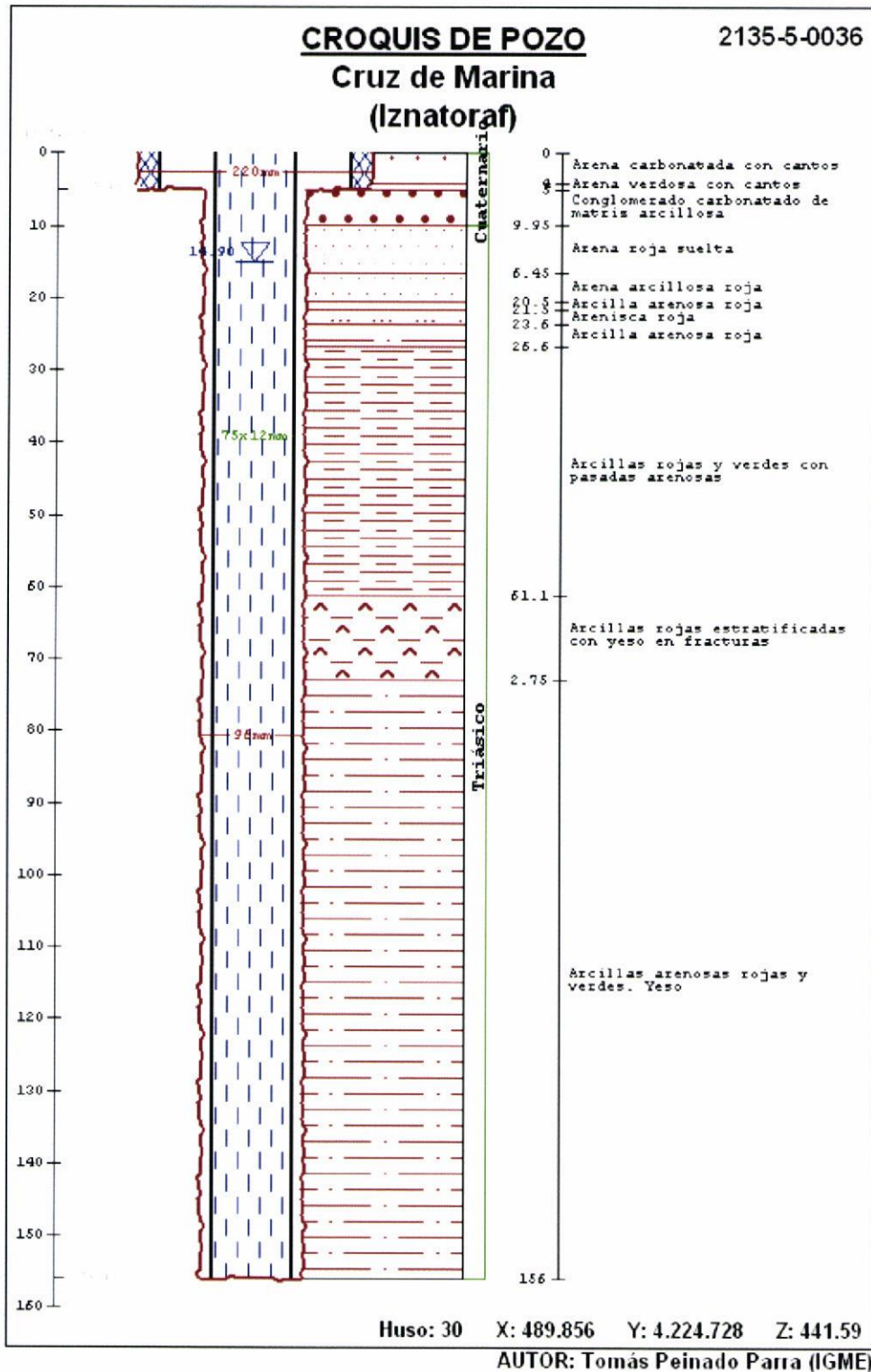
26,30 – 61,10 m: Arcillas rojas y verdes con algunas pasadas arenosas

61,10 – 72,75 m: Arcillas rojas estratificadas con yeso rellenando fracturas

72,75 – 156,20 m: Alternancia de arcillas arenosas rojas y verdes. Microcristales de yeso

CROQUIS DE POZO
Cruz de Marina
(Iznatoraf)

2135-5-0036



Sondeo nº 2 (S-2): "CORTIJO DEL MOJINO" (2136.1.0096)

- Empresa de perforación:
- Sondeos Minería y Desarrollo, S.L.
- C/. Armengol Nº 3. 1º C. 28019 – Madrid
- Tfn.: 914726635 – 676491767
- FAX: 914719936
- E-mail: sonmide@telefonica.net
- Maquinaria: CRAELIUS CR - XF- 750
- Método de perforación: rotación con recuperación de testigo continuo.
- Profundidad: 67 m.
- Diámetro de perforación: 96 mm. (HQ)
- Diámetro de entubación: 75 mm.
- Metros entubados: 67 m.
- Tipo de tubería: PREUSSAG PVC – U – 75 mm x 5 de 12 Bares.
- Ranurado: Se ha colocado tubería ranurada en la totalidad del sondeo
- Emboquille:
- Diámetro de perforación = 220 mm
- Diámetro de entubación = 180 mm (tubería metálica)
- Longitud = 5,60 metros
- Cementación: Se han cementado los 5,60 metros superiores, correspondientes al emboquille.
- Nivel Estático: 30,06 metros
- Columna litológica:

0 – 1,00 m: Gravas y arenas (Pie de monte)

1,00 – 6,00 m: Calizas rosadas y beige con fisuras rellenas de brechas

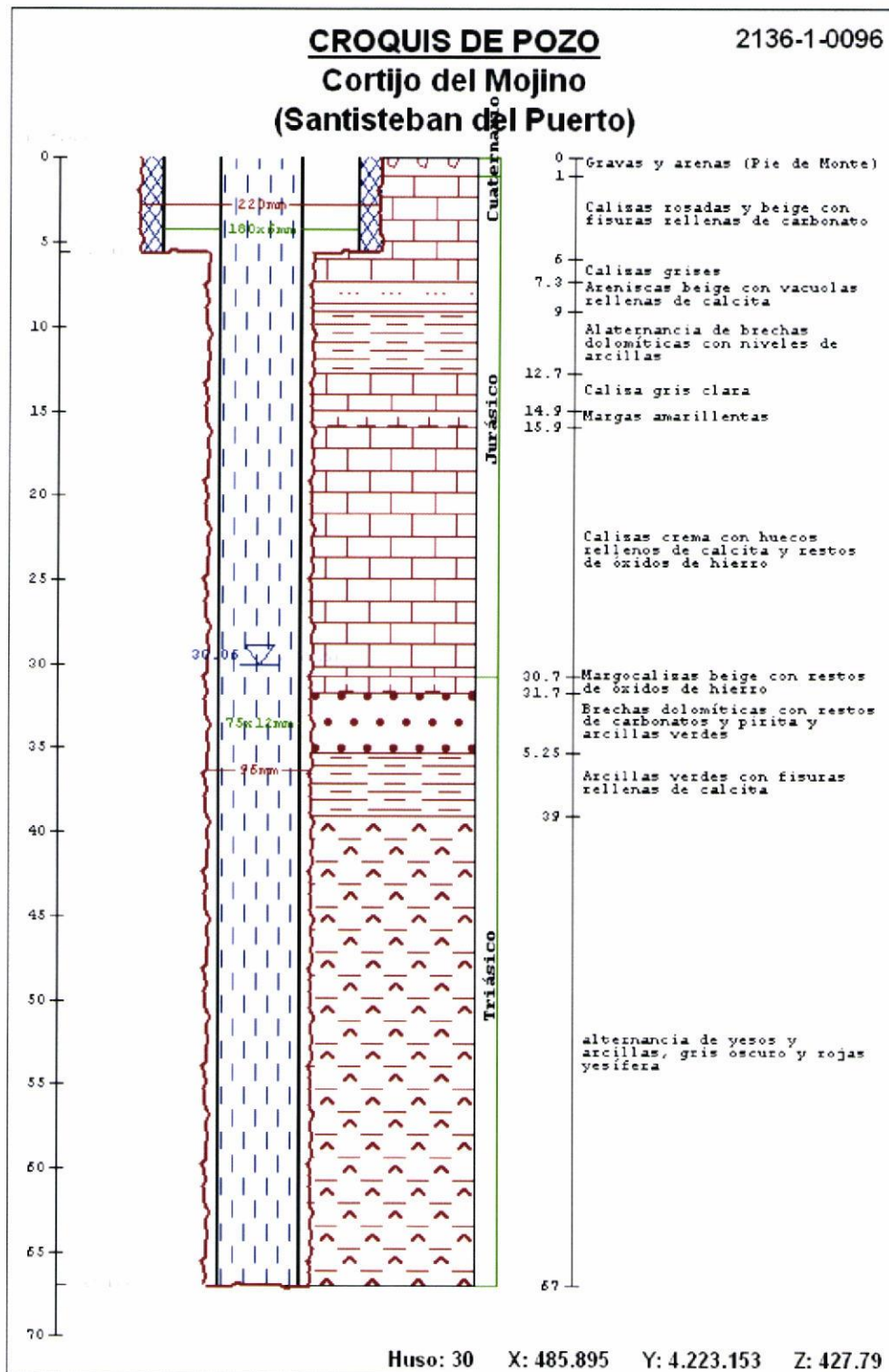
6,00 – 7,30 m: Calizas grises

7,30 – 9,00 m: Areniscas beige con vacuolas rellenas de calcita

- 9,00 – 12,70 m: Alternancia de brechas dolomíticas con niveles de arcillas
- 12,70 – 14,90 m: Caliza gris clara
- 14,90 – 15,60 m: Margas amarillentas
- 15,60 – 30,70 m: Calizas crema con huecos rellenos de calcita y restos de óxidos de hierro
- 30,70 – 31,40 m: Margocalizas beige con restos de óxido
- 31,40 – 35,25 m: Brechas dolomíticas con restos de carbonatos y pirita y arcillas verdes
- 35,25 – 39,00 m: Arcillas verdes con fisuras rellenas de calcita
- 39,00 – 66,50 m: Alternancia de yesos y arcillas verdes, gris oscuro y rojas.

CROQUIS DE POZO
Cortijo del Mojino
(Santisteban del Puerto)

2136-1-0096



Sondeo nº 3 (S-3): "LAS PULGAS" (2136.1.0097)

- Empresa de perforación:
 - Sondeos Minería y Desarrollo, S.L.
 - C/. Armengol Nº 3. 1º C. 28019 – Madrid
 - Tfn.: 914726635 – 676491767
 - FAX: 914719936
 - E-mail: sonmide@telefonica.net
 - Maquinaria: CRAELIUS CR - XF- 750
 - Método de perforación: rotación con recuperación de testigo continuo.
 - Profundidad: 93 m.
 - Diámetro de perforación: 96 mm. (HQ)
 - Diámetro de entubación: 75 mm.
 - Metros entubados: 89 m.
 - Tipo de tubería: PREUSSAG PVC – U – 75 mm x 5 de 12 Bares.
 - Ranurado: Se ha colocado tubería ranurada en la totalidad del sondeo
 - Emboquille:
 - Diámetro de perforación = 220 mm
 - Diámetro de entubación = 180 mm (tubería metálica)
 - Longitud = 5 metros
 - Cementación: Se han cementado los 5 metros superiores, correspondientes al emboquille.
 - Nivel Estático: 67,04 metros
 - Columna litológica:
- 0 – 6,65 m: Caliza crema con huecos de disolución rellenos de calcita
- 6,65 – 16,00 m: Caliza gris con fracturas rellenas de arcillas verdes y huecos de disolución rellenos de calcita
- 16,00 – 50,20 m: Caliza crema con huecos de disolución rellenos de calcita y arcillas de color crema

50,20 – 53,27 m: Brecha dolomítica con arcilla verde que a muro pasa a brecha arcillosa con cantos dolomíticos

53,27 – 55,10 m: Brecha dolomítica con arcilla crema que a muro pasa a brecha arcillosa con cantos dolomíticos

55,10 – 81,10 m: Caliza crema con restos de óxidos en las fracturas.

81,10 – 83,55 m: Margocalizas verdes

83,55 – 84,20 m: Brechas dolomíticas con pirita

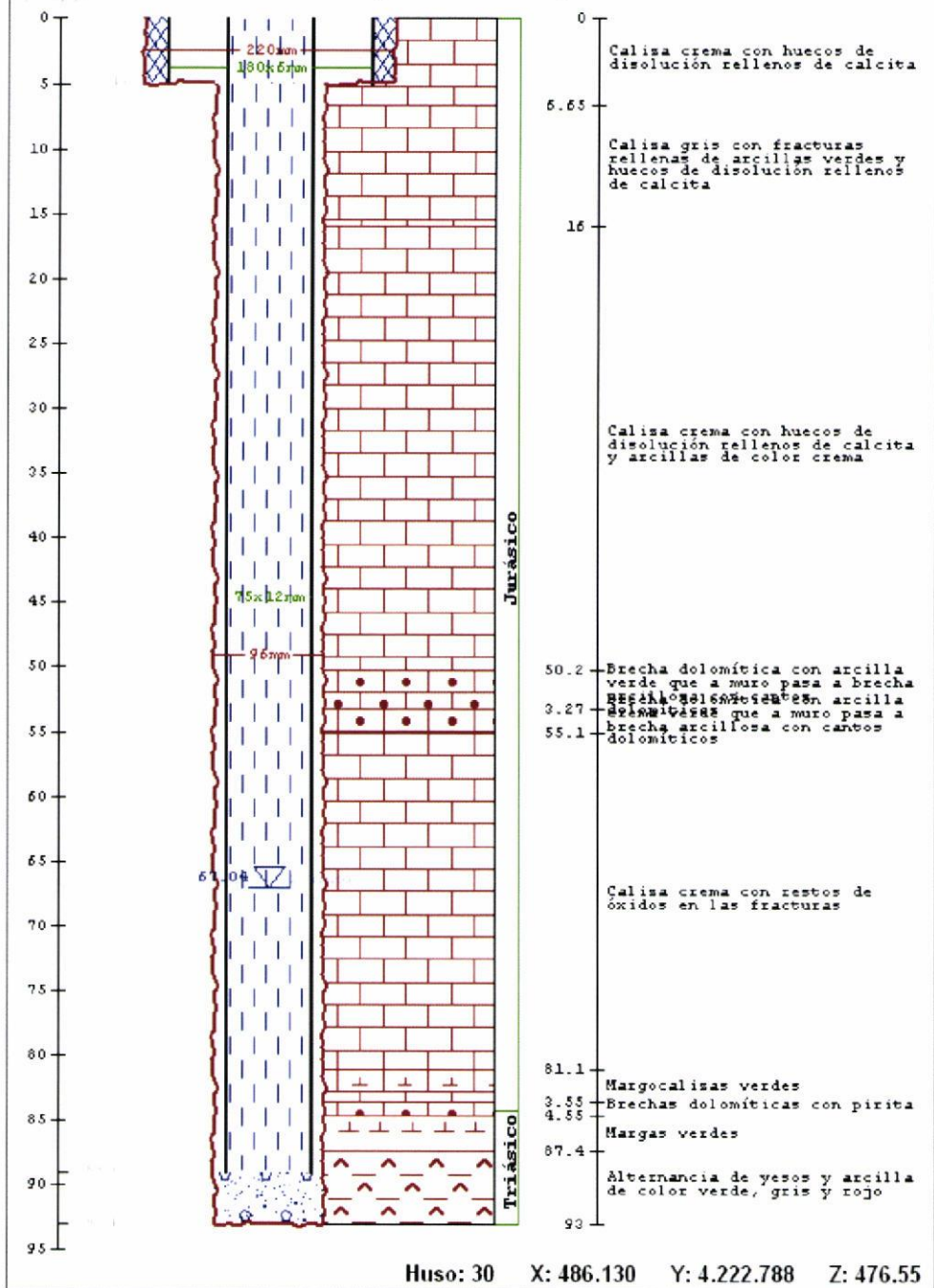
84,20 – 87,40 m: Margas verdes

87,40 – 93,00 m: Alternancia de yesos y arcillas de color verdes, grises y rojas.

CROQUIS DE POZO

2136-1-0097

Las Pulgas (Villacarrillo)



Sondeo nº 4 (S-4): "LOS LOBOS" (2036.4.0058)

- Empresa de perforación:
- Sondeos Minería y Desarrollo, S.L.
- C/. Armengol Nº 3. 1º C. 28019 – Madrid
- Tfn.: 914726635 – 676491767
- FAX: 914719936
- E-mail: sonmide@telefonica.net
- Maquinaria: CRAELIUS CR - XF- 750
- Método de perforación: rotación con recuperación de testigo continuo.
- Profundidad: 125 m.
- Diámetro de perforación: 96 mm. (HQ)
- Diámetro de entubación: 75 mm.
- Metros entubados: 124 m.
- Tipo de tubería: PREUSSAG PVC – U – 75 mm x 5 de 12 Bares.
- Ranurado: Se ha colocado tubería ranurada en la totalidad del sondeo
- Emboquille:
 - Diámetro de perforación = 220 mm
 - Diámetro de entubación = 180 mm (tubería metálica)
 - Longitud = 5,15 metros
- Cementación: Se han cementado los 5,15 metros superiores, correspondientes al emboquille.
- Nivel Estático: 60,12 metros
- Columna litológica:
 - 0 – 1,20 m: Arena fina con gravas a muro
 - 1,20 – 6,00 m: Caliza crema con huecos de disolución rellenos de calcita
 - 6,00 – 22,60 m: Brecha dolomítica con poca arcilla
 - 22,60 – 65,60 m: Alternancia de brechas dolomíticas rosadas con niveles de arcillas

65,60 – 84,70 m: Caliza crema con huecos de disolución con recristalizaciones de calcita y fracturas rellenas de arcillas amarillas y dendritas de pirolusita

84,70 – 86,40 m: Margocalizas verdes

86,40 – 88,30 m: Caliza crema con restos de óxidos en las fracturas.

88,30 – 91,30 m: Margocalizas verdes

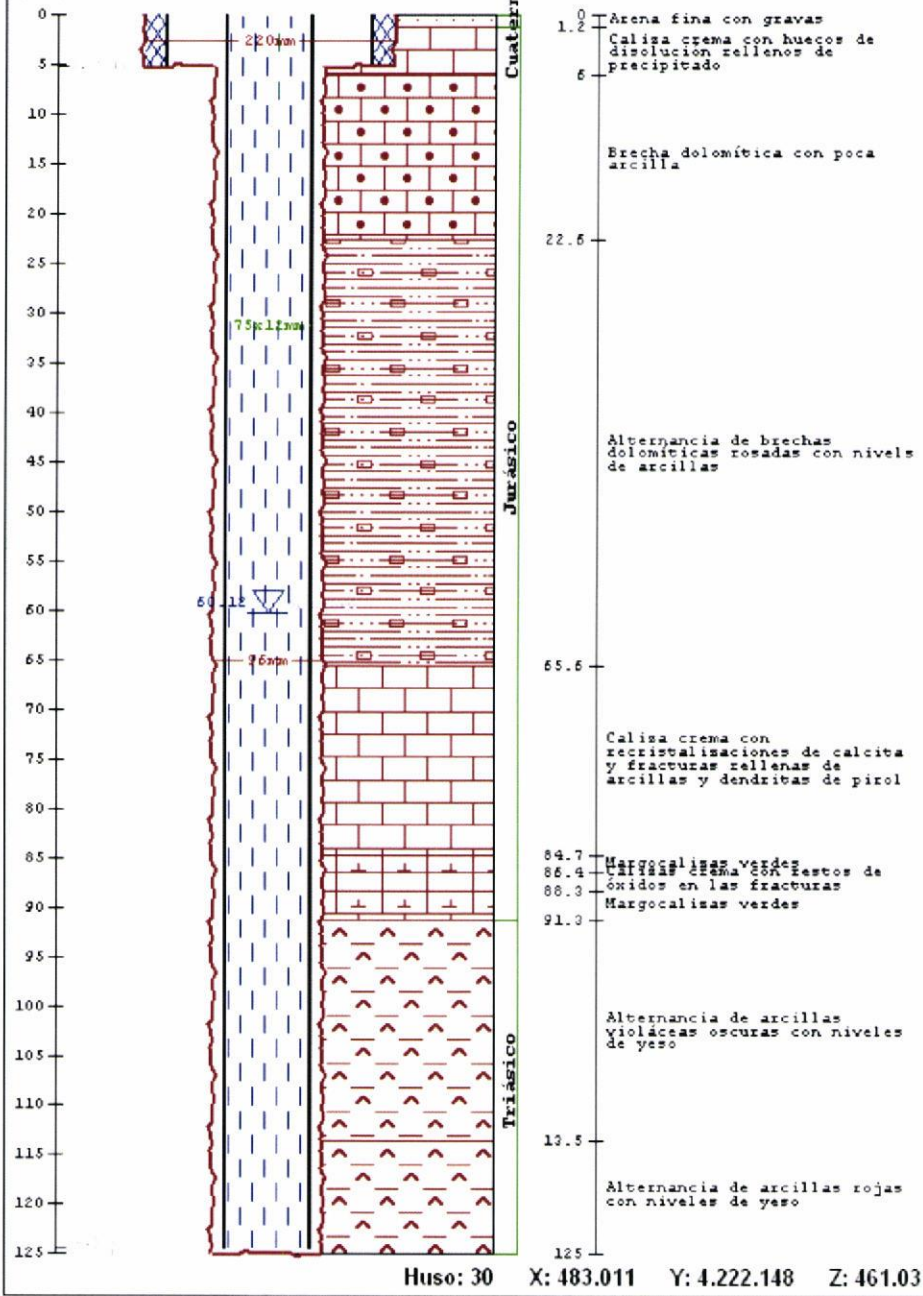
91,30 – 113,50 m: Alternancia de arcillas violáceas oscuras con niveles de yeso

113,50 – 124,50 m: Alternancia de arcillas rojas con niveles de yeso

CROQUIS DE POZO

2036-4-0058

Los Lobos (Santisteban del Puerto)



Sondeo nº 5 (S-5): "LOMA DEL ROBLEDO" (2036.4.0059)

- Empresa de perforación:
- Sondeos Minería y Desarrollo, S.L.
- C/. Armengol Nº 3. 1º C. 28019 – Madrid
- Tfn.: 914726635 – 676491767
- FAX: 914719936
- E-mail: sonmide@telefonica.net
- Maquinaria: CRAELIUS CR - XF- 750
- Método de perforación: rotación con recuperación de testigo continuo.
- Profundidad: 87 m.
- Diámetro de perforación: 96 mm. (HQ)
- Diámetro de entubación: 75 mm.
- Metros entubados: 87 m.
- Tipo de tubería: PREUSSAG PVC – U – 75 mm x 5 de 12 Bares.
- Ranurado: Se ha colocado tubería ranurada en la totalidad del sondeo
- Emboquille:
 - Diámetro de perforación = 220 mm
 - Diámetro de entubación = 180 mm (tubería metálica)
 - Longitud = 5 metros
- Cementación: Se han cementado los 5 metros superiores, correspondientes al emboquille.
- Nivel Estático: 49,39 metros
- Columna litológica:
 - 0 – 1,20 m: Arenas y arcillas con cantos
 - 1,20 – 4,00 m: Arena dolomítica con algunos cantos
 - 4,00 – 11,40 m: Caliza gris y crema con abundantes huecos de disolución y diaclasas
 - 11,40 – 34,35 m: Alternancia de brechas dolomíticas con poca arcilla y brechas arcillosas verdes

34,35 – 37,20 m: Caliza crema con huecos de disolución

37,20 – 47,15 m: Alternancia de brechas dolomíticas con poca arcilla y brechas arcillosas verdes

47,15 – 47,60 m: Arena margosa verde

47,60 – 55,00 m: Alternancia de brechas dolomíticas con poca arcilla y brechas arcillosas verdes

55,00 – 55,10 m: Arenisca dolomítica amarilla y verde

55,10 – 57,60 m: Alternancia de brecha dolomítica y brecha arcillosa verde

57,60 – 77,90 m: Caliza crema con diaclasas y huecos de disolución rellenos de calcita y óxidos de hierro

77,90 – 79,40 m: Margocalizas verdes

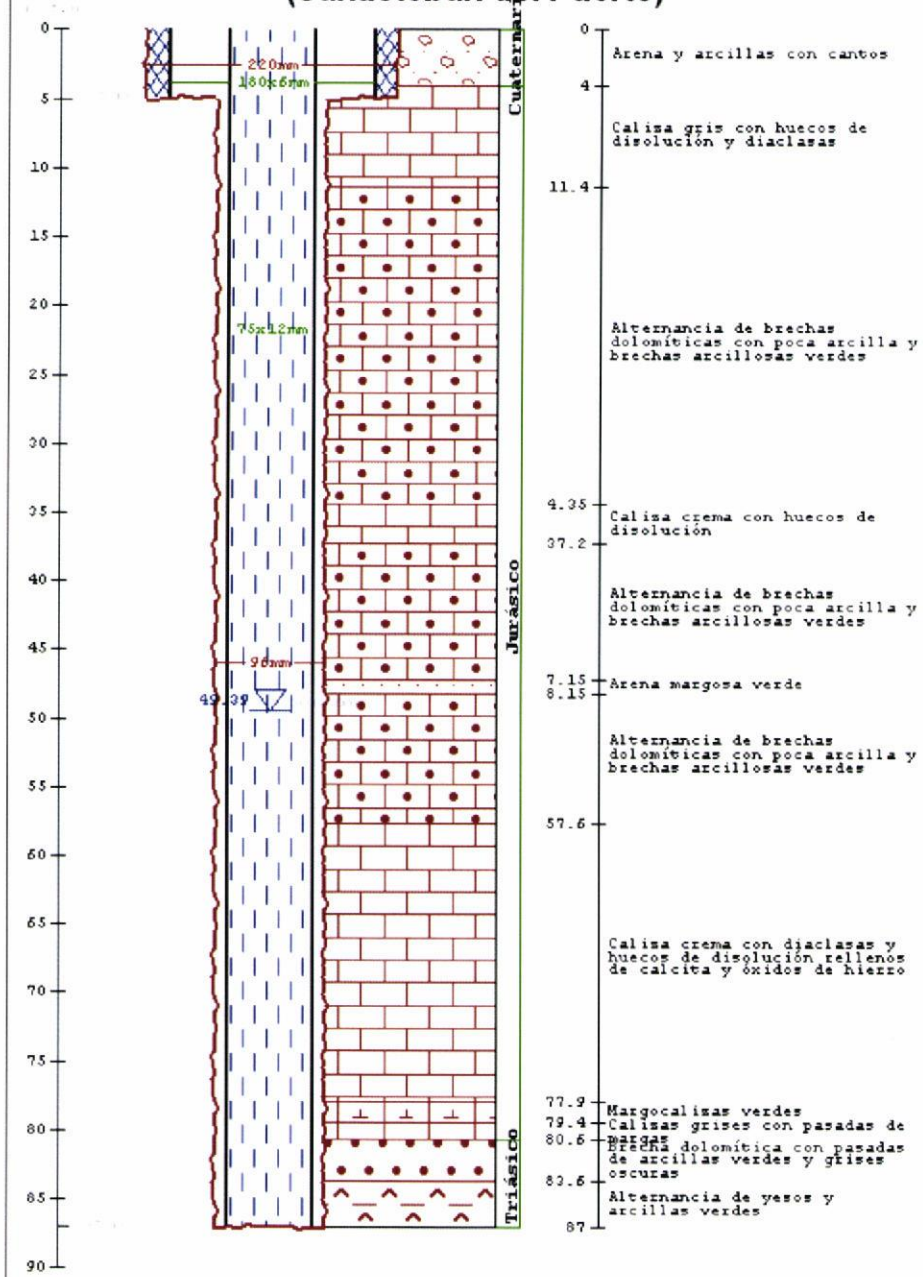
79,40 – 80,60 m: Calizas grises y crema con pasadas de margas

80,60 – 83,60 m: Brecha dolomítica con pasadas de arcillas verdes y grises oscuras

83,60 – 87,00 m: Alternancia de yesos y arcillas verdes. A muro aparecen yesos y arcillas de color rojo

CROQUIS DE POZO
Loma del Robledo
(Santisteban del Puerto)

2036-4-0059



Huso: 30 X: 481.023 Y: 4.222.615 Z: 484.91

AUTOR: Tomás Peinado Parra

Sondeo nº 6 (S-6): "ARROYO DEL MOSTAZAR" (2036.4.0060)

- Empresa de perforación:
 - Sondeos Minería y Desarrollo, S.L.
 - C/. Armengol Nº 3. 1º C. 28019 – Madrid
 - Tfn.: 914726635 – 676491767
 - FAX: 914719936
 - E-mail: sonmide@telefonica.net
 - Maquinaria: CRAELIUS CR - XF- 750
 - Método de perforación: rotación con recuperación de testigo continuo.
 - Profundidad: 135 m.
 - Diámetro de perforación: 96 mm. (HQ)
 - Diámetro de entubación: 75 mm.
 - Metros entubados: 116 m.
 - Tipo de tubería: PREUSSAG PVC – U – 75 mm x 5 de 12 Bares.
 - Ranurado:
 - 000 – 104 m: Tubería ranurada
 - 104 – 116 m: Tubería no ranurada
 - Emboquille:
 - Diámetro de perforación = 220 mm
 - Diámetro de entubación = 180 mm (tubería metálica)
 - Longitud = 5 metros
 - Cementación: Se han cementado los 5 metros superiores, correspondientes al emboquille.
 - Nivel Estático: 26,62 metros
 - Columna litológica:
- 0 – 1,15 m: Arenas y arcillas con cantos margosos y carbonatados
- 1,15 – 3,00 m: Caliza y margocaliza beige con arcilla roja

3,00 – 22,60 m: Alternancia de brechas dolomíticas con arcillas verdes. Arcillas verdes con paquetes de calizas color crema

22,60 – 23,80 m: Brechas dolomíticas con diaclasas y restos de óxidos

23,80 – 38,00 m: Alternancia de brechas dolomíticas con niveles de arcilla

38,00 – 39,95 m: Brechas dolomíticas con diaclasas y restos de óxidos

39,95 – 42,70 m: Brecha arcillosa verde con clastos de dolomía

42,70 – 45,80 m: Brecha dolomítica con fisuras y huecos rellenos de arcilla verdosa

45,80 – 52,50 m: Alternancia de brechas dolomíticas con niveles de arcillas rojas

52,50 – 59,70 m: Arenisca dolomítica amarilla y verde

59,70 – 79,80 m: Calizas oolíticas color crema con abundantes diaclasas y óxidos

79,80 – 81,50 m: Margocaliza verde

81,50 – 84,10 m: Brecha dolomítica

84,10 – 86,50 m: Margocaliza verde

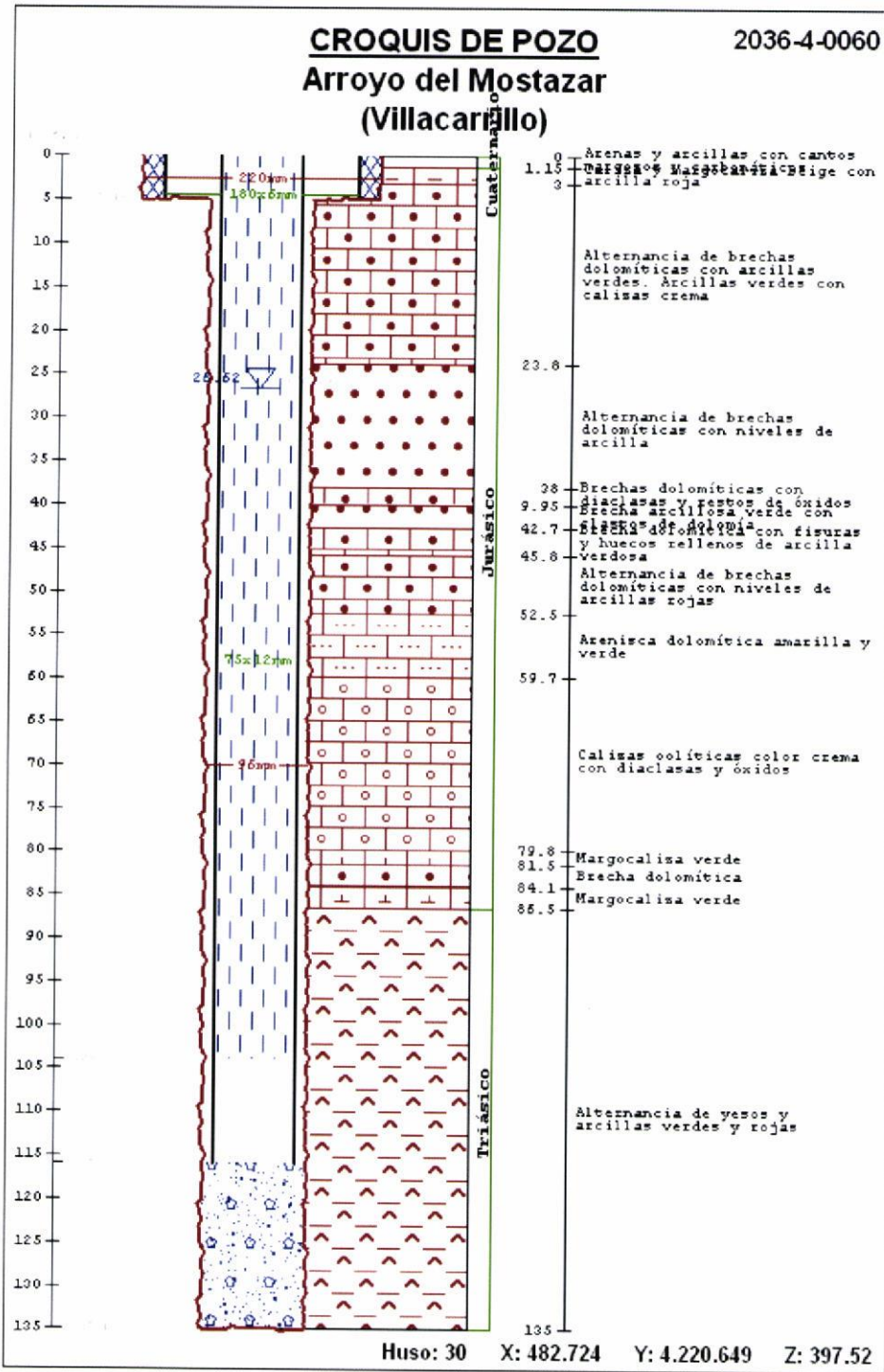
86,50 – 107,00 m: Alternancia de yesos y arcillas verdes

107,00 – 135,00 m: Alternancia de yesos y arcillas rojas

CROQUIS DE POZO

Arroyo del Mostazar (Villacarriello)

2036-4-0060



Sondeo nº 7 (S-7): "EMBALSE DE OLVERA" (2036.4.0061)

- Empresa de perforación:
- Sondeos Minería y Desarrollo, S.L.
- C/. Armengol Nº 3. 1º C. 28019 – Madrid
- Tfn.: 914726635 – 676491767
- FAX: 914719936
- E-mail: sonmide@telefonica.net
- Maquinaria: CRAELIUS CR - XF- 750
- Método de perforación: rotación con recuperación de testigo continuo.
- Profundidad: 118 m.
- Diámetro de perforación: 96 mm. (HQ)
- Diámetro de entubación: 75 mm.
- Metros entubados: 118 m.
- Tipo de tubería: PREUSSAG PVC – U – 75 mm x 5 de 12 Bares.
- Ranurado: Se ha colocado tubería ranurada en la totalidad del sondeo
- Emboquille:
 - Diámetro de perforación = 220 mm
 - Diámetro de entubación = 180 mm (tubería metálica)
 - Longitud = 5 metros
- Cementación: Se han cementado los 5 metros superiores, correspondientes al emboquille.
- Nivel Estático: 29,84 metros
- Columna litológica:
 - 0 – 3,00 m: Arenas, arcillas y cantos
 - 3,00 – 4,00 m: Arena calcárea color beige
 - 4,00 – 5,60 m: Margas y margocalizas beige con restos de óxidos
 - 5,60 – 7,00 m: Arenisca marrón

