



MINISTERIO
DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA



Instituto Geológico
y Minero de España



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL SEGURA

OFICINA DE
PLANIFICACIÓN
HIDROLÓGICA



Región de Murcia
Consejería de Turismo
y Ordenación del Territorio

**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO
DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA
Tomo I**

MEMORIA

2002



INFORME	Identificación: H-2.021.03
	Fecha: Diciembre de 2002
TÍTULO: Estudio hidrogeológico de la unidad Vega Media y Baja del Segura	
PROYECTO: Estudio hidrogeológico de la unidad Vega Media y Baja del Segura	
<p>RESUMEN: El Proyecto, que se ha desarrollado en convenio con la Secretaría de Estado de Aguas y Costas del Ministerio de Medio Ambiente, la Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio de Murcia y, en numerosos aspectos de la Vega Baja, se ha contado con investigaciones anteriores y a veces paralelas cofinanciadas con la Diputación Provincial de Alicante, ha tenido como objetivos principales la adecuada caracterización hidrogeológica de las Vegas Media y Baja del Segura, la determinación de su funcionamiento hidrogeológico, la precisa evaluación de los recursos hídricos subterráneos y la elaboración de un modelo numérico de flujo de esta unidad con el que poder plantear y simular las opciones más eficaces de gestión de sus recursos hídricos subterráneos.</p> <p>La metodología del estudio ha consistido en la caracterización de los acuíferos: geometría, hidrodinámica, quimismo, balance hídrico, etc., necesarios para elaborar un modelo matemático del flujo subterráneo que permita conocer mejor el funcionamiento hidrogeológico, evaluar recursos, analizar los usos/demandas, determinar la recarga-descarga y la relación de los acuíferos con los cauces superficiales, y estudiar la respuesta frente a distintos escenarios de actuación, con el objetivo final de analizar las diferentes alternativas de gestión de los recursos y optimizar la gestión de sus recursos y reservas.</p> <p>También se ha abordado una investigación específica sobre la influencia de los plaguicidas en las aguas subterráneas de la Vega Media del Segura.</p>	
Revisión	Autores: Ramón Aragón Rueda, Luis Javier Lambán Jiménez, José Luis García Aróstegui, Jorge Enrique Hornero Díaz, Ana Isabel Fernández Grillo, Juan Carlos Gumiel Gutiérrez, Félix M Rubio Sánchez Aguililla, José Ángel Sánchez Vidal y colaboración de la Universidad Jaume I de Castellón, Idrena e I.G.T. Responsable: Ramón Aragón Rueda
Nombre:	
Unidad:	
Fecha:	

Este Proyecto ha sido realizado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), del Ministerio de Ciencia y Tecnología, en Convenio con la Secretaría de Estado de Aguas y Costas (Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas), del Ministerio de Medio Ambiente, la Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia y la Excm. Diputación Provincial de Alicante, habiendo intervenido el siguiente:

EQUIPO DE TRABAJO

Ramón Aragón Rueda (IGME). Director del Proyecto y Coordinador del Equipo de Trabajo.

Instituto Geológico y Minero de España

Oficina de Proyectos de Murcia

Ramón Aragón Rueda

Luis Javier Lambán Jiménez

José Luis García Aróstegui

Jorge Enrique Homero Díaz

Ana Isabel Fernández Grillo

José Ángel Sánchez Vidal

Área de Teledetección

Juan Carlos Gumiel Gutiérrez

Vicente Fabregat Ventura

María Teresa Moreno Álvarez

Área de Geofísica

Felix Manuel Rubio Sánchez-Aguililla

Colaboración: IGT, S.L.. Empresa Consultora

Área de Laboratorio

Confederación Hidrográfica del Segura

Francisco Almagro Costa

Ignacio Genovés Morales

Gonzalo Aragón Morales

Federico García Mariana

Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio

José García García

Carmen María Sandoval Sánchez

Diputación Provincial de Alicante

Luis Rodríguez Hernández

Juan Antonio Hernández Bravo

Colaboraciones

En investigación de plaguicidas en las aguas subterráneas:

- **Universidad Jaume I de Castellón** (Grupo de Investigación de Medio Ambiente y Recursos Naturales:

Ignacio Morell Evangelista

Joaquín Beltrán Arandes

Félix Hernández Hernández

Oscar Pozo Mendoza

Juan Tuñón Colom

Susana Grimalt Brea

Juan Vicente Sancho Lopis

En trabajos de infraestructura hidrogeológica:

- **Idrena**. Empresa Consultora

Luis Ángel González Fernández

Raquel Acedo Lopesino

Gonzalo López Arechavala

Susana Jiménez García

Eva Lozano Gutiérrez-Ravé

Gloria Fernández Fernández

Jose M^a Peña Chueca

Sergio Cano García

Montserrat Martín Rodríguez

Carlos García Atienza

En acondicionamiento de piezómetros:

- **Geocisa**

Miguel Barranco Pérez

AGRADECIMIENTOS

Son muy numerosas las personas y entidades que han facilitado, gracias a su colaboración desinteresada, la ejecución de este Proyecto. Entre ellas se destacan las siguientes:

- *Servicio de Cartografía de la Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio (CARM), en especial D. Ramón Pablo García García y D. Luis Bernardeau Ruiz.*
- *Instituto Geográfico Nacional.*
- *Gerencia de Urbanismo del Excmo. Ayuntamiento de Murcia.*
- *Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia, en especial D. José Luis Hervás, D. Javier Fabregas y los técnicos del Departamento de Hidrogeología.*
- *Servicio de Protección y Sanidad Vegetal de la Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente (CARM), en especial D. Esteban Abad Salcedo.*
- *Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, en especial Dra. Maribel Sánchez Toribio.*
- *Instituto Nacional de Meteorología, en especial D. Ramón Garrido Abenza (Centro Territorial de Murcia).*
- *Junta de Hacendados de la Huerta de Murcia.*
- *Riegos de Levante Margen Izquierda.*
- *Múltiples personas, empresas (Hero, Cervezas Estrella de Levante, etc) y Comunidades de Regantes; en especial, aquellas que han permitido la realización de ensayos y diferentes actividades dentro de sus propiedades.*

Y, en general, se agradece a los técnicos y servicios de la Confederación Hidrográfica del Segura, de la Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, de la Excmo. Diputación Provincial de Alicante y del Instituto Geológico y Minero de España que han proporcionado abundante información y datos sobre diferentes aspectos de este Proyecto.

ÍNDICE GENERAL DE TOMOS

TOMO I	MEMORIA
TOMO II	ANEJO 1. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA (1)
TOMO III	ANEJO 1. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA (2)
TOMO IV	ANEJO 2. LITOLOGÍA Y GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO. CARTOGRAFÍA HIDROGEOLOGICA (1)
TOMO V	ANEJO 2. LITOLOGÍA Y GEOMETRIA DEL ACUÍFERO. CARTOGRAFÍA HIDROGEOLOGICA (2)
TOMO VI	ANEJO 3. FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO
TOMO VII	ANEJO 4. CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS: ENSAYOS
TOMO VIII	ANEJO 5. RECARGA DEL ACUÍFERO
TOMO IX	ANEJO 6. EXPLOTACIÓN Y USOS DEL AGUA
TOMO X	ANEJO 7. HIDROQUÍMICA
TOMO XI	ANEJO 8. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA
TOMO XII	ANEJO 9. EVALUACIÓN DE SUPERFICIES AGRÍCOLAS EN LAS VEGAS MEDIA Y BAJA DEL SEGURA CON IMÁGENES DE SATELITE LANDSAT ETM+
TOMO XIII	ANEJO 10. INVESTIGACIÓN DE PLAGUICIDAS
TOMO XIV	ANEJO 11. MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO

ÍNDICE MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS
- 1.2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2. TRABAJOS REALIZADOS

- 2.1. RECOPIACIÓN, ANÁLISIS Y SÍSTESIS DE LA INFORMACIÓN PREEXISTENTE DISPONIBLE
- 2.2. ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA
- 2.3. EVALUACIÓN DE LAS EXTRACCIONES E IDENTIFICACIÓN DE LOS USOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
- 2.4. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA Y PROSPECCIÓN GEOFÍSICA
 - 2.4.1. Prospección geofísica
- 2.5. CONTROL PIEZOMÉTRICO DEL ACUÍFERO Y NIVELACIÓN TOPOGRÁFICA
- 2.6. RELACIÓN ENTRE EL ACUÍFERO Y LAS AGUAS SUPERFICIALES
 - 2.6.1. Medidas de caudal en cauces
- 2.7. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS
- 2.8. EVALUACIÓN DE LA RECARGA POR INFILTRACIÓN DE EXCESO DE RIEGOS
- 2.9. EVALUACIÓN DE LA RECARGA POR INFILTRACIÓN DE LLUVIA
- 2.10. IDENTIFICACION DE USOS Y EVALUACIÓN DE LAS DEMANDAS DE AGUA
- 2.11. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y DE LA CONTAMINACIÓN POR NITRATOS Y PLAGUICIDAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA
- 2.12. ELABORACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO
- 2.13. MODELIZACIÓN DE LA UNIDAD VEGA MEDIA-BAJA DEL SEGURA

2.14. ELABORACIÓN DE LAS DIRECTRICES GENERALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN PLAN PARA HACER FRENTE A LAS SEQUÍAS

2.15. DIGITALIZACIÓN E INFORMATIZACIÓN

3. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

4. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

4.1. ENCUADRE GEOLÓGICO

4.2. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

4.3. DESCRIPCIÓN LITOESTRATIGRÁFICA Y COMPORTAMIENTO HDIROGEOLOGÍCO

4.4. LÍMITES GEOLÓGICOS

4.5. CARÁCTER HIDROGEOLOGÍCO DE LOS BORDES

5. FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO

5.1. RÉGIMEN NO INFLUENCIADO

5.1.1. Recopilación, tratamiento y análisis espacio-temporal de los datos piezométricos existentes

5.2. RÉGIMEN INFLUENCIADO

5.2.1. Vega Media del Segura

5.2.2. Vega Baja del Segura

6. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

6.1. REINTERPRETACIÓN DE ANTERIORES ENSAYOS DE BOMBEO

6.2. REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE BOMBEO

6.3. SÍNTESIS DE RESULTADOS

7. RELACIÓN ENTRE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

7.1. PLANTEAMIENTO

7.2. ANÁLISIS MEDIANTE ENSAYOS DE BOMBEO EN LA VEGA MEDIA

7.3. AFOROS EN CAUCES

7.4. SÍNTESIS DE LAS RELACIONES RÍO SEGURA-ACUÍFERO Y AZARBES-ACUÍFERO

8. USOS Y DEMANDAS DEL AGUA

8.1. INTRODUCCIÓN

8.2. REGADÍO

8.2.1. Evaluación de superficies agrícolas mediante teledetección

8.2.2. Demanda de agua para riego en la Vega Media en el año 2000

8.2.3. Demanda de agua para riego en la Vega Baja (año 1998)

8.2.4. Orígenes del agua de riego y volúmenes aplicados en el período 1994/95-2000/01

8.3. ABASTECIMIENTO URBANO E INDUSTRIAL

9. BALANCE HÍDRICO

9.1. BALANCE HÍDRICO DE LA VEGA MEDIA (AÑO 2000)

9.1.1. Recarga por infiltración de lluvia útil

9.1.2. Recarga por retorno de excedentes de riego

9.1.3. Entradas laterales subterráneas

9.1.4. Entradas totales

9.1.5. Descargas hacia los ejes de drenaje

9.1.6. Descargas laterales subterráneas

9.1.7. Explotación por bombeo

9.1.8. Salidas totales

9.2. BALANCE HÍDRICO DE LA VEGA BAJA

10. HIDROGEOQUÍMICA

10.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA

10.1.1. Vega Media del Segura

10.1.2. Vega Baja del Segura

10.2. CONTAMINACIÓN POR NITRATOS

10.2.1. Vega Media del Segura

10.2.2. Vega Baja del Segura

10.3. CONTAMINACIÓN POR METALES

10.4. CONTAMINACIÓN POR PLAGUICIDAS EN LA VEGA MEDIA

11. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

11.1. INTRODUCCIÓN

11.2. EVALUACIÓN DE LA RECARGA

11.2.1. Recarga por la infiltración de agua de lluvia

11.2.2. Recarga por infiltración de retornos de riego

11.2.2.1. Introducción y metodología

11.2.2.2. Zonificación preliminar, volúmenes aplicados y recarga inicial obtenida

11.2.2.3. Comparación entre los volúmenes obtenidos y los resultantes de PHCS.

Zonificación definitiva y valores de recarga obtenidos

11.2.2.4. Evolución de volúmenes aplicados y recarga durante 1994-2001

11.3. EVALUACIÓN DE LA DESCARGA

11.3.1. Río Segura

11.3.2. Azarbes

11.3.3. Lagunas del Hondo y Santa Pola

11.3.4. Salidas al mar

11.3.5. Salidas por bombeo

11.4. EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA

11.5. BALANCE HÍDRICO

11.5.1. Balance en la Vega Media

11.5.2. Balance en la Vega Media y Baja

12. MODELO NUMÉRICO DE LA VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

12.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

12.2. RELACIÓN ENTRE EL MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL Y EL MODELO NUMÉRICO

12.3. DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MODELO NUMÉRICO

12.3.1. Límites del modelo numérico

12.3.2. Definición geométrica

12.3.3. Discretización espacial y temporal

12.3.4. Condiciones de contorno

12.3.5. Recarga

12.3.6. Parámetros hidráulicos

12.3.7. Explotación por bombeo

12.4. AJUSTE Y CALIBRACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO

12.4.1. Introducción

12.4.2. Régimen estacionario

12.4.2.1. Objetivo y metodología

12.4.2.2. Presentación de resultados

12.4.2.3. Análisis de sensibilidad

12.4.2.4. Discusión y conclusiones

12.4.3. Régimen transitorio

12.4.3.1. Entrada de datos

12.4.3.2. Ajuste y calibración

12.4.3.3. Discusión y conclusiones

13. DIRECTRICES GENERALES PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE SEQUÍA

13.1. RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS Y DISPONIBILIDADES HÍDRICAS

13.2. LAS SITUACIONES DE SEQUÍA EN LA VEGA MEDIA

13.2.1. Análisis del historial hidroagrometeorológico de la Vega Media

13.2.2. Sequías registradas en la Vega Media

13.2.3. Medidas orientativas para paliar las sequías

14. PROPUESTA DE REDES DE CONTROL

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

El descenso generalizado del nivel freático en los terrenos limo-arcillosos de la Vega Media, motivado por las adversas condiciones climáticas del período 1992-1995 y el consiguiente incremento de las extracciones de aguas subterráneas, ha originado un proceso de consolidación del terreno y dado lugar a asentamientos diferenciales de edificaciones, localizadas fundamentalmente en la ciudad de Murcia, produciéndose en gran número de ellas desperfectos importantes.

Para abordar esta problemática la Comunidad Autónoma de Murcia elabora un proyecto para el establecimiento de Directrices Territoriales para Murcia y su área metropolitana (fundamentalmente la Vega Media), encaminadas a un desarrollo sostenible del territorio, para lo cual es necesario el conocimiento preciso tanto de la respuesta del terreno a las variaciones del nivel freático como del funcionamiento del propio acuífero de la Vega Media del Segura.

Por otro lado, por parte de la Confederación Hidrográfica del Segura se encuentran en estudio o en desarrollo planes de explotación de aguas subterráneas de la unidad de las Vegas Media y Baja del Segura para complementar recursos en épocas de sequía, como asimismo se analiza por la Diputación Provincial de Alicante la viabilidad de la desalación de los recursos subterráneos salobres de la Vega Baja con el mismo objeto de superar episodios de escasez hídrica.

Este amplio marco institucional de actuaciones en el acuífero justifica la necesidad de un estudio integral por parte de la Administración que permita coordinar las anteriores líneas de trabajo.

En consecuencia, el Instituto Geológico y Minero de España, del Ministerio de Ciencia y Tecnología, ha promovido la cooperación de las administraciones públicas implicadas –central, autonómica y local- mediante sendos convenios de colaboración que, establecidos en el año 1999 entre el IGME y la Secretaría de Aguas y Costas, del Ministerio de Medio Ambiente (a través de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, Confederación Hidrográfica del Segura), la Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia y la Excm. Diputación

Provincial de Alicante, han permitido efectuar una investigación hidrogeológica integral de la totalidad de la unidad de las Vegas Media y Baja del Segura, con la finalidad aplicada última de contribuir a la toma de las medidas adecuadas para la gestión de los recursos hídricos, que no interfieran con los derechos de otros usuarios (y con los de los ciudadanos en general) y no causen efectos adversos; en definitiva, para lograr una más eficaz planificación hidrológica.

Por tanto, el presente Estudio tiene como objeto la adecuada caracterización hidrogeológica de esta compleja unidad, la evaluación de sus recursos hídricos y el conocimiento de su calidad química, el análisis de los usos y demandas de agua y, finalmente, el desarrollo de un modelo numérico de flujo que permita integrar y dar coherencia a todos los datos obtenidos, así como posibilitar el análisis de la incidencia hidrodinámica de diferentes opciones de aprovechamiento de sus recursos subterráneos, con el fin de plantear las más adecuadas alternativas de gestión.

1.2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Vega Media-Baja del Segura es el tramo de llanura aluvial del río comprendido entre el azud de la Contraparada, que fija el límite con la Vega Alta, y el mar Mediterráneo, constituyendo una unidad hidrogeológica con una extensión superficial de 1.182 km², según la definición efectuada en el Plan Hidrológico de la cuenca del Segura (PHCS) para el área comprendida dentro de su poligonal, si bien la correspondiente a los límites reales del sistema acuífero es de 1.045 km². Pertenece a tres comarcas geográficas situadas en las provincias de Murcia (Vega Media) y Alicante (Vega Baja y Campo de Elche). Su longitud es del orden de 65 km y su anchura media de 15 km, variando esta última desde unos pocos cientos de metros aguas abajo de la Contraparada hasta un máximo de 24 km en la zona próxima a la desembocadura del río Segura en el mar Mediterráneo (Figura 1.1.).