7,00 – 24,60 m: Brechas dolomíticas con arcillas verdes

24,60 – 33,80 m: Brechas dolomíticas con poca arcilla

33,80 – 55,80 m: Brecha dolomítica con arcillas verdes

55,80 – 61,40 m: Brecha dolomítica con poca arcilla

61,40 – 64,40 m: Brecha dolomítica y arcilla roja

64,40 – 74,60 m: Alternancia de brecha dolomítica con arcillas verdes

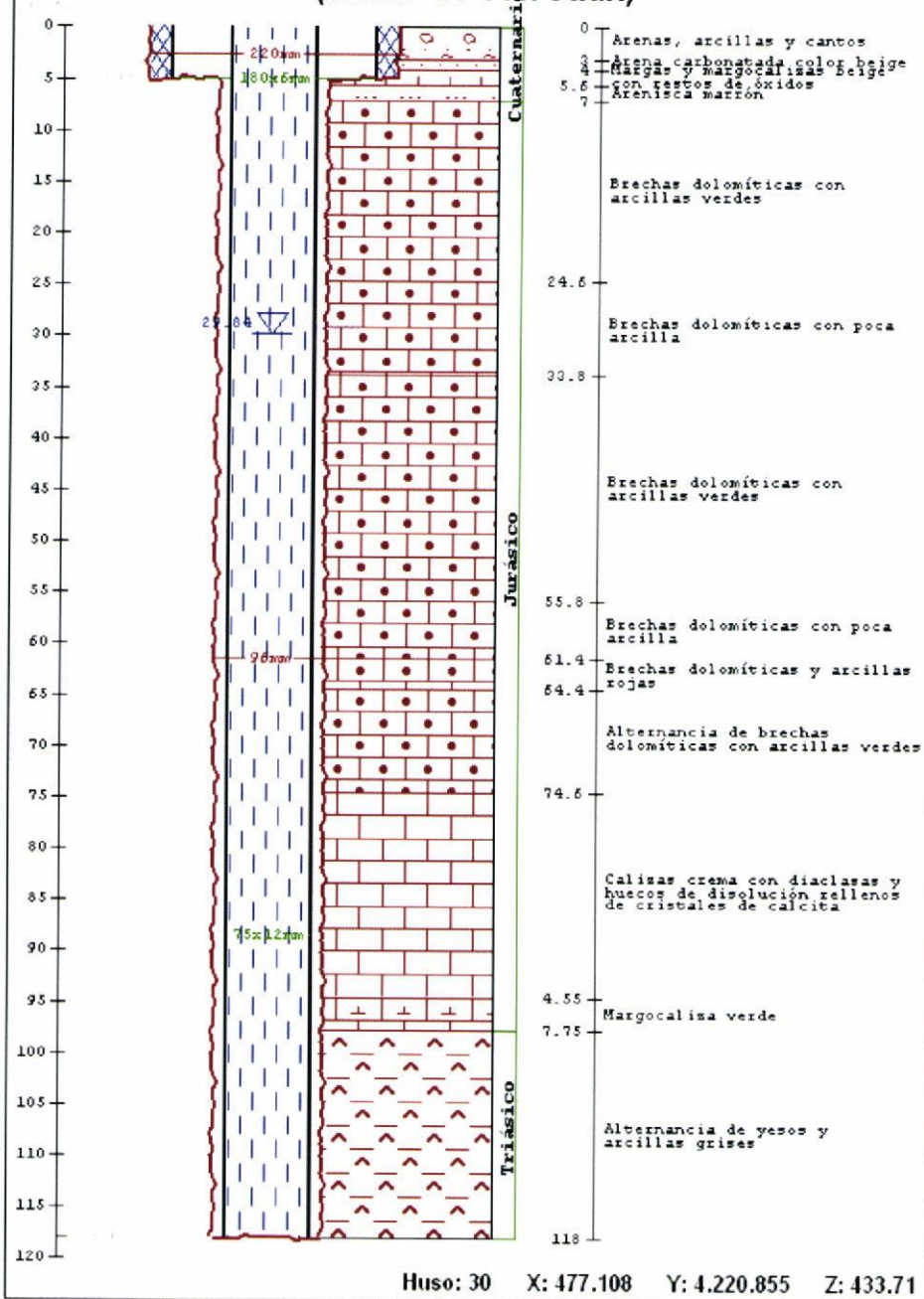
74,60 – 94,55 m: Calizas crema con diaclasas y huecos de disolución rellenos de cristales

94,55 – 97,75 m: Margocaliza verde

97,75 – 118,00 m: Alternancia de yesos y arcillas grises

CROQUIS DE POZO
Embalse de Olvera
(Navas de San Juan)

2036-4-0061



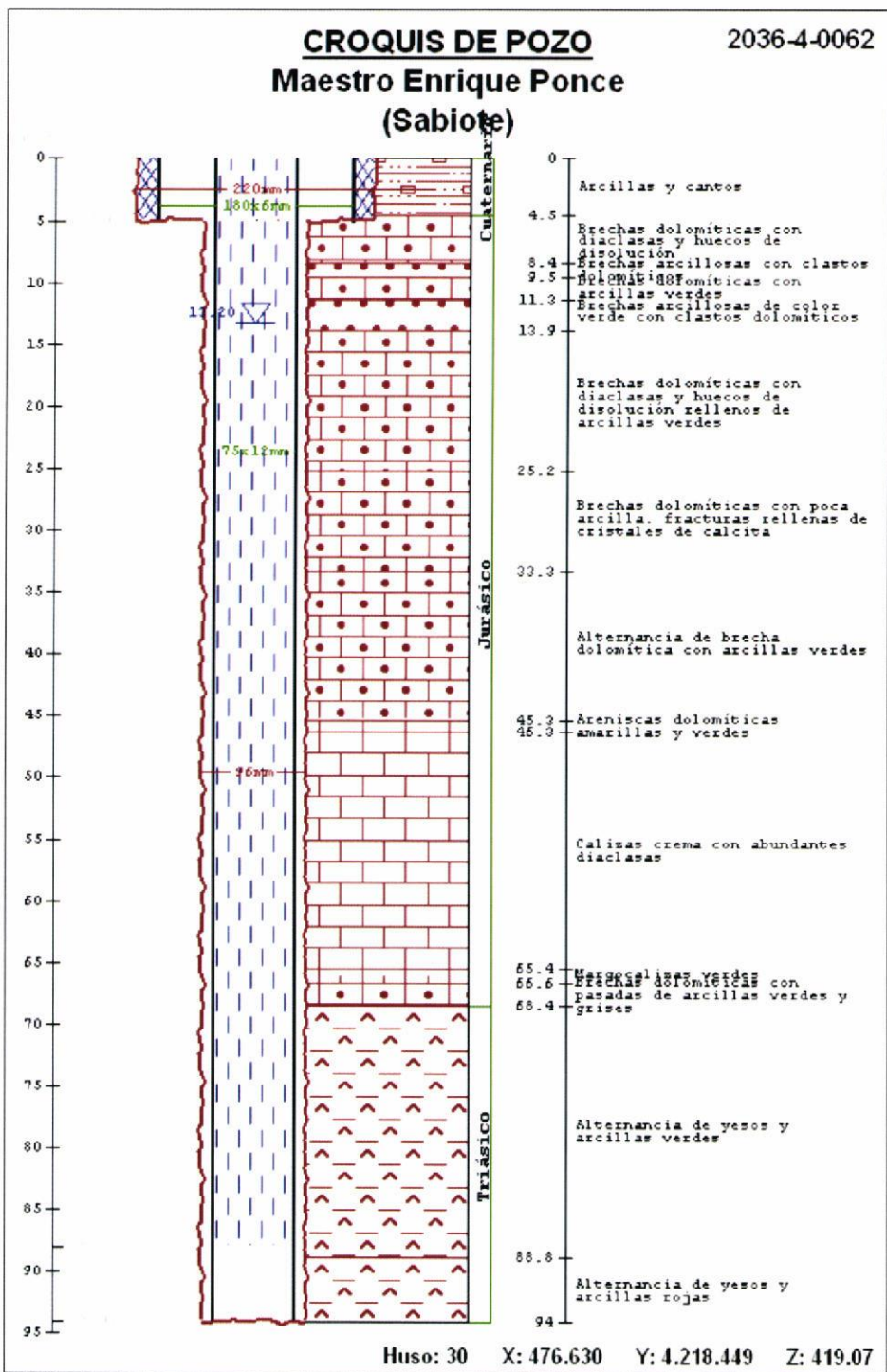
Sondeo nº 8 (S-8): "MAESTRO ENRIQUE PONCE" (2036.4.0062)

- Empresa de perforación:
- Sondeos Minería y Desarrollo, S.L.
- C/. Armengol Nº 3. 1º C. 28019 – Madrid
- Tfn.: 914726635 – 676491767
- FAX: 914719936
- E-mail: sonmide@telefonica.net
- Maquinaria: CRAELIUS CR - XF- 750
- Método de perforación: rotación con recuperación de testigo continuo.
- Profundidad: 94 m.
- Diámetro de perforación: 96 mm. (HQ)
- Diámetro de entubación: 75 mm.
- Metros entubados: 94 m.
- Tipo de tubería: PREUSSAG PVC – U – 75 mm x 5 de 12 Bares.
- Ranurado:
- 0 – 88 m: Tubería ranurada
- 88 – 94 m: Tubería no ranurada
- Emboquille:
- Diámetro de perforación = 220 mm
- Diámetro de entubación = 180 mm (tubería metálica)
- Longitud = 5 metros
- Cementación: Se han cementado los 5 metros superiores, correspondientes al emboquille.
- Nivel Estático: 13,20 metros
- Columna litológica:
- 0 – 4,50 m: Arcillas y cantos
- 4,50 0 – 7,60 m: Brechas dolomíticas con abundantes diaclasas y huecos de disolución

- 7,60 – 8,40 m: Brechas dolomíticas con arcillas verdes
- 8,40 – 9,50 m: Brechas arcillosas con clastos dolomíticos
- 9,50 – 11,30 m: Brechas dolomíticas con arcillas verdes
- 11,30 – 13,90 m: Brechas arcillosas de color verde con clastos de dolomía
- 13,90 – 25,20 m: Brecha dolomítica con fisuras y huecos rellenos de arcillas verdes
- 25,20 – 32,30 m: Brecha dolomítica con poca arcilla. Fracturas rellenas de cristales
- 32,30 – 33,30 m: Brecha dolomítica y arcilla roja
- 33,30 – 45,30 m: Alternancia de brecha dolomítica con arcillas verdes
- 45,30 – 46,20 m: Areniscas dolomíticas amarillas y verdes
- 46,20 – 65,40 m: Calizas crema con abundantes diaclasas
- 65,40 – 66,60 m: Margocalizas verdes
- 66,60 – 68,40 m: Brechas dolomíticas con pasadas de arcillas verdes y grises
- 68,40 – 88,80 m: Alternancia de yesos y arcillas verdes
- 88,80 – 94,00 m: Alternancia de yesos y arcillas rojas

CROQUIS DE POZO
Maestro Enrique Ponce
(Sabiote)

2036-4-0062



Huso: 30 X: 476.630 Y: 4.218.449 Z: 419.07

AUTOR: Tomás Peinado Parra

Sondeo nº 9 (S-9): "HUERTA OLIVA" (2036.3.0048)

- Empresa de perforación:
- Sondeos Minería y Desarrollo, S.L.
- C/. Armengol Nº 3. 1º C. 28019 – Madrid
- Tfn.: 914726635 – 676491767
- FAX: 914719936
- E-mail: sonmide@telefonica.net
- Maquinaria: CRAELIUS CR - XF- 750
- Método de perforación: rotación con recuperación de testigo continuo.
- Profundidad: 104 m.
- Diámetro de perforación: 96 mm. (HQ)
- Diámetro de entubación: 75 mm.
- Metros entubados: 98 m.
- Tipo de tubería: PREUSSAG PVC – U – 75 mm x 5 de 12 Bares.
- Ranurado: Se ha colocado tubería ranurada en la totalidad del sondeo
- Emboquille:
 - Diámetro de perforación = 220 mm
 - Diámetro de entubación = 180 mm (tubería metálica)
 - Longitud = 5 metros
- Cementación: Se han cementado los 5 metros superiores, correspondientes al emboquille.
- Nivel Estático: 32,21 metros
- Columna litológica:
 - 0 – 1,40 m: Arenas color marrón
 - 1,40 – 2,30 m: Calizas arenosas color marrón
 - 2,30 – 4,00 m: Margocalizas blancas
 - 4,00 – 5,00 m: Arcillas verdes-azuladas

5,00 – 29,30 m: Arcillas verdes y rojas con niveles arenosos intercalados

29,30 – 49,60 m: Alternancia de yesos y arcillas rojas y negras

49,60 – 53,20 m: Arcillas arenosas rojas y verdes

53,20 – 96,10 m: Areniscas rojas con niveles sueltos en algunos tramos

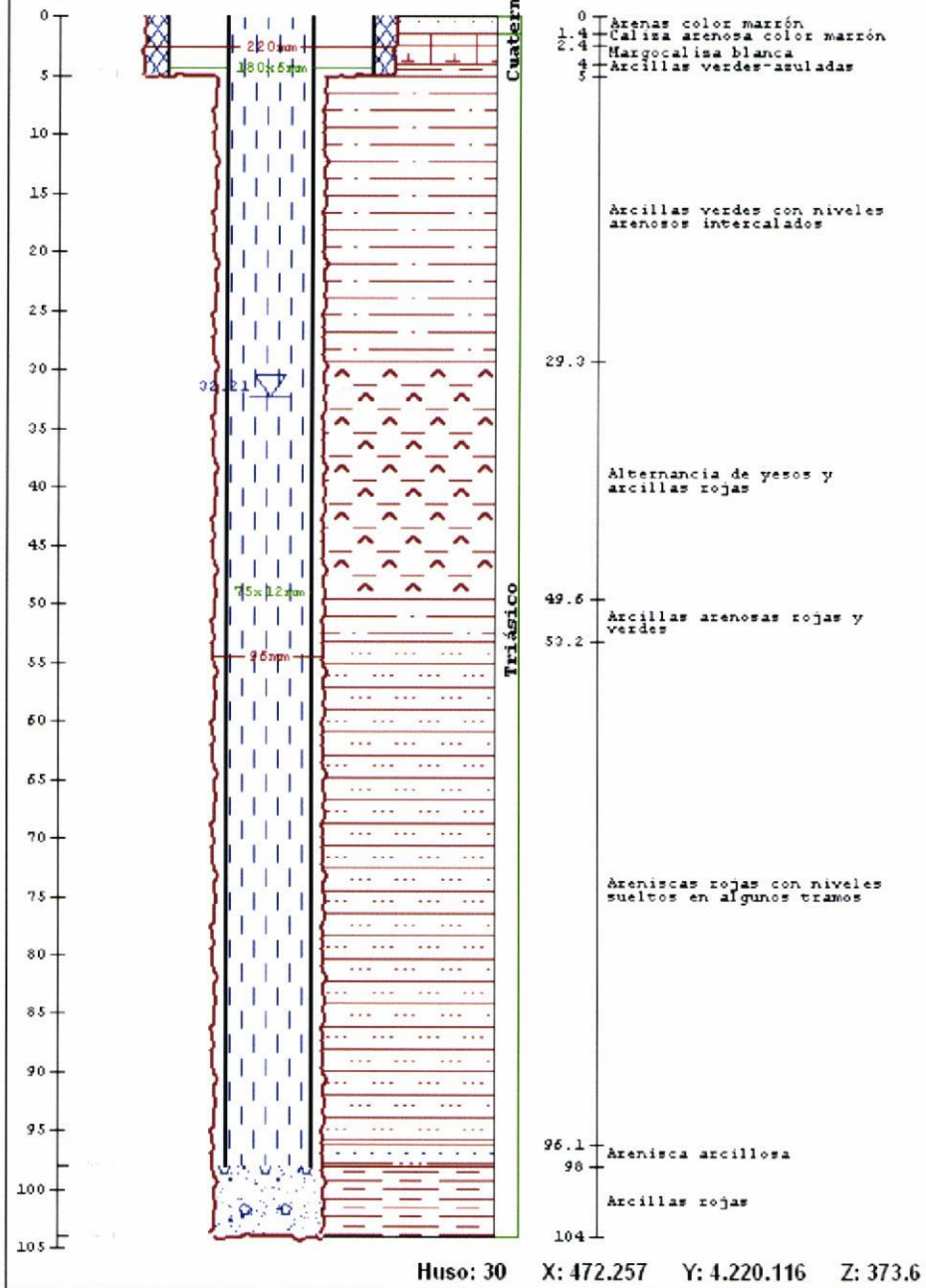
96,10 – 98,00 m: Arenisca arcillosa

98,00 – 104,00 m: Arcillas rojas

CROQUIS DE POZO

2036-3-0048

Huerta Oliva (Navas de San Juan)



Sondeo nº 10 (S-10): "ARROYO MOSTAZAR 2" (2036.4.0063)

- Empresa de perforación:
- Sondeos Minería y Desarrollo, S.L.
- C/. Armengol Nº 3. 1º C. 28019 – Madrid
- Tfn.: 914726635 – 676491767
- FAX: 914719936
- E-mail: sonmide@telefonica.net
- Maquinaria: SEGOQUI 1900
- Método de perforación: rotoperCUSión.
- Profundidad: 150 m.
- Diámetro de perforación: 380 mm.
- Diámetro de entubación: 320 mm.
- Metros entubados: 150 m.
- Tipo de tubería: Chapa metálica de 5 mm de espesor
- Ranurado:
- 0 – 30 m: Tubería no ranurada
- 30 – 150 m: Tubería ranurada al tresbolillo
- Emboquille:
- Diámetro de perforación = 500 mm
- Diámetro de entubación = 450 mm (tubería metálica)
- Longitud = 5 metros
- Cementación: Se han cementado los 5 metros superiores, correspondientes al emboquille.
- Nivel Estático: 42,05 metros
- Columna litológica:
- 0 – 1,15 m: Arenas y arcillas con cantos margosos y carbonatados
- 1,15 – 3,00 m: Caliza y margocaliza beige con arcilla roja

3,00 – 22,60 m: Alternancia de brechas dolomíticas con arcillas verdes. Arcillas verdes con paquetes de calizas color crema

22,60 – 23,80 m: Brechas dolomíticas con diaclasas y restos de óxidos

23,80 – 38,00 m: Alternancia de brechas dolomíticas con niveles de arcilla

38,00 – 39,95 m: Brechas dolomíticas con diaclasas y restos de óxidos

39,95 – 42,70 m: Brecha arcillosa verde con clastos de dolomía

42,70 – 45,80 m: Brecha dolomítica con fisuras y huecos rellenos de arcilla verdosa

45,80 – 52,50 m: Alternancia de brechas dolomíticas con niveles de arcillas rojas

52,50 – 59,70 m: Arenisca dolomítica amarilla y verde

59,70 – 79,80 m: Calizas oolíticas color crema con abundantes diaclasas y óxidos

79,80 – 81,50 m: Margocaliza verde

81,50 – 84,10 m: Brecha dolomítica

84,10 – 86,50 m: Margocaliza verde

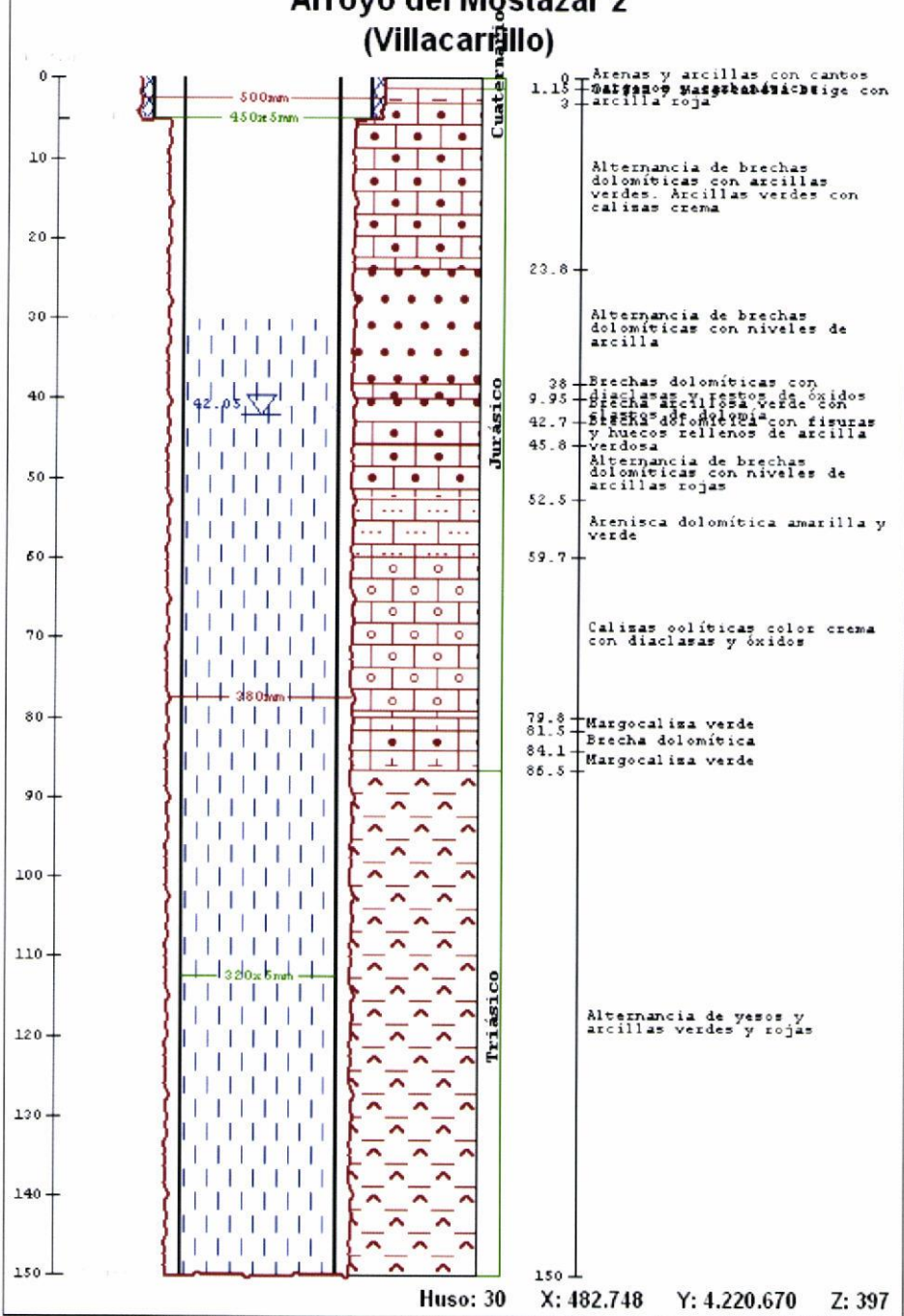
86,50 – 107,00 m: Alternancia de yesos y arcillas verdes

107,00 – 150,00 m: Alternancia de yesos y arcillas rojas

CROQUIS DE POZO

Arroyo del Mostazar 2 (Villacarrillo)

2036-4-0063



Huso: 30 X: 482.748 Y: 4.220.670 Z: 397

AUTOR: Tomás Peinado Parra

Sondeo nº 11 (S-11): "EMBALSE DE OLVERA 2" (2036.4.0064)

- Empresa de perforación:
- Sondeos Minería y Desarrollo, S.L.
- C/. Armengol Nº 3. 1º C. 28019 – Madrid
- Tfn.: 914726635 – 676491767
- FAX: 914719936
- E-mail: sonmide@telefonica.net
- Maquinaria: SEGOQUI 1900
- Método de perforación: rotopercusión.
- Profundidad: 150 m.
- Diámetro de perforación: 380 mm.
- Diámetro de entubación: 320 mm.
- Metros entubados: 150 m.
- Tipo de tubería: Chapa metálica de 5 mm de espesor
- Ranurado:
- 0 – 25 m: Tubería no ranurada
- 25 – 84 m: Tubería ranurada al tresbolillo
- 84 – 90 m: Tubería no ranurada
- 90 – 96 m: Tubería ranurada al tresbolillo
- 96 – 150 m: Tubería no ranurada
- Emboquille:
- Diámetro de perforación = 500 mm
- Diámetro de entubación = 320 mm (tubería metálica)
- Longitud = 5 metros
- Cementación: Se han cementado los 5 metros superiores, correspondientes al emboquille.
- Nivel Estático: 28,88 metros

- Columna litológica:

0 – 3,00 m: Arenas, arcillas y cantos

3,00 – 4,00 m: Arena calcárea color beige

4,00 – 5,60 m: Margas y margocalizas beige con restos de óxidos

5,60 – 7,00 m: Arenisca marrón

7,00 – 24,60 m: Brechas dolomíticas con arcillas verdes

24,60 – 33,80 m: Brechas dolomíticas con poca arcilla

33,80 – 55,80 m: Brecha dolomítica con arcillas verdes

55,80 – 61,40 m: Brecha dolomítica con poca arcilla

61,40 – 64,40 m: Brecha dolomítica y arcilla roja

64,40 – 74,60 m: Alternancia de brecha dolomítica con arcillas verdes

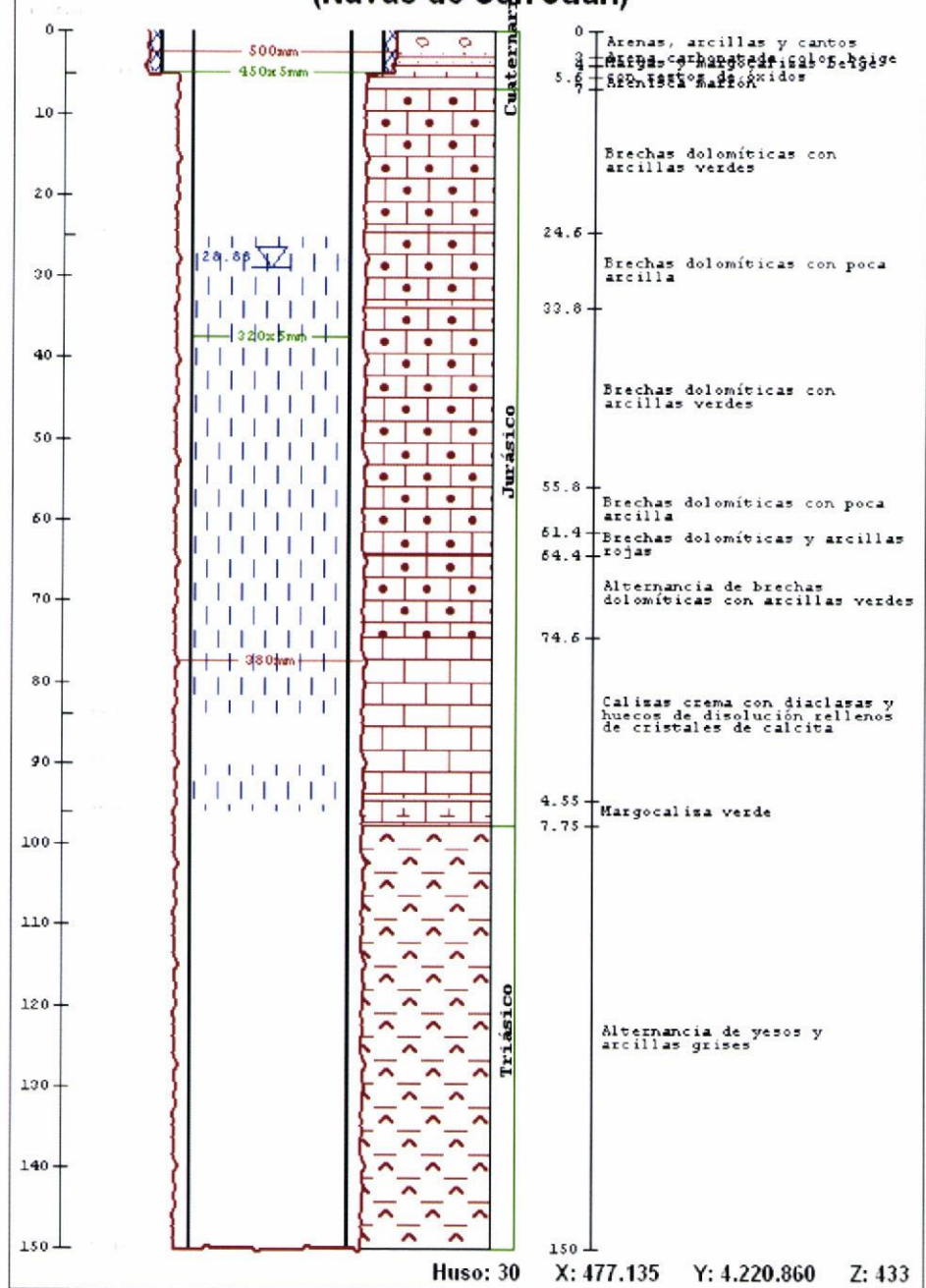
74,60 – 94,55 m: Calizas crema con diaclasas y huecos de disolución rellenos de cristales

94,55 – 97,75 m: Margocaliza verde

97,75 – 150 m: Alternancia de yesos y arcillas grises

CROQUIS DE POZO
Embalse de Olvera 2
(Navas de San Juan)

2036-4-0064



Sondeo nº 12 (S-12): "PIEZÓMETRO CAMINO" (2035.8.0039)

- Empresa de perforación:
 - Sondeos Minería y Desarrollo, S.L.
 - C/. Armengol Nº 3. 1º C. 28019 – Madrid
 - Tfn.: 914726635 – 676491767
 - FAX: 914719936
 - E-mail: sonmide@telefonica.net
 - Maquinaria: CRAELIUS CR - XF- 750
 - Método de perforación: rotación con recuperación de testigo continuo.
 - Profundidad: 117 m.
 - Diámetro de perforación: 96 mm. (HQ)
 - Diámetro de entubación: Sin entubar.
 - Metros entubados: Sin entubar.
 - Tipo de tubería: Sin entubar.
 - Ranurado: Sin entubar.
 - Emboquille:
 - Diámetro de perforación = 220 mm
 - Diámetro de entubación = 180 mm (tubería metálica)
 - Longitud = 5 metros
 - Cementación: Se han cementado los 5 metros superiores, correspondientes al emboquille.
 - Nivel Estático: 121 m.
 - Columna litológica:
- 0 – 5,00 m: Arenas calcáreas
- 5,00 – 20,30 m: Margocalizas ocre de aspecto arenoso
- 20,30 – 30,90 m: Arenisca dolomítica gris
- 30,90 – 32,95 m: Arenisca dolomítica ocre

32,95 – 48,20 m: Brecha dolomítica con fisuras y huecos rellenos de arcillas verdes

48,20 – 50,90 m: Brecha arcillosa de color verde con clastos de dolomía

50,90 – 64,00 m: Brecha dolomítica con arcillas verdes

64,00 – 65,00 m: Brecha arcillosa de color verde con clastos de dolomía

65,00 – 70,50 m: Brecha dolomítica con arcillas verdes y huecos de disolución

70,50 – 73,50 m: Brecha arcillosa de color verde con clastos de dolomía

73,50 – 82,00 m: Brecha dolomítica con arcillas verdes y huecos de disolución

82,00 – 93,50 m: Brecha dolomítica muy triturada

93,50 – 95,60 m: Brecha arcillosa de color verde con clastos de dolomía

95,60 – 100,80 m: Caliza gris muy recristalizada con abundantes huecos de disolución y diaclasas

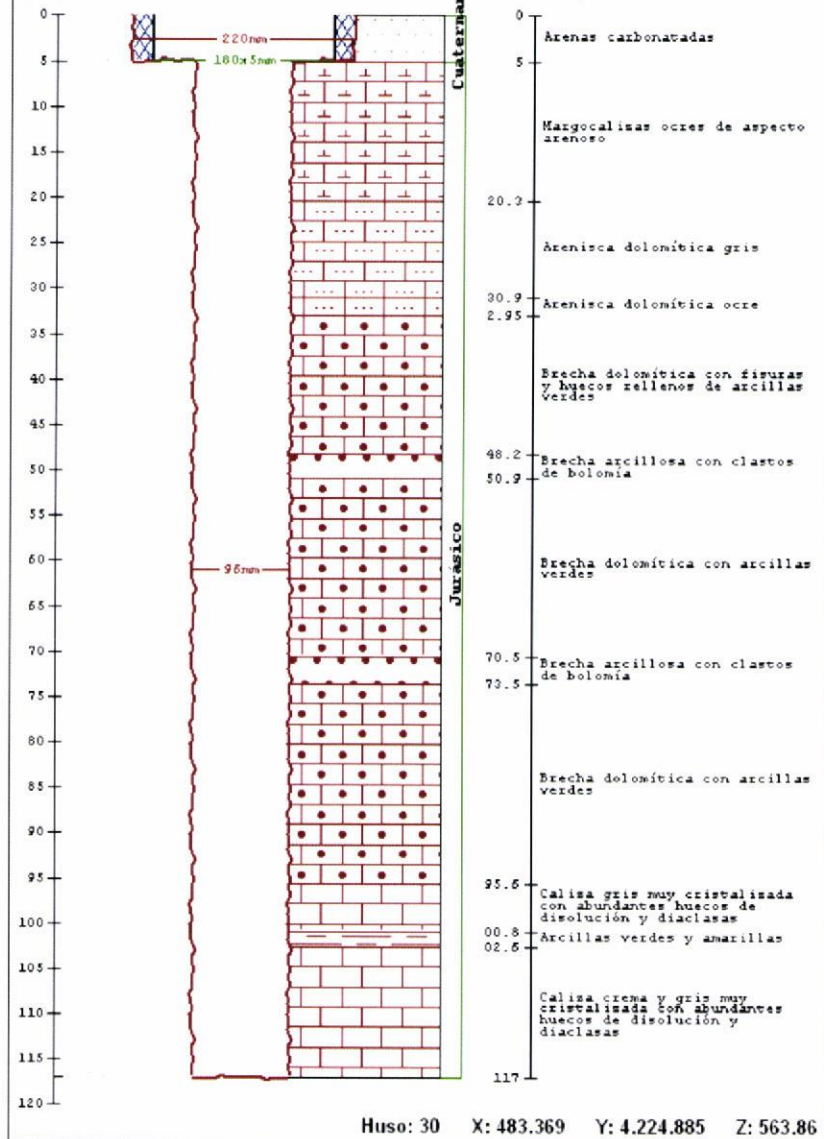
100,80 – 102,60 m: Arcillas verdes y amarillas

102,60 – 117,00 m: Caliza crema y gris muy cristalizada con abundantes huecos de disolución y diaclasas

Observaciones: El sondeo se ha quedado atascado con la sarta de perforación en su interior, lo que hace que sea imposible su entubación y su uso. Se decide perforar un nuevo sondeo S-13 junto a este.

CROQUIS DE POZO
Piezómetro Camino
(Santisteban del Puerto)

2035-8-0039



Sondeo nº 13 (S-13): "PIEZÓMETRO CAMINO 2" (2035.8.0040)

- Empresa de perforación:
- Sondeos Minería y Desarrollo, S.L.
- C/. Armengol Nº 3. 1º C. 28019 – Madrid
- Tfn.: 914726635 – 676491767
- FAX: 914719936
- E-mail: sonmide@telefonica.net
- Maquinaria: SEGOQUI 1900 - CRAELIUS CR - XF- 750
- Método de perforación: rotoperCUSión (0 – 117 m) - rotación con recuperación de testigo continuo (117 – 139 m).
- Profundidad: 139 m.
- Diámetro de perforación:
- 0 – 117 m: 160 mm
- 117 – 139 m: 96 mm. (HQ)
- Diámetro de entubación:
- 0 – 117 m: 120 mm
- 0 – 139 m: 75 mm
- Metros entubados: 117 (rotoperCUSión) - 139 (total del sondeo)
- Tipo de tubería: Chapa metálica (0 – 117 m) - PREUSSAG PVC – U – 75 mm x 5 de 12 Bares (0 – 139 m)
- Ranurado: Se ha colocado tubería ranurada en la totalidad del sondeo
- Emboquille:
- Diámetro de perforación = 220 mm
- Diámetro de entubación = 180 mm (tubería metálica)
- Longitud = 5 metros
- Cementación: Se han cementado los 5 metros superiores, correspondientes al emboquille.
- Nivel Estático: 121,00 m

- Columna litológica:

0 – 5,00 m: Arenas calcáreas

5,00 – 20,30 m: Margocalizas ocre de aspecto arenoso

20,30 – 30,90 m: Arenisca dolomítica gris

30,90 – 32,95 m: Arenisca dolomítica ocre

32,95 – 48,20 m: Brecha dolomítica con fisuras y huecos rellenos de arcillas verdes

48,20 – 50,90 m: Brecha arcillosa de color verde con clastos de dolomía

50,90 – 64,00 m: Brecha dolomítica con arcillas verdes

64,00 – 65,00 m: Brecha arcillosa de color verde con clastos de dolomía

65,00 – 70,50 m: Brecha dolomítica con arcillas verdes y huecos de disolución

70,50 – 73,50 m: Brecha arcillosa de color verde con clastos de dolomía

73,50 – 82,00 m: Brecha dolomítica con arcillas verdes y huecos de disolución

82,00 – 93,50 m: Brecha dolomítica muy rota

93,50 – 95,60 m: Brecha arcillosa de color verde con clastos de dolomía

95,60 – 100,80 m: Caliza gris muy recristalizada con abundantes huecos de disolución y diaclasas

100,80 – 102,60 m: Arcillas verdes y amarillas

102,60 – 122,60 m: Caliza crema y gris muy recristalizada con abundantes huecos de disolución y diaclasas

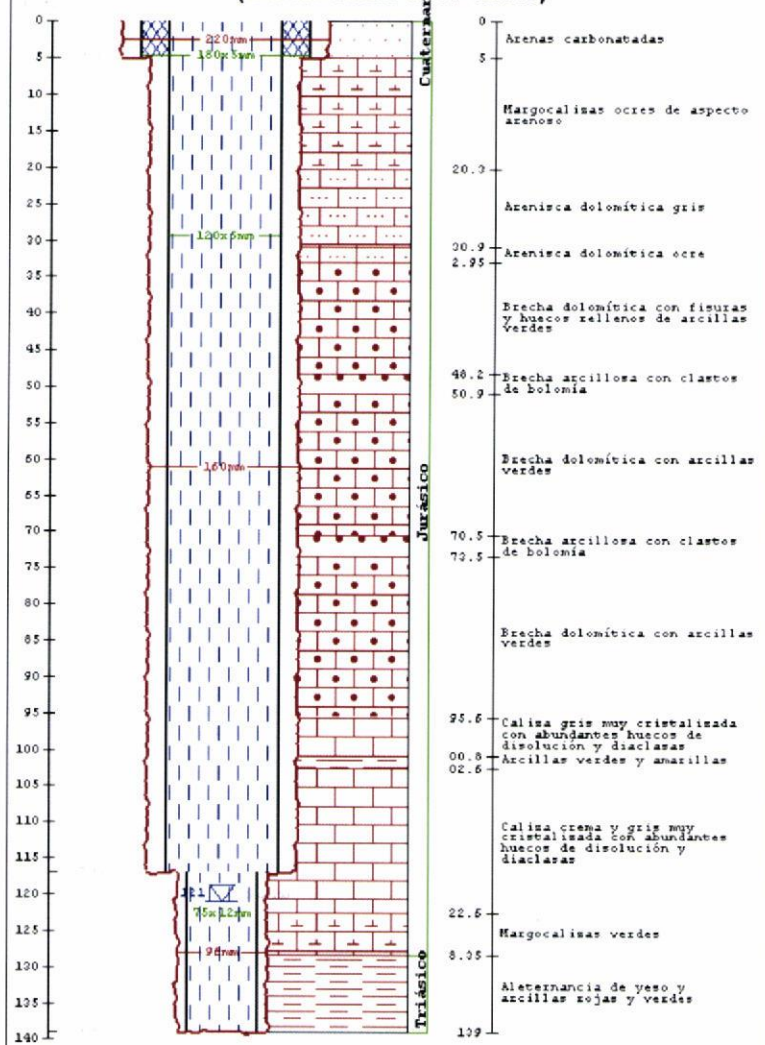
122,60 – 128,35 m: Margocalizas verdes

128,35 – 129,30 m: Alternancia de arcillas rojas y yeso

129,30 – 139,00 m: Alternancia de yeso y arcillas verdes y rojas

CROQUIS DE POZO
Piezómetro Camino
(Santisteban del Puerto)

2035-8-0040



Huso: 30 X: 483.359 Y: 4.224.895 Z: 563.86

AUTOR: Tomás Peinado Parra

Sondeo nº 14 (S-14): "ARROYO DEL MOSTAZAR 3" (2036.4.0043)

- Empresa de perforación:
- Sondeos Minería y Desarrollo, S.L.
- C/. Armengol Nº 3. 1º C. 28019 – Madrid
- Tfn.: 914726635 – 676491767
- FAX: 914719936
- E-mail: sonmide@telefonica.net
- Maquinaria: L - 38
- Método de perforación: rotación con recuperación de testigo continuo.
- Profundidad: 150 m.
- Diámetro de perforación:
- 000 – 13,5 m: 116 mm
- 13,5 – 150 m: 96 mm. (HQ)
- Diámetro de entubación: 75 mm.
- Metros entubados: 96,30 m.
- Tipo de tubería: PREUSSAG PVC – U – 75 mm x 5 de 12 Bares.
- Ranurado:
- 000 – 008 m: Tubería no ranurada
- 008 – 96,30 m: Tubería ranurada
- Emboquille:
- Diámetro de perforación = 220 mm
- Diámetro de entubación = 180 mm (tubería metálica)
- Longitud = 5 metros
- Cementación: Se han cementado los 5 metros superiores, correspondientes al emboquille.
- Nivel Estático: 42 m
- Columna litológica:

0 – 1,15 m: Arenas y arcillas con cantos margosos y carbonatados

1,15 – 3,00 m: Caliza y margocaliza beige con arcilla roja

3,00 – 22,60 m: Alternancia de brechas dolomíticas con arcillas verdes. Arcillas verdes con paquetes de calizas color crema

22,60 – 23,80 m: Brechas dolomíticas con diaclasas y restos de óxidos

23,80 – 38,00 m: Alternancia de brechas dolomíticas con niveles de arcilla

38,00 – 39,95 m: Brechas dolomíticas con diaclasas y restos de óxidos

39,95 – 42,70 m: Brecha arcillosa verde con clastos de dolomía

42,70 – 45,80 m: Brecha dolomítica con fisuras y huecos rellenos de arcilla verdosa

45,80 – 52,50 m: Alternancia de brechas dolomíticas con niveles de arcillas rojas

52,50 – 59,70 m: Arenisca dolomítica amarilla y verde

59,70 – 79,80 m: Calizas oolíticas color crema con abundantes diaclasas y óxidos

79,80 – 81,50 m: Margocaliza verde

81,50 – 84,10 m: Brecha dolomítica

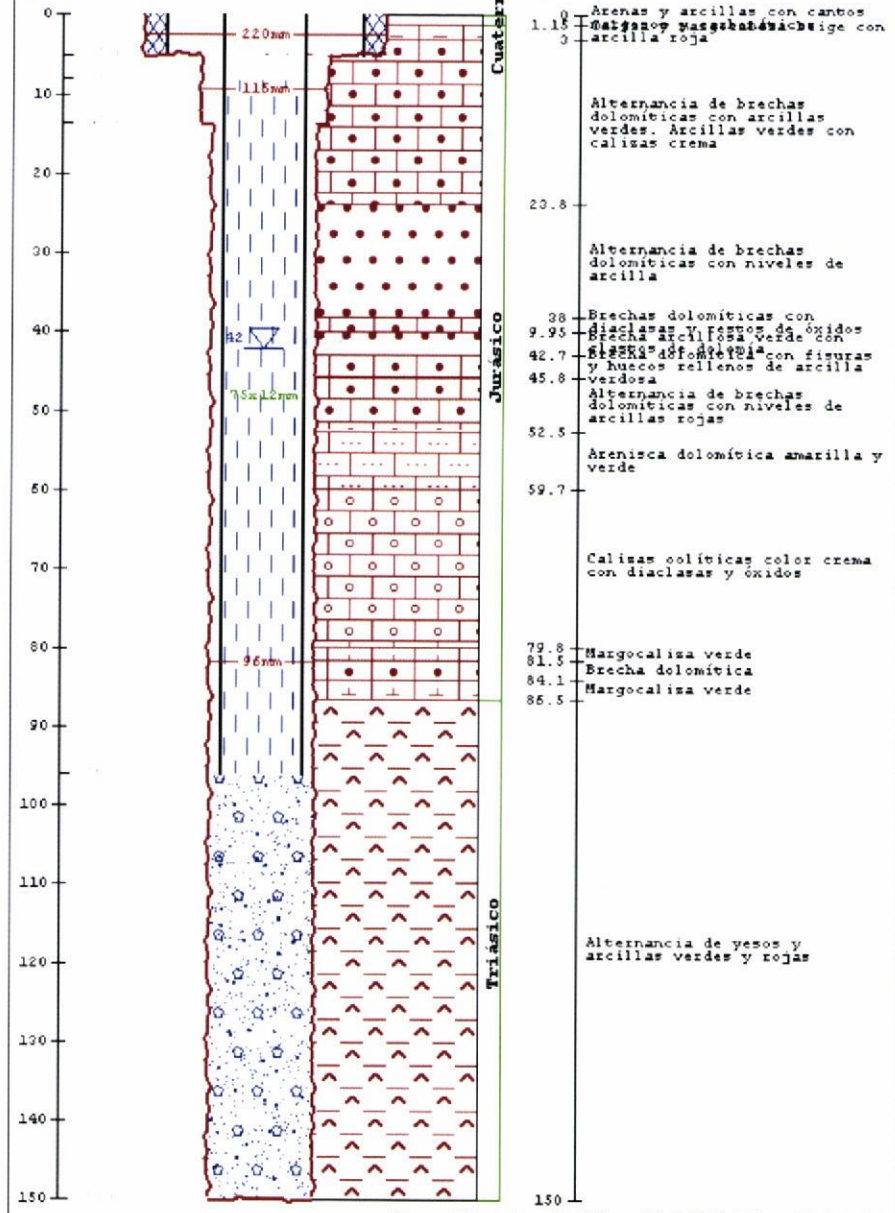
84,10 – 86,50 m: Margocaliza verde

86,50 – 107,00 m: Alternancia de yesos y arcillas verdes

107,00 – 150,00 m: Alternancia de yesos y arcillas rojas

CROQUIS DE POZO
Arroyo del Mostazar 3
(Villacarrillo)

2036-4-0043



Huso: 30 X: 482.772 Y: 4.220.668 Z: 395.86

AUTOR: Tomás Peinado Parra

4 CAMPAÑAS DE AFOROS EN CAUCES Y MANANTIALES

4.1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La investigación de las descargas naturales al río Guadalimar procedentes de los acuíferos de la Loma de Úbeda fue iniciada por el IGME en 2001. En la primavera de ese año se llevó a cabo una campaña de aforos en cauces y manantiales relacionados con el acuífero jurásico. Para la realización de la campaña se investigaron detalladamente ambas márgenes del río Guadalimar, lo que permitió localizar 39 secciones de aforo.

Entre agosto de 2003 y julio de 2004 se realizaron cuatro campañas de aforos, con una periodicidad trimestral, en puntos seleccionados a partir de la campaña anterior, que permitieron conocer el régimen de descargas del acuífero jurásico al río.

En diciembre de 2006 y febrero de 2007 se llevó a cabo un reconocimiento detallado de las márgenes del río Guadalimar, con más intensidad en la margen izquierda. El objetivo del trabajo fue situar con precisión las zonas de descarga y estudiar la posible existencia de un nivel colgado que pudiera estar más o menos generalizado en todo el acuífero, similar a lo observado en los sondeos S-6 y S-10.

Entre los años 2008 y 2009 se han realizado dos campañas más de aforos, en esta ocasión con el objetivo de conocer con mayor precisión las descargas procedentes del acuífero mioceno.

La situación de las secciones aforadas se muestra detalladamente en el anejo 4.1, y los resultados obtenidos se explican en los siguientes epígrafes.

4.2. CAMPAÑA DE AFOROS DE 2001

En la tabla 4.1 y en la figura 4.1 se muestran los resultados obtenidos en la campaña de aforos de 28 a 31 de Mayo de 2001 y en los anejos 4.1 y 4.2 se incluyen los resultados de los aforos y los esquemas de las secciones de aforo.

El total aforado correspondiente a drenajes del Jurásico se eleva a unos 232 l/s en la margen derecha del Guadalimar (que reúne el 74 % de los afloramientos y supone el

61 % del drenaje total) y a 149 l/s en la margen izquierda (26 % de los afloramientos y 39 % del drenaje total). La descarga total evaluada en esa fecha sería por consiguiente de 381 l/s, que equivaldrían de ser constantes a unos 12 hm³/año, aunque lógicamente tales descargas deben presentar variaciones estacionales e interanuales. Cabe destacar, en cualquier caso, que en los trabajos anteriores las descargas por manantiales se valoraban en una media de 1'5 hm³/año.

4.3 CAMPAÑAS DE AFORO TRIMESTRALES DE 2003-2004

A partir del reconocimiento de las descargas en cauces y manantiales vertientes al río Guadalimar realizado en 2001, se escogieron las secciones de mayor interés por su volumen de descargas para la realización de campañas de medidas trimestrales que permitieran conocer la variabilidad interanual.

Las secciones de interés se aforaron en agosto de 2003 y enero, abril y julio de 2004, con la realización de un total de 38 aforos con micromolinete y la estimación o aforo volumétrico en otros 41 puntos (en general, para aportes inferiores a 2-4 l/s o por inexistencia de secciones adecuadas para aforos más precisos). En la primera campaña se observaron 36 secciones, y en función de sus resultados y de las conclusiones obtenidas en la campaña de Mayo de 2001 se redujeron a 16 secciones de interés para las sucesivas campañas (figura 4.2). Tres de las secciones de aforo corresponden a descargas del Mioceno que es necesario descontar de la sección nº 3 (en concreto, las nº 4, 5 y 6).

Los resultados netos obtenidos se muestran en la tabla 4.2, que incluye la campaña de mayo de 2001, y se han representado gráficamente en la figura 4.3. Los datos originales y fichas de aforo se adjuntan en el anejo 4.3.

Como se puede observar en la tabla 4.2, el caudal medio en los cauces escogidos de las 5 campañas realizadas varía entre un mínimo de 3'4 l/s y un máximo de 40'3 l/s en las distintas secciones finales de interés, si bien la principal descarga puntual (con surgencia bien definida) es la correspondiente al arroyo de la Estrella (sección nº 19), con un caudal medio próximo a 29 l/s y variable de 3 a 56 l/s.

Tabla 4.1

SECCIÓN	NOMBRE	Nº IGME	X UTM	Y UTM	TIPO AFORO	FECHA	Q (l/s)	Conduct. (µS/cm)	Tº (°C)	OBSERVACIONES	Caudal neto (l/s)	Margen
1	Arroyo del Valdio	2036-5- GVA	458360	4215156	Molinete	28/05/2001	3.5	1150	26.8	Del Mioceno 0'5 l/s	3.0	Izda
2	Arroyo de los Yesos	2036-1- GYA	459814	4216174	Estimado	28/05/2001	0			Seco	0.0	Izda
3	Arroyos de Valdecanales y Guadalupe	2036-2- GVA	461981	4210290	Molinete	28/05/2001	17.6	1650	26.4	Del Mioceno 1 l/s	15.6	Izda
4	Arroyo de Guadalupe (Mioceno)	2036-6- GGA	465267	4215308	Estimado	28/05/2001	1			Procede de Mioceno. Descontar de 3		
5	Arroyo de Solillo (Mioceno)	2036-6- GSA	463398	4211305	Estimado	28/05/2001	1			Procede de Mioceno. Descontar de 3		
6	Arroyo de Valdecanales (Mioceno)	2036-6- GVB	465573	4211182	Estimado	28/05/2001	0			Procede de Mioceno. Descontar de 3		
7	Arroyo de Torrihuela (carr. A Navas)	2036-3- GTA	469179	4221123	Estimado	28/05/2001	10.9			Igual caudal que en sección de aforo 8		
8	Arroyo de Torrihuela	2136-3- GTB	469145	4222049	Molinete	28/05/2001	10.9	781	18.3		10.9	Dcha
9	Arroyo de Los Morales (en Navas)	2036-3- GMA	472260	4224477	Estimado	28/05/2001	25-30			Interesante aguas abajo, pero sin acceso	27.5	Dcha
10	Arroyo de los Pozos	2036-3- GPC	474710	4222429	Estimado	28/05/2001	1					
11	Arroyo de los Pozos	2036-3- GPB	474997	4221335	Estimado	28/05/2001	3			Gana caudal		
12	Arroyo de los Pozos (desembocadura)	2036-3- GPA	475099	4220808	Estimado	28/05/2001	3			Igual caudal que en sección de aforo 11	3.0	Dcha
13	Cañada de Úbeda (tb. GPS 210)	2036-3- GCA	475914	4220010	Molinete	29/05/2001	33.6			Posible vert. A R	33.6	Dcha
14	Arroyo de la Corregidora (Mioceno)	2036-3- GCB	475062	4216912	Estimado	29/05/2001	10-12			Mioceno y posible vert. A R		
15	Arroyo de la Corregidora	2036-3- GCA	474693	4219846	Molinete	29/05/2001	17.3	2850	18.2	Posible vert. A R	6.3	Izda
16	Arroyo Rolobón	2036-4- GRA	479054	4219114	Estimado	29/05/2001	>2			Sin acceso. Visto aguas arriba y gana algo	2.0	Izda
17	Arroyo del Mostazar (8-1)	2036-4- GMVA	482697	4220681	Molinete	29/05/2001	1.4	2320	24.6		1.4	Izda
18	Arroyo del Mostazar (8-2)	2036-4- GMA	482964	4220719	Estimado	29/05/2001	0			Seco	0.0	Izda
19	Arroyo de la Estrella (aguas abajo 193)	2036-3- GEA	470833	4220307	Molinete	29/05/2001	56.1	768	24.1		56.1	Dcha
20	Nacimiento Arroyo de Huertafranca	2036-4- GHB	478888	4223053	Sin acceso	29/05/2001	??			Zona de surgencia. Sin acceso		
21	Arroyo del Herrero	2136-1- GHA	485878	4221745	Estimado	29/05/2001	0			Seco	0.0	Izda
22	Arroyo de la Pasada del Zarco (carr. Herrera)	2136-1- GPC	488957	4221665	Estimado	30/05/2001	0			Seco		
23	Arroyo de la Pasada del Zarco (Cjo. del Santísimo)	2136-1- GPB	488100	4222538	Estimado	30/05/2001	0			Seco		
24	Arroyo de la Pasada del Zarco	2136-1- GPA	486900	4223318	Molinete	30/05/2001	3.8	923	23.8	Posible vert. A R	3.8	Izda
25	Arroyo del Arbolón (puente camino Cjo. Stª. Marina)	2136-1- GAA	489704	4223767	Estimado	30/05/2001	>60			Interesante. Sin acceso (hay que ir 2 para aforo)	60.0	Izda
26	Arroyo sin nombre. Grupo de 4 manantiales próximos	2136-1-GMA	485852	4224127	Estimado	30/05/2001	10			Q conjunto de 4 manant. El arroyo esta seco	10.0	Dcha
27	Arroyo del Tobazo	2135-5- GTA	488964	4225540	Estimado	30/05/2001	5				5.0	Dcha
28	Arroyo de la Cabañada	2135-5- GCA	487647	4225433	Molinete	30/05/2001	21.0	767	25		21.0	Dcha
29	Arroyo del Quintero	2135-6- GQA	491754	4231917	Estimado	30/05/2001	0			Seco	0.0	Dcha
30	Arroyo de los Yeros/Huerta Fresca (o Franca)	2036-4- GHA	478722	4222002	Molinete	30/05/2001	23.0	713	24.5	Aforo	23.0	Dcha
31	Arroyo de la Torre	2135-6- GTA	494510	4228711	Estimado	30/05/2001	10-15			No hay sección de aforo	12.5	Dcha
32	Arroyo de la Cañada	2135-6- GCA	491313	4227784	Molinete	31/05/2001	30.0	1187	19.2		30.0	Dcha
33	Arroyo de los Olmillos	2135-6- GOA	497034	4228677	Flotador	31/05/2001	60.0			A residuales drenaje máximo carbonatado 30 %	18.0	Izda
34	Arroyo Silvestre	2135-6- GSA	496429	4228557	Estimado	31/05/2001	<1				1.0	Izda
35	Arroyo Silvestre aguas arriba	2135-6- GSB	497400	4226127	Estimado	31/05/2001	0			Seco		
36	Arroyo del Carrizal	2135-6- GCA	492439	4226433	Molinete	31/05/2001	35.3	1151	27.9		35.3	Izda
37	Arroyo de Zorreras	2135-6- GZA	492247	4225692	Estimado	31/05/2001	<2			Agua sucia	2.0	Izda
38	Arroyo del Robledo	2036-4- GRA	480750	4222150	Sin acceso	31/05/2001	??			Sin acceso. Lleva agua	0.0	Dcha
39	Arroyo de la Pasada de los Lobos	2036-4- GUA	482650	4222300	Sin acceso	31/05/2001	??			Sin acceso	0.0	Dcha

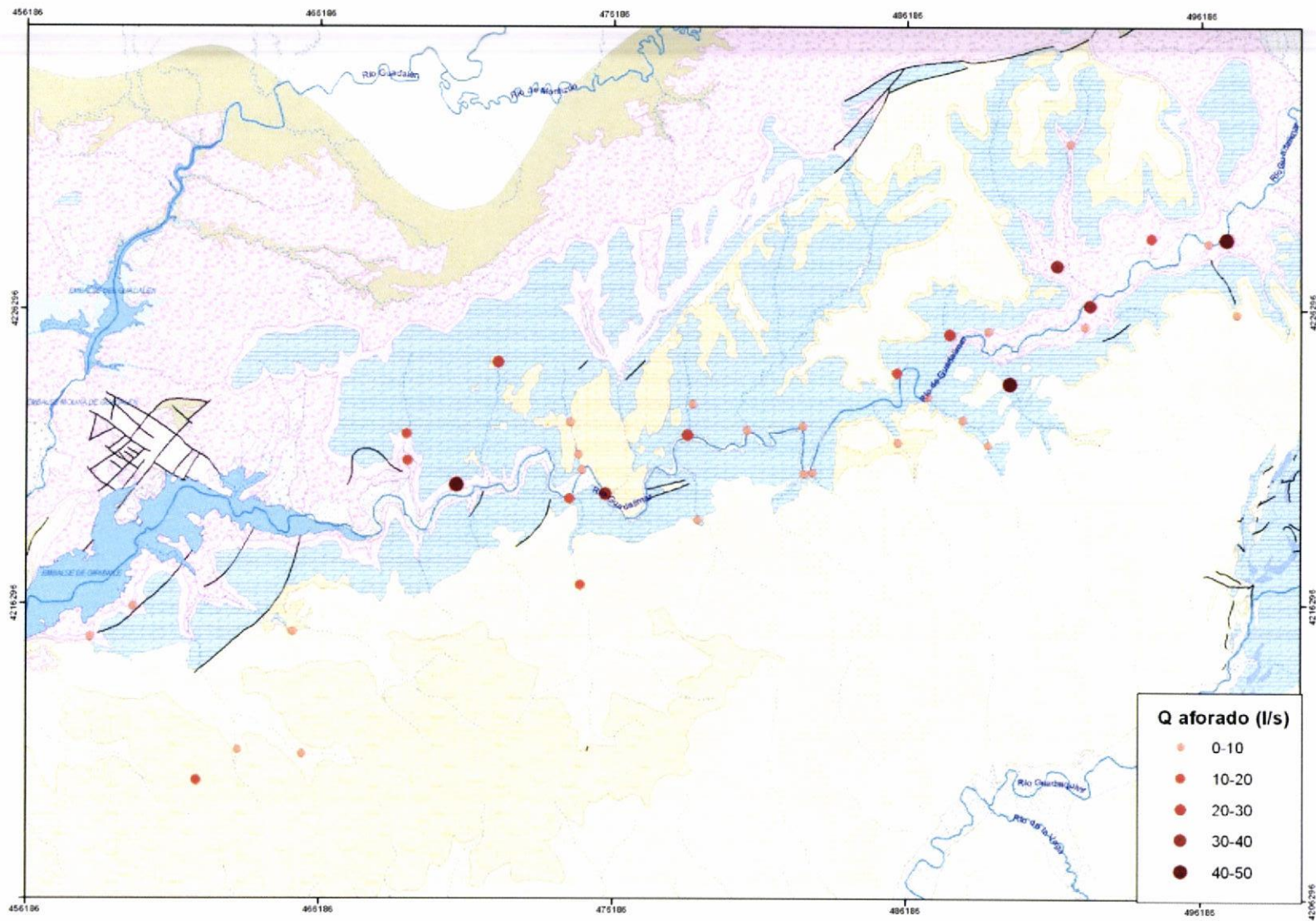


Figura 4.1. Situación de puntos aforados en mayo de 2001 y resultados obtenidos.

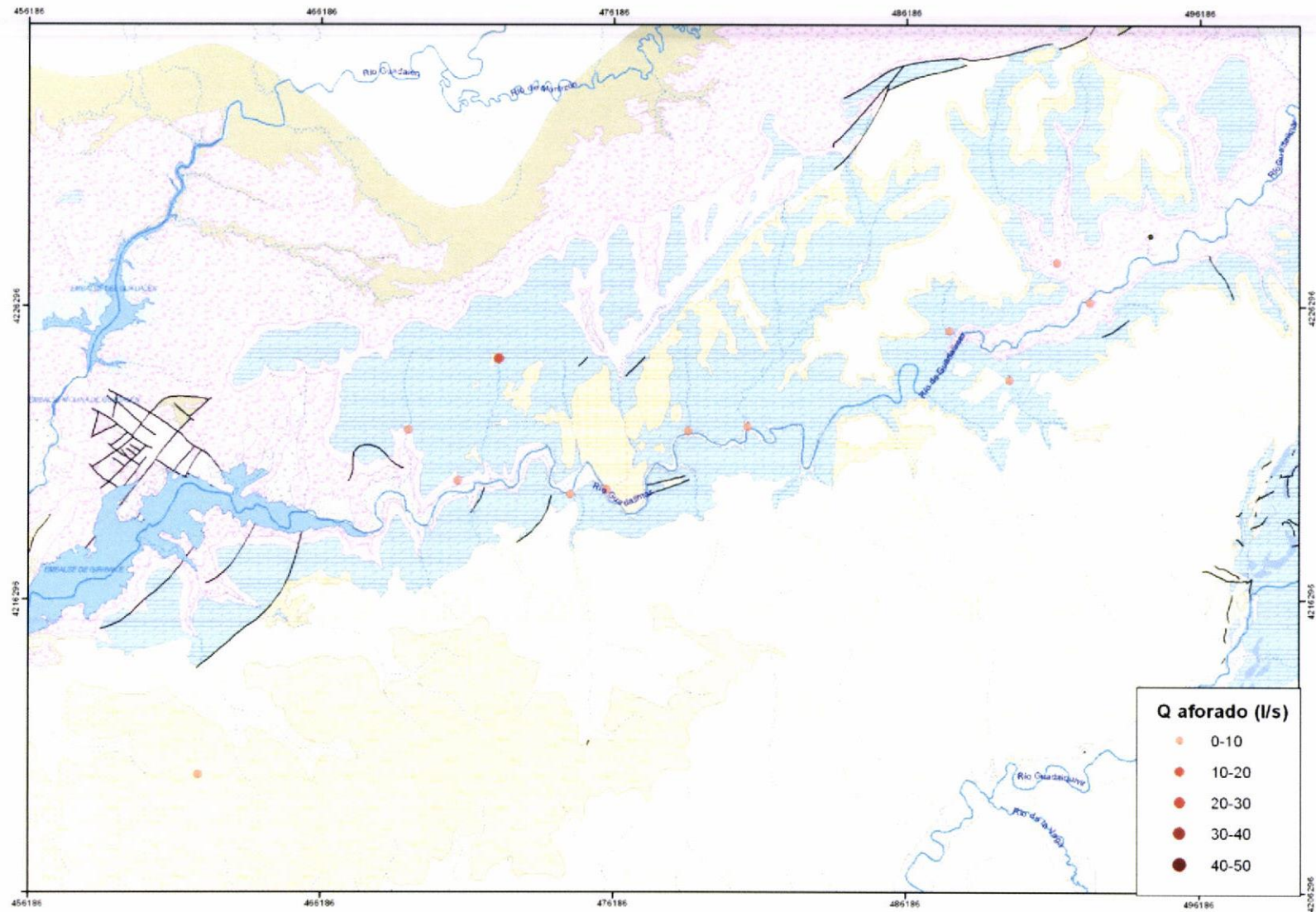


Figura 4.2. Situación de puntos aforados en agosto de 2003 y resultados obtenidos.

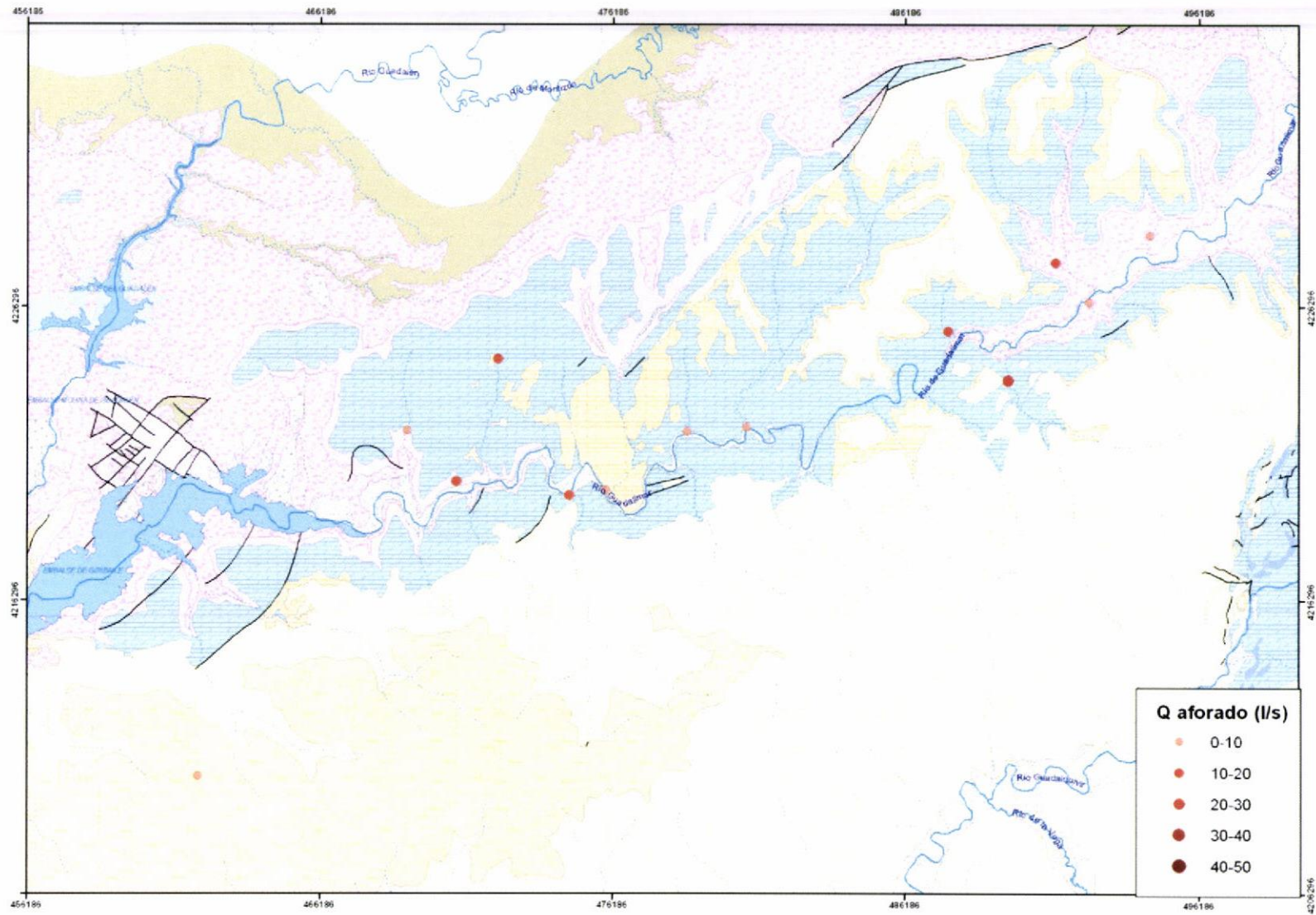


Figura 4.3. Situación de puntos aforados en enero de 2004 y resultados obtenidos.