Desde el punto de vista geográfico, e incluso hidrogeológico, pueden distinguirse dos zonas: Vega Media, de 206 km², y Vega Baja, de 840 km², cuya diferenciación coincidiría aproximadamente con la divisoria provincial de Murcia y Alicante. Este sistema acuífero constituye la continuación hacia el NE de la fosa tectónica del Guadalentín, con cuyo acuífero limita o conecta hidrogeológicamente mediante un cambio de facies, de más arcillosa, en el relleno del Guadalentín, a más detrítica gruesa, en el del río Segura. La formación acuífera es un relleno pliocuaternalio aluvial formado por gravas y arenas con

intercalaciones arcillosas, cuya proporción con respecto a los tramos permeables aumenta en el sentido de aguas abajo, de forma que el interés hidrogeológico es mayor en la Vega Media. Aguas arriba de la ciudad de Murcia, el acuífero es sustancialmente único, sin que en él se diferencie con claridad y alcance general más que un único tramo, básicamente libre. Aguas abajo se pueden distinguir dos o tres tramos (quizá incluso más en los sectores más orientales de la Vega Baja), en un lógico proceso de indentación progresiva de niveles.

Sobre las Vegas se asientan numerosos núcleos urbanos, de los cuales, el más importante es la ciudad de Murcia, cuyo casco tiene una población de unos 200.000 habitantes, cifra que llega hasta los 350.000 si se tiene en cuenta el entorno periurbano.

La Vega tiene forma más o menos rectangular y su topografía es muy suave, con altitudes que van desde los 60 m s.n.m. en su sector occidental (zona de Alcantarilla) hasta 30 m s.n.m. en el sector oriental (zona de Beniel), y próximas al nivel del mar en las proximidades de la costa, a excepción de algunos resaltes topográficos correspondientes a afloramientos del substrato de la cuenca, tales como Monteagudo, La Cueva o las sierras de Callosa y Orihuela. Por ella discurren el río Segura, que a la altura de Alcantarilla cambia bruscamente su dirección de casi N-S a SO-NE coincidiendo aproximadamente con el tránsito de la depresión del Segura al valle del Guadalentín, y el río Guadalentín o Reguerón, que desemboca en el Segura a unos 4 km aguas abajo de Murcia, a la altura de la pedanía del Llano de Brujas.

Es de destacar el complejo y extenso entramado de cauces de regadío existentes (azudes, acequias y azarbes), cuyo origen se remonta al tiempo de la dominación árabe y que prácticamente se ha mantenido hasta hoy en las tradicionales huertas de las Vegas del Segura.

Sobre el sistema acuífero se desarrollan cultivos de regadío tradicional (y ampliaciones de riegos) con aguas propias del Segura, constituyendo una de las zonas con mayor importancia de todos los regadíos de la cuenca, aunque la presión del crecimiento socioeconómico global de la zona y la diseminación urbana sobre las Vegas ha traído como consecuencia una pérdida gradual del carácter fundamentalmente agrícola en favor de actividades urbanas e industriales, la fragmentación de la tierra y la intensificación de los vertidos no tratados a las redes de riego, con el consiguiente deterioro de la calidad de las aguas, por lo que la posibilidad de uso de los retornos se ve seriamente comprometida.

2. TRABAJOS REALIZADOS

Las primeras investigaciones hidrogeológicas acerca de las Vegas Media y Baja del Segura corresponden a los trabajos infraestructurales llevados a cabo en la década de los años 70 por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) dentro del Proyecto de Investigación de las Aguas Subterráneas (PIAS), gracias a los cuales se definieron a grandes rasgos las características generales de las mismas, considerándolas como una sola unidad.

Posteriormente, durante los años 1995 a 2000, el IGME ha realizado en convenio con la Diputación Provincial de Alicante un completo estudio hidrogeológico del sistema acuífero de la Vega Baja del Segura con la finalidad de analizar la posibilidad de aprovechar sus recursos hídricos subterráneos salobres. Por este motivo, y salvo algunos aspectos concretos relativos al funcionamiento hidrodinámico (y que han sido objeto de actualización o investigación en el marco del presente proyecto), se ha considerado suficiente su grado de conocimiento para proceder a su integración en el modelo numérico que se ha elaborado de la totalidad de la unidad.

Sin embargo, en el sistema acuífero de la Vega Media del Segura no se han desarrollado estudios posteriores a los del PIAS (1978), por lo que su investigación hidrogeológica es muy preliminar, siendo imprescindible, para abordar un proyecto como el que se pretende (de caracterización detallada del funcionamiento hidrogeológico que sirva de base a una adecuada ordenación territorial y a una gestión eficaz y sostenible de sus recursos hídricos), elaborar un completo estudio que contemple, en primer lugar, los aspectos infraestructurales necesarios que permitan realizar, a continuación, un modelo matemático del flujo subterráneo que de coherencia a todos los datos y con el que se pueda adecuadamente evaluar los recursos y analizar la respuesta de la unidad ante distintos escenarios de actuación.

En consecuencia, el mayor esfuerzo investigador se ha concentrado en la Vega Media, mientras que en la Vega Baja las actividades se han programado como apoyo básico para la ejecución del mencionado modelo numérico que se ha llevado a cabo de la unidad completa.

Los trabajos realizados han consistido en el desarrollo de las diferentes actividades contempladas en los convenios de colaboración establecidos entre el IGME y los organismos de las administraciones públicas al principio mencionados, dándose cuenta en esta Memoria de la totalidad de las investigaciones llevadas a cabo en el marco de dichas

colaboraciones, lo que ha permitido una mayor coherencia expositiva y una mejor interpretación de los resultados.

Básicamente, los trabajos han permitido el establecimiento de la correcta delimitación y conocimiento de las formaciones geológicas permeables de la unidad de las Vegas Media y Baja del Segura, con especial atención a la geometría de dichas formaciones (en particular a su continuidad lateral) y a su posible relación con el cauce del río Segura y demás cauces naturales o artificiales del territorio, así como la formulación del correspondiente modelo hidrodinámico que posibilite el análisis de la evolución previsible de sus niveles piezométricos, la evaluación de sus recursos y reservas movilizables y de las posibles afecciones al sistema de aprovechamientos existentes y a los caudales circulantes por los cauces como consecuencia de diferentes escenarios de decisión que puedan adoptarse, tanto para el régimen ordinario de explotación como, y de forma especial, en circunstancias de sequía, incluso en supuestos de extracciones muy intensas o extraordinarias.

2.1. RECOPIACIÓN, ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN PREEXISTENTE DISPONIBLE

Para el desarrollo de las distintas actividades del Estudio se ha recopilado información documental y verbal en los siguientes organismos y entidades:

- Instituto Geológico y Minero de España -IGME-, que además de los estudios previos del PIAS, dispone en sus archivos y bases de datos de abundante información referente a geología, inventario de puntos de agua, redes de control de acuíferos, prospección geofísica, columnas de sondeos, ensayos de bombeo, etc.
- Confederación Hidrográfica del Segura –CHS–, que ha proporcionado la base de datos de inventario de puntos de agua, “pozos-sequía”, registro de captaciones y aprovechamientos de agua subterránea, planos de la nueva traza y cotas topográficas del cauce del Segura, información sobre acequias y azarbes, documentación completa sobre el Plan Hidrológico de la cuenca del Segura, datos foronómicos y de regadío, imágenes de satélite Landsat, etc.
- Comunidad Autónoma de la Región de Murcia –CARM–, de cuya Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio proceden los ortofotogramas y la base

cartográfica digitalizada a escala 1:5 000 utilizada en diversos trabajos del Estudio, fundamentalmente en los correspondientes a inventarios de campo. Además, se ha recopilado la totalidad de la investigación efectuada por el IGME en la Vega Media, dentro del convenio de colaboración anteriormente reseñado. Asimismo, en la Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente se han obtenido datos de la estadística agraria y en relación con la utilización de plaguicidas.

- Diputación Provincial de Alicante, en cuyas bases de datos y archivos se ha obtenido muy abundante información hidrogeológica sobre la Vega Baja (inventarios de puntos acuíferos, redes de control, columnas de sondeos, captaciones de agua subterránea, estudios hidrogeológicos locales, etc.), además de aportar las investigaciones previas y actuales sobre los recursos hídricos subterráneos de ese sistema acuífero realizadas por el IGME, en el marco de la colaboración antes citada con dicha institución.
- Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia –EMUASA–, que ha facilitado una considerable información sobre características de sondeos, controles piezométricos, ensayos hidrodinámicos, etc.
- Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura -CEBAS-, que ha proporcionado datos sobre demandas hídricas de los cultivos.
- Instituto Geográfico Nacional, que ha suministrado la cartografía a escala 1:25 000 en soporte digital utilizada en el Estudio.
- Instituto Nacional de Meteorología, de donde proceden los datos climáticos del período 1967-2001 estudiado.
- Ayuntamiento de Murcia, cuya Gerencia de Urbanismo ha facilitado las fotografías 1:18000 del vuelo en color de 1997, utilizadas en los trabajos de campo.
- Otros centros y particulares, de los que se ha obtenido información relacionada fundamentalmente con los aprovechamientos y aplicación del agua, entre los que cabe mencionar la Junta de Hacendados de la Huerta de Murcia, comunidades de regantes y numerosas industrias y empresas.

Durante los trabajos de documentación se ha revisado la información contenida en 40 documentos técnicos que se relacionan en el capítulo 3, incluyendo una reseña bibliográfica detallada de los más importantes.

2.2. ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Sobre la base de los inventarios preexistentes realizados por el IGME y la CHS, y con el apoyo de los listados facilitados por la CHS correspondientes a las perforaciones autorizadas para hacer frente a las sequías (denominadas pozos sequía), al registro de captaciones de aguas subterráneas y de los aprovechamientos autorizados, se efectuó una preselección de puntos y se planificaron las actividades de reconocimiento sobre el terreno para la actualización del inventario y evaluación de explotaciones tomando como referencia los siguientes criterios y objetivos:

- Puntos con instalación de bombeo que, según la información existente, tenían una extracción de agua subterránea superior a 10 000 m³/ año.
- Puntos sin instalación con los objetivos de establecer redes de control piezométrico y localizar puntos accesibles para testificación geofísica y para efectuar controles de la relación río – acuífero.
- Puntos con o sin instalación de bombeo que por su localización, penetración en el acuífero detrítico, accesibilidad y condiciones de evacuación del agua, pudieran ser objeto de ensayos para caracterización hidrodinámica.

De esta forma se fijó como objetivo inicial la actualización de datos de inventario y explotación en 200 puntos. El propio desarrollo de los trabajos de campo, junto con la antigüedad, heterogeneidad, dispersión y carácter incompleto de la información de partida aconsejó modificar sobre la marcha el objetivo inicial, ya que el inventario de puntos de agua es uno de los soportes básicos de la información hidrogeológica precisa para acometer con suficiente garantía la modelización del acuífero, de tal manera que el inventario se amplió hasta alcanzar una cobertura homogénea del acuífero, llegando a un total de 510 puntos de agua revisados sobre el terreno, de los cuales, 474 pertenecen al acuífero de la Vega Media y 36 se distribuyen del siguiente modo: 7 pertenecen a la unidad hidrogeológica de La Cresta del Gallo, 20 al acuífero del Guadalentín, 4 al acuífero de la Vega Baja, y los 5 restantes son puntos que se encuentran en el límite norte, en materiales permotriásicos que no están asignados a ninguna unidad hidrogeológica.

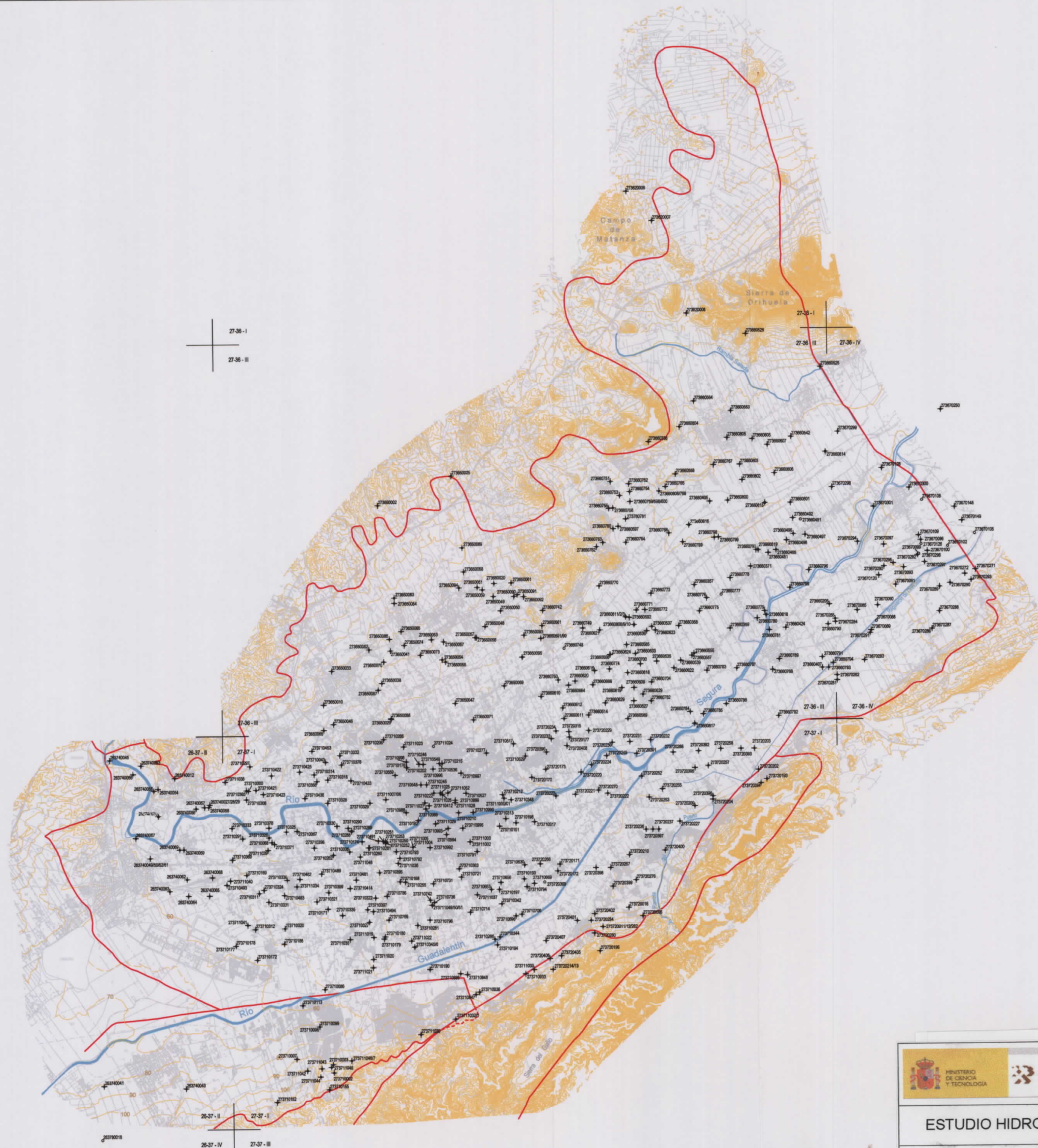
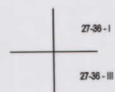
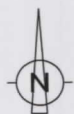
De los 510 puntos inventariados, 453 corresponden a puntos destinados a captaciones de agua, y 57 a sondeos de pequeño diámetro destinados a la investigación, para la mejora de la definición de las características hidrodinámicas del acuífero. Estos

sondeos de investigación han sido realizados tanto a lo largo de este estudio como previamente.

Además de recabar información sobre las características de las captaciones y las extracciones por bombeo que en ellas se efectúan, como parte de las labores de inventario se tomaron medidas de conductividad eléctrica del agua bombeada y se efectuaron in situ determinaciones de nitratos, con el objeto de establecer una primera panorámica sobre la calidad del agua subterránea del acuífero de la Vega Media, y, de esta manera, disponer de una base para programar las campañas de toma de muestras de agua.

Del total de puntos inventariados, 339 corresponden a actualización de información de puntos que ya figuraban en el Archivo de Puntos de Agua del IGME y 171 a puntos de nuevo inventario, a los cuales se les ha asignado el correspondiente código de Registro Nacional.

En la Figura 2.1. se ha representado un mapa con la situación (a escala original 1:25 000) de los puntos cuyo inventario ha sido actualizado o realizado *ex novo* en el Estudio, y en el Anejo 1 se incluye una copia de las fichas de registro de todos los puntos inventariados.

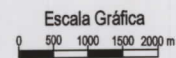


LEYENDA	
○	Pozo excavado
+	Sondeo mecánico
	Limite del acuífero de la Vega Media

--	--	--	--

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 2.1. Inventario de puntos de agua



Base cartográfica: Mapa topográfico nacional a escala 1: 25 000 del Instituto Geográfico Nacional

2.3. EVALUACIÓN DE LAS EXTRACCIONES E IDENTIFICACIÓN DE LOS USOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Inicialmente, la identificación de los usos y la evaluación de la explotación de aguas subterráneas se centró, para conocer la situación actual, en el acuífero de la Vega Media y en el periodo que va desde abril de 2000 a marzo de 2001, basándose en la información tomada sobre el terreno durante los trabajos de actualización del inventario de puntos de agua y en recorridos específicos posteriores para completar algunos sectores con datos escasos. A continuación, y con objeto de analizar la evolución temporal y para su incorporación al modelo numérico de flujo de la unidad, se ha procedido a la determinación de las extracciones de agua subterránea en los acuíferos de las vegas Media y Baja correspondientes al periodo comprendido entre octubre de 1994 y septiembre de 2001, mediante la realización de numerosas encuestas de campo y con la aplicación de la metodología de estudio que se especifica en el Anejo 6.

2.4. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA Y PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

A partir de la interpretación de la información preexistente y de la generada en el marco del Estudio, se ha procedido a la caracterización geométrica de la unidad de las vegas Media y Baja del Segura.

En la Vega Media las principales actividades realizadas han sido las siguientes:

- Recopilación y revisión de las características litológicas de 564 sondeos mecánicos de diversa procedencia, IGME; EMUASA y otros, además de las columnas de sondeos que han sido objeto de nuevo inventario en el marco del Estudio.

Del conjunto de columnas revisadas, 34 corresponden a sondeos que captan formaciones dolomíticas de los acuíferos de borde y las 530 restantes a perforaciones que atraviesan en distinto grado el relleno detrítico de la Vega Media. Las columnas se adjuntan en el Apéndice 1 del Anejo 2.