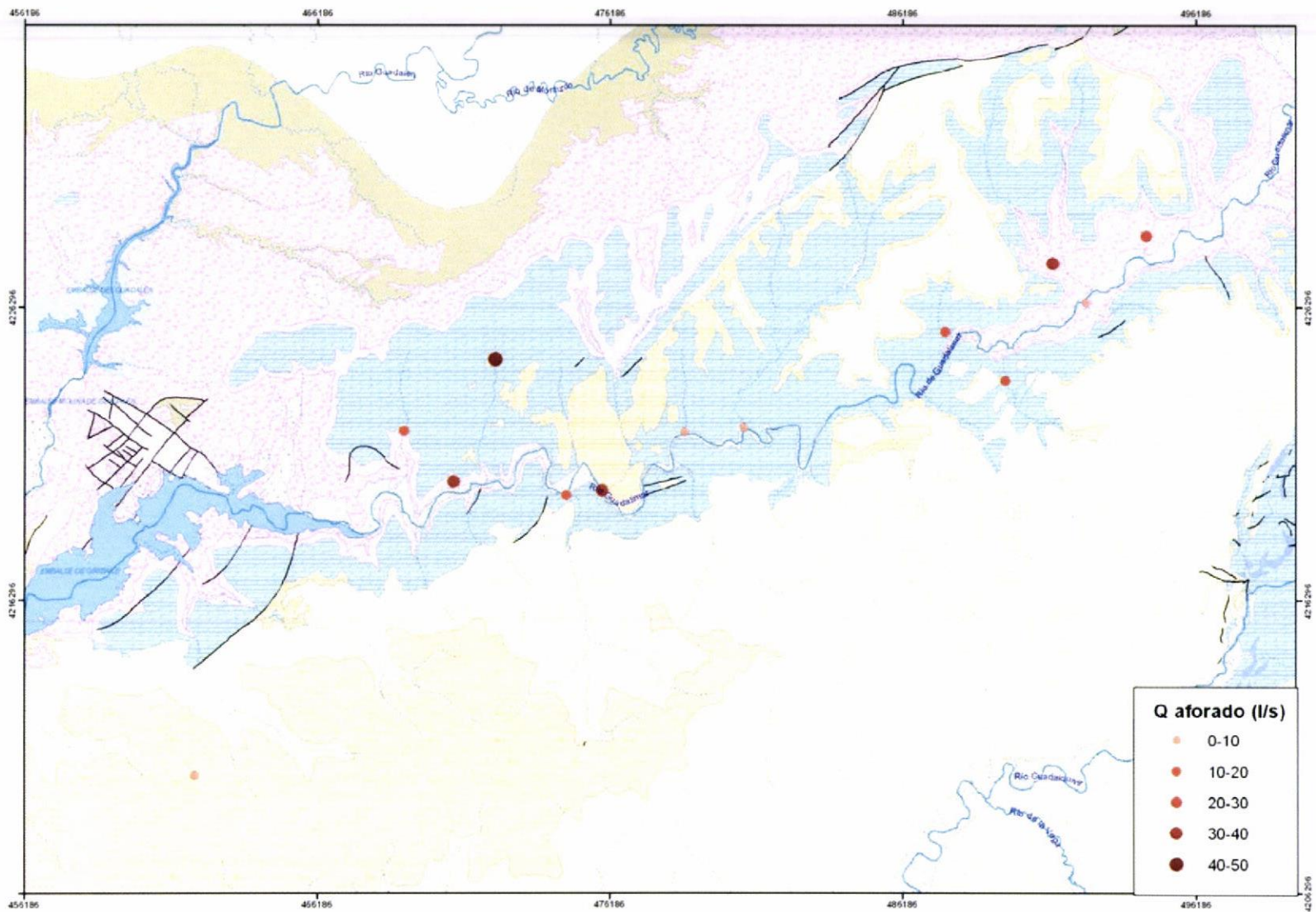


Figura 4.4. Situación de puntos aforados en abril de 2004 y resultados obtenidos.

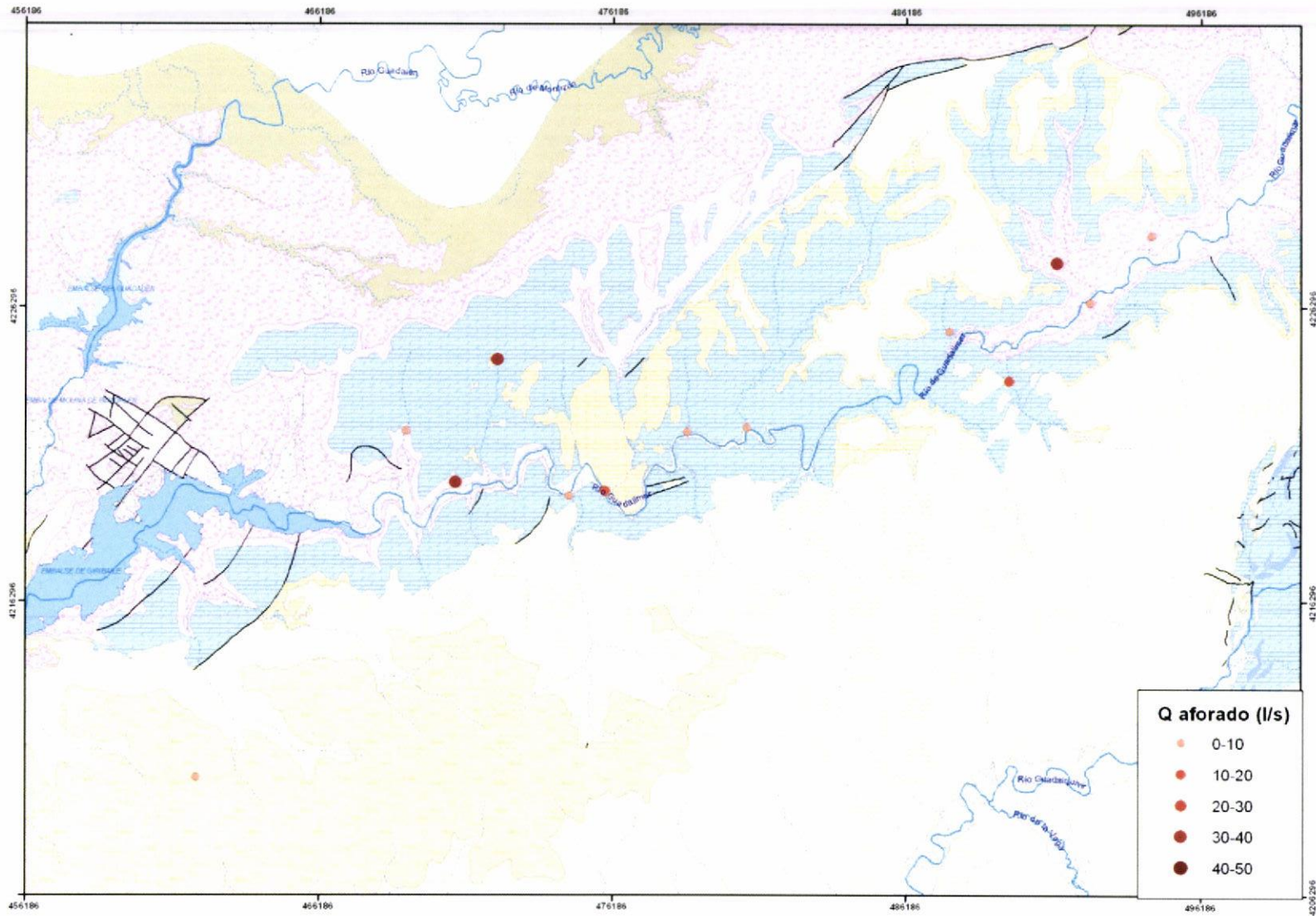


Figura 4.5. Situación de puntos aforados en julio de 2004 y resultados obtenidos.

Tabla 4.2. Síntesis de las campañas de aforo de las descargas del acuífero carbonatado de la Loma de Úbeda.

Nº SECCION	Nº IGME	NOMBRE	Margen	MAYO 2001		AGOSTO 2003		ENERO 2004		ABRIL 2004		JULIO 2004		Caudal medio 5 campañas
				TIPO	CAUDAL NETO (l/s)	TIPO	CAUDAL NETO (l/s)	TIPO	CAUDAL NETO (l/s)	TIPO	CAUDAL NETO (l/s)	TIPO	CAUDAL NETO (l/s)	
3	2036-2- GVA	Arroyos de Valdecanales y Guadalupe	Izda	Mol	15,6	E	0,0	Mol	8,9	Mol	7,1	E	1,3	6,6
8	2136-3- GTB	Arroyo de Torrihuela	Dcha	Mol	10,9	E	0,0	Seco	0,0	Mol	21,8	E	1,0	6,7
9	2036-3- GMA	Arroyo de Los Morales (en Navas)	Dcha	E	27,5	Mol	10,1	V	15,0	Mol	117,6	Mol	31,1	40,3
13	2036-3- GCA	Cañada de Úbeda	Dcha	Mol	33,6	E	0,0	V	1,5	Mol	37,9	Mol	10,4	16,7
15	2036-3- GCA	Arroyo de la Corregidora	Izda	Mol	6,3	E	0,0	Mol	11,5	Mol	13,5	E	0,0	6,3
19	2036-3- GEA	Arroyo de la Estrella	Dcha	Mol	56,1	Mol	2,9	Mol	13,4	Mol	31,2	Mol	39,3	28,6
25	2136-1- GAA	Arroyo del Arbolón (puente camino Cjo. Stª. Marina)	Izda	E	60,0	Mol	2,1	Mol	31,9	E	12,0	Mol	12,1	23,6
28	2135-5- GCA	Arroyo de la Cabañada	Dcha	Mol	21,0	V	3,0	Mol	14,4	Mol	19,2	Mol	5,9	12,7
30	2036-4- GHA	Arroyo de los Yeros/Huerta Fresca (o Franca)	Dcha	Mol	23,0	Mol	3,0	Mol	3,8	Mol	6,9	Mol	7,8	8,9
31	2135-6- GTA	Arroyo de la Torre	Dcha	E	12,5	E		V	2,0	Mol	26,6	E	0,1	10,3
32	2135-6- GCA	Arroyo de la Cañada	Dcha	Mol	30,0	Mol	2,5	Mol	19,2	Mol	34,4	Mol	32,4	23,7
36	2135-6- GCA	Arroyo del Carrizal	Izda	Mol	35,3	E	1,2	Mol	3,0	Mol	6,3	Mol	1,5	9,5
38	2036-4- GRA	Arroyo del Robledo	Dcha	S.a.	0,0	Mol	1,6	Mol	2,7	Mol	6,8	Mol	5,8	3,4
TOTAL MARGEN DERECHA					214,5		23,2		72,0		302,4		134,0	151,3
TOTAL MARGEN IZQUIERDA					117,2		3,3		55,2		38,9		14,9	45,9
TOTAL GENERAL					331,8		26,5		127,2		341,2		148,9	197,2

OBSERVACIONES: LAS SECCIONES 9, 13, 19, 25, 28, 31 Y 32 PUEDEN TENER INTERES PARA AFOROS PERIODICOS FUTUROS POR TENER MEDIA DE MÁS DE 10 L/S EN LAS 5 CAMPAÑAS INICIALES. SUPONEN ADEMÁS EL 79 % DEL CAUDAL MEDIO AFORADO EN TODAS LAS SECCIONES. EN LOS CAUDALES NETOS SE HAN DESCONTADO APORTES AJENOS (AGUAS RESIDUALES, ETC...).

Tipo de aforos: Mol: molinete; E: estimado; V: volumétrico; S.A.: sin acceso;

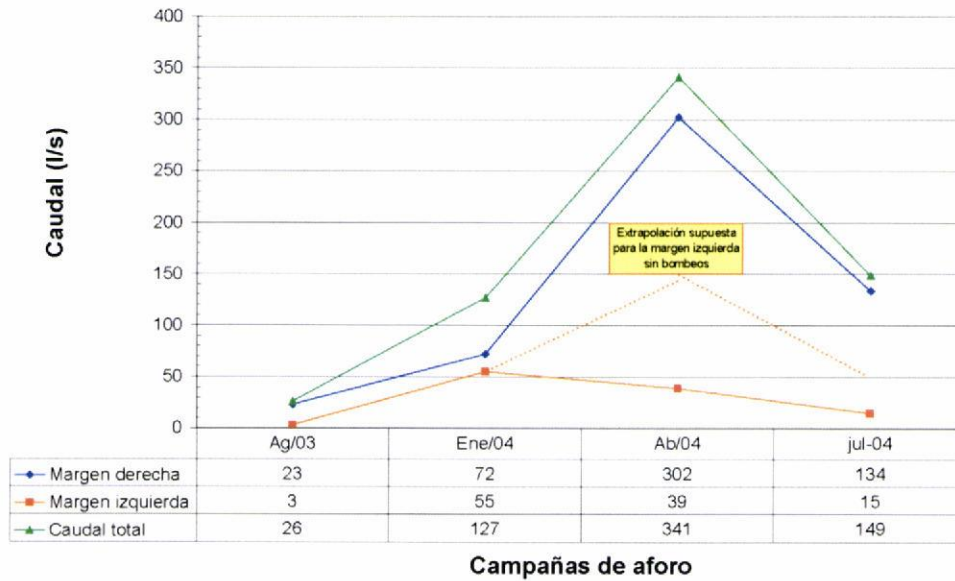


Figura 4.6. Resultados de los aforos de las descargas del acuífero Jurásico de la Loma de Úbeda (2003-2004).

El caudal conjunto supone una media de unos 46 l/s para la margen izquierda (aunque variable de 3 a más de 115 l/s), y de unos 151 l/s para la margen derecha, con descargas más abundantes y permanentes (variables desde 23 a más de 300 l/s en conjunto). En total y considerando los 5 aforos disponibles (aunque el primero es de la primavera de 2001, hay que tener en cuenta que dos de las campañas de 2003-2004 corresponden al máximo estiaje, por ser de Julio/2004 y Agosto/2003) las descargas conocidas supondrían unos 197 l/s, equivalentes a una media de 6'2 hm³/año.

En cuanto a su distribución estacional está claro que los máximos corresponden a la primavera, con mínimos acusados en estiaje, y cabe destacar el hecho del diferente comportamiento de las descargas de la margen izquierda respecto a las de la margen derecha: en efecto, el máximo caudal medido en la margen derecha es claramente el de abril de 2004 (más de 4 veces el registrado en enero de 2004), mientras que la margen izquierda apenas representa en abril un 80 % del caudal medido en el mes de enero. Este hecho debe estar probablemente provocado por la afección de los bombeos a las descargas de la margen izquierda (la campaña de riego comenzó en 2004 entre mediados y finales de marzo y los aforos se llevaron a cabo del 13 al 15 de abril). Ello puede confirmarse si se observa la relación entre ambas márgenes de la campaña inicial de mayo de 2001, en la que la margen izquierda tenía un caudal equivalente al 54 % del medido en la margen derecha (117 l/s en la izquierda frente a 215 l/s en la derecha), que sin embargo en abril de 2004 pasa a ser tan sólo del 13 % (39 l/s en la margen izquierda frente a más de 300 l/s en la derecha), a pesar de

tratarse de dos épocas de “aguas altas”. Considerando esa proporción y la evolución “a estima” de los caudales observados se ha extrapolado el caudal que parecería lógico en la campaña de abril de 2004 para las secciones de la margen izquierda, que, como se observa, podría ser próximo a 150 l/s si no existiese afección por bombeos (véase figura 4.6). Aunque en mayo de 2001 también existían bombeos, hay que tener en cuenta (como se comenta en el capítulo 3) que los niveles generales de la margen izquierda presentan un descenso entre mayo de 2001 y marzo de 2004 próximo o superior a 10 m cerca del río Guadalimar, lo que podría haber provocado un mayor grado de afección a los manantiales en abril de 2004.

4.4 REVISIÓN DE DESCARGAS AL RÍO GUADALIMAR EN 2006

En 2006 se decidió revisar detalladamente los márgenes del río Guadalimar para estudiar la posibilidad de la existencia de niveles “colgados” en las calizas y su influencia en las descargas al río. La revisión se centró especialmente en 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, con un caudal que fluctuó entre 1 y 35 l/s y una media de 10 l/s.

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 (tabla 4.3 y figura 4.4). 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) situado a una cota 120 m 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 m sobre el nivel regional del acuífero, si bien se trata de un área donde 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 muestran la existencia de pequeños drenajes colgados en el 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 aforados en años anteriores. La naturaleza de los puntos visitados es la de pozos artesanos de poca profundidad cercanos al cauce del río, que son utilizados tradicionalmente por los agricultores de la zona para abastecimiento propio y riego puntual. Dos de estos pozos tienen un nivel piezométrico similar a la cota del agua regional del acuífero jurásico. Sin embargo, la cercanía de estos pozos al Río Guadalimar (a menos de cien metros 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) parece corresponder con niveles colgados situados unos 50 m por encima del nivel piezométrico de la zona.

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 Trias. 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-Úbeda	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

Tabla 4.3. Reconocimiento de los márgenes del río Guadalimar para detectar la presencia de posibles niveles colgados

4.5 CAMPAÑAS DE AFOROS EN EL ACUÍFERO MIOCENO

Con el objetivo de estudiar la influencia del acuífero mioceno en el balance hídrico general se decidió estudiar las descargas naturales existentes en este acuífero. Para ello se programó la realización de aforos en los cauces que parten de este acuífero y en los manantiales asociados. La idea fue aforar las descargas tanto en aguas bajas como en aguas altas.

En octubre de 2008 se realizó una primera visita a la zona para ver los posibles puntos de aforo y los cauces con caudales permanentes. Esta visita permitió comprobar la práctica ausencia de descargas visibles a los cauces en esas fechas y el bajo caudal drenado por los manantiales.

En junio de 2009 se procedió a visitar y tratar de aforar 23 secciones de cauces que bordean sus afloramientos, tratando de cubrir espacialmente toda su cuenca vertiente. Se consiguió así entre el 2 y 10 de Junio de 2009 la estimación o aforo volumétrico de 19 cauces que cubren aproximadamente un 90 % de dicha cuenca vertiente (algunos se visitaron varias veces arriba o abajo para encontrar el punto adecuado). Dada la escasez de caudales en general y las condiciones de acceso y observación la casuística es muy variada, con arroyos que ganan ligeramente caudal hacia aguas abajo, otros que desaparecen por la utilización del agua entre tramos o su simple evaporación o infiltración en aluviales someros, etc. No obstante, los resultados obtenidos se consideran suficientes para hacerse una idea de la magnitud de tales descargas (tabla 4.4 y figura 4.7). Así, los 19 cauces representativos totalizan un caudal de unos 13-15 l/s, pero de ellos 7 presentan claramente por su olor y condiciones aguas residuales de núcleos situados aguas arriba, en proporción imposible de cuantificar, totalizando el caudal de estos siete entre 9 y 10 l/s (del 66 al 69 % del total).

Los resultados obtenidos muestran el bajo volumen de descargas de aguas subterráneas procedentes del acuífero mioceno existente en la actualidad, que parcialmente puede ser debido al volumen de extracciones existente y a la descarga inducida hacia el acuífero jurásico como consecuencia de sondeos que atraviesan ambos acuíferos. En todo caso, por la información histórica disponible en la base de datos del IGME, se sabe que las descargas naturales previas a la entrada en explotación del acuífero eran poco significativas. Estudios anteriores las habían estimado en torno a 1 hm³/año, valor que queda justificado por los resultados de este trabajo. Como se indica en el capítulo 6, este bajo volumen de descargas naturales es

un indicio de la existencia de descargas ocultas hacia el acuífero jurásico, en un volumen difícil de precisar.

FECHA	NOMBRE	Nº IGME	TIPO SECCIÓN	X UTM (m)	Y UTM (m)	TIPO AFORO	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
02/06/2009	Ayo de Guadalupe	2036-6- GGA	cauce	465267	4215296		0	Seco. Aguas arriba del santuario existe al go de circulación con un caudal de 0,1 l/s como máximo.
02/06/2009	Fte Corregidora		manantial	473420	4212948	Volumétrico	0.06	
02/06/2009	Fte 4 caños Corregidora		manantial	473422	4213000	Volumétrico	1,0	
02/06/2009	Ayo Corregidora	2036-3- GCA	cauce	474693	4219846		0	Agua estancada, no se aprecia circulación superficial.
02/06/2009	Ayo Sabiote		cauce	475478	4211881	Estimado	0,01	Agua con algo de circulación superficial.
10/06/2009	Ayo Caballeros		cauce	462210	4201177	Estimado	2	Aforado en puente de ctra J-303. Fuerte olor a aguas residuales procedentes de ganado (como purines).
10/06/2009	Ayo de La Dehesa		cauce	460807	4203251		0	Seco.
10/06/2009	Ayo Fanegas		cauce	459996	4202719		0	Seco. Sin foto.
10/06/2009	Ayo de Tres Fuentes		cauce	458988	4202736		0	Agua superficial sin flujo aparente. Caudal del manantial asociado 0,2 l/s.
10/06/2009	Ayo Miguel Ibáñez		cauce	457603	4202739		0	Seco.
10/06/2009	Ayo de La Olivilla		cauce	456948	4202947		0	Seco.
10/06/2009	Ayo del Matadero		cauce	455331	4203376	Estimado	2	Puede contener aguas residuales de Baeza. Pozo de hormigón en el borde del cauce.
10/06/2009	Ayo Lupión		cauce	450670	4206413	Volumétrico	0.6	Tributarios secos. El agua contiene residuales de Lupión.
10/06/2009	Ayo de Ibros		cauce	450140	4211348	Estimado	0.0016	Q en torno a 1 l/min. Sin foto.
10/06/2009	Ayo de La yedra		cauce	456269	4212434	Estimado	3 o 4	Contiene residuales de los nucleos de aguas arriba (¿Canena, Rus. La yedra?), existen arquetas y tuberías de PVC junto al cauce que parece que le restan caudal aguas abajo. En UTM 455877/4213375. Ver fotos.
10/06/2009	Ayo Valdecanales		cauce	463060	4212619	Estimado	0,1 o 0,2	Este arroyo se aforaba anteriormente en otro punto aguas arriba de este y el mismo día de la visita estaba seco.
10/06/2009	Ayo Valdecanales	2036-6- GVB	cauce	465573	4211182		0	seco. Aforado aguas abajo con algo de caudal
10/06/2009	Ayo de Vado		cauce	480042	4206654	Estimado	0	Agua superficial estancada sin flujo superficial aparente. Se visitan dos ramales de este arroyo. Las coordenadas son del punto donde se encuentra agua. Las fotos son de los ramales secos.
10/06/2009	Ayo de Armíndez		cauce	478936	4205411	Volumétrico	0.05	
10/06/2009	Ayo Torrebarranco+Cañada Pérez		cauce	476500	4203851		-	Sin acceso al cauce pero se escucha circular agua ¿2l/s?

FECHA	NOMBRE	Nº IGME	TIPO SECCIÓN	X UTM (m)	Y UTM (m)	TIPO AFORO	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
10/06/2009	Ayo Torrebaranco		cauce	476029	4205666	Estimado	3 o 4	Aguas arriba del punto anterior.
10/06/2009	Ayo Torrebaranco		cauce	474883	4208243	Estimado	1 o 2	Aguas arriba del punto anterior. Olor a residuales. Sin foto.
10/06/2009	Ayo de Las Chozas		cauce	472123	4205439	Estimado	0	Agua estancada, no se aprecia circulación superficial.
10/06/2009	Ayo de Val		cauce	470667	4206837	Estimado	1	Algo de olor a aguas residuales.
10/06/2009	Ayo de La Alameda		cauce	468480	4206890			Cauce muy modificado para separar aguas para ¿riego, depuración?. No se puede estimar el caudal. Seguramente contenga residuales de Úbeda.
10/06/2009	Confluencia ayos alameda, Val, Cañaveral		cauce	468570	4201040	Estimado	1 o 2	Zona muy al Sur con un aluvial muy desarrollado. Sin interés a priori para aforar.
20/04/2009	Huerta Baja		manantial	471378	4212289	Volumétrico	0.5	Aforado en campaña Flash de calidad
20/04/2009	Fte Alameda	203670023	manantial	469055	4207836	Volumétrico	0.1	Aforado en campaña Flash de calidad
20/04/2009	Manantial Balneario Canena	203650001	manantial	457175	4211400	Volumétrico	0.2	Aforado en campaña Flash de calidad
21/04/2009	Fte de La Torre	213620025	manantial	492382	4217844	Volumétrico	0.4	Aforado en campaña Flash de calidad
21/04/2009	Fte de La Losa	213620010	manantial	493760	4218560	Volumétrico	0.65	Aforado en campaña Flash de calidad
22/04/2009	Manantial Casería Escopeta	203670015	manantial	472965	4207643	Volumétrico	0.05	Aforado en campaña Flash de calidad
23/04/2009	Casa Fte del Rey	203670006	manantial	470062	4209999	Volumétrico	0.1	Aforado en campaña Flash de calidad
23/04/2009	Ctjo del Granadino	203660008	manantial	467717	4213076	Volumétrico	0	Aforado en campaña Flash de calidad
24/04/2009	Fte Casa Porras	203660014	manantial	463698	4211381	Volumétrico	0.5	Aforado en campaña Flash de calidad
24/04/2009	Huerta San Antonio	203660021	manantial	465853	4206811	Volumétrico	1-1,25	Aforado en campaña Flash de calidad
28/04/2009	Fte Triana	203650035	manantial	459579	4211268	Volumétrico	0.6	Aforado en campaña Flash de calidad
28/04/2009	Fte Torreperogil		manantial	475113	4209904	Volumétrico	0.6	Aforado en campaña Flash de calidad

Tabla 4.4. Aforos realizados en cauces y manantiales del acuífero mioceno de la Loma de Úbeda en la primavera de 2009.

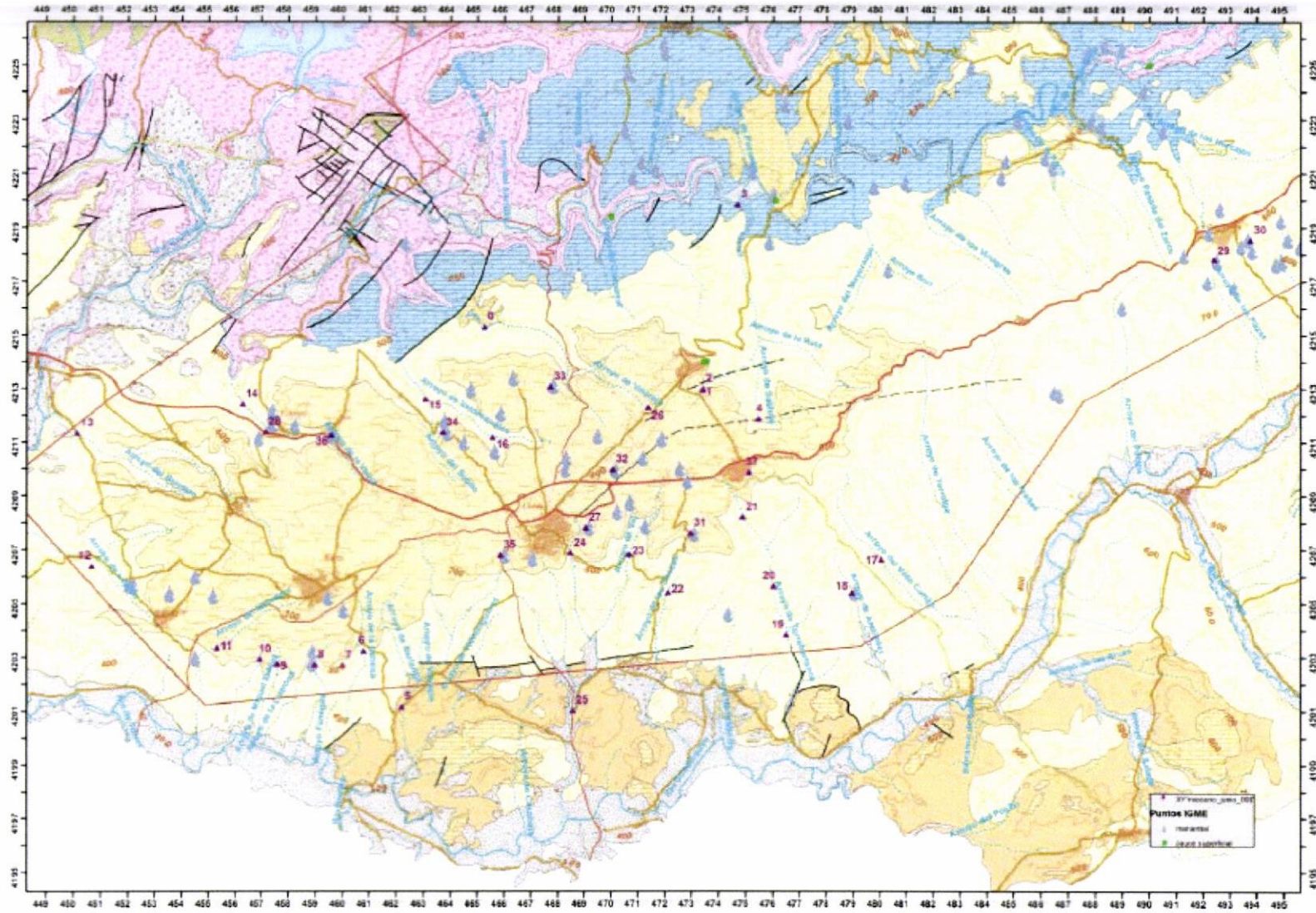


Figura 4.7. Situación de los cauces y manantiales aforados relacionados con el acuífero mioceno

5 ENSAYOS DE BOMBEO REALIZADOS EN EL ACUÍFERO Y TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA DE SONDEOS

En el presente proyecto estaba previsto el seguimiento e interpretación de 5 ensayos de bombeo en sondeos a realizar por la CHG con el objetivo de establecer una red oficial de control del agua subterránea en la MAS 05.23. Puesto que tales sondeos no se han llevado a cabo ni está prevista su ejecución a corto plazo, se decidió realizar un ensayo de bombeo en un sondeo particular (sondeo Peñuela III 2036/4/68) que a priori presentaba interés, y destinar parte del resto previsto para ensayos de bombeo a la ejecución y control de testificaciones geofísicas de sondeos (gamma natural, parámetros físico-químicos y, en ocasiones, registros de televisión) en sondeos de propiedad particular.

Ello presenta un gran interés para mejorar el conocimiento geométrico del acuífero carbonatado y ayudar a comprender los fenómenos hidroquímicos que tienen lugar en el mismo. Esto supone un esfuerzo adicional de seguimiento de la zona para detectar cuanto antes sondeos que se hayan desinstalado por algún motivo (averías, sustitución de bombas, etc) con objeto de proceder a gestionar los permisos oportunos y poder llevar a cabo su testificación.

Además, se incluye en este documento una nueva interpretación de los ensayos de bombeo realizados anteriormente por el IGME, tanto en la zona libre del acuífero jurásico como en la zona confinada, que han aportado una valiosa información sobre los parámetros hidráulicos del acuífero al objeto de proceder a su posterior modelización.

5.1 ENSAYOS DE BOMBEO REALIZADOS EN EL ACUÍFERO

5.1.1 Introducción

Se incluyen en esta apartado, además del ensayo de bombeo realizado en el sondeo Peñuela III referido anteriormente, el ensayo de bombeo realizado en 2003 en los sondeos La Mina y Camino del Cerro en la zona de acuífero confinado, y los ensayos realizados en los sondeos S-10 y S-11 construidos por el IGME en el entorno del río Guadalimar, que caracterizan la zona libre del acuífero jurásico.

5.1.2 Bombeo en La Mina (203670049) y Camino del Cerro (203670063)

En marzo de 2003 se consiguió llevar a cabo un bombeo de unos 750 minutos de duración con dos pozos de bombeo distantes unos 450 m y funcionando simultáneamente (La Mina, con el n° 2036/7/49 del IGME y Camino del Cerro, con el n° 2036/7/63). Se midieron los descensos en 2 pozos de bombeo parados pero que disponían de tubo piezométrico, distantes del centro geométrico del bombeo unos 2275 metros (Sondeos Imagen I n° 2036/8/43 e Imagen II n° 2036/8/45) (figura 5.1.2.1).

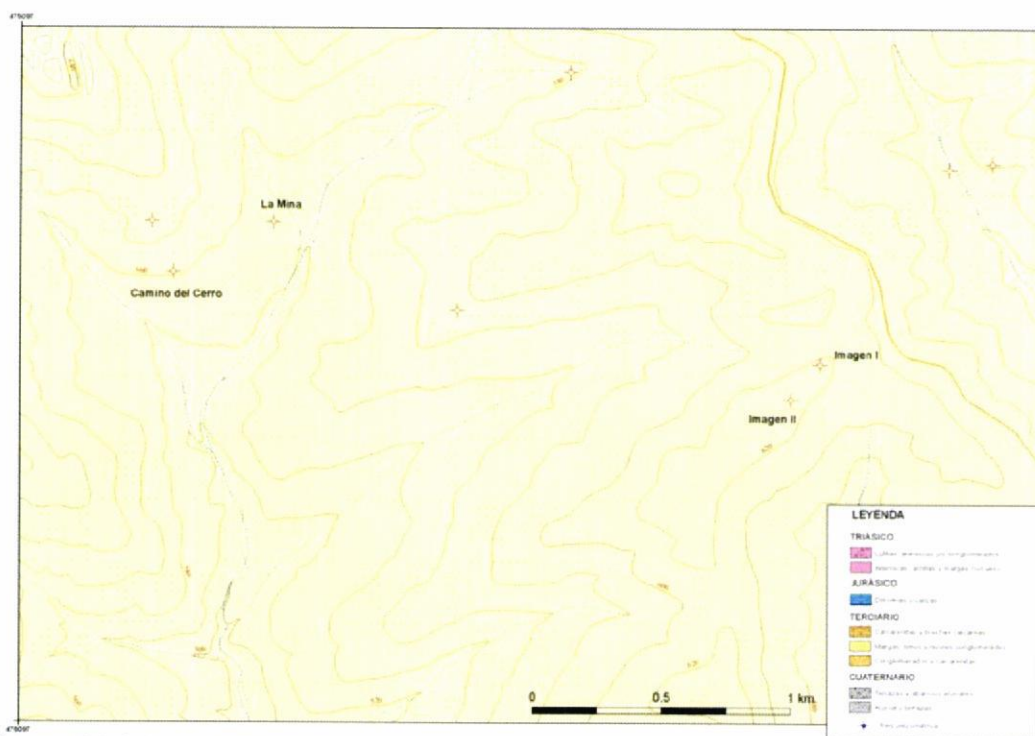


Figura 5.1.2.1. Contexto geológico y situación de los puntos aforados y medios en la zona en que se realizó el ensayo de bombeo en los sondeos Camino del Cerro y La Mina.

En la figura 5.1.2.2 se muestra el gráfico obtenido del seguimiento del nivel en el piezómetro Imagen I. Este sondeo tiene una profundidad de más de 600 m, con el techo de los carbonatos situado a unos 540 m bajo un recubrimiento de margas miocenas.

La interpretación por los diversos métodos aplicables al bombeo y la recuperación da valores de transmisividad comprendidos entre 1700 y 2200 m²/día, que para un espesor saturado en la zona de bombeo de unos 80 metros equivale a valores de permeabilidad de 21 a 28 m/día. El coeficiente de almacenamiento obtenido está

comprendido entre $7,5 \times 10^{-6}$ y $1,8 \times 10^{-5}$, con un valor medio de $1,28 \times 10^{-5}$, propio de acuíferos con un fuerte grado de confinamiento.

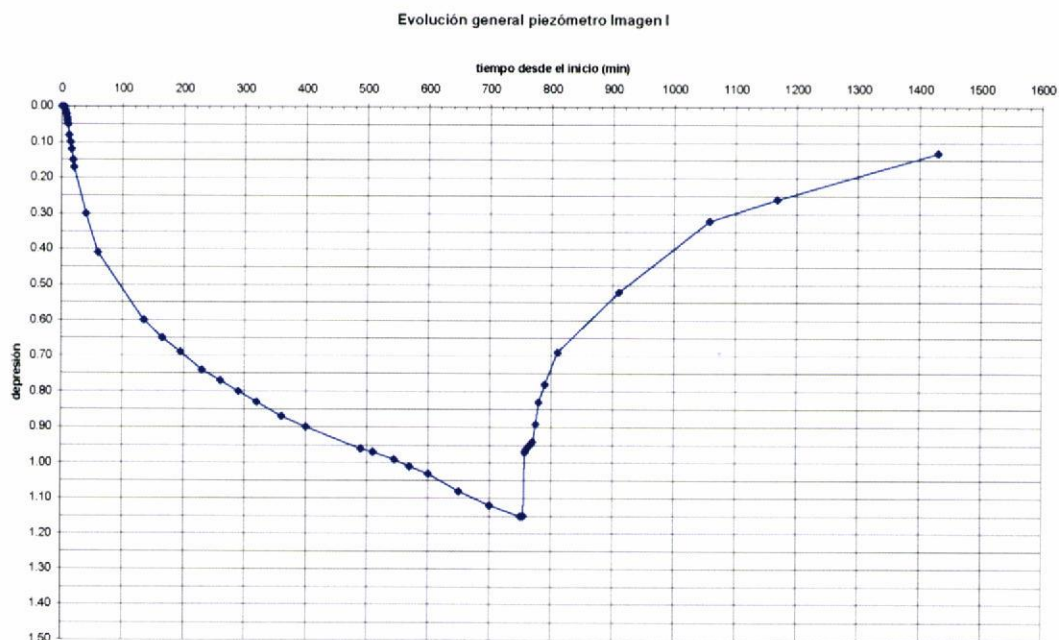


Figura 5.1.2.2. Evolución de niveles en el piezómetro Imagen I durante el ensayo de bombeo realizado en 2003.

5.1.3 Bombeo en S-10 (203640063)

El 20 de febrero de 2006 se realizó un ensayo de bombeo en el sondeo S-10, de 150 m de profundidad y un diámetro de entubación de 320 mm. El sondeo perfora 80 m de carbonatos jurásicos y el techo del triásico constituido por margas y arcillas en facies Keuper, en el apartado 3.1 se incluyen las características de todos los piezómetros construidos por el IGME. El bombeo se realizó a caudal continuo de 21 l/s durante 23 horas, posteriormente se midió la recuperación durante 13,5 horas. El control de la evolución del nivel fue también realizado en el piezómetro S-6 (2036/4/40), situado a 18,5 m de distancia del pozo de bombeo en dirección oeste, y en el piezómetro S-14 (2036/4/43), que se encuentra a 33,5 m en dirección este. Los tres sondeos se ubican cerca del cauce del río Guadalimar, en el entorno de un pronunciado meandro denominado en este trabajo como meandro del Mostazar (figura 5.1.3.1).

La figura 5.1.3.2 muestra la evolución de niveles durante el bombeo y la posterior recuperación. La curva de descensos es poco clara, muy irregular debido posiblemente a la existencia de falta de desarrollo, y está además muy influenciada por el nivel colgado que se observó en este sondeo tras su perforación. En cambio, el registro de la recuperación presenta mejores condiciones para su análisis, por lo que se decidió estudiar exclusivamente este tramo de la curva.



Figura 5.1.3.1. Contexto geológico de la zona en que se realizó el ensayo de bombeo en el sondeo S-10.

El análisis fue realizado con la utilización del programa de interpretación de ensayos de bombeo (PIBE 2.0) desarrollado por la empresa ALGIBE S.A., para la Diputación Provincial de Alicante. El programa permite el análisis de cualquier sector de la curva mediante la aplicación de los métodos de Theis, Hantush o Neuman, además ofrece la posibilidad de estudiar efectos producidos por bordes negativos o positivos, junto a otras aplicaciones.

En la figura 5.1.3.3 se muestra el resultado del ajuste del tramo de curva que se ha analizado. El mejor ajuste se consigue utilizando el método de Neuman y situando una barrera impermeable a 60 m de distancia. El método de Neuman se utiliza para el análisis de bombeos en los que se detecta la existencia de drenaje diferido. La existencia de drenaje diferido ha sido observada en el propio pozo de bombeo mediante testificación geofísica, y puede achacarse a la entrada de agua infiltrada desde el río Guadalimar, cuyo cauce se encuentra a 100 m de distancia y a unos 25 m sobre el nivel piezométrico medido en el sondeo. Sin embargo, no se consigue un buen ajuste hasta que no se incluye la presencia de una barrera impermeable. La presencia de una barrera puede explicarse por la existencia de una fractura que condicionaría la propia configuración del meandro del río. La fractura podría limitar bruscamente el espesor saturado del acuífero en dirección este, lo que se traduciría

igualmente en una brusca disminución de la transmisividad del acuífero, con el consiguiente efecto barrera.

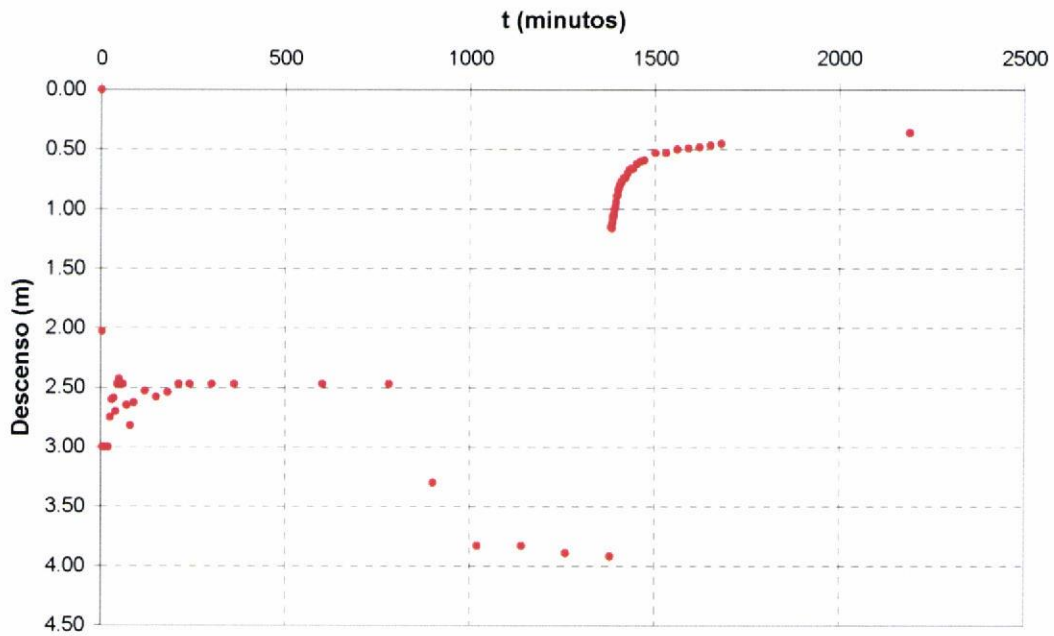


Figura 5.1.3.2. Resultados del bombeo realizado en el sondeo S-10

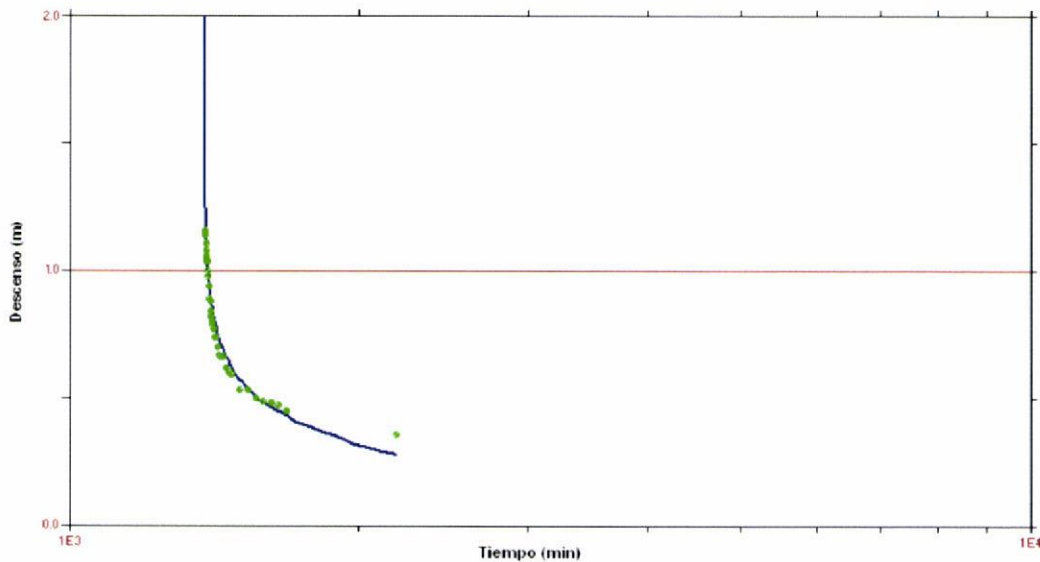


Figura 5.1.3.3. Ajuste del tramo de recuperación del bombeo realizado en S-10.

La transmisividad (T) que se obtiene es de $730 \text{ m}^2/\text{día}$ con una barrera impermeable situada a 60 m de distancia. Si se considera el valor del espesor saturado de 33 m , el valor de la permeabilidad K es de $22 \text{ m}^2/\text{día}$. El valor del coeficiente β es de $8,5 \times 10^{-2}$ y el de log (S_y/S) es de $2,24$.

Las curvas registradas en los piezómetros S-6 y S-14 también fueron analizadas con esta misma metodología. En la figura 5.1.2.4 se muestra el ajuste conseguido para el piezómetro S-6 situado a 18,5 m al oeste del pozo de bombeo.

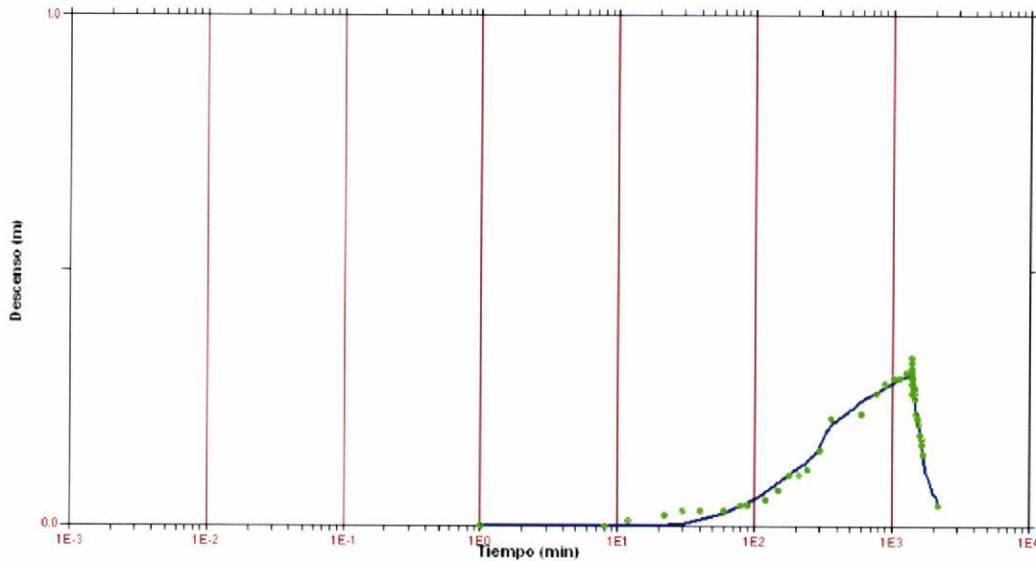


Figura 5.1.3.4. Ajuste realizado para la curva obtenida en el piezómetro S-6.

En este caso el ajuste se consigue con los mismos condicionantes que en el pozo de bombeo, utilizando la metodología de Neuman combinado con la presencia de una barrera. El ajuste se realiza para toda la curva con un resultado muy bueno. Los valores obtenidos son de una T de $775 \text{ m}^2/\text{día}$, K de 14 m/día ($54,1 \text{ m}$ de espesor saturado), el coeficiente de almacenamiento (S) de $4,7 \times 10^{-1}$, β $7,9 \times 10^{-2}$ y $\log (S_y/S)$ $2,23$, con una barrera impermeable situada a 450 m de distancia. Vemos que se obtienen unos valores muy similares a los del pozo de bombeo pero con la barrera situada a mayor distancia.

Finalmente, en la figura 5.1.3.5 se muestra el ajuste para la curva del piezómetro S-14. Este piezómetro se sitúa $33,5 \text{ m}$ al este del pozo de bombeo; el ajuste de la curva obtenida presenta mayores dificultades, debido básicamente a que se observa el inicio de la recuperación antes de la parada de la extracción de agua en el pozo de bombeo. Esto podría explicarse por los desajustes que provoca el nivel colgado detectado en el sondeo S-10, que afecta también de forma importante a este sondeo.

Para el ajuste se han obviado los puntos marcados en rojo en el gráfico de la figura 5.1.3.5. El ajuste es bueno para la curva de descenso, pero no tanto para la curva de recuperación. El ajuste de la curva se consigue, al igual que en los casos anteriores por el método de Neuman y con la presencia de una barrera.

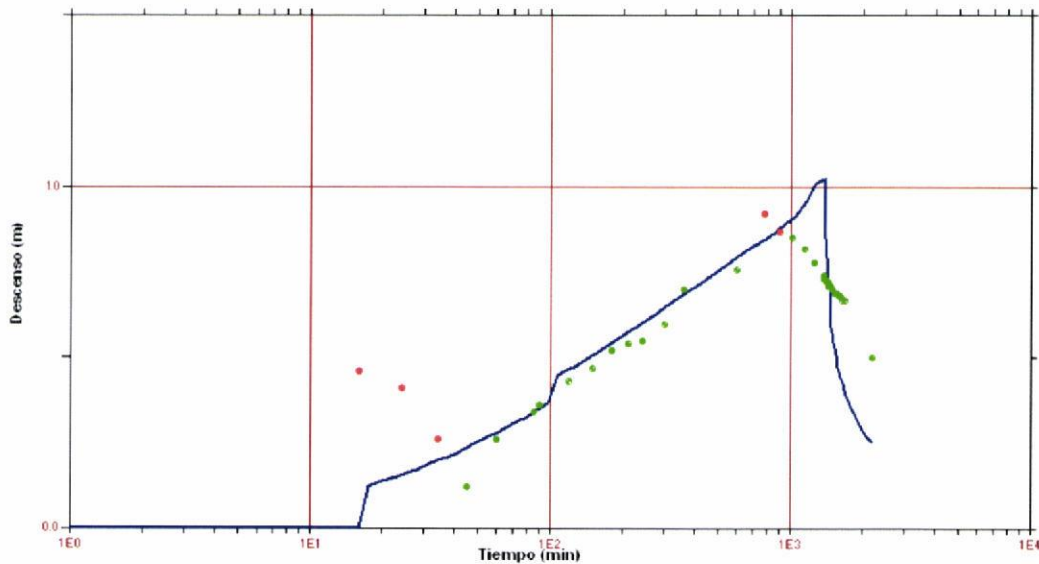


Figura 5.1.3.5. Ajuste realizado para la curva obtenida en el piezómetro S-14.

Los valores obtenidos son una T de $1100 \text{ m}^2/\text{día}$, K de $20 \text{ m}^2/\text{día}$, S de $1,5 \times 10^{-1}$, β 1×10^{-3} , $\text{Log}(S_y/S)$ $3,65$ y la barrera situada a una distancia de 10 m . Los valores son similares a los del pozo de bombeo con la diferencia de que la T se incrementa notablemente y la barrera parece situarse más cerca.

En resumen, la zona en la que se ha realizado el ensayo de bombeo presenta recarga diferida con la presencia de una barrera de baja permeabilidad, la K se sitúa entre 14 y $22 \text{ m}^2/\text{día}$, que parece incrementarse en sentido oeste con un S comprendido entre $1,5$ y $4,7 \times 10^{-1}$. La elevada K obtenida en esta zona apunta hacia la existencia de una zona fracturada, que podría haber condicionado la morfología del meandro del Mostazar. El escalón que generaría en el sustrato esta supuesta fractura podría explicar la presencia de la barrera hidrogeológica que se detecta en los tres piezómetros, fractura que, en función de los datos obtenidos en el bombeo se situaría hacia el oeste del sondeo S-14, pero en su cercanía.

5.1.4. Bombeo en S-11 (203640064)

El 22 de febrero de 2006 se procedió a la realización de un ensayo de bombeo en el sondeo construido por el IGME, S-11. El sondeo se sitúa cerca del cauce del río Guadalimar, en su margen derecha a 340 m de distancia (figura 5.1.4.1), en el entorno del pequeño embalse de Olvera; tiene una profundidad de 150 m y perfora, de techo a muro, 7 m de arenas y margas terciarias 90 m de carbonatos jurásicos y 53 m de

arcillas y yesos de materiales triásicos en facies Keuper. El bombeo se realizó a un caudal continuo de 6 l/s durante 820 minutos y posterior medida de recuperación durante 40 minutos. El nivel se situó al inicio del bombeo a 28,4 m de profundidad, a más de 20 m por encima de la cota del cauce del río Guadalimar en la zona.

El control de la evolución del nivel se llevó a cabo en el propio pozo de bombeo y en el sondeo S-7 situado a 36,3 m de distancia al este.

En la figura 5.1.4.2 se puede observar, en escala semilogarítmica, la evolución del caudal durante la prueba en el pozo de bombeo. La curva de descensos muestra dos tramos con distinta pendiente y un tramo final en el que el nivel desciende bruscamente hasta alcanzar la aspiración de la bomba. En estas condiciones el análisis de las curvas se ha realizado estudiando ambos tramos por separado y finalmente también la recuperación, pues no ha sido posible realizar un buen ajuste para toda la curva. En el primer tramo se obtiene el mejor ajuste por el método de Theis, con un valor de la T de 210 m²/día. En el segundo tramo, se consigue igualmente un buen ajuste por el mismo método, la T que se obtiene es de 20 m²/día. Esto se interpreta como consecuencia de la existencia de importantes cambio en la permeabilidad vertical, lo que implica la presencia de un primer tramo de carbonatos muy permeable y un tramo de mayor espesor pero mucho menos permeable a muro.



Figura 5.1.4.1. Contexto geológico de la zona en que se realizó el ensayo de bombeo en el sondeo S-11.

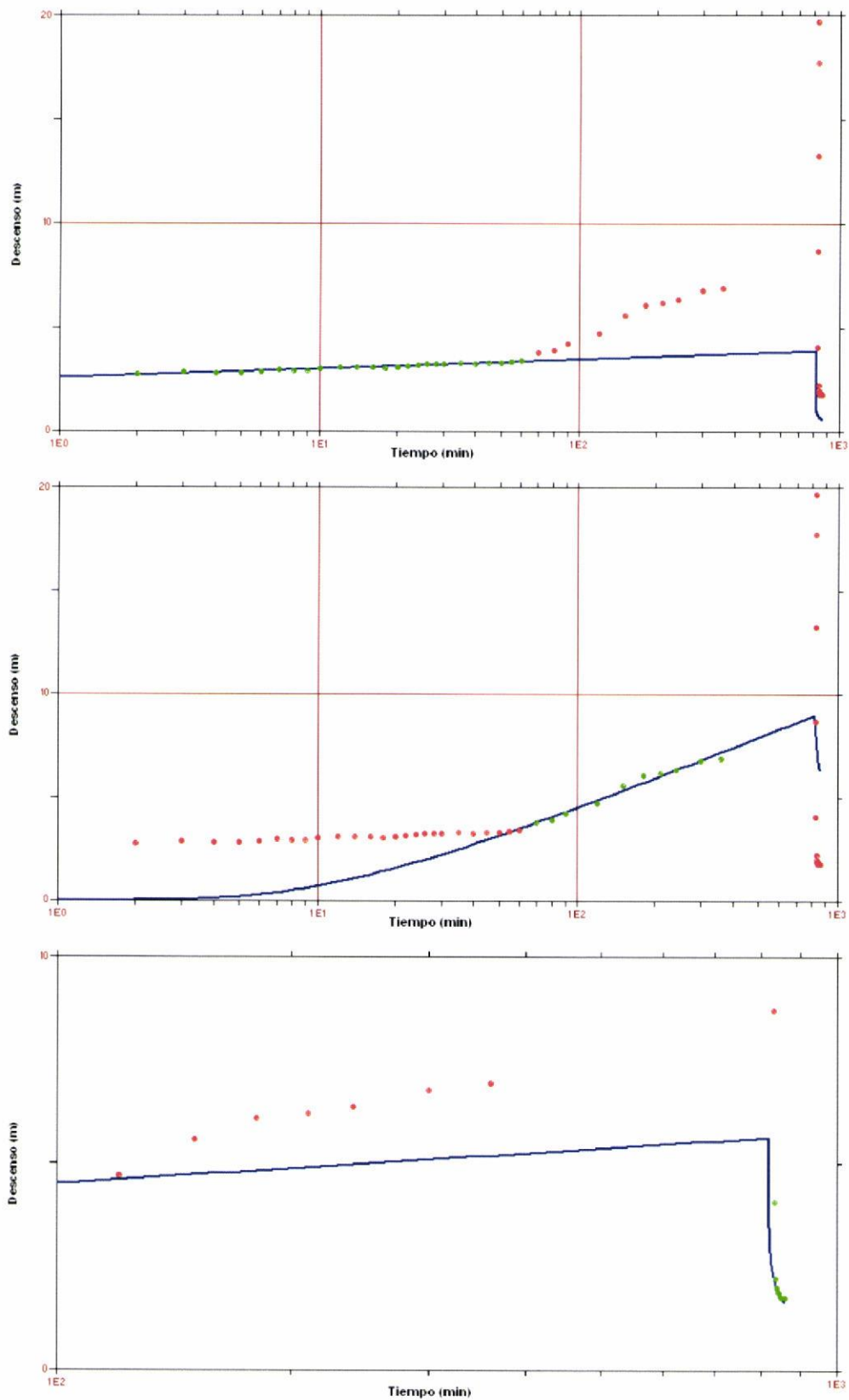


Figura 5.1.4.2. En el gráfico superior se muestra el ajuste realizado en el primer tramo de la curva de descenso, en el gráfico central del realizado en el segundo tramo, y en el gráfico inferior el ajuste de la curva de recuperación.

En la curva de recuperación se obtiene una T de $75 \text{ m}^2/\text{día}$ que puede considerarse como una media ponderada entre los dos tramos de diferente permeabilidad, este valor implica un valor de la K medio para el paquete de carbonatos de $1,13 \text{ m/día}$ (66 m de espesor saturado), que es un valor considerablemente inferior al obtenido en la zona del meandro del Mostazar.

En la figura 5.1.4.3 se muestra la curva obtenida a partir del seguimiento de la evolución del nivel en el piezómetro S-7(2036/4/61). En este piezómetro se registran movimientos en el nivel de escasos decímetros. La curva ha podido ser analizada en su integridad por el método de Theis, con el que se consigue un ajuste aceptable. Mediante esta metodología se obtiene una T de $2470 \text{ m}^2/\text{día}$ con una K de 38 m/día , valor muy elevado que reflejaría básicamente la permeabilidad de la zona superior de los carbonatos, mucho más transmisiva que el resto. Por otra parte, el S que se obtiene es de 1×10^{-2} , valor considerablemente inferior al obtenido en el bombeo en el S-10, pero característico de este tipo de materiales.

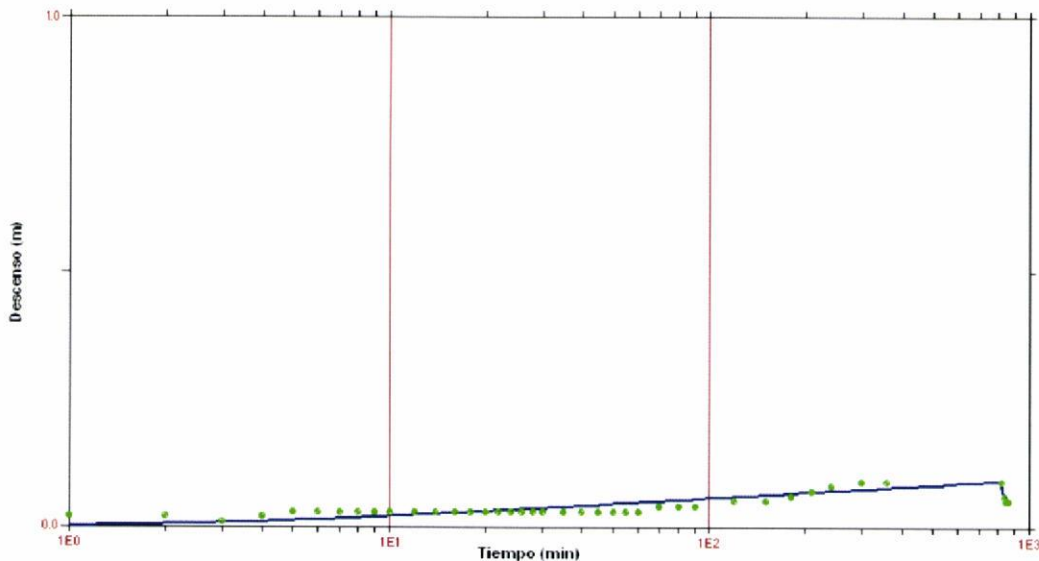


Figura 5.1.4.3. Ajuste de la curva de descenso obtenida en el piezómetro S-7.

5.1.5 Bombeo en el sondeo Peñuela III (203640068)

El 14 de julio de 2009 se realizó un ensayo de bombeo en el sondeo Peñuela III con el control de medidas de niveles en el Piezómetro cercano Peñuela II (2036/4/34), ya que en el propio pozo de bombeo, debido al tipo de instalación existente no es posible realizar medidas (figura 5.1.5.1).

El control de los niveles de agua se llevó a cabo con un sensor Diver de la marca Schlumberger que permite medidas cada 1-2 minutos y constantes a lo largo de varios días. El sensor se instaló en el sondeo Peñuela II actualmente abandonado y de 110 metros de profundidad, con nivel de agua próximo a los 103 metros, y situado a 27,8 metros del punto de bombeo. El pozo de bombeo Peñuela III tiene 220 metros de profundidad, sin que se disponga de su columna litológica.

Los datos disponibles son:

- Medidas del sensor Diver dentro del sondeo de observación Peñuela II con unas 20 horas de antelación al inicio del bombeo (desde el día 13 de julio a las 12h 40').
- Medidas del sondeo de observación durante las 52 horas de bombeo con caudal constante de 6,5 l/s en el sondeo Peñuela nº 3 (días 14 -desde las 10 horas-, 15 y 16 de julio- hasta las 14 horas).
- Más de 48 horas de medidas de recuperación con el pozo de bombeo parado (desde el día 16 a las 14 horas en adelante).

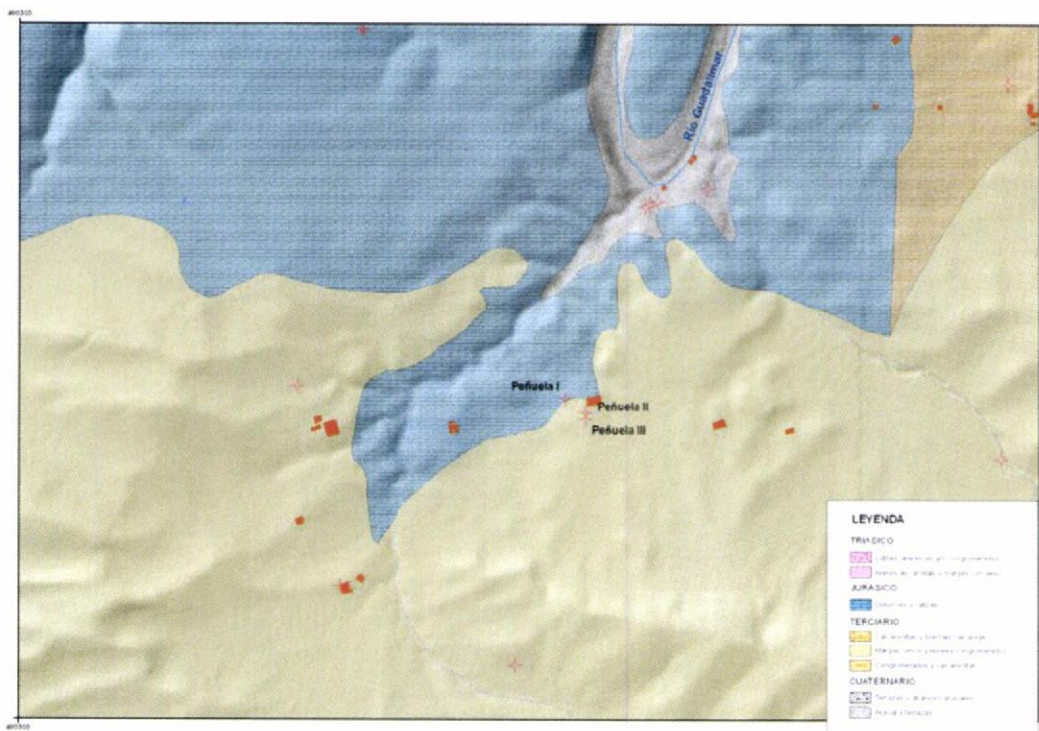


Figura 5.1.5.1. Contexto geológico de la zona en que se realizó el ensayo de bombeo en el sondeo Peñuela III.

El Diver recogió toda la información solicitada, que figura en el anexo, y como conclusiones cabe señalar (figura 5.1.5.1 y 5.1.5.2):

1. Las variaciones de nivel son mínimas (centimétricas) y con tendencia al ascenso, tanto durante el bombeo como las medidas tomadas tras la parada. La mayoría de las diferencias son propias del rango de precisión del sensor utilizado, por lo que varían pocos centímetros de unas medidas a otras.
2. Los efectos de la puesta en marcha del pozo de bombeo y la posterior parada del mismo no se reflejan en absoluto en el pozo de observación, que sigue su ritmo previo al bombeo.

Por otra parte, durante el ensayo se hizo un seguimiento sistemático de la conductividad del agua extraída en el sondeo Peñuela III con los siguientes resultados más significativos:

1. Conductividad a 1 hora de bombeo = 1.155 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
2. Conductividad a 6 horas de bombeo = 863 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
3. Conductividad a 23 horas de bombeo = 1.763 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
4. Conductividad a 52 horas de bombeo = 1.810 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

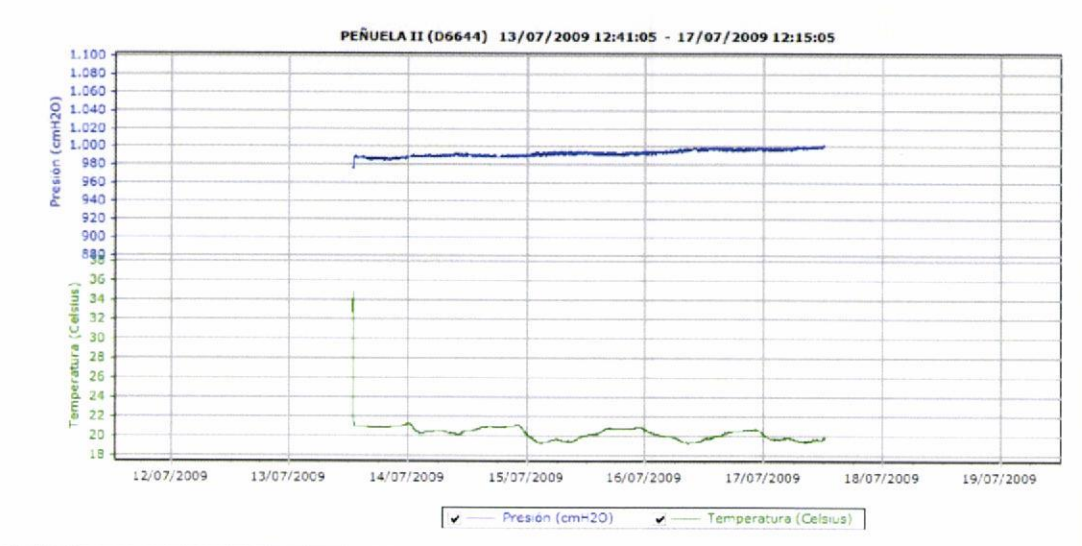


Figura 5.1.5.1. Gráfica proporcionada por las medidas de nivel piezométrico y temperatura obtenidas en el Diver durante la prueba de control de niveles (días 13-14-15-16-17 de julio de 2009).

De acuerdo con la testificación realizada en 2008 en el sondeo Peñuela II se sabe que tiene 110 metros de profundidad y atravesó materiales calcáreos jurásicos (véase

apartado 5.2). En el momento de su realización (1999) el nivel de agua se situaba aproximadamente a 60 m. Se bombeó durante los años 1999 a 2005 con caudales superiores a 15 l/s y por los descensos de niveles y la falta de sensores de limitación del bombeo para el caso de descenso de nivel, se quemaron las bombas de impulsión y se abandonó el sondeo (el nivel de agua en septiembre de 2006 se situaba en unos 103 m de profundidad).

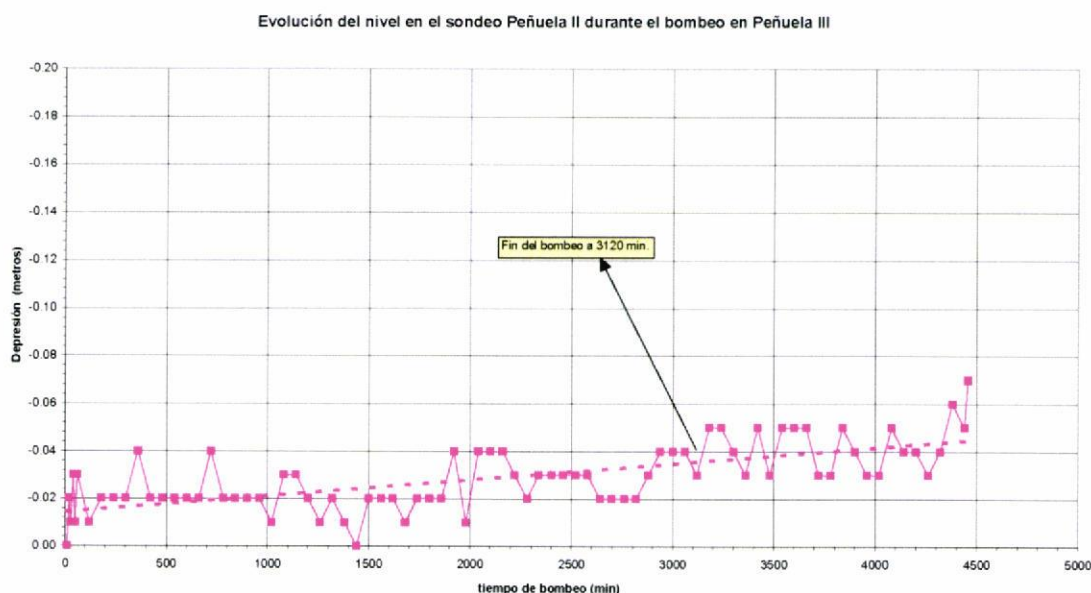


Figura 5.1.5.2. Detalle de evolución del nivel de agua durante el bombeo y recuperación.

Como consecuencia de lo anterior se decide hacer, a 27,8 metros del anterior el sondeo Peñuela III (empresa Suragua de Andújar). Este sondeo se realiza a rotoperCUSión con una profundidad final próxima a los 220 m. El equipado de este sondeo es como todos los de la zona, sin gravas protectoras ni filtros en tramos específicos y está ranurado, según los datos facilitados por la propiedad, desde los 60 metros hacia abajo y hasta los 216 m. Se desconoce la columna litológica que atravesó. Este sondeo se está explotando con caudales del orden de los 7 l/s desde su construcción y no se detectan problemas específicos ni de cantidad, ni de calidad del agua o de arrastre de finos.

Hay que acudir a analizar el modelo hidrogeológico local en el subsuelo de la finca La Peñuela, que en principio y según lo que ya se conoce por estudios hidrogeológicos anteriores, permite distinguir claramente dos acuíferos en la zona.

El acuífero carbonatado de edad jurásica, de naturaleza libre, de espesor del orden de los 80-120 metros, con influencias claras del régimen pluviométrico, del régimen de explotación y, posiblemente, del régimen del río Guadalimar. Este acuífero se encuentra compartimentado como consecuencia de fracturas que explicarían ciertas anomalías de nivel de agua y productividad variable de sondeos realizados en zonas relativamente próximas. Es capaz de proporcionar caudales entre 10 y 25 l/s con el nivel piezométrico alto y su hidroquímica indica que se trata de aguas duras bicarbonatadas cálcicas con conductividad del orden de 800-900 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Este acuífero es el captado por el sondeo Peñuela II (sondeo donde se ha instalado el Diver).