- Elaboración de mapas y cortes ilustrativos de la litología y estructura del sistema acuífero de la Vega Media.
- Realización de una cartografía hidrogeológica del sistema acuífero de la Vega Media del Segura, que ha sido elaborada en el marco del Estudio tomando como referencia

la información litológica y geométrica recopilada y analizada, descrita anteriormente, complementada con trabajos de fotointerpretación y, fundamentalmente, con trabajos de campo, en los que se ha prestado especial atención al reconocimiento de las zonas de borde del relleno detrítico.

En el capítulo 4 se define la geometría del sistema acuifero y en el Anejo 2 se trata con mayor detalle los trabajos efectuados y sus resultados.

2.4.1. Prospección geofísica

Con el fin de obtener una mayor información del subsuelo de la Vega Media se han desarrollado unos trabajos geofísicos que se han llevado a cabo en dos etapas: en la primera, se ha procedido a recopilar y reinterpretar la información geofísica disponible, especialmente de campañas eléctricas, gravimetría y sísmica; la segunda fase corresponde a las nuevas campañas de campo tanto de testificación de sondeos (registros de gamma natural, temperatura y conductividad del fluido), como de técnicas superficiales, Sondeos Electromagnéticos en el Dominio del Tiempo (SEDT).

Durante el último trimestre del año 2000 se llevó a cabo la campaña de toma de datos en campo de SEDT, que a su vez se realizó en dos fases. La primera, entre los días 7 y 9 de noviembre de 2000, ha consistido en la realización de SEDT con distintos tamaños de bucle (30x30, 50x50, 100x100 y 200x200 m) en 7 emplazamientos próximos a sondeos mecánicos de columna litológica conocida y fiable, con el objetivo de establecer el alcance de esta técnica en este tipo de terrenos y definir el tamaño de bucle más adecuado para el resto de la campaña general que se realizó a continuación. La segunda consistió en la realización de 77 SEDT, de bucle 200x200 m en su mayoría, dispuestos en 8 perfiles.

En los períodos del 1 al 3 y del 21 al 24 de noviembre de 2000 se efectuó una campaña de testificación geofísica de 17 sondeos en los que se realizaron medidas de Radiación Gamma Natural, Conductividad y Temperatura.

En el Anejo 8 se describen los trabajos realizados y la interpretación de los resultados, aportándose también los datos de campo obtenidos.

En la Vega Baja, son numerosos los datos existentes gracias a campañas geofísicas realizadas con anterioridad e incluidas en el ya citado estudio de ITGE-DPA

(2000), entre las que cabe mencionar varias de SEV en los años 1972, 1986, 1994, 1995 y 1997, y una de SEDT en 1995.

2.5. CONTROL PIEZOMÉTRICO DEL ACUÍFERO Y NIVELACIÓN TOPOGRÁFICA

Para la mejora del conocimiento del régimen de funcionamiento hidrodinámico del acuífero de la Vega Media, se han llevado a cabo las siguientes actividades:

- Determinación de las características piezométricas del acuífero a partir de la definición de una red de control piezométrico temporal propia del Estudio, en la que a lo largo de algo más de un año (marzo 2000-abril 2001) se han efectuado medidas de profundidad de nivel con periodicidad mensual, quincenal o semanal, según las zonas. La red ha estado compuesta por dos grupos de captaciones:
 - Por una parte, la que se han denominado Red General del Estudio –RPG–, compuesta por 30 puntos de agua –6 pozos y 24 sondeos– distribuidos de forma homogénea por todo el acuífero, con diferente nivel de captación: 11 puntos captan el tramo acuífero somero, 13 el primer tramo de gravas, 11 los tramos de gravas profundos y 1 el acuífero triásico de la Cresta del Gallo. En la RPG se han llevado a cabo 23 campañas quincenales y 6 semanales, con un total de 798 medidas de la profundidad del nivel piezométrico, desde marzo de 2000 hasta el 9 de abril de 2001.
 - Por otro lado, la que se ha denominado Red Urbana y Periurbana, compuesta 30 por sondeos localizados en el interior o en el entorno inmediato de zonas urbanas, en la que se han realizado 12 campañas mensuales, con un total de 342 medidas. 17 captan el primer tramo de gravas y los 13 restantes el tramo acuífero somero.
- Realización de una campaña piezométrica general rápida –“flash”–, de carácter extensivo en todo el acuífero de la Vega Media y en algunos puntos localizados en acuífero limítrofes en conexión hidrodinámica con él, como es el caso del acuífero de la Cresta del Gallo. En la campaña, que se llevó a cabo entre los días 11 y 22 de diciembre de 2000, se midió la profundidad del nivel piezométrico en un total de 189 puntos de agua, incluyendo los que componen la red de control piezométrico de la Vega Media, y 17 referencias en cauces superficiales localizadas en puentes situados a lo

largo de los cauces del río Segura y de los principales azarbes – Merancho, Los Giles, Bollo Norte, Bollo Mediodía, Reguerón Chico y Landrona–. Del total de medidas piezométricas realizadas, 47 corresponden al tramo acuífero somero –TAS–, 138 al tramo acuífero profundo –TAP– y 4 a formaciones triásicas (2 en el borde norte de la Vega Media y 2 en el acuífero de la Cresta del Gallo).

- Control piezométrico del acuífero de la Vega Baja del Segura, en una red compuesta por 50 puntos de agua, con periodicidad mensual. Se han efectuado 10 campañas de control, desde mayo de 2000 a marzo de 2001, con un total de 500 medidas de profundidad del nivel piezométrico.
- Nivelación de precisión de 200 referencias en captaciones de aguas y de 48 puntos representativos de cauces superficiales.
- Realización de dos baterías de 3 sondeos puntuales, cada una, de distinta penetración en el tramo acuífero somero –denominadas BP1 y BP2–, para la identificación de gradientes verticales en el seno del acuífero.
- Realización de seis baterías de sondeos de pequeña profundidad –denominadas RA1 a RA6–, para el estudio de la relación entre el acuífero y los cauces superficiales que actúan como ejes de drenaje principales de la unidad de la Vega Media. En total se ejecutaron 24 sondeos: 5, en la batería RA1; 5, en la RA2; 4, en la RA3; 4, en la RA4; 4, en la RA 5 y 2, en la RA6.

La descripción detallada de los trabajos realizados y de la interpretación de los resultados obtenidos se incluye en el Anejo 3.

En las Figuras 2.2. y 2.3. se incluyen mapas con la situación de todas las redes y puntos de control hidrogeológico del Estudio.

2.6. RELACIÓN ENTRE EL ACUÍFERO Y LAS AGUAS SUPERFICIALES

Para el estudio de la relación entre la unidad de las vegas Media y Baja y los cauces de agua superficial se han realizado las siguientes actividades:

- Realización de 6 baterías de sondeos de pequeña profundidad, en los que se efectuaron bombeos de ensayo para determinar la conexión hidrodinámica entre el

acuífero y los cauces superficiales que actúan como ejes de drenaje principales de la unidad de la Vega Media.

- Campañas de aforos diferenciales para observar la posible pérdida o ganancia de los cauces a lo largo de su recorrido (se describen con mayor detalle al final de este apartado).
- Estudio e interpretación de los datos disponibles de las estaciones de aforo existentes.
- Controles simultáneos de la evolución de la superficie libre en el acuífero somero y del nivel del agua en los cauces, aunque esta actividad no fue efectiva porque se observó que la infiltración de los excedentes de riego daba lugar a variaciones piezométricas que enmascaraban totalmente la posible influencia de las oscilaciones de nivel de los cauces en la superficie piezométrica.
- Análisis de la relación mediante el modelo de flujo subterráneo elaborado.

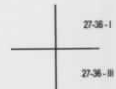
En el capítulo 7 se exponen los resultados obtenidos, que se complementan con los aspectos contemplados en los capítulos correspondientes al modelo matemático elaborado (capítulos 11 y 12) y se describen detalladamente en los Anejos 3 y 4.

2.6.1. Medidas de caudal en cauces

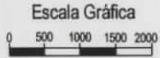
Con el objetivo de identificar y caracterizar la relación entre el tramo acuífero somero de la Vega y los ejes de drenaje superficial, tras un reconocimiento previo, se identificaron 33 secciones de control repartidas en 17 cauces, que constituyeron la Red Foronómica del Estudio –RFE.

En el periodo de tiempo comprendido entre el 28 de febrero y el 25 de abril de 2000, que incluyó la tanda de riegos con agua superficial de marzo-abril de 2000 –con objeto de obtener información sobre las características de la descarga subterránea tanto en régimen no influenciado por los riegos a manta, como en los periodos anterior y posterior a los mismos–, se llevaron a cabo 7 campañas de medidas en las que se efectuó un total de 114 aforos y 164 medidas de la conductividad eléctrica del agua.

De los resultados de las campañas y su interpretación hidrogeológica se da cuenta en el capítulo 7 y en el Anejo 3.



LEYENDA	
273720193	Puntos de la red piezométrica general
273670088	
273711001	Puntos de la red piezométrica urbana y perturbada
+	Sondeo mecánico
•	Pozo excavado
273711049/05/51	Emplazamiento de parcelas para el estudio de la infiltración
273660815	Emplazamiento de baterías de sondeos para el estudio de la relación río - acuífero
273660819	Emplazamiento de baterías de sondeos para el estudio del gradiente vertical
	Límite del acuífero de la Vega Media



Base cartográfica: Mapa topográfico nacional a escala 1: 25 000 del Instituto Geográfico Nacional

MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA	Instituto Geológico y Minero de España	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y POLÍTICA TERRITORIAL	Región de Murcia Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio
ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA			
Figura 2.3. Mapa de situación de puntos de control			

2.7. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS

Para la determinación de las características hidrodinámicas se han llevado a cabo 2 actividades:

- Reinterpretación de 8 ensayos realizados en tiempos pasados.
- Realización de dos campañas de ensayos de hidrodinámica subterránea en los tramos acuíferos somero y profundo, con un total de 54 ensayos realizados, de los que 49 han resultado interpretables:

* Para la caracterización del tramo acuífero somero se han llevado a cabo 43 ensayos, realizados en los sondeos de investigación hidrogeológica (infiltración en parcelas, relación río-acuífero, piezometría diferencial) del tramo acuífero somero y en los sondeos de objetivo geotécnico, ejecutados todos ellos en el marco del Estudio o de estudios precedentes llevados a cabo por el IGME y la Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio. Los ensayos se han distribuido de la siguiente forma:

- 14 bombeos de ensayo individuales.
- 4 bombeos de ensayo de conjunto para análisis de la relación río-acuífero en baterías construidas expresamente para ello y 10 ensayos individuales en los piezómetros de las baterías.
- 25 ensayos de vaciado y recuperación (*bail test*).

* En los tramos de gravas se llevaron a cabo un total de 6 bombeos de ensayo individuales.

Los resultados de la caracterización hidrodinámica se resumen en el capítulo 6 de la Memoria y se describen con detalle en el Anejo 4.

2.8. EVALUACIÓN DE LA RECARGA POR INFILTRACIÓN DE EXCESO DE RIEGOS

Uno de los objetivos de mayor importancia planteados en el Estudio fue precisamente el de solventar la clásica imprecisión en la evaluación de la infiltración por exceso de riegos en el acuífero de la Vega Media del Segura –AVM–, para lo cual se diseñó *ex profeso* una metodología cuyos rasgos fundamentales son los siguientes:

- Selección de 3 parcelas de riego representativas de los cultivos y del tipo de suelo del AVM. Se identificaron y acondicionaron 3 parcelas, denominadas PI1 –cultivada con cítricos y frutales–, PI2 –cultivada con cítricos– y PI3 –cultivada con herbáceos maíz y lechugas –, cuya localización se indica en la Figura 2.3.
- Realización de 3 sondeos mecánicos que captasen sólo los primeros metros del tramo acuífero somero, en cada una de las tres parcelas.
- Realización de ensayos de hidrodinámica subterránea en los sondeos para la determinación de las características hidrodinámicas del acuífero.
- Seguimiento del riego efectuado en la tanda de julio de 2000, mediante el control riguroso del volumen de agua aplicada (mediante aforos en las acequias de entrada a las parcelas) y de la evolución de la superficie libre en los tres sondeos.
- Modelización matemática de la respuesta de la superficie libre del tramo acuífero somero a la infiltración por exceso de riegos, para calcular el porcentaje de agua aplicada al riego que se incorpora al acuífero.

La descripción del acondicionamiento de las parcelas y de los significativos resultados obtenidos a partir de la interpretación y modelización matemática del flujo en dos de ellas se detalla en el Anejo 5.

2.9. EVALUACIÓN DE LA RECARGA POR INFILTRACIÓN DE LLUVIA

Con objeto de apoyar la estimación de este término del balance, tal como se ha comentado en el apartado descriptivo del control piezométrico, coincidiendo con el inicio de del periodo de mayor probabilidad de lluvias en el Sureste, se intensificó el control piezométrico en una red restringida constituida por 20 de los puntos de la red de control piezométrico general de la Vega Media y los 9 piezómetros de control de las tres parcelas piloto para el control de los riegos. Con el objetivo de identificar la respuesta a la lluvia en los distintos tramos acuíferos, se programó un seguimiento semanal, aunque la periodicidad pasó a ser diaria cuando las previsiones meteorológicas anunciaron lluvias en la Región de Murcia.

El estrecho control piezométrico permitió controlar y registrar con detalle la respuesta del tramo acuífero somero a las lluvias intensas de los días 23 a 25 de octubre de

2000. A su vez, la evolución piezométrica observada se correlacionó por deconvolución con la lluvia útil calculada por aplicación del programa THORDOS, que proporciona distintas estimaciones del valor de la lluvia útil –LU–, para series de datos diarios de precipitación y temperatura media, que dependerán de la opción que se adopte en cuanto al funcionamiento de la reserva útil del suelo, caracterizada por dos valores extremos RMIN y RMAX, que, habitualmente, son las mayores indeterminaciones que presenta este tipo de métodos, pero que en el Estudio han podido ser estimados de una forma objetiva y realista –según el proceso de modelización que se describe con detalle en el Anejo 5–, lo que ha permitido generar una serie de lluvia útil representativa de la recarga del acuífero por este concepto.

2.10. IDENTIFICACIÓN DE USOS Y EVALUACIÓN DE LAS DEMANDAS DE AGUA

La evaluación de la demanda de agua para uso industrial se ha efectuado a partir de la información recogida durante las encuestas correspondientes al inventario de puntos de agua.

Por su parte, la demanda de agua para riego en la Vega Media se ha evaluado a partir de la identificación de los tipos de cultivos y la superficie regada en el año 2000, mediante tratamiento de imágenes satélite, y del cálculo de las dotaciones de riego aplicadas, obtenidas a base de encuestas de campo, distribuidas de forma homogénea en toda la superficie del acuífero. Además, para la Vega Baja, se han incorporado las evaluaciones de superficies realizadas en un trabajo similar dentro del “Estudio de los recursos subterráneos de agua salobre en la zona sur de la provincia de Alicante” (ITGE-DPA, 2000), en el que se utilizaron imágenes del año 1998.

También se ha procedido a la reconstrucción temporal de la demanda de riego, entre los años 1985 y 2000, para los acuíferos de la Vega Media, Cresta del Gallo y Vega Baja, con la ayuda, igualmente, de técnicas de teledetección.

En el capítulo 8 de la presente Memoria y en el Anejo 6 se describen los aspectos relativos a las demandas y usos del agua. En el Anejo 9 se exponen con todo detalle la metodología y técnicas empleadas para la evaluación de las superficies de cultivo en las vegas.

2.11. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y DE LA CONTAMINACIÓN POR NITRATOS Y PLAGUICIDAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La caracterización de la calidad química de las aguas subterráneas y superficiales del Acuífero de la Vega Media y del grado de contaminación por nitratos de las primeras se ha realizado a partir de dos campañas de tomas de muestras, una de carácter general que se efectuó entre el 22/01/2001 y el 04/02/2001, y otra restringida entre los días 24 a 26 de abril de 2001 para analizar la influencia de los riegos en el contenido en nitratos de las aguas subterráneas, una vez finalizada la campaña de riegos de marzo-abril de 2001. En las dos campañas se efectuó la toma de muestras en puntos distribuidos de manera uniforme por todo el acuífero, repartidos por igual en la segunda entre los dos tramos acuíferos diferenciados en la Vega Media.

En la campaña de caracterización general se tomaron 166 muestras de agua pertenecientes al TAP (110 muestras), TAS (9 muestras) y aguas superficiales (47 muestras que la práctica totalidad son del río Segura y de la red de azarbes).

En la campaña de caracterización para nitratos se tomaron 31 muestras de agua repartida al 50 % entre el TAS y el TAP.

Además, durante la realización de los bombeos de ensayo se tomaron otras 32 muestras de agua complementarias.

Los resultados del tratamiento de los datos se describen en el capítulo 10 de la Memoria y en el Anejo 7.

Para el estudio de la posible afección de las aguas subterráneas como consecuencia de la aplicación de plaguicidas a los cultivos en superficie, se diseñó con criterios hidrogeológicos y territoriales una red de observación en la Vega Media, que consta de 37 captaciones seleccionadas prioritariamente en función de la posibilidad de ofrecer identificaciones positivas, esto es, que captasen los niveles acuíferos más superficiales y que presentasen menores espesores de la zona no saturada. Naturalmente, la red incluye algunos puntos que no cumplen estas condiciones con objeto de que la investigación no estuviera sesgada en su diseño y de que se extendiese a toda el área de estudio, y en todo caso al mayor número posible de zonas con amplia utilización de productos fitosanitarios.

Se han realizado dos campañas de muestreo, la primera en julio de 2000, coincidiendo con la época de máxima aplicación de plaguicidas, y la segunda en septiembre

del mismo año. En la primera campaña, más general, se tomaron 37 muestras, mientras que en la segunda se seleccionaron únicamente los puntos de muestreo de mayor contaminación (23 muestras), con el fin de confirmar los resultados de la primera campaña en cuanto a presencia de plaguicidas.

Asimismo, se han muestreado aguas superficiales en tres puntos a lo largo del cauce del río Segura.

Posteriormente se procedió a los correspondientes análisis en laboratorio, donde también se realizaron ensayos de adsorción en suelos del área de estudio.