El otro acuífero lo forman los materiales detríticos de edad triásica, separados del acuífero superior por un paquete impermeable de arcillas, margas y yesos que suele tener unos 60-70 m de espesor pero variable según las zonas. Este acuífero presenta una hidroquímica diferente, con valores de la conductividad comprendidos entre 1.800-2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y abundante sulfato. Se trata de un acuífero en carga (confinado) y con unos parámetros hidrogeológicos (T y S) inferiores al acuífero jurásico. Los caudales que proporciona suelen situarse en el entorno de 6-8 l/s. Como su extensión regional parece ser más amplia, es posible que su comportamiento a largo plazo sea mejor. Este acuífero tiene el nivel piezométrico a menor cota que el acuífero jurásico (ver capítulo 3), en esta zona podría encontrarse unos 30-40 m más profundo. El sondeo Peñuela III, dada su profundidad y situación, debió alcanzar este acuífero.

Cuando, como consecuencia de un sondeo mecánico, se ponen en contacto ambos acuíferos se establece un nuevo equilibrio hidrodinámico donde cada acuífero aporta su nivel piezométrico y su hidroquímica concreta. Como presumiblemente ocurre, el nivel piezométrico del acuífero detrítico triásico debe de ser inferior y más constante que el nivel piezométrico del acuífero carbonatado que está mucho más influenciado por la época del año, el régimen de explotación de los sondeos próximos y otros factores. En definitiva debe producirse una entrada de agua a través del propio sondeo desde el acuífero jurásico al triásico produciendo un efecto negativo y difícil de cuantificar en el acuífero carbonatado.

Esto explicaría lo que ha ocurrido en el sondeo de observación (Peñuela II) al bombearse en el sondeo Peñuela II. Los niveles del pozo de observación no se afectan pues representa el nivel del acuífero jurásico. El bombeo en el sondeo Peñuela III afectaría al acuífero triásico, dejando colgado el nivel del acuífero jurásico, por lo que no se produce alteración de este nivel a lo largo del bombeo.

Esta explicación se ve confirmada por la hidroquímica del agua bombeada. Inicialmente el agua es una mezcla de los dos acuíferos con aporte individual difícil de establecer (los resultados de las muestras tomadas a 1 hora y 6 horas de bombeo así lo indican), posteriormente, pasa a ser similar a la del carbonatado a las 6 horas de bombeo y finalmente muestra el mayor aporte del acuífero detrítico triásico. La analítica del sulfato debe de confirmar la presente teoría con unos valores altos consecuencia de la presencia de niveles yesíferos en esta formación.

Las conclusiones hidrogeológicas que se desprenden de las notas anteriores hay que confirmarlas con un mayor número de datos, pero se consideran importantes para ayudar a comprender determinados aspectos de la piezometría y de la hidroquímica de los acuíferos presentes en la MASb 05.23 Úbeda.

5.1.3 CONCLUSIONES

El ensayo de bombeo realizado con motivo de este proyecto se llevó a cabo en el sondeo Peñuela III, aprovechando la instalación existente, que se sitúa a unos 28 metros del Peñuela II en el entorno del río Guadalimar y en su margen izquierda. Se conocía que el sondeo Peñuela II atraviesa el acuífero carbonatado libre y del sondeo Peñuela III sólo se conocía su profundidad, pues no permite la medida del nivel piezométrico por estar instalado sin tubería piezométrica y ser de escaso diámetro. En esas condiciones se planteó la medida del nivel de agua mediante un sensor automático en el sondeo Peñuela II (20 horas antes del bombeo, las 52 horas que duró el bombeo y otras 48 horas en la recuperación tras el cese del bombeo) y la medida periódica de la conductividad del agua en el pozo de bombeo.

El sondeo Peñuela II mantuvo todo el tiempo su ligera tendencia ascendente (centimétrica) sin afectarse en absoluto por el bombeo, a pesar de su proximidad al pozo de bombeo, si bien en el sondeo Peñuela III sí se observan cambios hidroquímicos que ponen de manifiesto la posible mezcla de aguas de dos niveles diferentes.

Los datos del ensayo de bombeo y su interpretación se incluyen en el anejo 5.1 si bien la conclusión más significativa es que el sondeo Peñuela III atraviesa, además del acuífero carbonatado jurásico en su parte superior (con niveles más altos) otros niveles detríticos productivos del Triás subyacente (tras 60-70 metros de materiales arcillo-yesíferos del Triás que desconectan ambos acuíferos), y cuyo nivel piezométrico es unas decenas de metros inferior al anterior. La mezcla de aguas de

ambos acuíferos se produciría a través del propio sondeo Peñuela III, lo que explica los cambios hidroquímicos observados, pero el bombeo en los niveles triásicos no afecta al sondeo próximo debido a que el nivel en el jurásico queda “colgado” respecto al anterior.

En la tabla 5.1.3.1 se resumen los resultados sobre los parámetros hidráulicos obtenidos en el acuífero. En la zona confinada el valor de la k es superior a 20 m/día, que es un valor considerado como alto, lo que implica que los carbonatos se encuentran karstificados o muy fracturados. El valor de S es el característico de acuíferos con fuerte confinamiento. En el entorno del meandro del arroyo del Mostazar, los valores de k también son altos, y parecen incrementarse hacia el este; el elevado valor de la k parece deberse a que los sondeos se encuentra en una zona de fractura que condiciona la morfología del meandro y que podría ser la causante de la barrera impermeable detectada en el bombeo. El valor de S que se obtiene en esta zona es también muy elevado, más propio de acuíferos detríticos, lo que apoya la existencia de una gran fracturación en el entorno. Por otra parte también se detecta la existencia de recarga diferida que puede explicarse por aportes desde el cauce del río Guadalimar. Finalmente, en el entorno del sondeo S-11 se observan valores dispares en la k lo que apunta hacia la existencia de una capa más superficial muy permeable y otra más profunda, de mayor espesor, de permeabilidad media-baja. El coeficiente de almacenamiento que se obtiene en esta zona es un valor común en este tipo de acuíferos.

Ensayo	Sondeo	T (m ² /día)	S	k (m/día)
La Mina y Camino del Cerro	Imagen I	1700 - 2200	$1,28 \times 10^{-5}$	21 - 28
S-10	S-10	730		22
	S-6	775	$4,7 \times 10^{-1}$	14
	S-14	1100	$1,5 \times 10^{-1}$	20
S-11	S-11	75		1,13
	S-7	2470	1×10^{-2}	38

Tabla 5.1.3.1. Resumen de los principales resultados obtenidos en los ensayos de bombeo.

5.2 TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA DE SONDEOS

Durante la ejecución del proyecto se han realizado hasta la fecha 10 nuevas testificaciones geofísicas en sondeos previamente construidos, con un total de 3811 metros investigados, que aportan información de indudable interés, y cuyos informes individuales se incluyen en el anejo 5.2.

El resumen de las testificaciones realizadas con sus datos identificativos, posición y resultados más destacados se incluyen en tabla 5.2.1 que muestra la profundidad y cota del techo de las calizas jurásicas del horizonte acuífero (y en un caso, el muro) y la profundidad y cota del nivel estático a la fecha de la testificación.

La posición de los sondeos testificados se muestra en un mapa junto a las isohipsas del techo del jurásico deducidas en el último ajuste de 2006, que permite valorar la bondad del ajuste en algunos sectores y la necesidad de mejorarlo sucesivamente conforme se disponga de nuevos datos que lo permitan en sectores con escasa información.

La mayor parte de las testificaciones se han realizado en sondeos situados en la zona profunda del acuífero confinado, donde más difícil es obtener información fiable, no solo ya de las cotas a las que se sitúan el techo y muro del acuífero jurásico, sino también de la homogeneidad o heterogeneidad de la columna geológica miocena, con existencia o no de niveles más arenosos y su ubicación. Esto permite conocer mejor la posible relación hidrogeológica entre los materiales miocenos y jurásicos y es una gran ayuda a la hora de interpretar los datos hidroquímicos. En este sentido, la realización de perfiles verticales de conductividad, pH, eH y temperatura ha aportado una valiosa información.

Tabla 5.2.1. Cuadro resumen de las testificaciones geofísicas de sondeos.

N° IGME	N° flash	Nombre	X (UTM)	Y (UTM)	Z (msnm) 1/10000	Prof (m)	Testificación (m)	Prof Techo (m)	Prof Muro (m)	NE (m)	Fecha	Cota Techo (msnm)	Cota N.P. (msnm)
213605024	FL-50	Pichilín II Viejo	483.808	4213.126	559	406	250	sd	sd	247	08/05/2008	sd	sd
	FL-39	La Peñuela II	482.493	4219.829	441	150	110	0	sd	103	07/05/2008	sd	338
213620040	FL-183	C.R. Las Pozas	492.313	4216.520	701	418	403	265	392	319.6	25/06/2009	436	381.36
	FL-69	Pozo Besanas (La Molina)	496.161	4214.487	540	287	285	197	sd	224.5	02/04/2008	343	315.47
	FL-35	La Imagen I	478.192	4207.293	621	680	555	532	sd	329.2	03/04/2008	89	291.78
	FL-121	Zorreras III	492.061	4215.486	682	384	409	307	sd	370	09/05/2008	375	312
	FL-111	El Ahorcado II	485.914	4211.456	514	486	454	423	sd	203	08/05/2008	91	311
		Pozo El Monjo	492.550	4215.228	625		313	300	sd	306	25/06/2009	325	319
203680017	FL-108	C.R. Los Carrizales-Choza de Sanguni	478.400	4212.183	765		567	sd	sd	451.1	20/05/2009	<198	313.87
203680016	FL-51	C.R. Venta Las Chulapas	481.681	4214.025	678	450	465	395	sd	375	20/08/2009	283	303

ISOHIPSAS DEL TECHO DEL ACUÍFERO JURÁSICO (ajuste 2006) Y SONDEOS TESTIFICADOS CON SU COTA DEL TECHO (en azul)

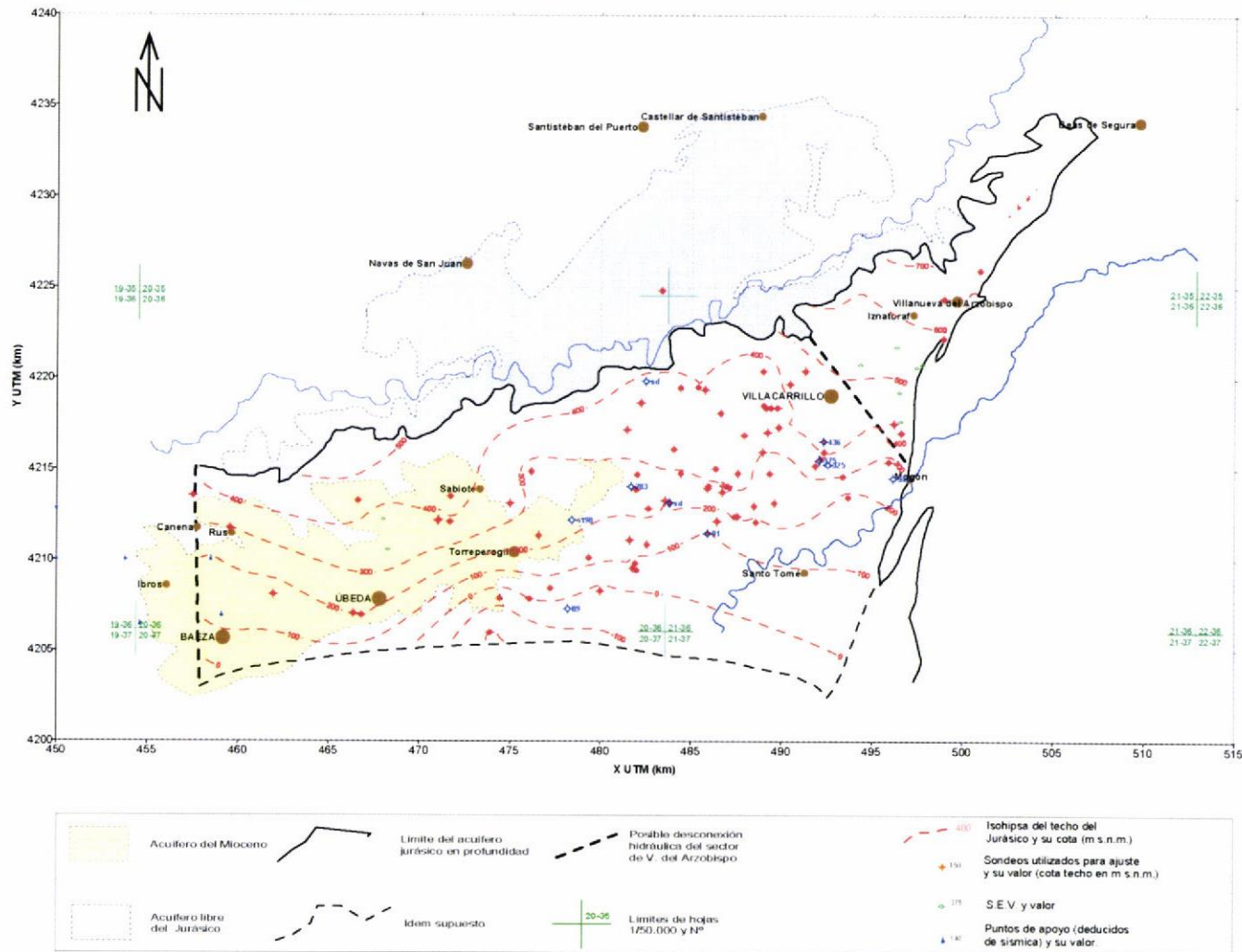


Figura 5.2.1

6 EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO EN EL ACUÍFERO MIOCENO

Con objeto de establecer con mayor precisión un balance hídrico en el acuífero Mioceno se han tratado de actualizar, en primer lugar, las series climáticas disponibles de anteriores estudios, procedentes del proyecto del P.A.I.H. (Plan de Actualización de Infraestructura Hidrogeológica) para las MASb 05.01, 02, 07.07 y Carbonatado de la Loma de Úbeda (2001), que abarcan el periodo de 35 años hidrológicos comprendidos entre 1960-61 y 1994-95.

Desgraciadamente de las 5 estaciones meteorológicas existentes en su día en la zona (5208, Castellar-La Parrilla; 5209, Castellar de Santisteban; 5212, Villacarrillo; 5214, Navas de San Juan y 5215, Sabiote-Los Chortales) tan sólo la estación de Castellar de Santisteban se mantiene en funcionamiento para medida de precipitaciones y en ninguna de ellas se miden las temperaturas. En dicha estación se ha dispuesto de los datos de lluvias hasta octubre de 2008, con lo que ha sido posible completar su serie para otros 13 años hidrológicos, desde el 1995-96 hasta el 2007-2008. Tan sólo faltaban datos mensuales de los meses de enero, mayo, noviembre y diciembre de 2007, que se han completado con la media aritmética de 4 estaciones que la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (CAPJA) tiene operativas en la zona (Villacarrillo, Torreperogil, Sabiote y Úbeda, con registros muy similares entre sí para esos 4 meses).

Por lo que respecta a las temperaturas se han tratado los datos de la estación nº 4 de la CAPJA (Sabiote), con un registro que abarca 9 años hidrológicos desde el 2000-2001 al 2008-2009, y que se consideran suficientemente representativos a efectos del cálculo de la lluvia útil. En efecto, las diferencias entre el balance de Thornthwaite utilizando la estación de Villacarrillo de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) o la de Sabiote de la CAPJA son inferiores al 1% en la estación de Castellar para todas las hipótesis de reserva útil del suelo. Los escasos datos diarios de temperatura media que faltaban en la estación de Sabiote se han completado mediante media aritmética de los días correlativos en la propia estación, si se trataba de días aislados, o por correlación con la estación de Úbeda (nº 8 de la CAPJA.) si eran varios días consecutivos (muy escasos y con un máximo de 4 días).

Finalmente, se han calculado la ETR y la lluvia útil mediante el balance mensual de agua en el suelo de Thornthwaite para las hipótesis de reserva útil 10, 25, 50, 75 y

100 mm, para el periodo de 13 años hidrológicos 1995-96 a 2007-08, con lo que se dispone ya de 48 años hidrológicos en la estación de Castellar de Santisteban. Los datos utilizados y los resultados obtenidos se adjuntan en el Anejo 6 de datos climáticos a nivel mensual.

A pesar del esfuerzo realizado, las series obtenidas en Castellar se consideran útiles para el acuífero carbonatado y otros posibles, con las oportunas correcciones en su caso, pero para el acuífero Mioceno se recomienda seguir utilizando la estación de Sabiote (Los Chortales), como se trata de explicar con la tabla 6.1 que realiza un contraste entre los distintos periodos y estaciones.

CONTRASTE DE DATOS CLIMÁTICOS DE ESTACIONES EN UNIDAD DE ÜBEDA										OBSERVACIONES	
ESTACION	NOMBRE	X UTM	Y UTM	ALTITUD	Pm (mm)	LLUVIA ÚTIL (mm)					
	NOMBRE			m s. n. m		ru= 10	ru = 25	ru= 50	ru= 75	ru= 100	
5209	Castellar de Santsteban	4886450	42342485	760	644	377	368	355	342	329	1960-1994 (35 años)
5209	Castellar de Santisteban	4886450	42342485	760	637	360	349	333	317	302	1960-2007 (48 años)
5215	Sabiote (Los Chortales)	4782353	42123109	690	525	275	266	253	240	227	1960-1994 (35 años)
Contraste periodo 60-07 respecto 60-95 en 5209 (Castellar) (%)					98.9	95.5	94.8	93.8	92.7	91.8	
Contraste periodo 60-95 de Castellar respecto a Sabiote (%)					122.7	137.1	138.3	140.3	142.5	144.9	

Conclusion: Para el acuífero Mioceno utilizar la estación de Castellar puede introducir importantes errores, mucho mayores que los debidos a los propios de la longitud de las series climáticas, dada su posición y las importantes diferencias de lluvia y lluvia útil.

Tabla 6.1

En efecto, mientras que el periodo de 48 años es solo un 1% más seco que el de 35 en términos de precipitaciones y de un 5 a un 8 % más seco en lluvia útil para la estación de Castellar, los valores de ésta superan en un 23 % a los de Sabiote en precipitaciones y en un 37 a un 45 % para la lluvia útil, lo que unido a la posición de la estación de Sabiote sobre el acuífero Mioceno hace recomendable seguir utilizando ésta a efectos de balance hídrico.

Otro dato de partida que se ha actualizado es la superficie del acuífero, que en base a la nueva cartografía digitalizada (capítulo 2), arroja un total de 148'05 km² frente a los 168 considerados en estudios anteriores procedentes de una planimetría aproximada.

Para la evaluación de salidas del acuífero se ha prestado interés, en primer lugar, a sus descargas naturales. Para ello se ha seguido una doble vía. En abril de 2009 se visitaron y midieron por aforo volumétrico 10 de los 33 manantiales o galerías asociadas a este acuífero que figuran en la base de datos del IGME, más otros 2 no inventariados, repartidos espacialmente y seleccionados entre los más significativos por su caudal. Se trata de manantiales con caudales comprendidos entre algunos l/m y 1'25 l/s, de escasa variabilidad estacional según los datos que se han podido obtener, salvo en sequías prolongadas en que a veces llegan al agotamiento. El caudal conjunto aforado fue de unos 5 l/s, que extrapolado a los 33 del inventario y supuesta incluso su variación al doble de caudal en algunas épocas indica que los datos

considerados hasta la fecha en estudios anteriores son más bien por exceso (1 hm³/año de salidas por manantiales y galerías).

Para tratar de confirmar estas descargas por otra vía, se procedió a visitar y tratar de aforar 23 secciones de cauces que bordean los afloramientos del Mioceno, tratando de cubrir espacialmente toda su cuenca vertiente. Se consiguió así entre el 2 y 10 de Junio de 2009 la estimación o aforo volumétrico de 19 cauces que cubren aproximadamente un 90 % de dicha cuenca vertiente (algunos se visitaron varias veces arriba o abajo para encontrar el punto adecuado). Dada la escasez de caudales en general y las condiciones de acceso y observación la casuística es muy variada, con arroyos que ganan ligeramente caudal hacia aguas abajo, otros que desaparecen por la utilización del agua entre tramos o su simple evaporación o infiltración en aluviales someros, etc. No obstante, los resultados obtenidos se consideran suficientes para hacerse una idea de la magnitud de tales descargas. Así, los 19 cauces representativos totalizan un caudal de unos 13-15 l/s, pero de ellos 7 presentan claramente por su olor y condiciones aguas residuales de núcleos situados aguas arriba, en proporción imposible de cuantificar, totalizando el caudal de estos siete entre 9 y 10 l/s (del 66 al 69 % del total). Esta información confirma el orden de magnitud de las descargas antes citado e indica la dudosa o nula viabilidad de esta metodología para evaluar las descargas de Mioceno, por la abundante presencia de aguas residuales y las dificultades de acceso y aforo más preciso de los cauces. Los resultados individuales obtenidos se muestran en el anejo de aforos y la situación de los puntos en el mapa adjunto.

Por último, el componente del balance que más dificultades presenta sin una labor de campo muy detallada es el de las extracciones por bombeo en pozos y sondeos de menos profundidad ligados al acuífero Mioceno. Para hacerse una idea, en el inventario IGME figuran al menos unos 90 sondeos de este tipo y otros 46 pozos abiertos o pozos con galerías o zanjas, la mayor parte de gran antigüedad y que no han sido objeto de revisión hace muchos años, además de no figurar generalmente los volúmenes de extracción. En trabajos anteriores del IGME y la Dirección General de Obras Hidráulicas las extracciones por bombeo se cifran aproximadamente en 2 hm³/año por métodos indirectos o con apoyo en el inventario de regadíos de la Junta de Andalucía, pero con escaso o nulo apoyo en campo. El dato más reciente es el que figura en el estudio de la CHG (2007) *“DIAGNÓSTICO SOBRE EL ACUÍFERO 05.23 DE LA LOMA DE ÚBEDA Y REDACCIÓN DE RECOMENDACIONES DE*

ACTUACIÓN TM ÚBEDA (JAEN).”, del que podemos extraer la siguiente información más significativa para el acuífero detrítico del Mioceno:

Extracciones del Detrítico Mioceno según estado tramitación (m³/año)

Sección	Otorgados	Total tramitados
A	801871	2669138
B	412009	912210
C + Catálogo	834526	837580
Suma	2048406	4418928

Como se observa, el total de expedientes otorgados coincide con la explotación que se venía manejando en estudios anteriores y el total de expedientes tramitados es algo más del doble y podría considerarse como máximo previsible, e incluye además de los otorgados los expedientes en trámite, denegados y archivados si bien estos dos últimos suponen una proporción muy baja (algo menos de 440000 m³/año). En definitiva y a efectos de balance se pueden considerar unas cifras de explotación de 2 hm³/año, como mínimo, y un máximo de unos 4'4 hm³/año, si bien es muy posible que las extracciones reales se aproximen más bien a esta última cifra dada la dinámica de la zona en la última década y a falta de un estudio específico más detallado.

Con estas premisas el balance hídrico del acuífero Mioceno podría quedar expresado en los siguientes términos:

Entradas:

- Infiltración de agua de lluvia: si se aplica un 20% de infiltración de la lluvia útil en la estación de Sabiote para una r.u. de 100 mm (227 mm/año para el periodo 1960-94 y con criterios similares a los de estudios anteriores al no disponerse de nuevos datos al respecto) y una superficie de afloramientos de 148 km² 6'7 hm³/año

Salidas:

- Manantiales..... 1'0 hm³/año
 - Extracciones por bombeo..... 2'1 - 4'4 hm³/año
 TOTAL..... 3'1 - 5'4 hm³/año

La diferencia entre entradas y salidas (1'3 a 3'6 hm³/año) podría corresponder a drenajes o zonas de rezume dispersas no conocidas y a infiltración sobre niveles acuíferos más profundos (en parte a través de los sondeos que los comunican, como ya se ha comprobado en algunos casos), aunque tampoco se puede descartar que la

infiltración por lluvia esté algo sobrevalorada, siendo difícil más precisión con los datos disponibles para este tipo de materiales.

7 CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA E ISOTÓPICA ESPACIAL DE LOS ACUÍFEROS DE LA LOMA DE ÚBEDA

7.1 INTRODUCCIÓN

La información recopilada para la elaboración de este epígrafe comprende los años 1991 a 2007 y se trata de distintos análisis de aguas procedentes en su mayor parte de los trabajos realizados por el IGME y el CEDEX.

El número total de análisis recopilados ha sido de 420 en diversos puntos de agua. En muchos puntos se dispone de varios análisis en distintas fechas, por lo que para un estudio general preliminar se ha trabajado con las medias aritméticas de cada punto. El número total de puntos muestreados ha sido de 206, entre los que se incluyen sondeos (150), manantiales (34), pozos de poca profundidad (4), 1 galería y 15 puntos en arroyos y ríos (figura 7.1). Por otra parte, se dispone de información de las características del agua de lluvia en cuanto a su contenido en cloruro e isótopos estables a partir de los trabajos realizados por la Universidad de Linares y la Universidad de Granada en una zona cercana.

En el acuífero jurásico profundo de la Loma de Úbeda confluyen aguas de distintas procedencias, tanto superficiales como subterráneas, que afectan al acuífero mioceno, jurásico y triásico y al río Guadalimar. Se pretende, por tanto, caracterizar desde el punto de vista hidroquímico e isotópico las aguas de cada uno de los componentes que influyen en la recarga y estudiar sus procesos de mezcla.

7.2 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA GENERAL

7.2.1 Características generales

Las aguas analizadas se relacionan fundamentalmente con tres acuíferos de edad y litología diferentes que de muro a techo son: areniscas triásicas, carbonatos jurásicos y calcarenitas y areniscas miocenas. El valor medio de la conductividad se sitúa en unos 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aunque con grandes variaciones entre el máximo (8730 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y el mínimo (437 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La temperatura del agua es un factor importante, pues es reflejo de la profundidad a la que ésta circula. En la zona confinada puede alcanzar valores

superiores a 50 °C. En esta zona, además existe un ambiente reductor, que implica la práctica desaparición del nitrato en el agua, que se reduce a N y NH₄, y también se observa la reducción del sulfato, que pasa a gas sulfhídrico. La presencia de gases como el metano, sulfhídrico, o nitrógeno es normal en el agua captada por los sondeos profundos situados más al sur.

Otro factor modificador del quimismo a tener en cuenta son los cambios de bases, relacionados con la existencia de medios arcillosos que retienen el calcio y el magnesio del agua y aportan sodio.

En la figura 7.2 se han representado los datos de los componentes mayoritarios en un diagrama de Piper en el que se diferencian los puntos en función de su ubicación, profundidad o columna litológica, en relación con el acuífero o acuíferos asociados. Para las representaciones se han utilizado todos los puntos con excepción de cinco descartados por problemas en el balance iónico. Se han incluido puntos pertenecientes a acuíferos colindantes como la Subunidad de Beas de Segura en la margen izquierda del río Guadalquivir, al sureste de los acuíferos estudiados, y de las aguas analizadas en los ríos Guadalquivir y Guadalimar.

La figura muestra agrupaciones de puntos que se relacionan con el acuífero al que pertenecen o con su situación geográfica. Se observa además una clara estructuración de las aguas, desde facies bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica hacia clorurada sódica. Una parte importante de las aguas con mayor relación con el acuífero triásico se diferencia claramente por su elevado contenido en sulfato, en cambio, en otro grupo se observan facies bicarbonatada-sulfatada similar a la de puntos relacionados con el acuífero jurásico. Las aguas del acuífero mioceno muestran facies similar a la atribuida al acuífero jurásico, aunque con una tendencia hacia un mayor contenido en cloruro. En el acuífero de Beas de Segura se observa una importante dispersión de facies sin que parezca existir relación con los acuíferos de la Loma de Úbeda. Finalmente, hay una clara diferenciación en las aguas de los ríos Guadalquivir y Guadalimar. Los puntos pertenecientes al río Guadalquivir son de facies bicarbonatada cálcica, por el contrario, en el Guadalimar la facies es bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica, similar a la que se observa en el acuífero jurásico.

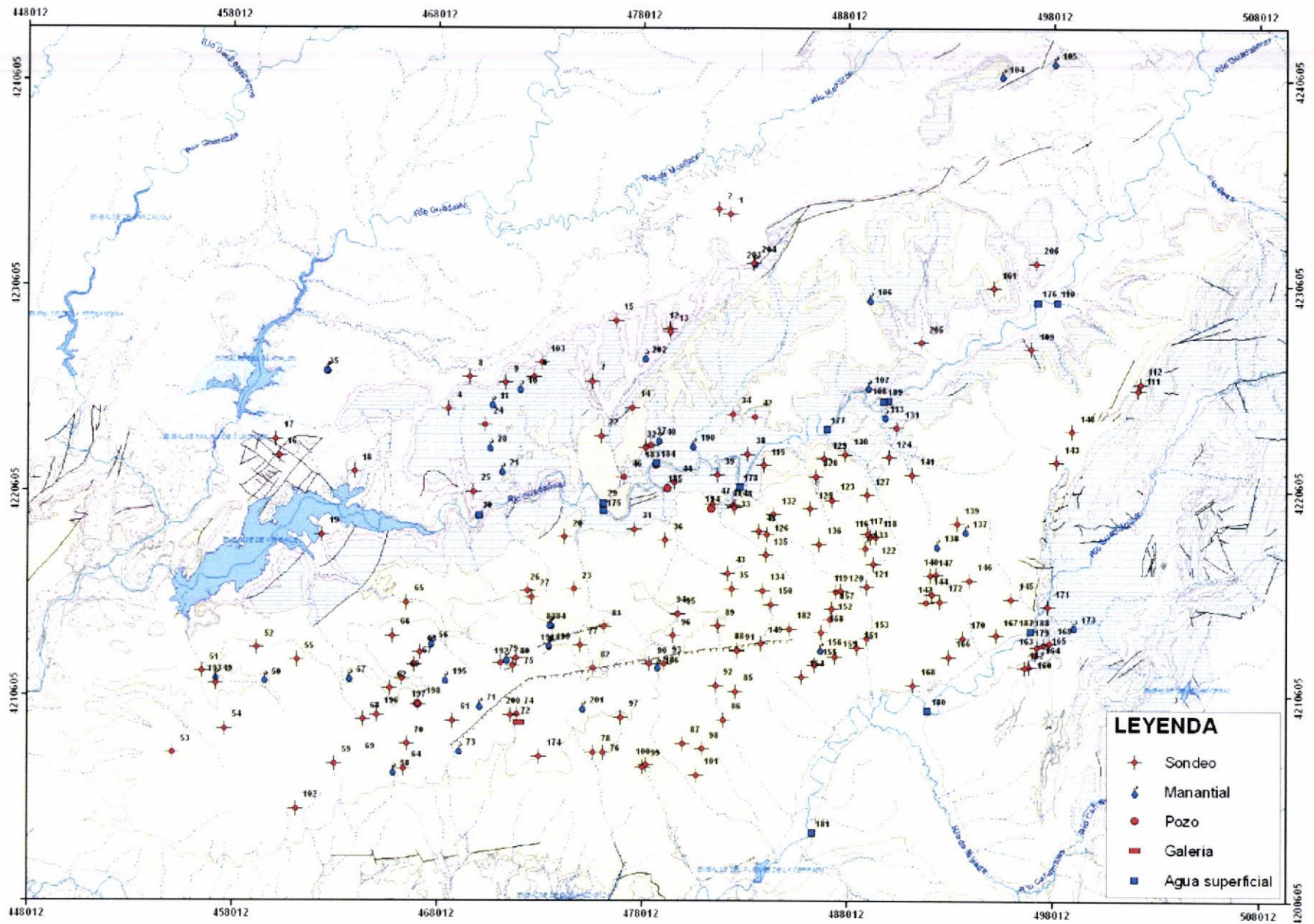


Figura 7.1. Situación de los puntos de agua muestreados en los acuíferos de la Loma de Úbeda.

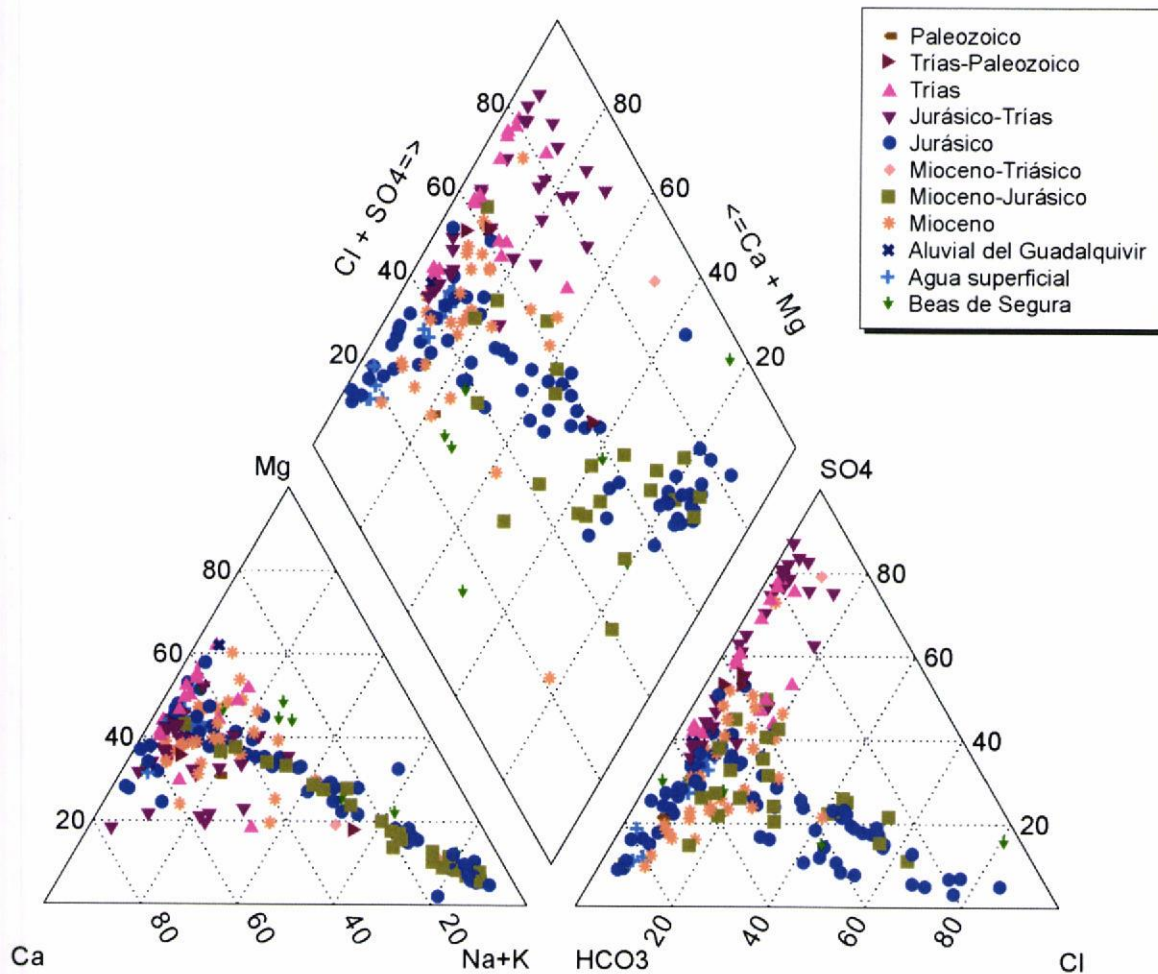


Figura 7.2. Diagrama de Piper general de los puntos muestreados

7.2.2 El Acuífero Triásico

En la figura 7.3 se muestra un diagrama de Piper en el que se representan únicamente las aguas relacionadas con el acuífero triásico. Se han diferenciado las que pueden tener mezclas de aguas que han circulado por otras formaciones geológicas, como los carbonatos jurásicos, el Mioceno o el Paleozoico.

La mayor parte de las aguas relacionadas exclusivamente con los potentes paquetes de areniscas triásicas presentan la particularidad de tener un bajo contenido en cloruro, aunque con variaciones importantes en la relación bicarbonato/sulfato. Las muestras con mayor contenido en cloruro corresponden a los puntos situados más hacia el oeste, donde las areniscas presentan escasa potencia (puntos 3, 5, 18 y 19 de la figura 7.1).

Las muestras 2 y 17 corresponden a sondeos que perforan materiales paleozoicos bajo sedimentos triásicos y aparecen en los diagramas con un símbolo diferente. El diagrama de

la figura 7.4 muestra el bajo contenido en cloruro de la mayor parte de las muestras de las aguas relacionadas con sedimentos triásicos, con las excepciones de los sondeos que perforan sedimentos miocenos, que suelen aportar cloruro al medio, y de los puntos situados más al oeste referidos anteriormente.

En cuanto al contenido en sulfato, aparecen valores bajos en la margen derecha del Guadalimar, en la zona central del acuífero, donde los niveles de facies Keuper suprayacentes han sido erosionados en gran parte, como ocurre en la zona donde se sitúan los puntos 12, 13 o 7, o bien en puntos en los que hay un elevado porcentaje de mezcla de aguas con el acuífero jurásico como en los puntos 42, 37, 34, 32, 39, 38, 24, 25 y otros. Se detecta una zona con elevado contenido en sulfato en puntos cercanos a la entrada del río Guadalimar al acuífero en su margen izquierda.

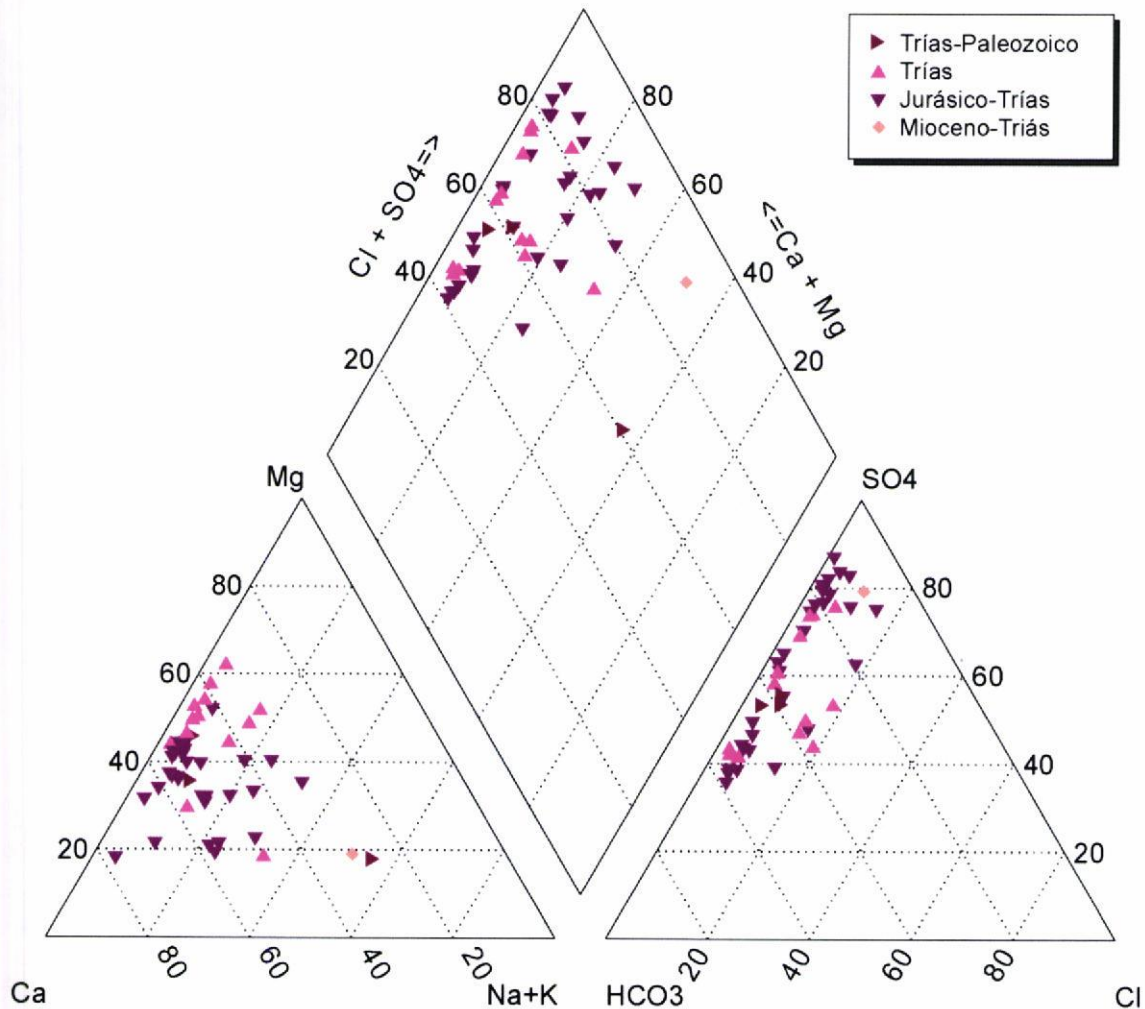


Figura 7.3. Diagramas de Piper de puntos de agua relacionados con sedimentos triásicos.

En el diagrama de la figura 7.5 se observa una clara diferenciación entre las aguas que circulan exclusivamente por materiales triásicos y aquellas que tienen también relación con otros materiales. En las primeras, el contenido en magnesio es más elevado que en las segundas, con bajos contenidos en magnesio en los puntos 7, 12, 13 y 15, que parecen indicar aguas más juveniles en una zona preferencial de recarga del acuífero triásico. Los valores más elevados en calcio aparecen en la zona confinada del acuífero bajo las margas miocenas, cerca de Villacarrillo en los puntos 130, 139 y 140 y otros.

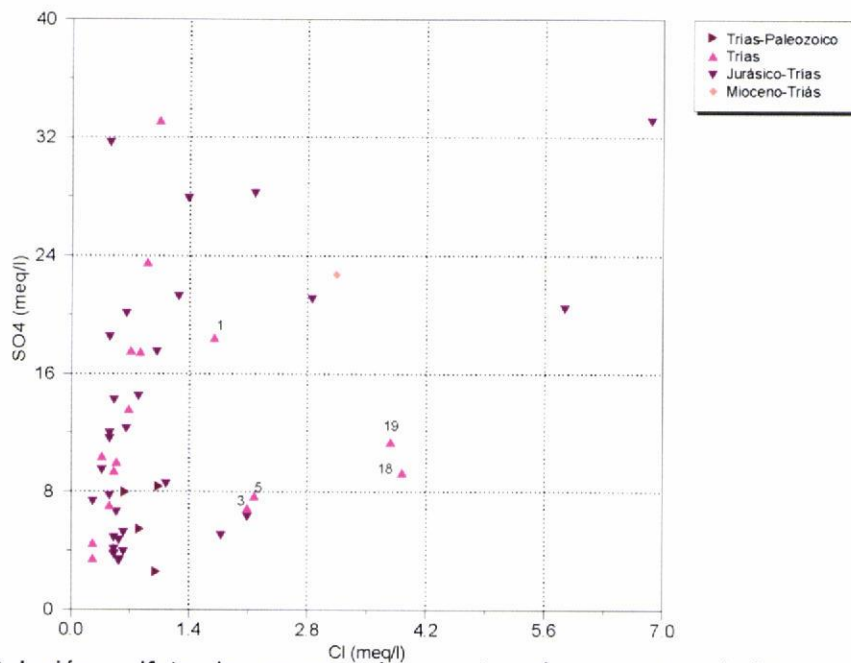


Figura 7.4. Relación sulfato-cloruro para los puntos de agua asociados a sedimentos triásicos.

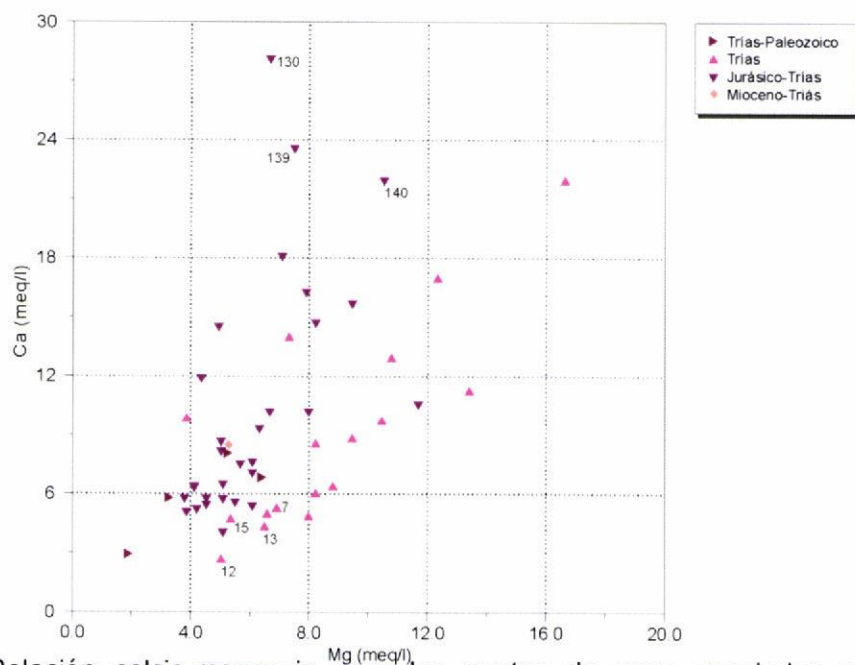


Figura 7.5. Relación calcio-magnesio para los puntos de agua asociados sedimentos triásicos.

7.2.3 El Acuífero Jurásico

En la figura 7.6 se muestra un diagrama de Piper en el que se han representado exclusivamente aguas que tienen alguna relación con el acuífero jurásico.

En el campo de los cationes se observa una clara evolución desde agua cálcico-magnésica hacia sódica. Puede apreciarse un grupo de aguas, influenciadas por el Trías, con mayor contenido en calcio; corresponden al grupo de sondeos situados a la altura de Villacarrillo y cerca de la entrada del río Guadalimar en el acuífero, en su margen izquierda (puntos 127, 139, 130, 140, 123, 141, 129 y 128). Las aguas correspondientes a sondeos que perforan los acuíferos triásico y jurásico en la margen derecha del Guadalimar y en su entorno más próximo se caracterizan por su bajo contenido en sodio, al igual que las aguas de puntos en situación similar, pero relacionadas exclusivamente con el acuífero jurásico. En las aguas menos mineralizadas se observan dos grupos que diferencian aguas en función de su la relación calcio/magnesio; las de mayor contenido en calcio corresponden a manantiales ubicados en el entorno de la Ermita de la Estrella (21, 28, 11, 10) en el bloque levantado de una importante falla que pone en contacto los acuíferos jurásico y triásico.

Los cationes evolucionan de forma lineal hacia aguas sódicas en función del grado de confinamiento que adquiere el acuífero jurásico, en sentido aproximadamente N-S; el punto culminante es el sondeo 99, (Imagen II), de 700 m de profundidad, uno de los situados más al sur.

En cuanto a los aniones, la mayor parte de las aguas que tienen alguna relación con el acuífero triásico quedan claramente diferenciadas por su contenido en sulfato. Las que presentan mayor contenido corresponden a sondeos profundos ubicados en la margen izquierda del Guadalimar. En los puntos atribuidos exclusivamente al acuífero jurásico, entre las aguas con bajo contenido en cloruro, se observa una evolución desde facies bicarbonatada a bicarbonatada-sulfatada e incluso sulfatada-bicarbonatada. Las primeras corresponden a manantiales que drenan aguas con escaso recorrido por el acuífero, en las últimas podría existir alguna influencia directa de materiales triásicos. En cambio la mayoría de los sondeos que solo cortan el acuífero jurásico, y algunos que cortan también el triásico, que se sitúan más al norte, presentan aguas bicarbonatada-sulfatada que luego evoluciona hacia clorurada en función del grado de confinamiento del acuífero. La presencia de aguas de facies bicarbonatada-sulfatada en la zona confinada es un indicio de la existencia de mezclas de aguas de los acuíferos jurásico y triásico.

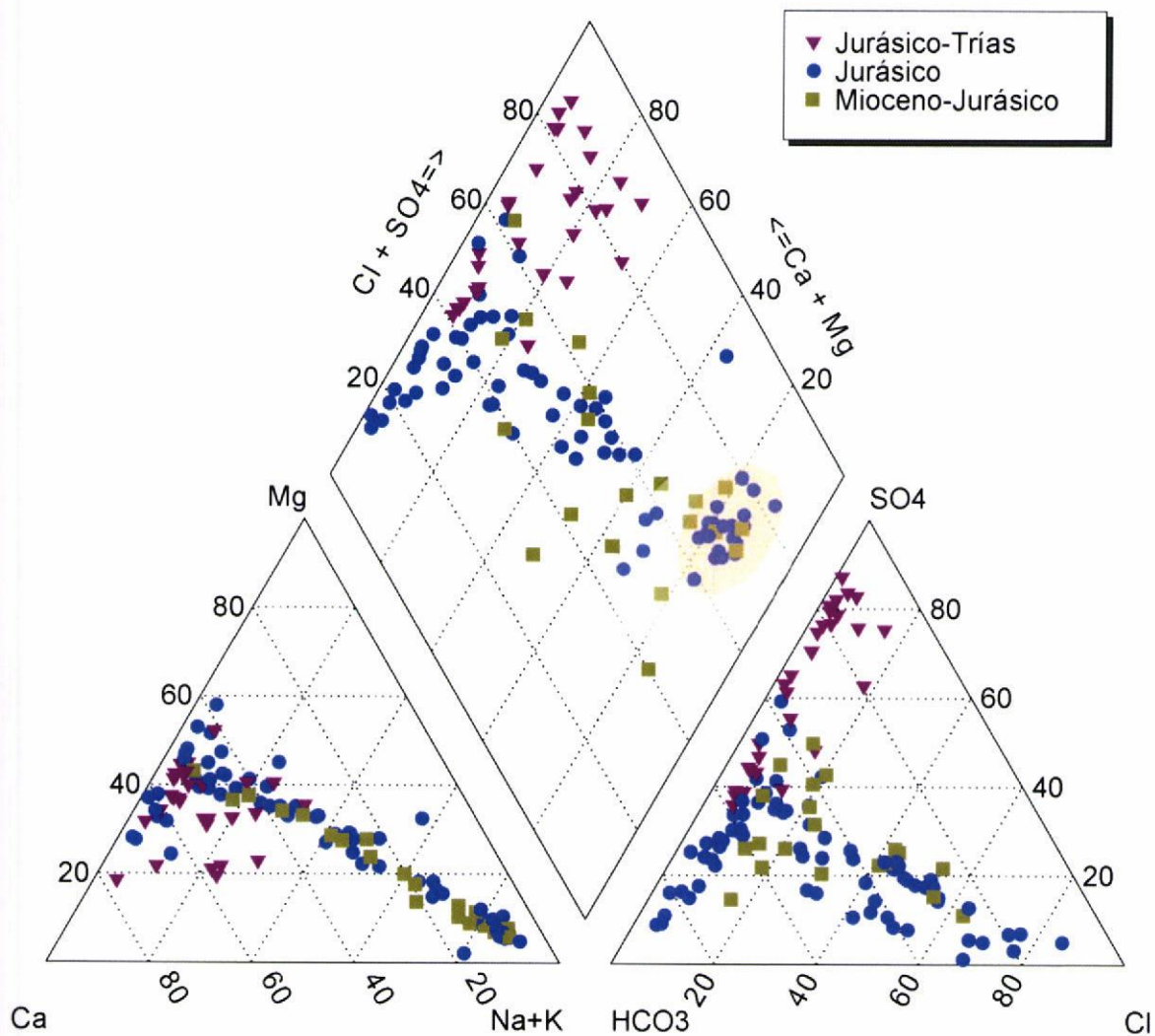


Figura 7.6. Diagramas de Piper de puntos de agua relacionados con el acuífero Jurásico.

La envoltente amarilla de la figura 7.6 muestra el conjunto de puntos que se sitúan al sur de una importante zona de fractura detectada por sísmica. La existencia de la fractura supone un salto en la línea de evolución de las aguas que podría tener relación con aportes de aguas más salinas procedentes del acuífero triásico infrayacente a favor de la zona fallada. A pesar de existir un ambiente fuertemente reductor donde los sulfatos se reducen a gas sulfhídrico, se observa en el gráfico un sector en el que las aguas incrementan su contenido en sulfatos (envoltente naranja) que incluye a los puntos situados en la zona central y sur del acuífero confinado jurásico (92, 90, 154, 88, 101, 76, 78, 98, 154, 86, 99 y otros).

En la figura 7.7 se muestra un plano de la distribución espacial de la temperatura del agua en el acuífero jurásico. La temperatura es función de la profundidad a la que el agua circula por el acuífero, el plano, por tanto, da pistas sobre la morfología del acuífero, indica las zonas más profundas y puede mostrar anomalías por mezclas de aguas procedentes de acuíferos superiores (aguas más frías).

Se observa que las aguas más frías aparecen en la zona libre en relación con los manantiales asociados a los carbonatos, donde la temperatura se encuentra en torno a 20°C. En algunos de los sondeos situados en esta zona aparecen aguas con 28°C, se trata de puntos que cortan el acuífero triásico confinado bajo el jurásico. En la zona confinada, se observan las temperaturas máximas hacia el sur en el sector central, que llegan a superar los 50°C. En este sector es donde el acuífero jurásico aparece a mayor profundidad.

7.2.4 El acuífero Mioceno

El diagrama de Piper de la figura 7.8 muestra las aguas relacionadas con el acuífero mioceno. La mayor parte de los puntos presentan aguas de facies bicarbonatada-sulfatada o sulfatada-bicarbonatada cálcico-magnésica o magnésico-cálcica.

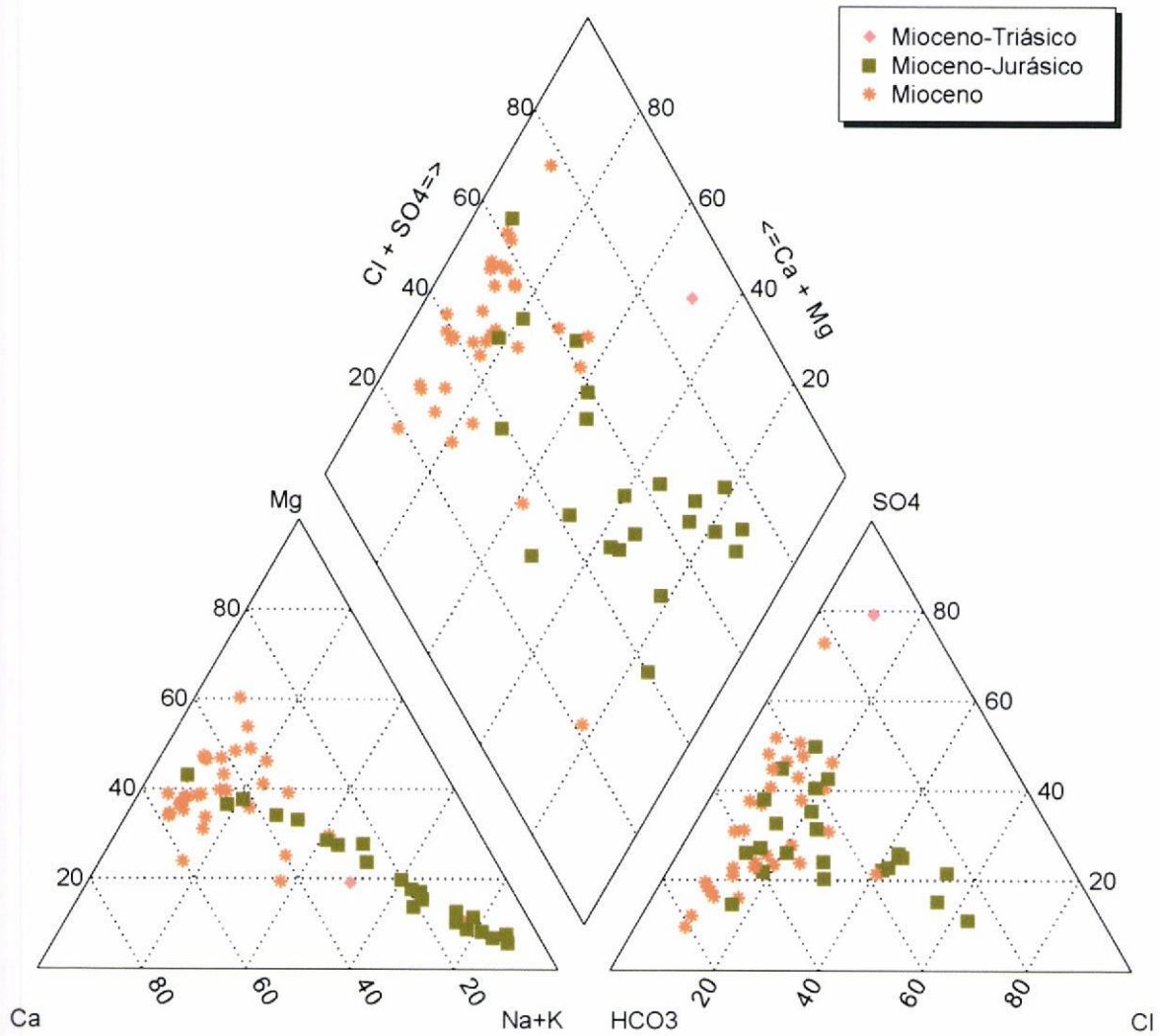


Figura 7.8. Diagramas de Piper de puntos de agua relacionados con el acuífero Mioceno.

En cuanto a los aniones, existen ejemplos de agua bicarbonatada que suele estar asociada a manantiales que drenan paquetes de calcarenitas que se encuentran a techo, más compactos y cementados, como ocurre con Fuente Corredera (nº 191), o agua con un anormalmente elevado contenido en sodio, que no tiene reflejo en su contenido aniónico,

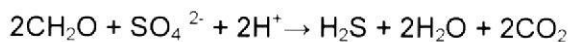
con valores bajos de contenidos en cloruro. Esta última parece reflejar procesos de cambios de bases en las margas con sustitución del calcio y el magnesio por el sodio.

Los contenidos elevados en cloruro y en sodio suelen aparecer asociados a sondeos que también perforan el jurásico, con aguas de circulación profunda. Si embargo, también se detectan manantiales con un contenido en cloruro anormalmente elevado, que no se refleja en los valores de sodio, como Fuente Alameda (73), lo que parece indicar que los materiales miocenos aportan cloruros al medio, que puede ser un recuerdo de su origen marino.

7.2.5 Los Fenómenos Modificadores

7.2.5.1 REDUCCIÓN DEL SULFATO

Se produce en ambiente reductor y en presencia de materia orgánica. El proceso es inducido por bacterias que actúan como catalizadores químicos.



En el proceso de reducción hay una estrecha relación con el equilibrio del carbonato.

El efecto de la reacción sobre el pH sería el siguiente:

pH < 6,2, el pH final se incrementaría.

6,2 < pH < 7, el pH final quedaría aproximadamente constante

pH > 7, el pH final se reduciría

La existencia de abundante materia orgánica en las margas que cubren el acuífero jurásico es la causa de este tipo de procesos. La presencia de ácido sulfhídrico en el agua de los sondeos profundos, fácilmente detectable por su característico olor a "huevos podridos" es común en la zona confinada del acuífero de la Loma de Úbeda.

El plano de la figura 7.9 muestra la distribución espacial del contenido en sulfato en los puntos de agua que tienen relación con los acuíferos jurásico y triásico. En la margen derecha del río Guadalimar se observan elevados contenidos en sulfato en el borde norte del acuífero, y otras zonas con bajo contenido en los sectores influenciados por los manantiales relacionados exclusivamente con el acuífero jurásico. En la margen izquierda del Guadalimar, se aprecia una extensa zona con elevados contenidos en sulfato que corresponde con el denominado sector de Villacarrillo, donde actualmente el acuífero jurásico apenas presenta espesor saturado debido a encontrarse sobreelevado con respecto al resto y la mayoría de los sondeos penetran en el acuífero triásico. Se observa también un

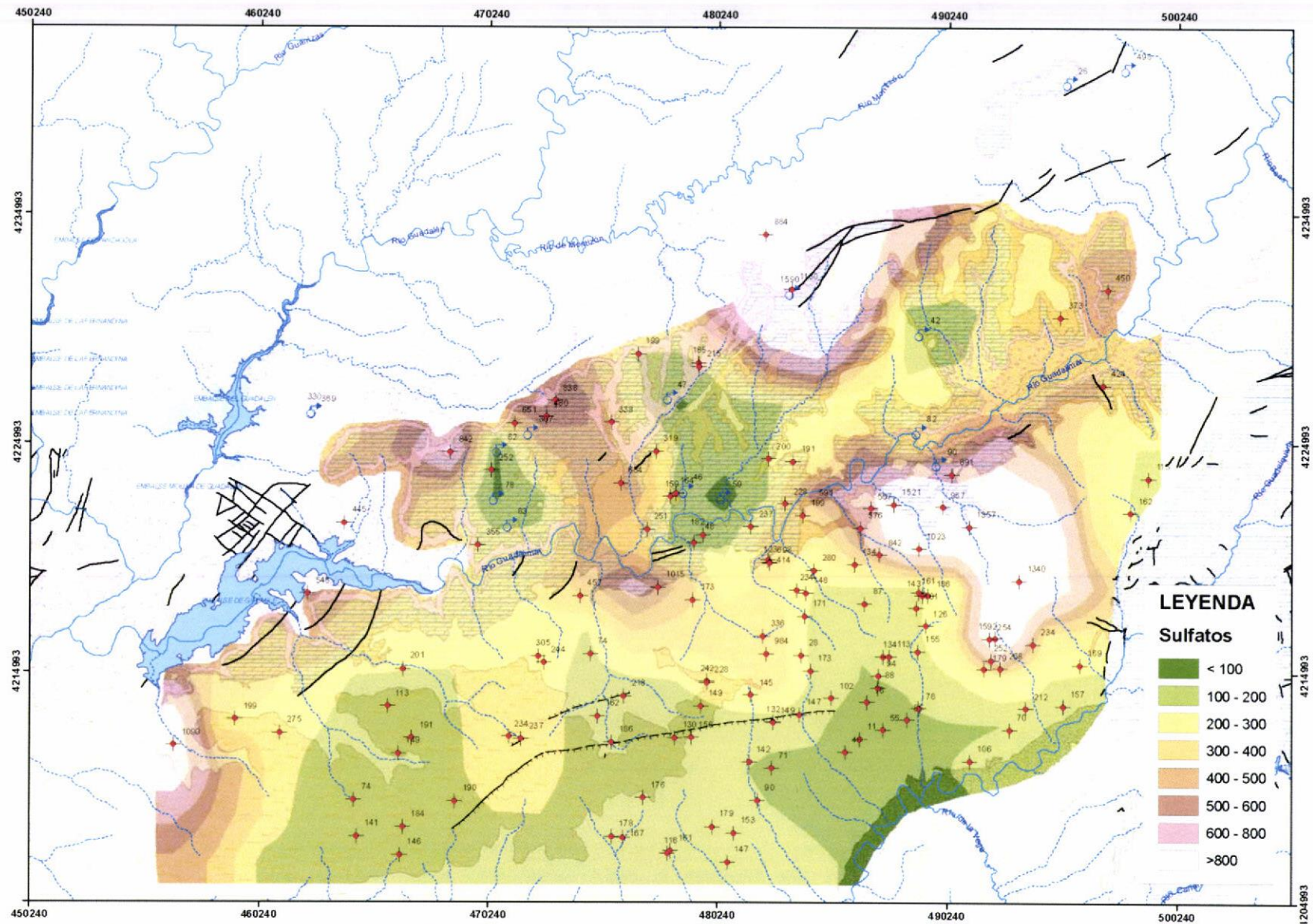


Figura 7.9. Distribución espacial del contenido en sulfato en las aguas relacionadas con los acuíferos jurásico y triásico.

valor elevado en sulfato en sondeos cercanos al río Guadalupe, que también penetran en el acuífero triásico.

En la zona confinada se aprecia una tendencia a la disminución del contenido en sulfato hacia el sur, los contenidos más bajos se localizan al sureste, con una concentración de puntos donde los valores de sulfato se encuentran por debajo de los 100 mg/l. Este área curiosamente no corresponde con la más profunda del acuífero, que se sitúa más al oeste, en la zona central, donde las aguas presentan las temperaturas más elevadas (ver figura 7.7). Aquí no se observa esta disminución, pues hay incluso un incremento en algunos de los sondeos que se encuentran al sur de la línea de falla deducida. Esto parece indicar la presencia de un aporte extra de sulfato en esta zona, que podría ser originado por la entrada de aguas procedentes del acuífero triásico a consecuencia de la presencia de la mencionada falla, aunque también podría también tener relación con agua procedente del acuífero mioceno.

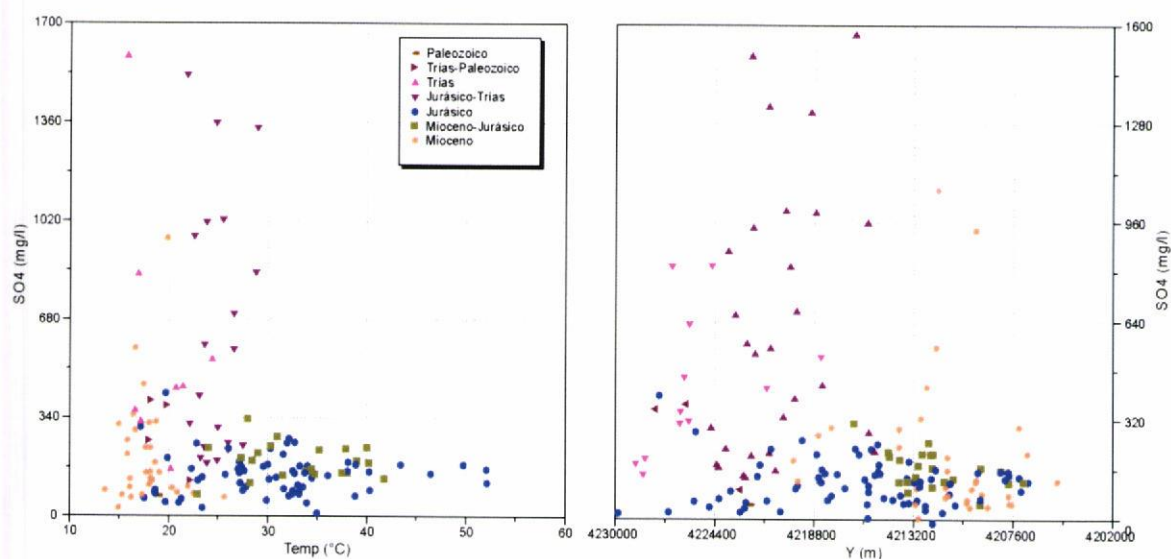


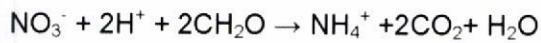
Figura 7.10. Relación del contenido en sulfato con la temperatura del agua (izquierda) y con la coordenada UTM Y (derecha).

La figura 7.10 muestra la evolución del contenido en sulfato en relación con el valor de la temperatura, que, para las aguas del acuífero jurásico, está directamente relacionada con la profundidad del paquete de carbonatos jurásico. Se observa como existe una reducción en el valor del sulfato para aguas con temperatura comprendida entre 30 y 40 grados y un posterior incremento en el agua de la zona más profunda situada al sur del acuífero en su zona central. En el gráfico que lo relaciona con la coordenada UTM Y se observa un

descenso paulatino en el contenido en sulfato hacia el sur y posteriormente un ligero ascenso en los puntos más meridionales.

7.2.5.2 REDUCCIÓN DEL NITRATO

La reducción del nitrato se produce según la siguiente reacción:



En la reacción hay consumo de hidrogeniones y generación de CO_2 , lo que afecta también al equilibrio del carbonato.

En la figura 7.11 se muestra la relación del contenido en el agua en nitrato y amonio en función de la temperatura, que está directamente relacionada con la profundidad a la que circula el agua subterránea. En ambos gráficos se observa cómo a partir de aguas con más de 30 °C hay una brusca desaparición del nitrato acompañada de una brusca aparición de amonio. Solo hay excepciones en puntos con una mezcla importante de aguas procedentes del acuífero mioceno.

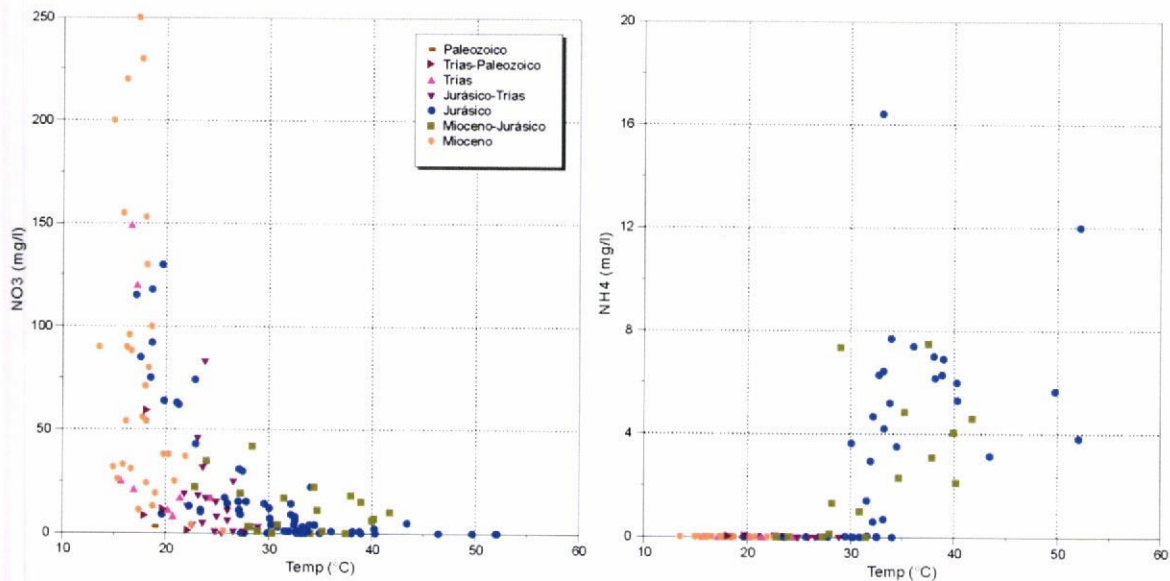


Figura 7.11. Relación del contenido en nitrato (izquierda) y amonio (derecha) con la temperatura del agua.