La metodología empleada, los resultados analíticos y el tratamiento e interpretación de los datos se describen ampliamente en el Anejo 10 y se resumen en el capítulo 10 de la Memoria.

2.12. ELABORACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

A partir de la información hidrogeológica e hidrodinámica generada en el Estudio, se ha elaborado el balance hídrico del acuífero de la Vega Media para el periodo abril 2000-marzo 2001, cuyos pormenores se describen en el capítulo 9 de la presente Memoria.

2.13. MODELIZACIÓN DE LA UNIDAD VEGA MEDIA-VEGA BAJA DEL SEGURA

Con objeto de integrar y dar coherencia hidrogeológica a toda la información preexistente y la que se ha ido obteniendo como consecuencia de las actividades desarrolladas en este Estudio, se ha elaborado un modelo numérico del flujo subterráneo de la totalidad de la unidad de la Vega Media y Baja del Segura.

En primer lugar se ha realizado un modelo hidrogeológico conceptual, esencial para plantear adecuadamente un modelo numérico del flujo subterráneo que permita simular y calibrar diversas hipótesis de funcionamiento hidrodinámico.

A continuación se ha desarrollado el modelo numérico, en el que se han integrado todos los datos, estudios y modelos numéricos que se habían elaborado anteriormente tanto en la Vega Media (IGME-CTOT, 2001) como en la Vega Baja (ITGE-DPA, 1996; ITGE-DPA, 1997; ITGE-DPA, 2000). Su realización se ha llevado a cabo en dos fases: calibración en régimen estacionario (periodo 1973-75) y calibración del modelo en régimen transitorio

(octubre de 1994 a septiembre de 2001, con paso de tiempo mensual). El código numérico empleado ha sido el Modflow en su versión Visual Modflow 2.7.

En los capítulos 11 y 12 de la Memoria se desarrolla extensamente el modelo hidrogeológico conceptual y el modelo numérico, respectivamente, de la unidad Vegas Media y Baja del Segura.

2.14 ELABORACIÓN DE LAS DIRECTRICES GENERALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN PLAN PARA HACER FRENTE A LAS SEQUÍAS

Finalmente, además de la interpretación global de toda la información de carácter hidrogeológico, se ha efectuado un análisis de las series históricas disponibles de volúmenes embalsados en el sistema Fuensanta-Cenajo, dotaciones de riego con agua superficial, recarga del AVM por infiltración de lluvia útil y se ha desarrollado una sistemática para la definición e identificación de sequías.

A partir de lo anterior, se han elaborado las directrices básicas para hacer frente a periodos de sequía, fundamentalmente a base de bombeos de agua subterránea que complementen las dotaciones de riego con aguas superficiales y la posibilidad de utilizar aguas salobres desaladas (capítulo 13 de la Memoria).

Por último, y con el fin de llevar a cabo un seguimiento efectivo de la evolución hidrodinámica e hidroquímica de la unidad de las vegas Media y Baja en los eventuales episodios de bombeo intenso, que permitiera en su caso tomar medidas correctoras en tiempo real, se propone una red de control hidrogeológico compuesta por puntos repartidos entre los tramos acuíferos somero y profundo.

Dicha red también tendría por finalidad la consecución de datos para soportar las necesidades de información del modelo numérico, con el que se podrían fundamentar planes de explotación, perímetros de protección y, en general, cuantas acciones puedan derivar de la programación prevista en el Plan Hidrológico.

En el capítulo 14 se indica la situación y principales características de los puntos que se proponen para las redes de control hidrogeológico.

2.15. DIGITALIZACIÓN E INFORMATIZACIÓN

Se ha procedido a la informatización de toda la documentación del Estudio (Memoria, Anejos y Apéndices), tales como textos, datos, fichas, análisis, esquemas, etc., que se entregan en los correspondientes formatos de textos, bases de datos y hojas de cálculo junto con el ejemplar en papel impreso a color.

Todos los mapas, planos y figuras generados están georreferenciados y digitalizados, habiendo sido elaborados con MicroStation y Surfer, por lo que pueden ser integrados para su almacenamiento y tratamiento en los sistemas de información geográfico de la Confederación Hidrográfica del Segura y del Instituto Geológico y Minero de España.

En el caso específico de los trabajos de Teledetección, se ha empleado el SIG Arc/Info, aportándose las imágenes clasificadas.

De igual manera, todos los archivos informáticos correspondientes al modelo numérico de flujo se entregan en formato compatible con los sistemas de la CHS y del IGME, para su integración en ellos, lo que permite su continua gestión, actualización o modificación.

3. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La actividad inicial del Estudio ha consistido en la recopilación y análisis de toda la información litológica, hidrogeológica, piezométrica e hidrodinámica reflejada en los siguientes documentos técnicos:

- **"Investigación hidrogeológica de la cuenca baja del Segura. Informe técnico 6. Las vegas Media y Baja del Segura. Memoria".** Instituto Geológico y Minero de España – IGME– e Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario –IRYDA–; 1978. Referencia VMyB-1.
- **"Evolución piezométrica de los acuíferos en la cuenca baja del Segura y costeras de Alicante. Análisis del periodo 1971-1981".** IGME, 1983
- **"Mapa geotécnico y de riesgos geológicos para ordenación urbana de Murcia. E: 1/25.000 - 1/5.000. Memoria"** (Capítulo 3., págs. 17-35). IGME; Madrid, 1984. Referencia VMyB-2.
- **"Estudio hidrogeológico de la sierra de Carrascoy".** IGME, 1986.
- **"Informe técnico para la declaración provisional de acuífero sobreexplotado relativa al acuífero de la Cresta del Gallo (Murcia)".** IGME, 1988.
- **"Explotación, usos, demandas y propuesta de normas de actuación de las aguas subterráneas de la unidad hidrogeológica Cresta del Gallo (Murcia)".** IGME, 1989.
- **"Proyecto de construcción del encauzamiento del río Segura entre Murcia y Beniel. Planos del trazado del río Segura (Tramo 1º: Contraparada-Murcia) "**. MOPU-CHS, 1990.
- **"Proyecto de construcción del encauzamiento del río Segura entre Murcia y Beniel. Planos del trazado del río Segura (Tramo 2º: Murcia capital-límite de provincia)".** MOPU-CHS, 1990.
- **"Racionalización y optimización de las redes de control hidrogeológico en la cuenca del Segura. Tomo VI/VII: Unidad hidrogeológica Segura-Guadalentín".** IGME, 1990. Referencia VMyB-3.
- **"Actualización del inventario de puntos de agua y explotación en el acuífero de la Vega Media del Segura (Año 1990)".** Instituto Tecnológico Geominero de España – IGME–; diciembre de 1990. Referencia VMyB-4.

- **"Mapa neotectónico, sismotectónico y de actividad de fallas de la Región de Murcia"**. IGME y Consejería de Política Territorial y Obras Públicas –CPTOP– de la Región de Murcia. Madrid, 1993.
- **"Mapa geológico de la Región de Murcia a escala 1:200 000"**. IGME y CPTOP de la Región de Murcia. Madrid, 1993.
- **"Mapa guía del medio físico regional y recursos naturales de la Región de Murcia"**. IGME y CPTOP de la Región de Murcia. Madrid, 1994.
- **"Informe hidrogeológico sobre los efectos de la sequía en los edificios de la ciudad de Murcia"**. Universidad de Murcia. Instituto del Agua; Murcia, noviembre de 1995. Referencia VMyB-5.
- **"Consideraciones acerca del descenso del nivel freático en Murcia"**. Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Demarcación de Murcia; Murcia, 1995. Referencia VMyB-6.
- **"Evolución piezométrica de Murcia. Consecuencias geotécnicas"**. (Tesis del Master de Ingeniería Geológica; Universidad Complutense de Madrid). Andrés Puche Muñoz; 1996. Referencia VMyB-7.
- **"Mapas de peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Murcia a escala 1:5 000. Columnas litológicas y plano de situación de sondeos (1ª campaña)"**. IGME; 1997. Referencia VMyB-8.
- **"Informe de los bombeos realizados en el sondeo profundo ubicado en el paraje «Malecón». Murcia"**. IGME; Madrid, abril 1998. Referencia VMyB-9.
- **"Estudio geotécnico para el análisis, corrección y previsión de patologías derivadas de los cambios en el subsuelo de Murcia. Columnas litológicas de sondeos (2ª campaña)"**. IGME; 1998. Referencia VMyB-10.
- **"Junta de explotación de los ríos Segura, Mundo y Quípar. Informe"**. Confederación Hidrográfica del Segura –CHS–; Murcia, 27 de febrero de 1998. Referencia VMyB-11.
- **"Nota técnica sobre los ensayos realizados en los sondeos n^{os} 1 y 2" –El Carmen– . Murcia"**. IGME, enero de 1999. Referencia VMyB-12.

- **"Estudio geotécnico para el análisis, prevención y corrección de la patología derivada de los cambios en el subsuelo de la ciudad de Murcia. Estudio hidrogeológico: Memoria y Anexos"**. IGME y Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio –COPOT– de la Región de Murcia. Murcia, 1999. Referencia VMyB-13.
- **"Neotectónica y tectónica activa en la depresión pliocuaternaria del Segura (Murcia-Orihuela)"**. Rodríguez Estrella, T.; Hernández Enrile, J.L. y Ibarquien, J. 1^{er} Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Murcia, 1999. Referencia VMyB-14.
- **"Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura. Memoria y Anejos 1 –Recursos Hídricos–, 2 –Demanda Urbana, Industrial y Servicios– y 3 –Demanda Agraria–"**. CHS. Murcia, 1999. Referencia VMyB-15.
- **"Explotación y control de aguas subterráneas urbanas en el municipio de Murcia"**. Fábregas González, Javier. Jornadas Técnicas sobre Aguas Subterráneas y Abastecimiento Urbano. Madrid, 2000. Referencia VMyB-16.
- **"Estudio Geotécnico del Área Metropolitana de Murcia"**. IGME y COPOT. Murcia, 2001. Referencia VMyB-17.

De los documentos de mayor interés para los objetivos del Estudio –referenciados VMyB-1 a 17–, se adjunta en páginas siguientes una detallada reseña en forma de ficha bibliográfica.

Además, se ha analizado y utilizado la información que se indica seguidamente:

- Archivo de puntos de agua del IGME: ficheros y listados AGMA, AGCA, AGPZ, ABLI, AGEB y AGLI, y fichas de inventario de puntos de agua.
- Planos de base a escala 1:5 000 de la CTOT de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM), correspondientes a las hojas:
 - Hoja 912: fracción 8-8.
 - Hoja 913: fracciones 1-7, 1-8, 2-6, 2-7, 2-8, 3-5, 3-6, 3-7, 3-8, 4-4, 4-5, 4-6, 4-7, 4-8, 5-5, 5-6, 5-7, 5-8, 6-7, 6-8.
 - Hoja 933: fracciones 7-1, 7-2, 7-3, 7-4, 8-1, 8-2, 8-3, 8-4.

- Hoja 934: fracciones 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 3-1, 3-2, 3-3, 4-1, 4-2, 5-1.
- Base de datos de inventario, pozos sequía, registros y aprovechamientos, y planos del inventario de puntos de agua realizado la Confederación Hidrográfica del Segura –CHS– en las hojas 1:5 000 siguientes: 913-1-8, 913-2-8, 913-3-8, 934-1-1, 934-1-2, 934-2-1, 934-2-2, 934-2-3, 934-3-1 y 934-3-2.
- Red estatal de carreteras de Murcia. Fotos aéreas. Zonas de cultivos. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (MOPT).
- "Encauzamiento del río Segura desde la Contraparada hasta Guardamar del Segura y recuperación de sus sotos". MOPTMA, CHS.
- Instituto Meteorológico Nacional (INM). Se ha consultado la información correspondiente a las estaciones termopluviométricas situadas en la Vega Media, entre las que se seleccionó como representativa la núm. 7182, cuya denominación ha pasado recientemente de "Murcia-Vistabella" a "Murcia-Alfonso X".
- Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento –EMUASA– de Murcia. Información referente a columnas litológicas atravesadas por sondeos, datos de explotación de aguas subterráneas, controles piezométricos, calidad del agua subterránea y diversa información cartográfica relativa al término municipal de Murcia.
- 99 estudios geotécnicos repartidos por toda la Vega Media, recopilados por el equipo técnico de Geotecnia del IGME.

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-1	Clave IGME:
Título del documento: "Investigación hidrogeológica de la cuenca baja del Segura. Informe Técnico 6: Las vegas Media y Baja del Segura. Memoria"	
Título del documento general del que forma parte: "Investigación hidrogeológica de la cuenca baja del Segura"	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Regiones de Murcia y Valencia
Provincia: Murcia y Alicante	Municipio:
Autor: Instituto Geológico y Minero de España -IGME- e Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario -IRYDA-	
Editorial/Congreso:	
Lugar y/o fecha de edición: 1978	
Organismo Promotor:	
Extensión: 243 págs., 52 figs.	
Palabras clave: PIAS. Climatología. Hidrología. Geología. Demandas. Hidrogeología. Interfase. Hidrodinámica subterránea. Geofísica. Sondeos.	
<p>Resumen del contenido: Se trata del informe hidrogeológico básico para la Vegas Media y Baja del Segura. Su contenido es el clásico de los trabajos que el IGME realizó en los años 70 y primeros 80 en el marco del entonces denominado PIAS. Comienza con un encuadre geográfico y económico de la zona cubierta por el estudio –centrado, como es lógico, en sus características agrícolas–, al que sigue una caracterización hidroclimática de la misma (régimen termopluviométrico, tipo climático, etc.) y una descripción de su hidrología superficial (red hidrográfica, acequias y azarbes, régimen de aportaciones, regulación). La síntesis geológica del entorno de las dos vegas proporciona un útil encuadre del relleno aluvial. El capítulo 6., Situación hidráulica actual y perspectivas, incluye un análisis de contraste de las demandas de agua para riego frente a las disponibilidades hídricas reales, al que sigue un resumen de las perspectivas de futuro vistas desde los comienzos de los años 70, a pesar de lo cual conservan la mayor parte de su vigencia: algunas de las medidas recomendadas entonces –revestimiento de acequias, por ejemplo– han sido llevadas ya a la práctica; otras –utilización del acuífero aluvial y reordenación del sistema de riegos– siguen pendientes.</p> <p>El capítulo 7., Hidrogeología, constituye el elemento central de este notable informe. Su esquematización del potente relleno aluvial en dos o más tramos acuíferos (libre y mediocre, el más somero, semiconfinados los inferiores), según el tramo de vega en el que nos situemos, y la descripción de su funcionamiento hidrodinámico siguen vigentes en lo esencial. Mención especial merece dentro de este capítulo la descripción y caracterización de una intrusión marina "fósil" localizada en la Vega Baja, entre Almoradí-Dolores y la sierra de Callosa.</p> <p>Quizá la aportación más genuina y objetiva que el estudio reseñado supone para el conocimiento de la hidrogeología del aluvial estriba en los sondeos de investigación y en los ensayos de hidrodinámica subterránea realizados.</p>	
<p>Valoración: A pesar de los años transcurridos desde que concluyó su realización, sigue representando la información de referencia global sobre la hidrogeología de las Vegas Media y Baja del Segura: con posterioridad al mismo sólo se han llevado a cabo estudios y/o controles de carácter parcial –por su temática y/o por su ámbito geográfico–, sin que se haya emprendido todavía una muy necesaria actualización hidrogeológica global. De cara a los objetivos del estudio que nos ocupa, su interés consiste fundamentalmente en que aporta un excelente encuadre hidrogeológico y alguna información de carácter puntual (sondeos de investigación realizados a rotación con tricono, y ensayos de hidrodinámica subterránea, principalmente).</p>	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-2	Clave IGME:
Título del documento: "Mapa geotécnico y de riesgos geológicos para ordenación urbana de Murcia. E: 1/25.000 - 1/5.000. Memoria" (Capítulo 3., págs. 17-35).	
Título del documento general del que forma parte:	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia
Provincia: Murcia	Municipio: Murcia
Autor: Instituto Geológico y Minero de España -IGME-	
Editorial/Congreso:	
Lugar y/o fecha de edición: Madrid. 1984	
Organismo Promotor:	
Extensión: 19 págs., 14 figs.	
Palabras clave: Climatología. Meteorología. Balances hídricos. Morfología. Drenaje natural. Riegos. Sistema de drenaje. Avenidas. Acuíferos.	
<p>Resumen del contenido: Del conjunto del Estudio, se ha utilizado la introducción al capítulo 3., "Factores naturales con incidencia constructiva", y su apartado 3.1., "Factores físico-geográficos". El apartado 3.1.1., "Climatología y meteorología", incluye una caracterización hidroclimática de 13 estaciones meteorológicas representativas del extenso término municipal de Murcia y su entorno (Vegas Media y Alta, Guadalentín, Campo de Cartagena), en todas las cuales se aprecian un marcado déficit de humedad y un régimen torrencial de lluvias, dentro de un clima mediterráneo, cálido y seco; en el apartado 3.1.2., "Morfología", el documento presenta y describe esquemáticamente las distintas regiones naturales diferenciables en el término municipal de Murcia. El apartado 3.1.3., "Hidrología superficial", contiene una notable descripción resumida de la red de drenaje natural (traza, pendiente y cuenca vertiente a sus cauces), los sistemas de riego y de drenaje establecidos (azudes, acequias mayores y menores, azarbes, azarbetas, elevaciones, prácticas de riego, etc.) y una interesante reseña histórica de las inundaciones registradas en la Vega Media.</p> <p>El apartado 3.1.4., "Hidrología subterránea", contiene un breve y esquemático resumen de las características hidrogeológicas de los principales acuíferos representados en el término de Murcia (vegas del Segura, Bajo Guadalentín, Sierra de Carrascoy y Campo de Cartagena), de cuya brevedad y esquematismo da medida el hecho de que sólo ocupe una página y media.</p>	
<p>Valoración: Aunque la parte analizada del documento reseñado constituye una excelente síntesis climática e hidrológica del término municipal de Murcia y su entorno natural, es evidente su escaso interés de cara a los objetivos del presente estudio, que se desarrolla a una escala muy detallada.</p>	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-3	Clave IGME:
Título del documento: "Racionalización y optimización de las redes de control hidrogeológico en la cuenca del Segura. Tomo VI/VII: Unidad hidrogeológica Segura-Guadalentín"	
Título del documento general del que forma parte: "Racionalización y optimización de las redes de control hidrogeológico en la cuenca del Segura"	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Regiones de Murcia y Valencia
Provincia: Murcia y Alicante	Municipio:
Autor: Instituto Geológico y Minero de España -IGME-	
Editorial/Congreso:	
Lugar y/o fecha de edición: octubre, 1990	
Organismo Promotor:	
Extensión: 66 págs., 43 figs.	
Palabras clave: Hidrogeología. Fosa tectónica. Red piezométrica temporal. Red piezométrica espacial. Red de calidad.	
Resumen del contenido: El acuífero de las Vegas Media y Baja del Segura es uno de los cuatro comprendidos en el ámbito geográfico al que se refiere el documento reseñado, y de él se hace en el apartado 2.2. una excelente síntesis hidrogeológica, en la que se recogen la información aportada por los trabajos de realización posterior al reflejado en el documento VMyB-1 e, incluso, aportaciones propias (isopiezas correspondientes al mes de marzo de 1988). El documento propone el establecimiento de una red de control piezométrico temporal compuesta por 8 puntos, una red piezométrica espacial (para el trazado de isopiezas) formada por 35 puntos, y una red de calidad de 9 puntos (3 en el tramo acuífero superficial y 6 en el profundo superior).	
Valoración: Aunque su escala de trabajo es muy inferior al detalle del estudio que nos ocupa, el documento reseñado supone un muy útil complemento para la información básica reflejada en el documento VMyB-1. Las evoluciones piezométricas registradas entre los años 1970 y 1988 en todos los piezómetros controlados en el acuífero ponen de manifiesto la evolución hidrodinámica del mismo en régimen natural o no influenciado y la perturbación que en él provocaron los bombeos efectuados para paliar los efectos de la sequía de 1983-84.	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-4	Clave IGME:
Título del documento: "Actualización del inventario de puntos de agua y explotación en el acuífero de la Vega Media del Segura (Año 1990)"	
Título del documento general del que forma parte: "Estudios hidrogeológicos para el apoyo a las Administraciones Públicas en la cuenca del Segura"	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia
Provincia: Murcia	Municipio:
Autor: Instituto Geológico y Minero de España -IGME-	
Editorial/Congreso:	
Lugar y/o fecha de edición: diciembre, 1990	
Organismo Promotor:	
Extensión: 10 págs., 2 anexos de fichas de inventario, 1 plano de situación de puntos de agua.	
Palabras clave: Acuífero. Vega Media del Segura. Explotación. Inventario de puntos de agua. Sequía. Regadío. Ganadería. Industria. Sondeos surgentes.	
<p>Resumen del contenido: El documento da cuenta de la metodología y los resultados del trabajo de evaluación de la explotación realizada en la Vega Media del Segura (incluyendo la Unidad hidrogeológica "Cresta del Gallo") durante el año 1990. Los puntos considerados para dicho cálculo fueron los 148 que se encontraban en explotación según el inventario realizado en 1972-73, más 49 de nuevo inventario (sondeos de auxilio contra la sequía autorizados en 1983-84, entre otros). En total, se ha actualizado o estimado la explotación realizada en 108 puntos durante el año de referencia, que en conjunto ascendió a 4,0 hm³: 2,1 hm³ para riego, 1,8 hm³ para usos industriales y 0,1 hm³ para ganadería; a ellos se añadirían, como estimación "orientativa", otros 4,0 hm³/año correspondientes a la descarga de sondeos surgentes.</p> <p>La explotación en el casco urbano de Murcia durante 1990 se evaluó en 115 000 m³. Dicha cifra está basada en los datos obtenidos en 24 sondeos mediante encuesta directas, cuya explotación conjunta fue de 72 000 m³ en 1990, y en la extrapolación proporcional realizada, a partir de los anteriores, para otros 15 puntos que no pudieron ser visitados.</p> <p>El documento concluye con la relación del volumen de agua bombeada en cada punto durante el año 1990 y el destino de la misma.</p>	
Valoración: La información reseñada sirve de referencia para posteriores actividades de actualización del inventario de puntos de agua y evaluaciones de la explotación de agua subterránea en la Vega Media.	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-5	Clave IGME:
Título del documento: "Informe hidrogeológico sobre los efectos de la sequía en los edificios de la ciudad de Murcia"	
Título del documento general del que forma parte:	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia
Provincia: Murcia	Municipio: Murcia
Autor: Universidad de Murcia. Instituto del Agua.	
Editorial/Congreso:	
Lugar y/o fecha de edición: 1978	
Organismo Promotor:	
Extensión: 11 págs., 11 figs., 1 plano.	
Palabras clave: Nivel freático. Sequía. Asentamiento diferencial. Cimentación. Deseccación. Sistema acuífero. Vegas Media y Baja del Segura. Balance hidrogeológico. Superficie piezométrica. Recarga artificial.	
<p>Resumen del contenido: Después de una introducción dedicada a presentar el informe elaborado y describir la naturaleza de los problemas estructurales registrados en edificaciones con distinto tipo de cimentaciones, el documento incluye un resumen de la síntesis hidrogeológica establecida por el IGME para el sistema acuífero de las Vegas Media y Baja del Segura a partir de los estudios y controles periódicos realizados por dicho organismo desde los primeros años 70. En dicho marco, el documento reseñado describe los efectos de la sequía iniciada en 1992: fuerte disminución de la recarga por infiltración de excedentes de riego y no menos importante aumento de los bombeos de agua subterránea para usos diversos (riego, calefacción-refrigeración, drenajes urbanos, etc.).</p> <p>A partir de las medidas de nivel piezométrico efectuadas en sus sondeos por la empresa de abastecimiento urbano de Murcia, el documento expone una interpretación esquemática sobre el funcionamiento hidrodinámico del sistema acuífero en el entorno de la ciudad y, basándose en ella, explica las causas del descenso piezométrico registrado a partir de 1993. Aunque el soporte cuantitativo de dicha explicación sea un tanto confuso, la misma resulta incuestionable en cuanto a las causas del descenso piezométrico: reducción de la recarga y aumento de los bombeos.</p> <p>Como aportación más relevante, el documento incluye una estimación global y desglosada por usos de los bombeos de agua subterránea que se realizaron en 1994-95 en la ciudad de Murcia y sus alrededores $-29,6 \text{ hm}^3/\text{año}$, aproximadamente, de los que $22 \text{ hm}^3/\text{año}$ corresponden a extracciones en los denominados "pozos-sequía" y $7,6 \text{ hm}^3/\text{año}$ a bombeos en la zona urbana y periurbana-, aunque la misma debe ser tomada con reservas por no venir acompañada de ninguna justificación. En sus conclusiones, el documento estima en 7 m el descenso piezométrico registrado en el bienio 1994-95, que "puede ser el causante de algunos de los problemas estructurales detectados" en edificios de la ciudad. Entre sus recomendaciones destaca la de que se estudie la posibilidad de llevar a cabo una recarga artificial del acuífero aluvial con aguas residuales, para lo que aporta algunas ideas de viabilidad discutible.</p>	
Valoración: Su interés práctico de cara a los fines del estudio hidrogeológico que nos ocupa es, en conjunto, muy limitado, porque no se aporta ninguna justificación para su estimación del bombeo conjunto de agua subterránea realizado en 1994-95 en el casco urbano de Murcia y sus inmediaciones, que supone la importante cifra de $7,6 \text{ hm}^3/\text{año}$.	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-6	Clave IGME:
Título del documento: "Consideraciones acerca del descenso del nivel freático en Murcia"	
Título del documento general del que forma parte:	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia
Provincia: Murcia	Municipio:
Autor: Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Demarcación de Murcia	
Editorial/Congreso:	
Lugar y/o fecha de edición: Murcia, 1995	
Organismo Promotor:	
Extensión: 9 págs., sólo texto	
Palabras clave: Inundaciones. Segura. Nivel freático. Sequía. Agricultura. Edificaciones. Aguas subálveas. Mecánica del suelo.	
<p>Resumen del contenido: El documento comienza por un preámbulo discutible ("el descenso del nivel freático ... se debe ... a la ausencia de inundaciones", etc.). De mayor interés resulta la reseña de descensos piezométricos registrados en distintos sectores de la ciudad de Murcia: aunque la información aportada (procedente de profesionales de la Mecánica del Suelo) corresponda a periodos de referencia dispares, parece deducirse un descenso medio de 1,1 a 1,8 m/año en la primera mitad de los años 90, con un valor medio acumulado de unos 6 m. Sigue una esquemática descripción de las características del subsuelo en el casco urbano, especialmente centrada en la "llanura de inundación" del Segura, en la que diferencia tres niveles: "relleno artificial" (1-3 m de espesor), "limos arcillosos" (≈ 8 m) y "gravas" (cuyo espesor no cuantifica).</p> <p>El documento describe el doble efecto geotécnico del descenso de la superficie libre en el tramo acuífero superficial (limos arcillosos) –descenso del empuje hidrostático y compactación del suelo desaturado– en la estabilidad de las cimentaciones de los edificios, especialmente en las someras.</p> <p>En sus conclusiones, los autores del documento insisten en su peculiar visión sobre las causas –la desaparición de las inundaciones, principalmente– del descenso piezométrico registrado en el entorno de Murcia, entre las que, según ellos, el papel de los bombeos en el "subálveo" sería insignificante; en consecuencia, dan prioridad a la aplicación de medidas correctoras de carácter geotécnico y recomiendan que se actúe sobre las cimentaciones. Sin embargo, no por ello dejan de recomendar –"para evitar daños futuros"– que se impidan los bombeos en la "capa freática".</p>	
<p>Valoración: Se trata de un documento de escaso interés práctico de cara a los fines del estudio hidrogeológico que nos ocupa, en el que, en todo caso, se podría destacar la síntesis litológica de la denominada "llanura de inundación" –realista aunque muy incompleta– y la información que aporta sobre el descenso piezométrico registrado en Murcia en la primera mitad de los años 90.</p>	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-7	Clave IGME:
Título del documento: "Evolución piezométrica de Murcia. Consecuencias geotécnicas" (Tesis del Master de Ingeniería Geológica)	
Título del documento general del que forma parte:	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia
Provincia: Murcia	Municipio: Murcia
Autor: Andrés Puche Muñoz	
Editorial/Congreso:	
Lugar y/o fecha de edición: 1996	
Organismo Promotor: Universidad Complutense de Madrid	
Extensión: 91 págs., 28 figs., 2 fotografías.	
Palabras clave: Geotecnia. Niveles piezométricos. Mecánica de suelos. Cimentaciones.	
<p>Resumen del contenido: El informe analiza las consecuencias geotécnicas de las variaciones piezométricas registradas en el conjunto acuífero aluvial sobre el que está situada la ciudad de Murcia, apoyándose para ello en una extensa documentación bibliográfica (63 documentos más o menos relativos a dicha cuestión). Con ese objeto, una vez descrito el marco hidrogeológico del término municipal de Murcia (que básicamente procede del documento MU-1), se analiza la información disponible sobre los descensos piezométricos registrados en el casco urbano – observaciones propias y medidas referidas en el documento MU-5–, para terminar estimando en 3-5 m la cuantía de los mismos durante los años 1994-95. Analiza también las evoluciones registradas en 4 piezómetros del IGME– localizados en el entorno de Murcia.</p> <p>El informe reseñado continúa con una descripción de las características geotécnicas del subsuelo de Murcia, en el que distingue los mismos tramos que el documento MU-5. A partir de ahí, se exponen las consecuencias geotécnicas del descenso piezométrico registrado: cambios en las propiedades de los suelos y efectos sobre las cimentaciones (según el tipo y la profundidad de las mismas).</p> <p>Para terminar, el informe reseñado describe muy somera y genéricamente las "patologías observadas" en una parte de los edificios de la ciudad y los tipos de cimentación más afectadas.</p>	
<p>Valoración: Su naturaleza básicamente geotécnica hace que el informe reseñado caiga fuera de los objetivos y necesidades del presente estudio; desde el punto de vista hidrogeológico, no aporta ninguna información relevante.</p>	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-8	Clave IGME:
Título del documento: "Columnas litológicas y plano de situación de sondeos (1ª campaña)"	
Título del documento general del que forma parte: "Mapas de peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Murcia a escala 1:5 000"	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia
Provincia: Murcia	Municipio: Varios
Autor: Instituto Geológico y Minero de España -IGME-	
Editorial/Congreso:	
Lugar y/o fecha de edición: 1997	
Organismo Promotor:	
Extensión: 42 esquemas y 1 plano.	
Palabras clave:	
Resumen del contenido: El documento reseñado incluye los esquemas de 15 sondeos de objetivo geotécnico, pero con información litológica detallada, perforados hasta penetrar en el primer tramo de gravas del relleno aluvial de la Vega Media en el casco urbano de Murcia y sus inmediaciones.	
Valoración: Su interés de cara al Estudio es muy elevado, por la detallada información que aporta sobre la litología del tramo acuífero somero y la parte superior del primer tramo de gravas, y sobre el espesor del primero.	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-9	Clave IGME:
Título del documento: "Informe de los bombeos realizados en el sondeo profundo ubicado en el paraje «Malecón». Murcia". Título del documento general del que forma parte:	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia
Provincia: Murcia	Municipio: Murcia
Autor: Instituto Geológico y Minero de España -IGME- Editorial/Congreso: Lugar y/o fecha de edición: Madrid, abril de 1999 Organismo Promotor: Extensión: 4 págs., 4 figs.	
Palabras clave: Ensayos hidrodinámicos.	
Resumen del contenido: El informe da cuenta del ensayo de bombeo realizado por el IGME el 25/3/1998 en el sondeo 2737-1-1003 ("Malecón"), del que incluye las medidas de nivel piezométrico y de caudal correspondiente al descenso de 600 min de duración; también se indican las medidas de profundidad (estabilizadas) de la superficie libre en el tramo acuífero superficial, efectuadas en el sondeo somero realizado a escasos metros del de bombeo. El ensayo se presta a una muy dudosa interpretación.	
Valoración: Los datos de caudal y de evolución piezométrica incluidas en el informe reseñado no permiten efectuar una estimación fiable de la transmisividad del primer tramo de gravas y, a partir de ella, una aproximación aceptable al valor de su permeabilidad horizontal media.	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-10	Clave IGME:
Título del documento: "Columnas litológicas (2ª campaña)".	
Título del documento general del que forma parte:	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia
Provincia: Murcia	Municipio: Murcia
Autor: Instituto Geológico y Minero de España -IGME-	
Editorial/Congreso:	
Lugar y/o fecha de edición: 1998	
Organismo Promotor:	
Extensión: 18 esquemas	
Palabras clave:	
Resumen del contenido: El documento reseñado incluye los esquemas de 12 sondeos de objetivo geotécnico, pero con información litológica detallada, perforados hasta penetrar en el primer tramo de gravas del relleno aluvial de la Vega Media en el casco urbano de Murcia y sus inmediaciones.	
Valoración: Su interés de cara al estudio es notable, por la detallada información que aporta sobre la litología del tramo acuífero freático y la parte superior del primer tramo de gravas, y sobre el espesor del primero, en el entorno de la ciudad de Murcia.	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-11	Clave IGME:
Título del documento: "Junta de explotación de los ríos Segura, Mundo y Quípar. Informe".	
Título del documento general del que forma parte:	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia
Provincia: Murcia	Municipio: Murcia
Autor: Confederación Hidrográfica del Segura –CHS–	
Editorial/Congreso:	
Lugar y/o fecha de edición: Murcia, 27 de febrero de 1998	
Organismo Promotor:	
Extensión: 6 págs., 3 figs.	
Palabras clave: Desembalses. Regadíos. Sequía.	
Resumen del contenido: Se trata de un documento de la Junta de Explotación sobre los desembalses previstos para la campaña de riegos de 1997-98, que se enmarcan en una descripción de las previsiones de las aportaciones con las que se contó en los años hidrológicos precedentes y de los consumos reales observados.	
Valoración: Su interés de cara al Estudio radica en que las campañas de riego sirven como referencia para el análisis de las evoluciones piezométricas observadas en el año 1997.	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-12	Clave IGME:
Título del documento: "Nota técnica sobre los ensayos realizados en los sondeos n ^{OS} 1 y 2" –El Carmen–. Murcia"	
Título del documento general del que forma parte:	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia
Provincia: Murcia	Municipio: Murcia
Autor: Instituto Geológico y Minero de España –IGME–	
Editorial/Congreso:	
Lugar y/o fecha de edición: Enero de 1999	
Organismo Promotor:	
Extensión: 12 págs., 4 figs.	
Palabras clave: Perforaciones. Parámetros hidrogeológicos. Pruebas de bombeo. Jacob.	
<p>Resumen del contenido: El informe incluye las medidas de nivel piezométrico y de caudal correspondientes a los ensayos de bombeo realizados por el IGME en dos los sondeos perforados y equipados por él en distintos emplazamientos de la ciudad de Murcia, en el marco de los trabajos del presente Estudio. En este caso se trata de los sondeos "Murcia N-1-II" y "N-3-T", que corresponden a los sondeos profundo –el que capta el primer tramo de gravas– y superficial, respectivamente, de la pareja de sondeos "Ferrocarril" (C), según denominación de la Oficina de Murcia del IGME. Se les ha asignado el número de inventario oficial 2737-1-1000.</p> <p>En el sondeo profundo se realizaron 2 descensos independientes, que resultan interpretables (aunque con ciertas reservas, derivadas de las condiciones de captación); de sus resultados se da cuenta en el capítulo 8. de este informe. El ensayo realizado en el sondeo superficial resultó fallido debido, seguramente, a haberse llevado a cabo a un caudal variable y excesivo.</p>	
<p>Valoración: Los datos de caudal y de evolución piezométrica incluidas en el informe reseñado permiten efectuar una estimación aceptable de la transmisividad del primer tramo de gravas y una aproximación al valor de su permeabilidad horizontal media.</p>	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-13	Clave IGME:
Título del documento: "Estudio geotécnico para el análisis, prevención y corrección de la patología derivada de los cambios en el subsuelo de la ciudad de Murcia". Estudio hidrogeológico: Memoria y Anexos	
Título del documento general del que forma parte: "Estudio geotécnico para el análisis, prevención y corrección de la patología derivada de los cambios en el subsuelo de la ciudad de Murcia"	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia
Provincia: Murcia	Municipio: Murcia
Autor: Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio del Gobierno de la Región de Murcia e Instituto Tecnológico Geominero de España –IGME–	
Editorial/Congreso:	
Lugar y/o fecha de edición: 1999	
Organismo Promotor:	
Extensión: 109 págs., 40 figs., 9 planos	
Palabras clave: Subsistencia. Niveles acuíferos. Explotación por bombeo. Evolución piezométrica. Hidrodinámica subterránea. Sequía. Desaturación.	
<p>Resumen del contenido: El informe recoge los resultados de los estudios de caracterización hidrogeológica e hidrodinámica llevados a cabo en el sector de acuífero de la Vega Media correspondiente al entorno urbano de la ciudad de Murcia, con el objetivo de analizar la influencia del régimen de funcionamiento hidrodinámico del acuífero sobre la subsidencia registrada en el periodo de sequía 1994-1995. El estudio se centra en los dos tramos litológicos superficiales de la vega: el tramo superficial limoso-arcilloso, que constituye un mediocre acuífero libre, pero de gran importancia en el conjunto del sistema ya que en él se efectúan las transferencias hídricas con el exterior (recarga por infiltración, descarga a los cauces superficiales), y el primer tramo de gravas, que constituye un nivel acuífero semiconfinado que es el que soporta la mayor parte de los bombeos.</p> <p>El estudio incluyó una actualización de las extracciones de agua subterránea por bombeo, control y análisis de la evolución piezométrica tanto en puntos con historiales como en una red de control de los 2 tramos acuífero considerados definida expresamente, actualización de la definición geométrica del acuífero a partir de las columnas litológicas de sondeos localizados en el entorno de Murcia, reinterpretación de ensayos de hidrodinámica subterránea y evaluación de los principales términos del balance hídrico del acuífero.</p> <p>Cabe reseñar que para evaluar la recarga por infiltración de riegos se efectuó un estudio piloto en una parcela con cultivo de cítricos, en la que se estableció un control continuo de la evolución de la superficie libre del tramo acuífero somero. La experiencia no tuvo el resultado esperado porque la sistemática de riego con agua superficial impidió la medida siquiera aproximada del caudal aplicado en el riego; sin embargo no resultó inútil, ya que ha permitido diseñar una estrategia de medidas apropiada a los sistemas de riego que se emplean en las vegas para el control de las 3 parcelas piloto que se controlarán en el presente estudio.</p>	
<p>Valoración: El estudio constituye una aproximación incompleta al conocimiento del acuífero de la Vega Media, en parte por defectos de planteamiento, porque no es posible realizar un estudio solvente de un sector de un acuífero sin tener en cuenta el resto de la unidad, y en parte por defectos de realización (experiencia piloto de recarga por riegos fallida, defectuosa aproximación a los términos de balance hídrico, escaso desarrollo de soluciones paliativas a los problemas de subsidencia, por otra parte difíciles de diseñar cuando el problema radica en sobrebombeo de aguas subterráneas por escasez de recursos disponibles para riego). En cualquier caso, el informe es una referencia de partida válida para el estudio actual de la Vega Media.</p>	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-14	Clave IGME:
Título del documento: "Neotectónica y tectónica activa en la depresión pliocuaternaia del Segura (Murcia-Orihuela)"	
Título del documento general del que forma parte:	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia y Valencia
Provincia: Murcia y Alicante	Municipio:
Autor: Rodríguez Estrella, T.; Hernández Enrile, J. L.; E Ibargüen, J .	
Editorial/Congreso: 1 ^{er} Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica	
Lugar y/o fecha de edición: 1999	
Organismo Promotor:	
Extensión: 11 págs., 6 figs.	
Palabras clave: Depresión del Segura. Neotectónica, Tectónica activa. Sismicidad. Murcia.	
<p>Resumen del contenido: En esta comunicación se analiza la actividad tectónica reciente en la zona de la depresión del Segura próxima a Murcia, donde se ha observado sismicidad reciente. El estudio pone de manifiesto la existencia de neotectónica en los bordes norte y sur de la depresión, ligados a la actividad de la falla de Alhama de Murcia (estructura de dirección NE-SO), en el primero, y controlados preferentemente por la directriz estructural N 60°-70°, en el segundo.</p> <p>A partir de la reinterpretación de la campaña de SEV realizada en 1975 en el marco del estudio referenciado como VMyB-1, con la ayuda de columnas litológicas proporcionadas por sondeos mecánicos, y del análisis de la pendiente del terreno mediante modelos digitales del terreno se define la estructura litológica de la cuenca y se deduce la existencia de lineaciones preferentes ligadas a las direcciones N 60°-70° E y N 140°-150°E, que se atribuyen a actividad de fallas ocultas en el interior de la cuenca, similares a las observadas en los bordes, que se han mantenido activas hasta el Holoceno inferior.</p>	
<p>Valoración: Los resultados de mayor interés para el estudio hidrogeológico de la Vega Media son los derivados de la interpretación que se efectúa de la estructura de la cuenca sedimentaria, en la que se diferencian cinco horizontes, que de muro a techo son: un tramo basal de conglomerados y areniscas con niveles margosos (100 a 200 m de espesor), seguido por arcillas limosas con intercalaciones de gravas (25-30 m, en el borde septentrional, hasta 100 al SE de la vertical del Segura), un nivel de gravas y arenas de unos 50 m de espesor máximo, y un tramo superior de limos y arcillas de hasta 30 m de espesor. En los bordes de la depresión, los materiales descritos se indentan con gravas heterométricas con matriz detrítica de abanicos aluviales.</p>	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-15	Clave IGME:
Título del documento: "Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura. Memoria y Anejos 1 – Recursos Hídricos–, 2 –Demanda Urbana, Industrial y Servicios– y 3 –Demanda Agraria–". CHS. Título del documento general del que forma parte:	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia
Provincia: Murcia y Alicante	Municipio:
Autor: Confederación Hidrográfica del Segura	
Editorial/Congreso:	
Lugar y/o fecha de edición: Murcia, 1999	
Organismo Promotor: Ministerio de Medio Ambiente	
Extensión:	
Palabras clave: Cuenca del Segura, Planificación, Recursos hidráulicos, Demandas	
Resumen del contenido: Contiene toda la información relativa a recursos disponibles de agua superficial y subterránea, demanda actual y futura, calidad del agua y planificación de obras de infraestructura.	
Valoración:	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-16	Clave IGME:
Título del documento: "Explotación y control de aguas subterráneas urbanas en el municipio de Murcia"	
Título del documento general del que forma parte: Jornadas Técnicas sobre Aguas Subterráneas y Abastecimiento Urbano	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia
Provincia: Murcia	Municipio: Murcia
Autor: Fábregas González, Javier	
Editorial/Congreso: Instituto Tecnológico GeoMinero de España -ITGE- Jornadas Técnicas sobre Aguas Subterráneas y Abastecimiento Urbano	
Lugar y/o fecha de edición: Madrid, 2000	
Organismo Promotor: Club del AguaSubterránea	
Extensión: 20 págs. Incluyendo bibliografía	
Palabras clave: Murcia, Aguas Subterráneas, Suministro de jardines, Riego de calles, Calidad, Suministro de agua, Consumo. Explotación por bombeo. Ahorro de agua potable. Sondeos	
<p>Resumen del contenido: En el documento se exponen los resultados de la utilización de aguas subterráneas de baja calidad para usos urbanos (riego de jardines y limpieza de viales) en la ciudad de Murcia, por parte de la Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento, Aguas de Murcia (EMUASA), en los aspectos referidos a mejora de la utilización de los recursos hídricos, ahorro de agua y optimización del consumo.</p> <p>Indica que se utilizan recursos subterráneos de la Vega Media en el entorno urbano de Murcia, a través de una red de suministro (RUR) independiente de la red de abastecimiento urbano. Se trata de aguas de calidad adecuada para riego, pero no para abastecimiento humano. Se atiende así el 100 % de la limpieza urbana y el llenado de fuentes y estanques, y más del 80 % del riego de parques y jardines, que alcanzan una superficie de unos 2 000 000 m². Para ello se explota un volumen de unos 0,7 hm³ en 1996, en 49 sondeos de unos 30 m de profundidad media y 0,45 l/s de productividad media.</p> <p>Efectúa una descripción del acuífero de la Vega Media, diferenciando 5 niveles de gravas en la zona urbana, y de su régimen hidrodinámico, a partir de la vigilancia que lleva a cabo EMUASA en sus redes de control. En total, disponen de 52 sondeos, en uno de los cuales se ha instalado un dispositivo mixto para extracción y recarga artificial con los excedentes de agua.</p>	
Valoración: El documento es interesante para el Estudio. Aporta cifras de explotación para riego de jardines y limpieza urbana e ideas generales sobre la estructura del acuífero de la Vega Media.	