7.2.5.3 DISOLUCIÓN-PRECIPITACIÓN DEL CARBONATO

Los fenómenos de reducción descritos anteriormente tienen efectos en el equilibrio del carbonato, de tal forma que la tendencia es hacia un medio más ácido que favorece la karstificación; por lo tanto, es de esperar un incremento en la permeabilidad del medio hacia el sur. Para estudiar esta cuestión se ha realizado un diagrama de dispersión que relaciona el contenido en bicarbonato del agua en el acuífero jurásico con la temperatura, que está directamente relacionada con la profundidad de circulación del agua (figura 7.12 izquierda). El gráfico muestra una tendencia al incremento en el contenido en bicarbonato conforme aumenta la temperatura del agua hasta valores en torno a 30-35 °C en que la tendencia cambia hacia un descenso y posteriormente un equilibrio. En la figura de la derecha, que muestra el contenido en bicarbonato en relación con la coordenada Y, se observa algo similar, con un cambio en la tendencia en torno a la coordenada 421500, que es la zona en la que se sitúan las fracturas que ponen en contacto los acuíferos jurásico y triásico. El cambio de tendencia hacia aguas con menor contenido en bicarbonatos puede explicarse por la existencia de mezclas de aguas que ocasionan un aporte extra de calcio, lo que tiene como consecuencia la precipitación de parte del bicarbonato por efecto "Ion común"; esta entrada de aguas puede provenir del acuífero triásico.

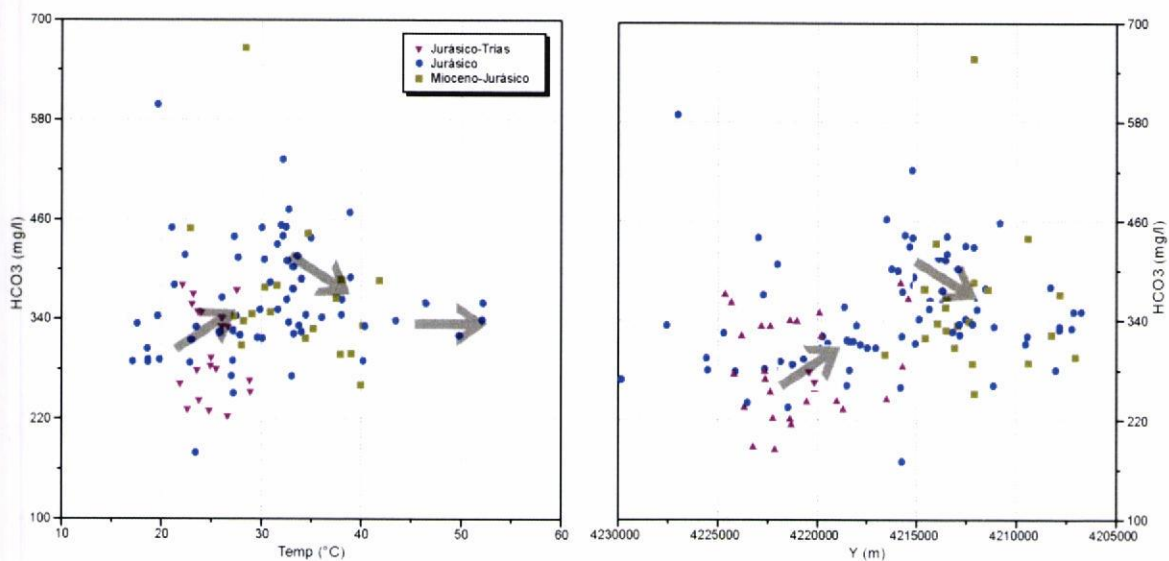


Figura 7.12. Relación del contenido en bicarbonatos con la temperatura del agua (izquierda) y con la coordenada UTM Y (derecha).

7.2.5.4 CAMBIOS DE BASE

Determinados tipos de arcillas retienen los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} del agua en su estructura cristalina y a cambio ceden Na^+ . Esto es especialmente frecuente en las arcillas sedimentadas en medios marinos, que están en equilibrio con los cationes del agua del mar.

El estudio de la relación entre dichos cationes en las aguas que circulan por el acuífero jurásico (figura 7.13) indica que en el acuífero confinado se produce este tipo de intercambio iónico, que puede explicarse por la influencia de las margas marinas miocenas. El gráfico inferior de la figura 7.13 muestra que el descenso en el contenido de calcio y magnesio en el acuífero está relacionado con el incremento en sodio, si bien se observa una estabilización en el calcio y magnesio a partir de un valor situado en torno a 70 mg/l, que se corresponde con los sondeos que se sitúan en la zona que limita la fractura ya mencionada.

En el gráfico que correlaciona la temperatura del agua con la suma de calcio y magnesio se observa esta estabilización a partir de aguas con temperaturas en torno a 35°C que igualmente corresponde con el límite de las aguas situadas al sur de la fractura. El sodio en cambio continúa su incremento, aunque el límite de aguas a 35°C se manifiesta por una mayor dispersión en la nube de valores.

Nuevamente se observa una ruptura en la evolución hidroquímica del agua subterránea a partir del límite de la zona de falla, que puede interpretarse por la entrada de agua de diferente naturaleza. Este agua puede provenir del acuífero triásico, que presenta valores más elevados en el contenido en calcio y magnesio que en el agua del acuífero jurásico, como bien se observa en los gráficos superior derecha e inferior de la figura 7.13, lo que podría explicar la brusca estabilización que sufren estos iones.

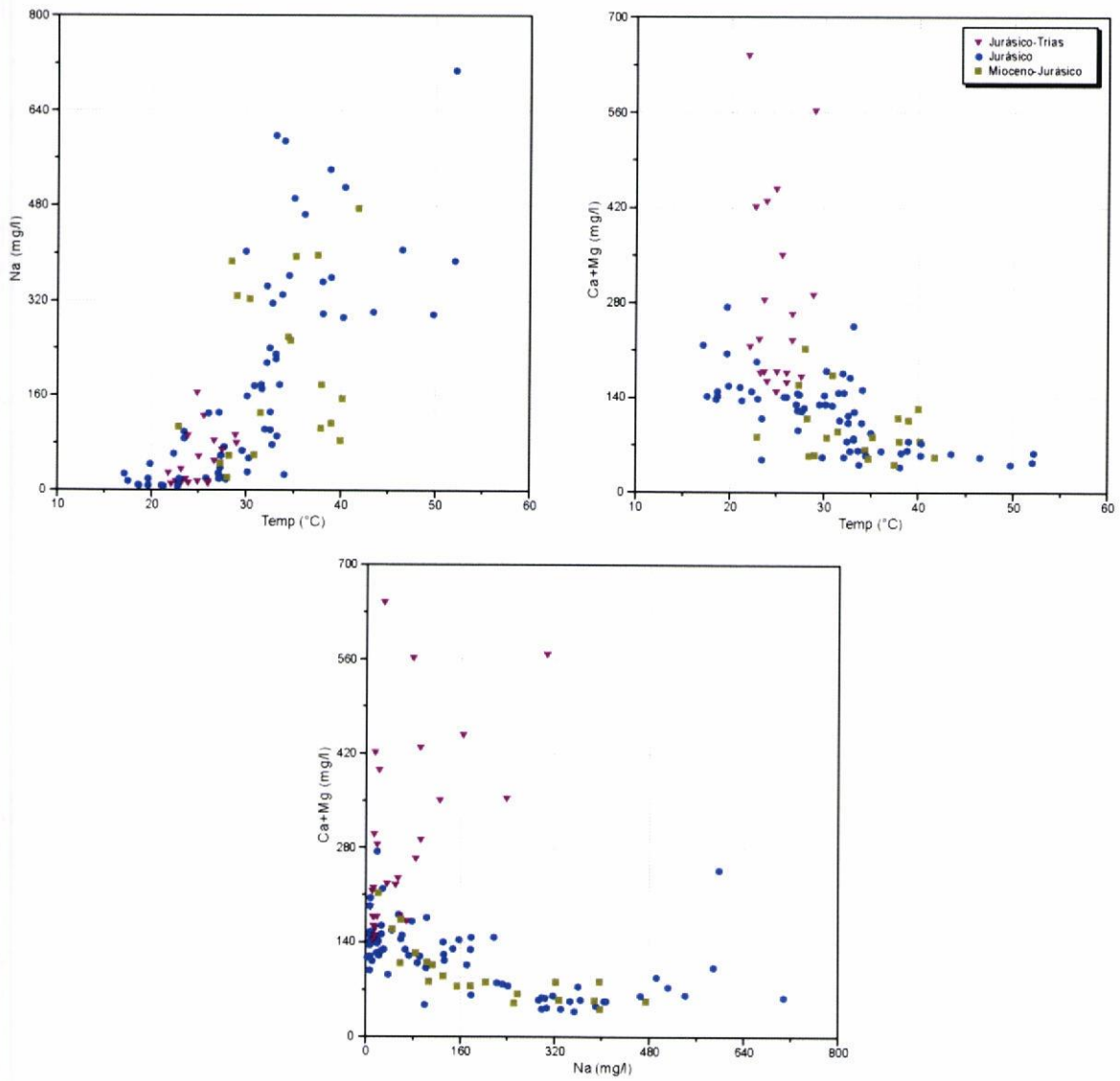


Figura 7.13. Relación del contenido en sodio (izquierda) y la suma del calcio y el magnesio (derecha) con la temperatura del agua. Abajo, relación entre ambos iones.

7.3 CARACTERIZACIÓN ISOTÓPICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Se dispone de información sobre isótopos ambientales del agua a partir de los trabajos realizados por el IGME y por el CEDEX. El mayor volumen de datos existente corresponde al ^{18}O y ^2H (deuterio) que están contenidos en la propia molécula del agua, por lo que pueden ser considerados como trazadores ideales que suelen aportar valiosa información sobre las áreas de recarga y ayudan a diferenciar las familias de aguas existentes. Por otra parte, a partir de los trabajos del CEDEX y otros anteriores, se dispone de información sobre el contenido en tritio y carbono 14, que sirve para caracterizar el tiempo de residencia del agua en el acuífero.

7.3.1 Oxígeno 18 y Deuterio

En la figura 7.14 se muestra un gráfico que relaciona los valores de los puntos con datos de ^{18}O y D donde, como siempre, se han utilizado diferentes símbolos según el origen del agua. Se ha representado también el valor correspondiente a la media de 7 muestreos de agua de lluvia realizados en Linares a 417 m s.n.m.

La línea negra corresponde con los valores obtenidos por Craig (1961) para la línea meteórica mundial (LMN) y la línea roja es la obtenida para la provincia de Jaén que puede consultarse en la tesis doctoral de González-Ramón (2007) publicada por el IGME. En general para los pares de valores que se sitúan claramente por debajo de la LMN se considera que las aguas han sufrido procesos de evaporación durante la infiltración, si bien pueden existir otros procesos que desvíen estos valores. Por otra parte, los valores más negativos corresponden a aguas precipitadas a cotas más elevadas que los menos negativos, si bien esto puede no ser válido si existen aguas muy antiguas que pudieran haberse infiltrado en unas condiciones climáticas diferentes, como por ejemplo durante la última glaciación.

Los valores correspondientes a los ríos Guadalquivir y Guadalimar presentan una dispersión importante, aunque básicamente se concentran en dos zonas: la parte inferior derecha de la gráfica cerca de la LMN, y en la zona central claramente por debajo de la LMN. Ambos ríos presentan embalses en cabecera que desembalsan al final de la primavera y durante el verano. La primera zona corresponde mayoritariamente a aguas invernales con escasa influencia del agua embalsada, en cambio la segunda es representativa de las aguas embalsadas, lo que explica que aparezcan valores característicos de aguas evaporadas.

En lo que respecta a las aguas subterráneas no se observan diferencias significativas entre los distintos acuíferos. Esto se debe a que las cotas de recarga son similares en todos ellos, aunque ligeramente más elevadas en el acuífero mioceno, en torno a 800 m s.n.m, y entre 400 y 800 en los acuíferos jurásico y triásico, con valores medios alrededor de los 600 m. Esto explica que los puntos relacionados con el mioceno tengan una tendencia hacia valores más negativos y se agrupen en la zona inferior de la nube principal de puntos (figura 7.14 envolvente anaranjada).

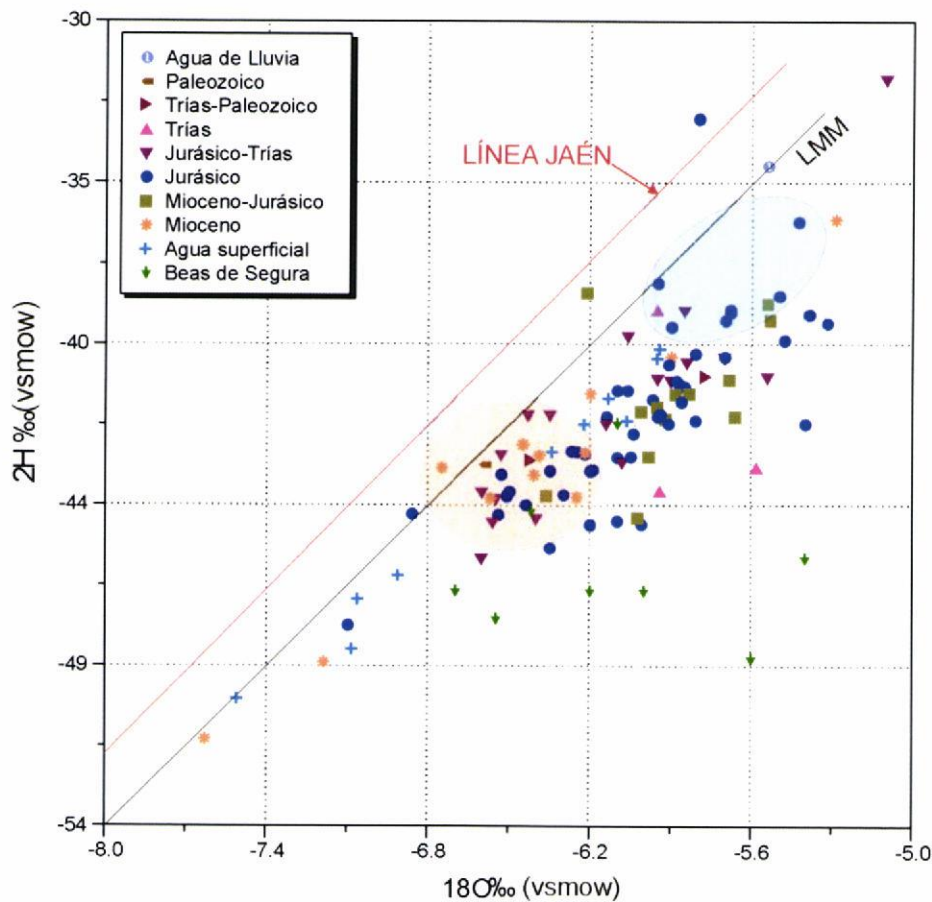


Figura 7.14. Relación entre los valores de Oxígeno-18 y Deuterio en el agua subterránea de los acuíferos de la Loma de Úbeda. Explicación de las envolventes en el texto.

Por el contrario, en la parte superior de la gráfica (envolvente azul) se agrupan una serie de puntos pertenecientes en su mayoría a manantiales relacionados con los afloramientos del acuífero jurásico libre, que se encuentran a cotas más bajas, y que tienen valores similares a los del agua de lluvia.

La nube principal de puntos se encuentra en valores cercanos a los que presenta el río Guadalimar en primavera y verano y está constituida básicamente por sondeos que perforan

el Trías areniscoso en ambos márgenes del río Guadalimar y por sondeos que alcanzan el Jurásico en el bloque hundido de la falla deducida por sísmica. Esto sugiere que el río Guadalimar tiene importancia en la recarga del acuífero triásico y jurásico, y que hay relación entre el agua que circula por el acuífero triásico y el agua del acuífero jurásico confinado en su zona sur.

7.3.2 Tritio

Gracias a los trabajos realizados por el CEDEX se dispone de diversos análisis del contenido en tritio (^3H) del agua subterránea. El valor de la concentración del contenido en tritio del agua subterránea es utilizado en hidrogeología para estudiar el tiempo de residencia del agua en el acuífero. El fundamento se basa en el incremento de tritio en la atmósfera que se produjo como consecuencia de los ensayos nucleares especialmente intensos en las décadas de los 50 y 60 del pasado siglo. El contenido en tritio en la atmósfera pasó desde valores inferiores a 1 UT hasta alcanzar un máximo en 1963 de 180 UT para los valores medidos en Madrid. Actualmente los valores se han estabilizado en torno a 4-6 UT.

El análisis del contenido en tritio permite asegurar que aquellas aguas con valores inferiores a 1-2 UT tienen una edad superior a 50 años.

En la figura 7.15 se muestra un gráfico en el que se relaciona la temperatura del agua subterránea en los diferentes acuíferos con su contenido en tritio. El gráfico muestra interesantes agrupaciones de puntos. Por una parte, los puntos con valores de tritio similares al agua del río Guadalimar son aguas relacionadas con el acuífero mioceno, con los manantiales asociados al acuífero jurásico y los puntos del acuífero jurásico de Beas de Segura, que son las aguas de circulación más rápida. Con temperaturas más elevadas y con valores de tritio en su mayoría por debajo de 4 UT aparecen los sondeos que perforan exclusivamente al acuífero jurásico, la mayoría situados en el sector de Villacarrillo al este de la masa de agua. El agua de los sondeos que perforan el Trías areniscoso tiene ausencia de tritio o valores por debajo de 1 UT, con algunas excepciones en las que la mezcla con aguas del jurásico puede ser más importante. Esto demuestra que la circulación del agua por las areniscas triásicas es más lenta que por los carbonatos jurásicos.

El resto de sondeos relacionados con el jurásico tiene ausencia de tritio o valores muy bajos, y se trata de los sondeos situados en torno a la traza de la falla deducida por geofísica o al sur de la misma.

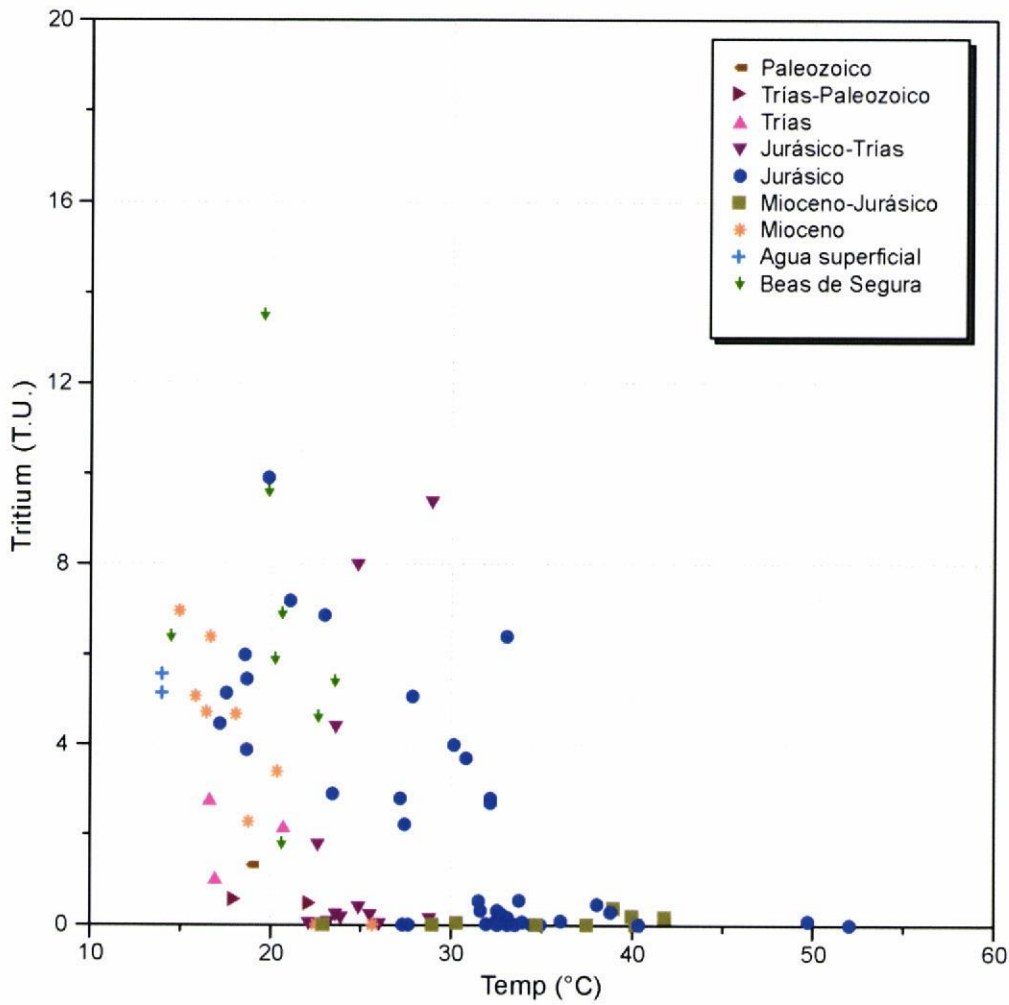


Figura 7.15. Relación del contenido en tritio del agua subterránea con la temperatura del agua medida en campo.

7.4 CONCLUSIONES

En la MAS 05.23 Úbeda se explotan aguas subterráneas que tienen su origen en tres acuíferos con características diferenciadas desde el punto de vista litológico, lo que también se refleja en la composición química de las aguas que confluyen por ellos. Los acuíferos en cuestión están constituidos, de muro a techo, por areniscas de edad Triásico, carbonatos del Jurásicos y areniscas y calcarenitas del Mioceno.

Además, en el esquema hidrogeológico conceptual entran en juego las aguas que circulan por el río Guadalimar, que se relacionan tanto con el acuífero triásico como jurásico.

Las aguas relacionadas exclusivamente con las areniscas triásicas presentan un bajo contenido en cloruro que debe estar en relación con el origen continental de estas areniscas, depositadas por ríos triásicos sin contacto con el agua de mar. El contenido en sulfato es elevado en las zonas donde el paquete de arcillas y yesos de facies Keuper se superpone a las areniscas, pero es muy inferior donde este paquete ha sido erosionado parcial o totalmente. Muchos de los sondeos situados sobre los carbonatos jurásicos de la margen derecha del río Guadalimar explotan también las areniscas triásicas. El quimismo de las aguas procedentes de estos puntos sugiere la existencia de mezclas entre los dos tipos de acuíferos.

En el acuífero jurásico se observa una evolución de las aguas en la zona libre desde facies bicarbonatada a bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica y posteriormente, en la zona confinada hacia clorurada sódica. Si embargo, al sur del acuífero confinado, existen aguas que incrementan el contenido en sulfato, lo que sugiere la existencia de mezclas con aguas triásicas que puede relacionarse con la presencia de una zona de fractura detectada por sísmica. Existen también sondeos profundos en la zona norte del acuífero confinado que cortan las areniscas triásicas bajo los carbonatos jurásicos, estas aguas se diferencian muy bien por su elevado contenido en sulfato, ya que ambos acuíferos aparecen desconectados por el paquete arcilloso triásico de facies Keuper, donde el yeso es abundante.

En el acuífero jurásico la temperatura del agua es un buen indicador de la profundidad de circulación del agua, por lo que sirve para estudiar la morfología del paquete de carbonatos jurásicos en profundidad.

En el acuífero mioceno el agua presenta bastante homogeneidad en el contenido catiónico, pues suelen ser de facies cálcico-magnésica, excepto las que proceden de sondeos más profundos (especialmente aquellos que alcanzan el jurásico), con aguas más sódicas. En cuanto a los aniones, hay agua de facies bicarbonatada en relación con los paquetes de calcarenitas situados a techo, más potentes, compactos y cementados, y agua bicarbonatada-sulfatada relacionada con los paquetes de areniscas situados más a muro. En los sondeos más profundos y en algunos manantiales, el contenido en cloruro es más elevado, lo que sugiere que las margas miocenas aportan cloruros al medio.

Las aguas relacionadas con el acuífero jurásico sufren una serie de fenómenos que modifican su quimismo como son: la reducción del sulfato y nitrato, la disolución-precipitación de bicarbonato y los cambios de bases.

Las aguas reducen su contenido en sulfato y nitrato hacia el sur del acuífero y lo incrementan en gas sulfhídrico y amonio debido a la presencia de materia orgánica en las margas suprayacentes. Si embargo, el mínimo en sulfato no aparece en la zona más

profunda, sino desplazado hacia el este. Esto se interpreta como consecuencia de la mezcla con aguas triásicas ya mencionada.

El nitrato desaparece a partir de aguas con temperaturas de más de 30°C y su desaparición está acompañada de la aparición de amonio.

Se han estudiado los efectos que los fenómenos de reducción tienen en el equilibrio del carbonato, se observa que el contenido en bicarbonato es creciente hasta temperaturas en torno a 30-40°C, donde hay un cambio de tendencia con incluso una disminución. El crecimiento de los valores se explica como consecuencia de los cambios en el pH del agua, producidos por los fenómenos de reducción de nitratos y sulfatos, que provocan la karstificación de los carbonatos. En cambio, la mezcla de aguas con el acuífero triásico en la zona de falla profunda, se interpreta como la causa en el cambio de tendencia debido a la precipitación del bicarbonato por efecto "Ion común", al entrar aguas con un aporte extra en calcio.

El fenómeno de intercambio de calcio y magnesio por sodio en minerales de las arcillas está bien documentado en este acuífero, sin embargo, al igual que ocurre con el resto de fenómenos descritos, parece existir una ruptura en la evolución de las aguas partir de la zona de fractura profunda, que coincide con valores de temperatura del agua de más de 35°C. Esta ruptura supone la estabilización del contenido en calcio y magnesio y una dispersión del contenido en sodio, que deja de sufrir un incremento lineal. Esto es congruente con la hipótesis de entrada de aguas triásicas a favor de la fractura.

Los valores de Oxígeno 18 y Deuterio en las aguas circulantes por los ríos Guadalquivir y Guadalimar indican la presencia de contenidos diferentes en los periodos invernales que en la primavera-verano. Esto se debe a la influencia de los embalses del Tranco y Guadalmena, en primavera-verano hay desembalses, por lo que las aguas que circulan por los ríos son representativas del agua embalsada. En invierno la mayor parte del agua procede directamente de las descargas de los manantiales en cabecera y de la escorrentía superficial.

Los valores del río Guadalimar correspondientes a la primavera-verano son similares a los de la nube de puntos principal y muestran la influencia del río en la recarga. En el agua subterránea se observan agrupaciones en función de la cota de recarga, que es mayor en el acuífero mioceno (valores más negativos) que en el jurásico. En el acuífero jurásico y triásico aparecen valores similares, lo que sugiere la existencia de relación hídrica entre ambos.

En cuanto al contenido de tritio en el agua, se deduce que las aguas más juveniles corresponden a las relacionadas con el acuífero mioceno, con los manantiales asociados al

jurásico y con el acuífero de Beas de Segura. En el sector de Villacarrillo aparecen aguas más antiguas, aunque con valores positivos de tritio. En las areniscas del Trías bajo el acuífero jurásico y en la zona confinada del acuífero jurásico hay ausencia de tritio, por lo que sus aguas son las más antiguas.

8 MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

La investigación llevada a cabo ha permitido desarrollar un modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico que muestra una gran complejidad, debido a la existencia de tres acuíferos que se relacionan entre sí, afectados además por las aguas circulantes por el río Guadalimar (Figura 8.1).

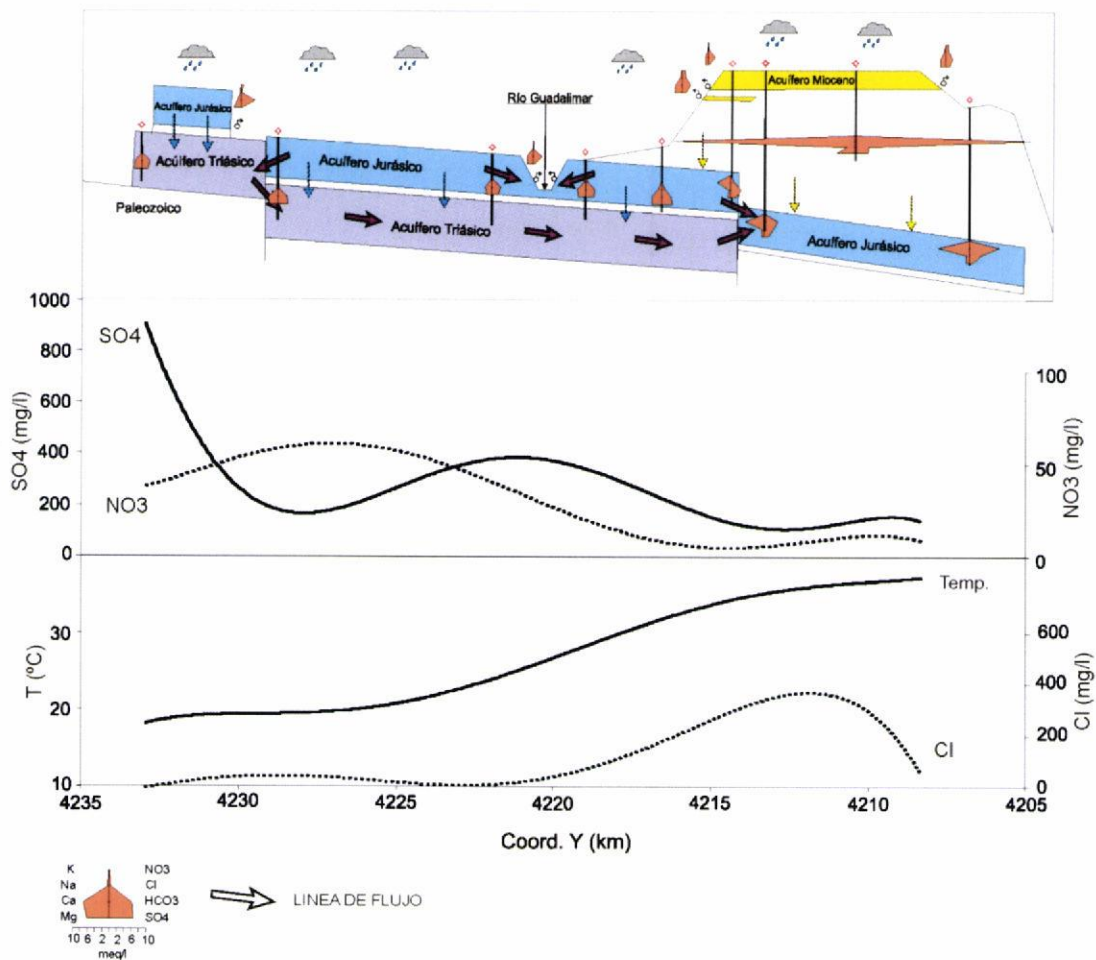


Figura 8.1. Esquema conceptual del funcionamiento hidrogeológico del sistema acuífero y evolución del agua subterránea en el sentido N-S de los valores en sulfato, nitrato, temperatura y cloruro.

El estudio de la geología de campo ha puesto de manifiesto que los Acuíferos Triásico y Jurásico aparecen afectados por fracturas de dirección SO-NE que lo estructuran en fosas y umbrales. La falla situada más al sur es la de mayor salto, superior a 100 m

aunque se amortigua hacia el noreste, Algunas de estas fallas ponen localmente en contacto los acuíferos Jurásicos y Triásico y favorecen la mezcla de aguas entre ambos acuíferos.

Los datos geológicos y piezométricos aportados por los sondeos construidos en el borde del río Guadalimar, han permitido aclarar la relación existente entre el río y el Acuífero Jurásico, con al menos una zona entre dos fallas, en las que el río es influente.

La información obtenida a partir de las evoluciones piezométricas permite observar tres sectores principales con el nivel piezométrico a diferentes cotas. En los sectores donde el acuífero jurásico es libre y en su zona confinada central y occidental el flujo se dirige de norte a sur, condicionado por los conoides de bombeos existentes. El sector oriental de la zona confinada aparece desconectado del resto y ha sido explotado hasta casi del agotamiento de sus reservas.

Se ha observado que el Acuífero Triásico presenta el nivel piezométrico en general a cotas inferiores al Acuífero Jurásico, lo que implica que su zona de descarga natural se sitúa a menor cota. Localmente, ambos acuíferos se ponen en contacto a favor de las fallas más importantes, por lo que se supone una recarga desde el Acuífero Jurásico hacia el Triásico en la zona donde el Acuífero Jurásico aflora. En el Acuífero Triásico no se ha podido caracterizar la zona de descarga, una parte importante podría descargar hacia el vaso del Embalse de Giribaile, imposible de medir actualmente. De la escasa información piezométrica de las zonas en las que el Acuífero Triásico aflora cerca del río, se deduce que hay una descarga difusa hacia el cauce a lo largo de todo su trayecto, tanto aguas arriba de la entrada del río en el acuífero Jurásico, a cotas entre 400 y 450 m s.n.m., como aguas abajo, a cotas entre 300 y 350 m s.n.m.

En el sector confinado se aprecia una tendencia descendente en el nivel piezométrico desde el año 2003, con variaciones interanuales que muestran subidas en el otoño e invierno y descensos que se inician en la primavera, cuando comienzan las campañas de riegos.

La información hidroquímica indica diferencias en cada uno de los acuíferos implicados que permiten caracterizar sus aguas. Su estudio resalta la importancia de las mezclas de aguas de diferente procedencia en el funcionamiento hidrogeológico del sistema.

Se observa una línea de evolución del quimismo desde el sector libre hacia el sector confinado en la que las aguas van sufriendo un incremento en el contenido en cloruro

y en sodio y una reducción en el contenido en sulfato, nitrato, calcio y magnesio (Figura 8.1).

El fuerte incremento del contenido en cloruro y sodio en el agua se produce a partir de que los carbonatos jurásicos son recubiertos por las margas miocenas. Esto se interpreta por la existencia de pequeños aportes de aguas que han circulado a través de las margas miocenas, lo que tiene como consecuencia el lavado del cloruro contenido en las mismas, procedente del medio marino en el que fueron depositadas.

Se observa también la existencia de fenómenos de cambio de bases, con sustitución de calcio y de magnesio por sodio.

El descenso en el contenido en sulfato y en nitrato se produce también a partir del contacto entre las margas miocenas y los carbonatos jurásicos y se interpreta por el ambiente fuertemente reductor que el contenido en materia orgánica de las margas miocenas imprime al medio. Es conocida la presencia de gases como el sulfhídrico y el metano en muchos de los sondeos profundos. Se deduce que esta evolución es alterada en la zona profunda del Acuífero Jurásico confinado por mezclas de aguas entre los Acuíferos Jurásico y Triásico. Esta alteración se traduce en una ruptura en el esquema de evolución del sulfato y se interpreta por el aporte de aguas relacionadas con el Acuífero Triásico a favor de fracturas que ponen ambos acuíferos en contacto. Este aporte no aparece en la zona más profunda, donde la temperatura del agua es más elevada, sino desplazado hacia el este. En esta zona, el salto de la fractura principal es menor y en consecuencia también lo es la influencia de la entrada del agua del Acuífero Triásico.

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ y tritio en el agua subterránea son coherentes con un modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico de acuíferos multicapa compartimentados por fallas, cuyas aguas son captadas mediante sondeos en los que se producen procesos de mezcla. Su contenido explica también la mayor variabilidad isotópica encontrada en las zonas más someras y con aguas más recientes, próximas al río Guadalimar, comparado con las del Acuífero Confinado. En las primeras, interfieren aguas isotópicamente ligeras procedentes de zonas elevadas de recarga de los acuíferos Triásico y Mioceno, con aguas isotópicamente más pesadas recargadas en tramos de menor cota en el acuífero Jurásico, mientras que en el sector confinado los procesos de mezcla se han atenuado y sus aguas corresponden a recarga en épocas pasadas, con edades de varios miles de años.