FICHA DE DOCUMENTOS CONSULTADOS	
DOCUMENTO: VMyB-17	Clave IGME:
Título del documento: "Estudio Geológico-Geotécnico del Subsuelo" y "Columnas litológicas y plano de situación de sondeos"	
Título del documento general del que forma parte: "Estudio Geotécnico del Área Metropolitana de Murcia"	
Cuenca hidrográfica: Segura	Comunidad Autónoma: Región de Murcia
Provincia: Murcia	Municipio: Varios
Autor: Instituto Geológico y Minero de España -IGME-	
Editorial/Congreso:	
Lugar y/o fecha de edición: 2001	
Organismo Promotor:	
Extensión: 12 págs. y 13 planos de informe geológico-geotécnico. Columnas litológicas, planos de situación de sondeos y características de acondicionamiento como piezómetros de 18 sondeos	
Palabras clave:	
<p>Resumen del contenido: El documento contiene una descripción geológica de la franja somera de las vegas Media y Baja del Segura, acompañada de un mapa geológico, un mapa de isobatas del substrato a escala 1:60 000 (reducida desde 1:25 000), un mapa de situación de prospecciones y 11 cortes geológicos.</p> <p>La información sobre sondeos comprende los esquemas de 41 sondeos de objetivo geotécnico, pero con información litológica detallada, de los cuales diez y ocho fueron acondicionados como piezómetros.</p>	
Valoración: Estos documentos proporcionan información detallada sobre la geología de la parte más superficial del relleno detrítico de las vegas.	

4. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

4.1. ENCUADRE GEOLÓGICO

La Vega Media del Segura es la prolongación hacia el nordeste de la depresión del Guadalentín, fosa tectónica de grandes dimensiones formada en el Mioceno y Pliocuatemario, por reacondicionamiento de grandes estructuras de las Cordilleras Béticas durante el periodo de descompresión posterior a la fase compresiva de la Orogenia Alpina (Paleógeno hasta finales del Mioceno), y rellenada por materiales detríticos depositados durante el Plioceno y todo el Cuaternario.

El borde sur de la Vega Media está flanqueado por los relieves béticos de la sierra de Carrascoy-Cresta del Gallo que continúan hacia el NE por la sierra del Cristo, cuyo contacto con la depresión está limitado por un corredor tectónico compuesto por dos sistemas de fracturas de direcciones N 60°-70° E y N50°E. Por el norte, el límite de la depresión lo forma la gran Falla de Alhama de Murcia, de dirección SO-NE, cuyo borde levantado forma una orografía más suave que en el borde sur, dando lugar a relieves aislados de materiales béticos, parcialmente fosilizados por sedimentos miocenos, Cabezos de San Cristóbal, la Cruz, Monteagudo, La Cueva, El Esparragal y Brujas, cuya alineación enlaza con la sierra de Orihuela en el borde noreste de la Vega Media.

La Vega Baja del Segura es la continuidad hacia el noreste de la misma depresión posttectónica, caracterizada, en este caso, por un incremento de la proporción de materiales terciarios de facies margosas y, por lo tanto, baja permeabilidad. El Cuaternario suprayacente contiene los acuíferos principales de la Unidad. El encuadre geológico regional de esta zona se corresponde con un ambiente transcurrente en relación con la tectónica de placas. El sustrato, en la parte occidental de la misma, en el entorno de las sierras de Orihuela y Callosa, está constituido por materiales béticos del complejo Ballabona-Cucharón, dispuestos en escamas tectónicas dirigidas, en general, hacia el Sur y compartimentadas por un importante juego de fracturas. Este sustrato bético se acuña hacia el NE de la sierra de Callosa, se hace progresivamente más profundo por efecto de ese juego de fallas conjugadas y desaparece, en favor de los sedimentos miocenos y pliocenos que lo recubren y que constituyen el sustrato del resto del área tratada, siendo también los materiales aflorantes en las zonas de borde de la misma.

4.2. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Con el fin de obtener una mayor información del subsuelo del acuífero de la Vega Media del río Segura, se ha llevado a cabo una investigación geofísica, con el objetivo de ayudar en el planteamiento de un modelo geológico de la cuenca. Estos trabajos vienen a complementar los estudios similares realizados en la Vega Baja del Segura por el IGME y la DPA, en el marco de los distintos proyectos de investigación de los recursos de agua salobre en la zona sur de Alicante.

El trabajo en la **Vega Media** se ha llevado a cabo en dos fases: la primera ha consistido en la recopilación y estudio de los datos geofísicos disponibles, y en la segunda se han realizado nuevas campañas de campo de testificación de sondeos y de Sondeos Electromagnéticos en el dominio del tiempo.

La información geofísica disponible consiste, fundamentalmente, en unas campañas de Sondeos Eléctricos Verticales realizada por ENADIMSA durante los años 1972 y 1973 para el IGME, dentro del Plan de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS). De estas campañas sólo se ha podido disponer de los cortes geoeléctricos confeccionados con la interpretación de estos SEV realizada en su momento y con una posterior interpretación recogida en el trabajo "Neotectónica y tectónica activa en la depresión pliocuatemaria del Segura (Murcia-Orihuela)" de Rodríguez Estrella et al. (1999). Al no disponer de los datos de campo no ha sido posible realizar la reinterpretación de los SEV conforme a los nuevos datos obtenidos. Los resultados de estas campañas han sido integrados dentro de las interpretaciones de los nuevos SEDT.

También se ha dispuesto de datos de campo procedentes de estudios gravimétricos realizados en la zona por un equipo de investigación de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid. Se ha confeccionado un mapa de anomalías residuales de Bouguer que ha proporcionado una visión de la morfología de la cuenca, mostrando la extensión de los máximos asociados a materiales triásicos que afloran al norte de la cuenca y el de los mínimos que se correlacionan con los materiales terciarios del Sur de la cubeta.

Por último, respecto a datos recopilados, se ha contado con una Línea Sísmica realizada en el año 1984 por la Compañía General de Geofísica (CGG), para la empresa Chevron Oil. En la zona de trabajo esta línea muestra dos reflectores que no han podido calarse con la información procedente de sondeos mecánicos, y que, según las velocidades

de intervalo indicadas en la propia línea, podrían situarse sobre los 400 y 700 metros de profundidad respectivamente.

En lo que respecta a nuevos trabajos, durante el último trimestre del año 2000 se han llevado a cabo varias campañas geofísicas de Sondeos Electromagnéticos en el Dominio de tiempo (SEDT) y la testificación de 17 sondeos con registros de gamma natural, conductividad y temperatura del fluido.

Los SEDT fueron realizados en dos fases. En una primera fase se efectuaron los SEDT paramétricos, consistentes en su ejecución junto a sondeos mecánicos de columna litológica conocida empleando varios tamaños de bucle, todo ello con el fin de establecer el alcance de esta técnica en la zona y definir el tamaño de bucle apropiado para el resto de la campaña. En la segunda parte se realizó la campaña extensa de 77 SEDT, en su mayoría de bucle 200x200 m, dispuestos en 8 perfiles, 5 de ellos transversales a la traza del río Segura con separación variable entre 3 y 8 km, y los 3 restantes longitudinales al sur y norte del río Segura, repartidos por toda la Vega Media y complementando la información disponible de las campañas de SEV del PIAS.

La interpretación de los cortes geoeléctricos se ha realizado integrando la información procedente de los SEDT, SEV y columnas litológicas de sondeos. La información principal obtenida proporciona las siguientes conclusiones:

- La litología de la zona descrita en las columnas de los sondeos mecánicos, consiste en alternancias de gravas y arcillas de manera heterogénea y difícil de correlacionar tanto con las medidas eléctricas realizadas (SEV y SEDT), como entre los propios sondeos.
- Algunos de los SEDT paramétricos resultan de difícil correlación con la columna del sondeo. Las resistividades obtenidas parecen ser más debidas a cambios en la proporción y composición de los materiales, y a su contenido en agua y calidad de la misma, que a cambios litológicos.
- La comparación entre los SEDT y los SEV indica discrepancias en las profundidades obtenidas por ambos métodos. En general, las resistividades obtenidas con los SEDT son inferiores a las obtenidas con los SEV. Los SEDT han proporcionado información de profundidad mostrando una menor resolución para niveles más superficiales que si se han interpretado en los SEV. Las mayores discrepancias se han encontrado en la parte Sur de los perfiles más orientales.

- El perfil geoelectrico 1 de SEDT, trazado entre Alcantarilla y Sangonera la Verde, y los SEDT más occidentales ubicados a oeste del perfil y en las proximidades del cauce del río Guadalentín (Río Sangonera o Reguerón), presentan un relleno conductor potente con un nivel intermedio más resistivo, de unos 25-30 metros de espesor, y que parece hundirse hacia el sur. El sustrato resistivo (40-50 ohmio.metro) se ha alcanzado en algunos de los SEDT en la mitad del perfil 1 SEDT.
- Los primeros tramos de los perfiles IV, V, Vp y VI de SEV del PIAS, trazados en el polígono definido por las localidades La Ñora-El Palmar-Algezares-Churra, se observa una zona heterogénea con carácter resistivo y con la presencia de niveles más resistivos intermedios. La interpretación puede corresponder al "acuífero único de carácter libre" que se considera en este sector. Esta zona muestra valores de resistividad variables y heterogéneos y es de difícil la localización de su límite sur.
- En la parte sur de los perfiles mencionados, tras una zona de transición que lo separa de la zona anterior, se observa la presencia de un nivel resistivo (20-30 ohmio.metro) y que alcanza los 60-70 metros de potencia, que se sitúa a lo largo del Reguerón hasta su confluencia con el río Segura. Este nivel no ha sido detectado en las interpretaciones de los SEDT.
- En la parte occidental de la cuenca, aguas abajo de la confluencia del Reguerón con el Segura, se observa, bajo una capa conductora, un potente paquete resistivo con espesores que superan los 300 m. Este paquete tiene un sustrato conductor. En esta zona es posible que no se hayan discriminado los distintos niveles acuíferos superficiales existentes, de tal manera que los cortes estarían mostrando un paquete mas profundo integrado por la suma de diferentes niveles de materiales detríticos con una importante proporción arcillosa. Este esquema es el que se muestra en el límite con la provincia de Alicante y tiene continuidad en la Vega Baja.

En cuanto a la campaña de testificación, ha proporcionado información de gran resolución pero a un nivel muy puntual. En la mayoría de los sondeos la profundidad alcanzada ha sido escasa, incluso inferior a la prevista debido posiblemente a problemas de obturación. Los registros de temperatura y conductividad han mostrado muy bien el nivel del agua en los sondeos. Las conductividades registradas han presentado rangos de valores dentro de lo esperado (entre 3000 y 4000 microS/cm), detectándose solamente valores mas altos en la parte noroccidental de la zona, al sur de Santomera. El registro de gamma natural

ha mostrado una buena resolución en cada sondeo, aunque sin poder establecer correlación entre ellos al verse afectado por el diámetro de la entubación.

En resumen, la campaña geofísica en la Vega Media ha proporcionado información sobre la estructura y morfología de la cuenca, las relaciones con la Vega Baja y el borde del Bajo Guadalentín. Los tramos más resistivos se pueden correlacionar con paquetes compuestos de tramos interiores permeables dentro de una alternancia general de gravas, arenas y arcillas, aunque no se ha conseguido la resolución suficiente para diferenciarlos. Esta diferenciación sólo se ha conseguido a nivel local en los sondeos registrados con gamma natural. En el Anejo 8 se muestran con más detalle los trabajos geofísicos realizados y las conclusiones obtenidas.

En referencia al acuífero de la Vega Baja, los datos existentes sobre campañas geofísicas son los siguientes, incluidos en el estudio ITGE-DPA 2000:

- Campaña de SEV del PIAS. Vega Baja. Año 1972.
- Campaña de SEV realizada por el IGME (ADARO). Campo de Elche. Año 1986
- Campaña de SEV realizada por el IGME. Campo de Elche (ASR). Año 1994.
- Campañas SEV de la DPA. Vega Baja. Año 1995.
- Campaña SEDT realizado por ITGE-DPA. Depresión Albaterra-Benferri (ISP). Año 1995.
- Campaña SEV realizado por ITGE-DPA. Término Municipal de Crevillente (Proyecto "Recursos Salobres, II Fase"). Año 1997.

4.3. DESCRIPCIÓN LITOESTRATIGRÁFICA Y COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Los materiales que componen el acuífero de la Vega Media corresponden a un conjunto detrítico que llega a alcanzar 250 m de espesor mínimo, cuya edad, dado el importante espesor de los depósitos, se supone desde el Plioceno hasta la actualidad.

Desde el punto vista sedimentológico, el relleno de la Vega Media corresponde a la superposición de dos regímenes de sedimentación fluvial, uno de baja energía –del Guadalentín– que tiende a sedimentar depósitos de granulometría fina a lo largo de toda la

transversal de la depresión y otro de alta-media energía —el Segura—. De esta manera, se producen depósitos en régimen de baja energía (limos y arcillas) en los bordes de la cuenca, y en régimen de alta energía (arenas y gravas), en el sector central.

Además del régimen general de sedimentación descrito, influyen otros factores que dan como resultado la existencia de un conjunto de materiales de gran variabilidad en su tamaño de grano, tanto lateralmente como verticalmente. Por un lado influye el hecho de que en el sentido de aguas abajo aumenta la proporción de materiales finos con relación a los gruesos y el número de tramos superpuestos de distinta litología. También tienen influencia los movimientos neotectónicos de la zona que da lugar a la reactivación sedimentaria sobre todo en los abanicos aluviales, con su consiguiente variación de tamaño de grano de tendencia progradante. Además, a lo largo de los bordes norte y sur de la cuenca, se han formado abanicos aluviales y depósitos de piedemonte, sinsedimentarios con los depósitos fluviales. Tales depósitos de borde presentan facies variables, con cantos heterométricos y matrices arenoso-arcillosas de proporciones variables; también se puede encontrar algún coluvión, pero de escaso espesor y extensión. En este conjunto de materiales de granulometría variable resulta prácticamente imposible la identificación de todos los niveles, así como su correlación lateral, para lo cual sería preciso un número de columnas litológicas que en la práctica resulta imposible de obtener.

Teniendo en cuenta la casi imposible correlación de datos de columnas litológicas de sondeos, en las que los diferentes tramos de gravas y arenas se encuentran intercalados con una matriz arcillosa y limosa a distintas profundidades, y con el apoyo de los resultados del reconocimiento con geofísica de superficie y de testificación de sondeos, el conjunto detrítico de la Vega Media del Segura se puede esquematizar en dos tramos principales:

- 1) Un tramo superficial, de espesor comprendido entre 3 y 30 m, formado por arcillas, arenas finas y limos no consolidados, de escaso interés como acuífero por su escasa productividad, pero de gran importancia en el funcionamiento hidrodinámico del conjunto acuífero de la Vega Media, porque a través de él se produce prácticamente la mayor parte de los intercambios de agua del acuífero con el exterior que incluyen la recarga por infiltración de lluvia y retomos de riegos y descarga hacia los cauces superficiales. Sólo las extracciones por bombeo tienen lugar sin intervención de este tramo somero. Este tramo puede llegar a tener algún nivel un poco más limo-arenoso, pero carece de importancia en el conjunto de la vega, puesto que su espesor y continuidad no son significativos; en el Rincón de Beniscornia se observa la presencia local de lentejones

de mayor tamaño de grano, relacionados con depósitos de terraza. La interpretación geofísica indica una capa de resistividad baja (5-10 ohm·m), reflejo de la baja permeabilidad de estos materiales.

Con la información de las columnas litológicas disponibles y la derivada de la interpretación de la campaña de geofísica, se ha trazado un mapa de isobatas (equivalen a isoespesores) del muro del tramo limoso-arcilloso somero (acuífero superficial), representado en la Figura 4-1, que refleja la variación de espesor de este tramo litoestratigráfico en el conjunto de las vegas Media y Baja. Los menores espesores se alcanzan el extremo noroeste –entorno septentrional de Alcantarilla, donde no se superan los 10 metros–, y en todo el borde norte, debido a la proximidad a la superficie del sustrato Triásico. En general, el espesor de la franja superficial aumenta hacia la Vega Baja, llegándose a los 30 metros de potencia en la zona límite entre las vegas Media y Baja. Otros máximos puntuales aparecen en el suroeste del Vega, en su límite con el acuífero del Bajo Guadalentín, en las proximidades de Murcia y en el sector de la Orilla del Azarbe.

- 2) Por debajo del nivel superficial se encuentra un potente conjunto compuesto por un primer nivel de gravas heterométricas (desde arenas a bolos centimétricos) de unos 10 a 30 m de potencia, con relleno variable (desde zonas lavadas hasta otras con matriz arcillosa), cuya continuidad en toda la vega puede ser sólo aparente porque la densidad de datos de subsuelo no permite descartar la existencia de varios lentejones, seguido por tramo arcilloso que señala el inicio de una alternancia de niveles de granulometría gruesa (gravas y arenas con matriz arenoso-arcillosa) y fina (arcillas, arenas y limos) intercaladas en una matriz básicamente arcillosa. En la Figura 4-2 se ha representado un mapa de isohypsas del muro del acuífero superficial que equivale al de techo del primer tramo de gravas en la Vega Media. En esta figura se observa como este nivel tiene su cota más alta en la zona de Alcantarilla, en la zona de unión de las vegas Media y Alta, hecho que parece lógico por ser una zona de máxima energía en el régimen de sedimentación del río se depositarían las fracciones de granulometría más grosera.

Por debajo de este primer tramo de gravas no se dispone de información suficiente para diferenciar con precisión niveles continuos o lentejonares de gravas a escala del acuífero, cuya presencia se conoce a nivel puntual, pero sí es posible a nivel más o menos local diferenciar horizontes de mayor granulometría a partir de la interpretación geofísica con el apoyo puntual de columnas de sondeos.

El espesor del conjunto inferior aumenta hacia el eje central de la cuenca, que coincide aproximadamente con el cauce del Segura. Tal como se observa en el mapa de isoespesores representado en la Figura 4-3, la potencia media es del orden de 150 m y puede llegar a superar los 200 metros. La mayor potencia se alcanza en la zona oeste de la Vega, entre los ríos Segura y Guadalentín, y en toda la franja de borde de la vega con la sierra de la Cresta del Gallo. Siguiendo la directriz SO-NE desde el norte de la ciudad de Murcia a Santomera, se observa una disminución brusca del espesor de relleno que llega hacerse nulo hacia el borde norte del acuífero, condicionada por la proximidad del sustrato Permotriásico, que, en ese sector se hunde de forma escalonada hacia el SE.

También se observa que, al contrario de lo que ocurre en el tramo superficial, el espesor del tramo profundo disminuye hacia el límite con la Vega Baja, debido posiblemente a la disminución de energía en el sistema de deposición.

En la **Vega Baja**, la serie estratigráfica comienza con un sustrato metapelítico sobre el que se disponen materiales Permotriásicos de carácter carbonatado en su mayoría que parecen perder permeabilidad en superficie. Los materiales aflorantes más antiguos corresponden al Complejo Alpujárride (Trías Medio-Superior) de tipo Alpino, constituyendo la compleja Unidad carbonatada de las Sierras de Callosa y Orihuela. Ya como parte del sustrato, las calizas y dolomías, continúan como litología dominante, pero también aparecen arcillas, pizarras e incluso algunos niveles de gravas. La permeabilidad por fracturación queda patente en los escasos sondeos que alcanzan estos niveles.

La potente serie Terciaria en la Vega Baja (sedimentos Post-Manto), discordante directamente sobre el sustrato Triásico, se caracteriza por una gran variedad de potencias y facies, reflejo de evolución tecto-paleogeográfica de la Cuenca. Estos depósitos afloran, por una parte, en los relieves que constituyen el límite natural de la zona de trabajo en su parte norte y sur, donde destacan claramente los materiales de permeabilidad baja y muy baja, y por otra, en los relieves aislados presentes hacia el este (Sierra del Molar, Santa Pola), donde se observan mejores condiciones hidráulicas.

Los tramos más favorables desde el punto de vista hidráulico corresponden a la base de la serie terciaria constituida por areniscas calcáreas y brechas del Tortoniense inferior, a niveles de calizas bioclásticas y lentejones de areniscas del Tortoniense superior, a depósitos carbonatados o detríticos (según su posición en la cuenca) del Andaluciense, y a las areniscas y calcarenitas del Plioceno (acuífero principal en el sector de Torrevieja y Cabo Roig). Estos niveles acuíferos quedan independizados hidráulicamente entre sí por

tramos margosos, en algunos casos hectométricos, localizándose generalmente a profundidades que hacen inviable económicamente su explotación, aún en el caso de que presentasen buena continuidad lateral y espesor.

A techo del acuífero Plioceno aparece una serie margosa confinante, de espesor variable, dando paso a una secuencia continental compuesta por arcillas y limos rojos seguidos de niveles de caliches. Estos últimos se repiten en diversos episodios de escasa potencia por lo que, a pesar de su elevada permeabilidad, no pueden proporcionar reservas de interés para ser explotadas.

Por encima de estos materiales Plio-Cuaternarios se sitúan los acuíferos principales de la Vega Baja del Segura. Se trata de una sucesión de niveles impermeables (arcillas) y permeables (gravas y/o arenas gruesas) denominado de forma simplificada "acuífero profundo", de carácter confinado o semiconfinado, según las zonas, que llega a alcanzar los 250 m de espesor; y un nivel superficial de escasos metros de potencia, formado por limos y arenas con carácter libre ("acuífero superficial"). Ambos "acuíferos" quedan separados por un tramo de arcillas que tiende a independizarlos hidráulicamente, provocando, en general, que el nivel piezométrico del sistema profundo se sitúe por encima de superficial, llegando incluso a ser surgente. Si bien el acuífero profundo se extiende a la práctica totalidad de la cuenca, el nivel superficial se considera presente en la zona donde afloran los depósitos aluviales, desapareciendo, como tal, hacia el norte (Depresión de Albaterra-Benferri, Campo de Elche) donde comienzan a desarrollarse mantos de arrollada y derrubios de ladera.

Sobre estos depósitos cuaternarios antiguos se sitúan los depósitos cuaternarios más recientes (playas, dunas, limos de marisma, aluviones actuales o tierras vegetales), de escasa representatividad, y por lo tanto interés, para este trabajo.

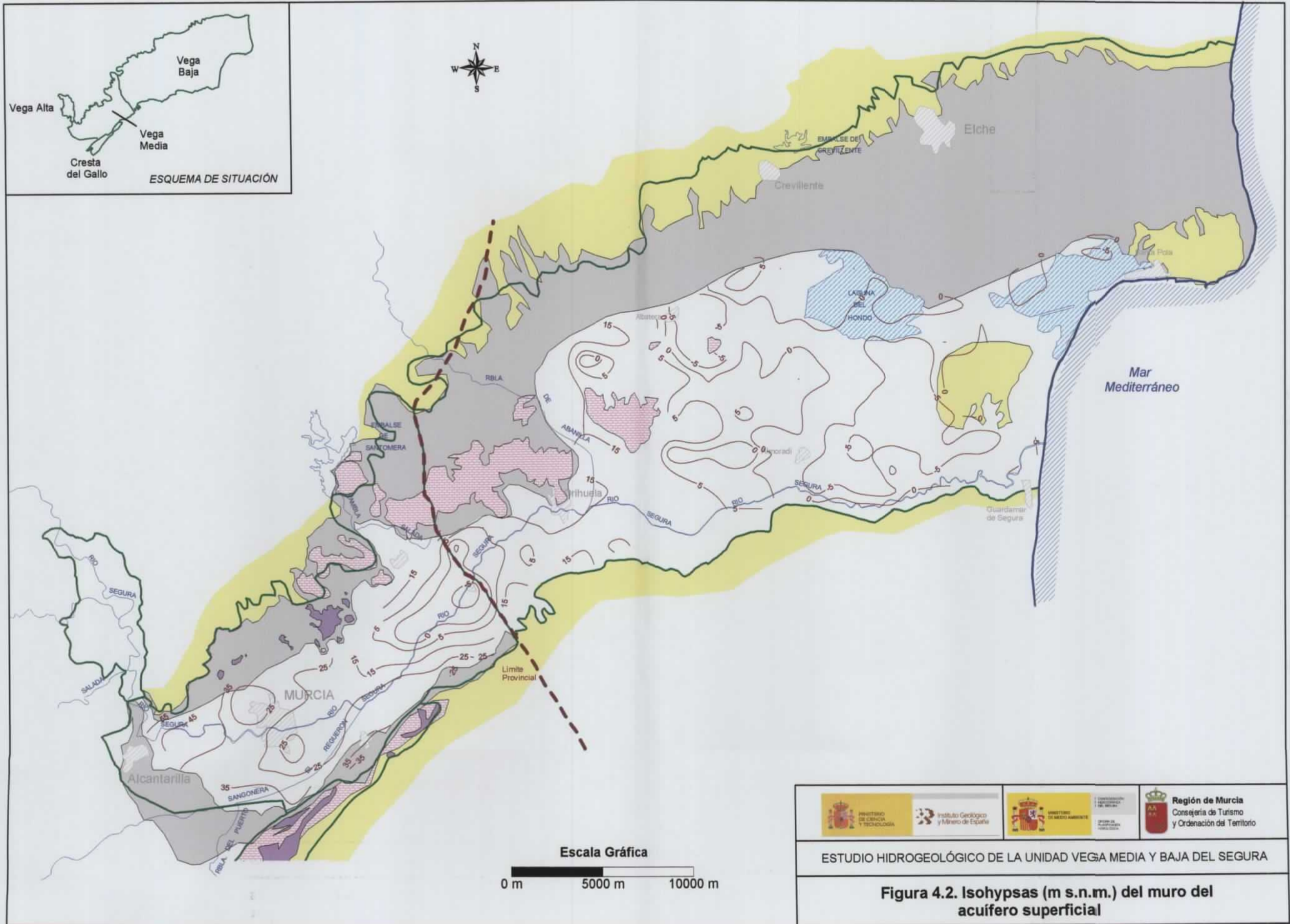
De forma similar a lo comentado para la Vega Media, el análisis de las columnas litológicas disponibles y los datos geofísicos, confirman la extrema complejidad del sistema aluvial cuaternario de la Vega Baja en cuanto a la distribución espacial de facies, lo cual impide en muchos casos poder correlacionar niveles y concretar por zonas donde hay conexión clara o no entre el acuífero superficial libre y el que se ha denominado acuífero cuaternario profundo. A pesar de ello, el conjunto detrítico de la Vega Baja del Segura se puede esquematizar en los siguientes tramos principales:

- 1) En aquellas zonas donde cabe distinguir un límite inferior claro del acuífero superficial se observan espesores del mismo inferiores a los veinte metros, siendo la litología

dominante los limos y limos arenosos. La baja permeabilidad de estos materiales que limitan en suma potenciales caudales de extracción no es, sin embargo, una constante. Generalmente en zonas de borde se sitúan algunos sondeos que han cortado un tramo superficial de arenas lo que indica la posibilidad local de extracción interesante de caudales, más aún cuando estos tramos permeables tienen continuidad con los niveles acuíferos más profundos, hecho que se constata, por ejemplo, en algunos sondeos próximos a la localidad de Callosa. Sin embargo, en otras zonas, se mezclan puntos donde no se aprecia entidad alguna en el acuífero superficial con otros donde hay tramos arenosos de escasa potencia que se suceden sin diferenciación evidente con los niveles profundos. En las figuras 4-1 y 4-2 se pueden observar los espesores de acuífero superficial en la Vega Baja y un mapa de cotas de muro de éste.

- 2) Bajo este primer acuífero libre se suele presentar un tramo de muy baja permeabilidad compuesto principalmente de arcillas y margas que independiza hidráulicamente éste con los niveles acuíferos más profundos. Con espesores muy raramente superiores a los cuarenta metros tiende a funcionar como un acuícludo, con las excepciones mencionadas en el párrafo anterior, donde aparecen facies más limosas y arenosas. Esta situación se repite en gran parte de los sondeos situados en la mitad norte (Albatera-Benferri, Campo de la Murada), fuera de la zona que se ha considerado se extiende el manto superficial, pero aquí con facies de grano más grueso (gravas y conglomerados).
- 3) La sucesión de niveles permeables detríticos, generalmente de granulometría gruesa, intercalados con tramos más o menos impermeables que pueden llegar a desconectarlos hidráulicamente marcan el "acuífero cuaternario profundo". Con un aparente cambio de facies de gravas a arenas cuanto más hacia el Este se encuentre, especialmente en el primer nivel acuífero, el conjunto de acuíferos profundos suma un espesor máximo y mínimo de 60 y 5 metros, respectivamente, mientras los niveles semiconfinantes intermedios pueden llegar en algún caso a los 30 metros. El número máximo de niveles productivos encontrados es de siete, número que se reduce en las zonas de borde, aspecto éste, sin embargo, que podría variar si dispusiésemos de sondeos más penetrantes. No debe olvidarse la limitación de no contar apenas con sondeos de más de 200 metros de profundidad, lo que imposibilita describir la serie cuaternaria profunda en su totalidad. El comportamiento hidráulico predominante del sistema es la recarga ascendente de los niveles acuíferos. En el sector oriental, el impermeable de base de la serie cuaternaria está constituido por las arcillas del Pliocuaternario y las margas

Pliocenas. En la zona occidental, el Cuaternario reposa sobre materiales carbonatados de las Sierras de Orihuela y Callosa. La Figura 4-3 muestra un mapa de isopesesores del acuífero profundo que incluye también el acuífero carbonatado.



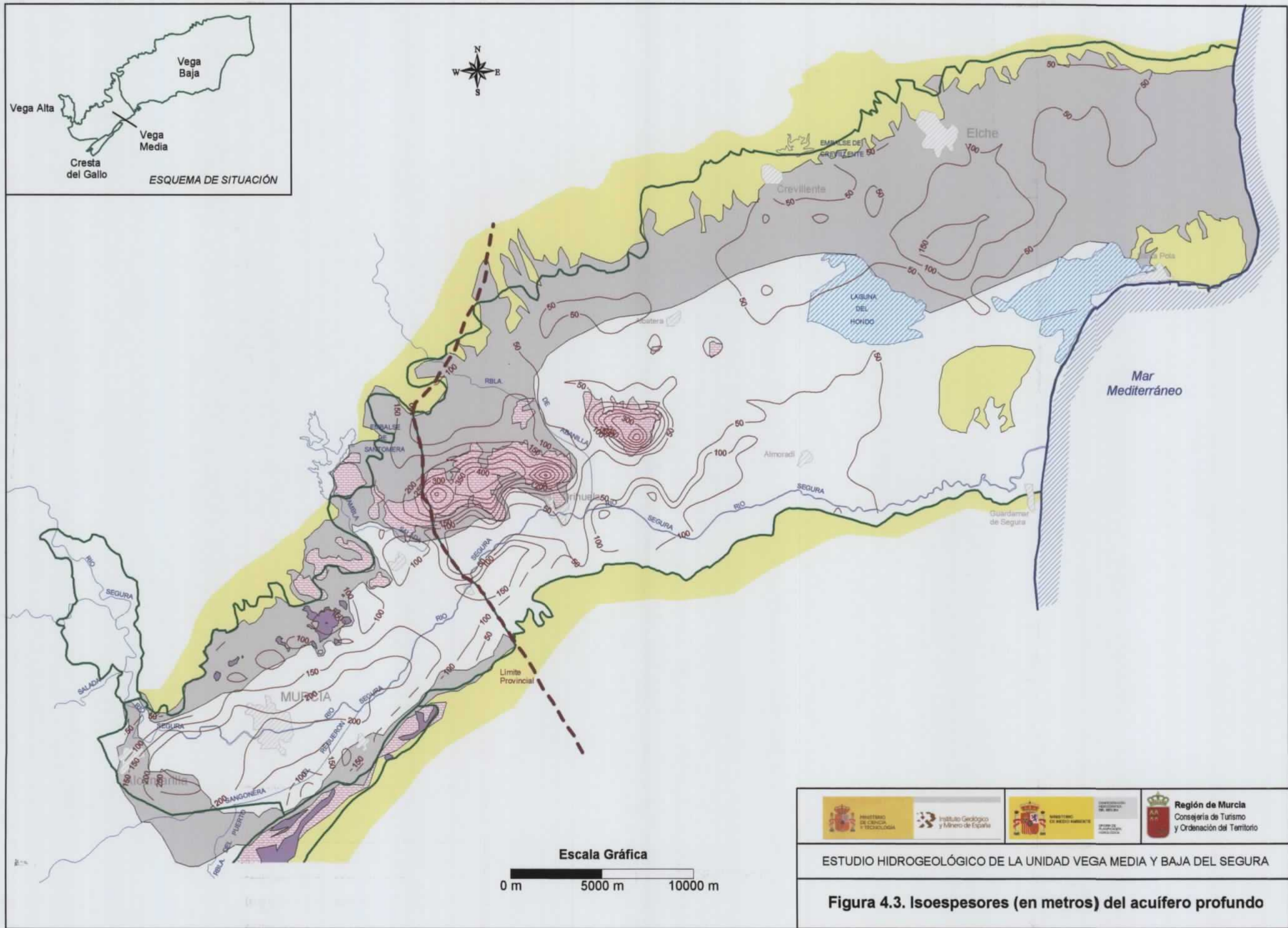




Región de Murcia
 Consejería de Turismo
 y Ordenación del Territorio

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 4.2. Isohypsas (m s.n.m.) del muro del acuífero superficial







Región de Murcia
 Consejería de Turismo
 y Ordenación del Territorio

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 4.3. Isoespesores (en metros) del acuífero profundo

4.4. LÍMITES GEOLÓGICOS

El encajante –bordes y substrato– del relleno detrítico que constituye el acuífero de la Vega Media está formado por materiales del Pérmico-Triásico, Mioceno y Plioceno cuyas características se describen seguidamente.

El borde noroeste de la Vega Media está formado en sentido estricto por conglomerados continentales del Mioceno superior (Tortonense-Andalucense), pero entre la línea de contacto y la zona de hundimiento general del substrato de la cuenca, sobre todo en los dos tercios orientales, existe una franja de unos 2 km de anchura en la que intercalados entre las facies detríticas de borde existen múltiples afloramientos y subafloramientos de materiales triásicos y permotriásicos, compuestos por rocas carbonatadas, dolomías, pizarras, margas, cuarcitas, argilitas y yesos, los primeros, y cuarcitas y pizarras, los segundos. Todos los terrenos miocenos y permo-triásicos tienen baja permeabilidad. En el extremo occidental de este borde está situada la unión con el sistema acuífero de la Vega Alta del Segura, constituida por un estrecho cañón excavado en la serie conglomerática del Mioceno superior.

Por el norte, el borde de la Vega Media está formado por los relieves triásicos que se alinean de oeste a este, desde el Campo de la Matanza, vertiente este del embalse de Santomera, hasta enlazar con las estribaciones occidentales de la sierra de Orihuela. Esta alineación forma la divisoria superficial entre la rambla Salada, que vierte hacia el Segura, y la cabecera de la rambla de Abanilla, que vierte hacia el Campo de Elche. En esta zona predominan los materiales triásicos (rocas carbonatadas, calizas, dolomías, pizarras, margas, cuarcitas, argilitas y yesos), cuya permeabilidad parece ser mayor en la sierra de Orihuela que en el sector del Campo de la Matanza y los afloramientos al oeste de Santomera, según se deduce de las descripciones litológicas (IGME, hoja nº 913 del MAGNA) y de la incidencia de la explotación de aguas subterráneas, que es muy importante, en la primera, donde parece que predominan las facies carbonatadas frente a las margosas y esquistas, e inexistente, en la segunda, donde es más abundante la presencia de intercalaciones de baja permeabilidad

Por el este, el conjunto detrítico se prolonga en sentido NE hacia la Vega Baja.

En el borde sudeste de la Vega Media se pueden diferenciar tres zonas según el tipo de materiales de borde:

Entre el extremo oriental de la vega Media y Los Ramos, el conjunto detrítico está en contacto con margas y areniscas del Plioceno superior que, a su vez, se apoyan en una serie francamente margosa del Mioceno-Plioceno inferior-medio, todas ellas de baja permeabilidad.

Entre la citada localidad de Los Ramos y El Santo Ángel, las facies detríticas están en contacto con las formaciones que constituyen el acuífero de la Cresta del Gallo: calizas, dolomías y yesos de los complejos Maláguide y Ballabona-Cucharón (Triásico) y argilitas y cuarcitas del Pérmico. El límite entre las dos unidades es una gran falla de borde que da lugar a gran desplazamiento vertical en el labio hundido y a una disposición muy verticalizada de los materiales permeables triásicos aflorantes, que están en contacto directo con las facies detríticas de la Vega Media.

Entre la zona de El Santo Ángel y el límite occidental de la Vega Media, los materiales que rellenan la depresión están imbricados con los depósitos de ladera y conos de deyección de las sierras de la Cresta del Gallo, que cubren parcialmente a conglomerados continentales del Mioceno y forman el límite efectivo de la depresión del Segura-Guadalentín en este sector.

Por el oeste, la vega Media del Segura es continuación del valle del Guadalentín, con un límite estratigráfico impreciso que debe coincidir con el cambio de las facies de grano fino del Guadalentín a las más groseras originadas por los aportes más energéticos del Segura. El límite se ha establecido de forma aproximada con el apoyo de la interpretación de los perfiles geofísicos longitudinales, ya que es una zona en la que el apoyo de información directa de sondeos es muy escaso. Solamente en su parte septentrional, el límite de la vega es nítido, ya que está formado por la facies conglomerática del Mioceno, que, en dicho sector aflora formando una especie de esquina entre el Guadalentín y el Segura, y se hunde bruscamente hacia el sur, de modo que en apenas un kilómetro experimenta una variación de profundidad de 50 a 150 m hacia el sur.

La disposición en superficie de los materiales descritos se ha reflejado en el mapa hidrogeológico de la Vega Media representado en la Figura 4-4.

El substrato del acuífero de la Vega Media corresponde en su mayor parte a margas del Mioceno superior, según se ha podido deducir de la interpretación geofísica realizada, ya que prácticamente no se cuenta con ninguna información de sondeos que hayan alcanzado las margas. El substrato margoso se encuentra a mayor profundidad en los

sectores oriental y central de la fosa tectónica, además de en la zona limítrofe con el Triásico de la Cresta del Gallo, donde el salto de falla llega a situar el substrato a profundidades entre 200 y 250 metros, muy cerca del borde de la depresión, donde disminuye su profundidad bruscamente hasta llegar a aflorar.

En la zona norte de la Vega Media y siguiendo una directriz SO-NE, el substrato del acuífero está formado por materiales permotriásicos de media a baja permeabilidad desde Espinardo hasta el límite oriental de la unidad. Estos materiales se encuentran a escasa profundidad, en general entre 10 y 20 m, y llegan a aflorar de forma dispersa entre Espinardo y Monteagudo y con mayor profusión entre esta última localidad y Santomera, para perderse en profundidad de manera muy brusca al este de la alineación Espinardo-Monteagudo-Santomera por la acción de la Falla de Alhama: como dato ilustrativo se puede señalar la zona de Monteagudo, donde a pocos metros de un afloramiento de cuarcitas y pizarras del Triás se encuentra un sondeo –273660590– que atravesó 65 m de materiales detríticos sin llegar a interceptar el substrato triásico. El importante desplazamiento vertical de la falla en este sector pone en contacto lateral el substrato mioceno con el triásico, aproximadamente a unos 150 metros de profundidad, según se deduce de la interpretación geofísica (gravimetría y SEDT), sobre la base de un contraste significativo de resistividades entre ambos materiales. En la parte oriental del borde norte de la Vega Media del acuífero, en el límite con la Vega Baja, el substrato triásico llega hasta la zona de El Siscar, hundiéndose bruscamente hacia el SE por la acción de la falla de borde.

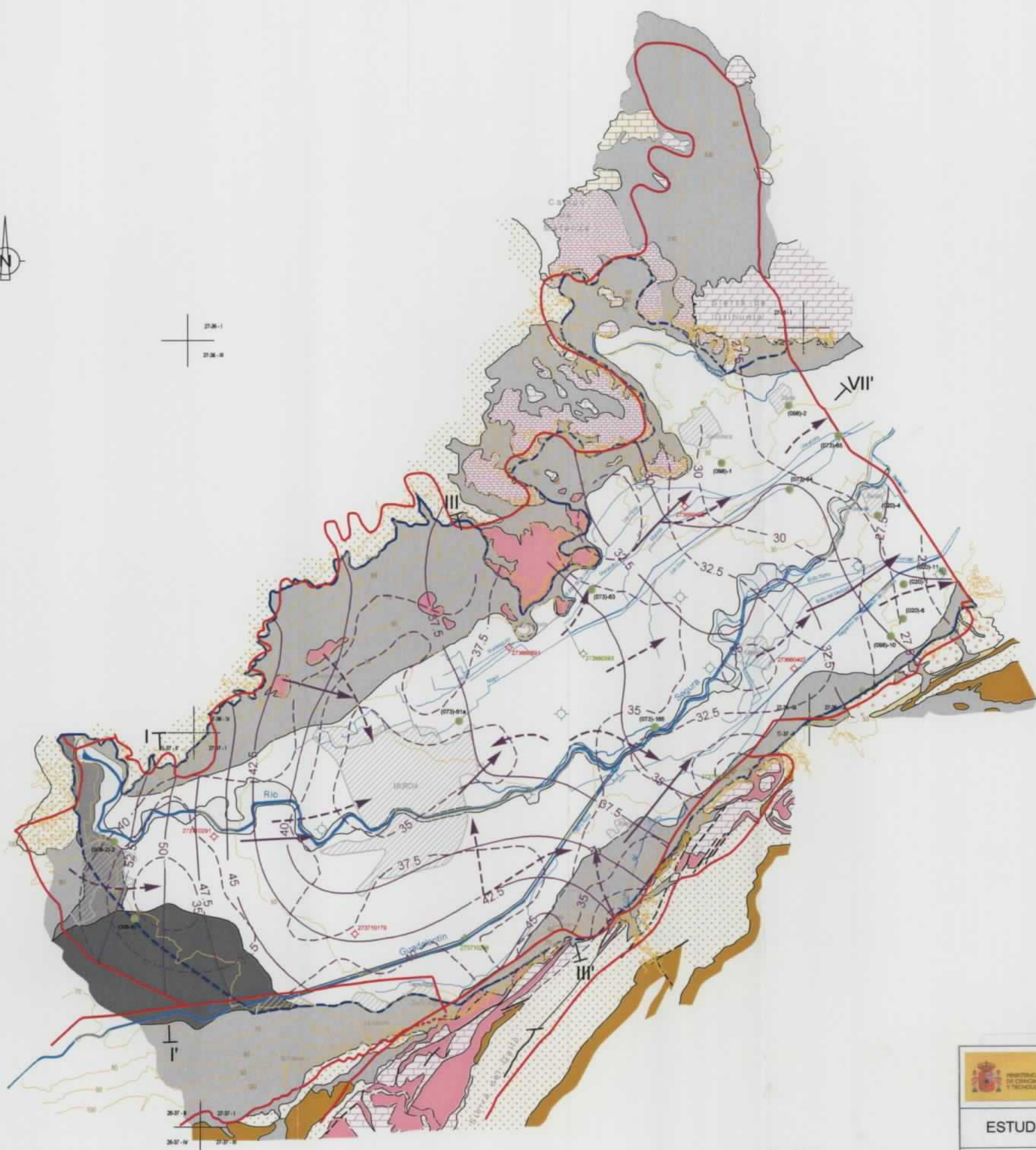
Para ilustrar la geometría del substrato y, en general, del conjunto de la vegas Media y Baja se ha elaborado el mapa de la Figura 4-5, en el que se han representado las isohypsas del muro del conjunto detrítico profundo (techo del substrato). En los 8 cortes geológicos, 2 longitudinales y 6 transversales, representados en las figuras 4-6, 4-7 y 4-8, se muestran los detalles geométricos de la Vega Media.

Respecto a la Vega Baja, por sus mayores dimensiones y complejidad, la descripción geológica de los límites ha sido objeto de diferentes estudios en las investigaciones de “Recursos Salobres en la zona sur de la provincia de Alicante”, realizadas por el IGME y la DPA. En el presente trabajo se incidirá, más adelante, en los aspectos hidrogeológicos relacionados (comportamiento hidrogeológico de los materiales y límites). En la Figura 4-9 se presenta un mapa hidrogeológico de la Vega Baja.



27.36-1
27.36-8

VII T



26.37-1
26.37-8

LEYENDA

- Depósitos de arena cauce y meandros abandonados. Limos, arenas y arcillas. CUATERNARIO. Permeabilidad baja.
- Depósitos aluviales. Limos, arenas y arcillas. CUATERNARIO. Permeabilidad baja.
- Depósitos de aluviones del Guadalquivir. Limos, arenas y arcillas. CUATERNARIO. Permeabilidad baja.
- Aluviones aluviales, conos de deyección, glacis y coluviones. Depósitos de rambla. Gravas, arenas y arcillas. PLEOCUATERNARIO. Permeabilidad baja.
- Terrazas. CUATERNARIO. Permeabilidad baja.
- Conglomerados y areniscas. PLEOCENO SUPERIOR. Permeabilidad media-baja.
- Margas. PLEOCENO MEDIO - INFERIOR. Permeabilidad baja.
- Calizas. MIOCENO. Permeabilidad media.
- Conglomerados y areniscas. MIOCENO. Permeabilidad media-baja.
- Margas con niveles areniscosos. MIOCENO. Permeabilidad baja.
- Rocas carbonatadas (dolomías y calizas). TRIÁSICO. Permeabilidad media-alta.
- Rocas carbonatadas, dolomías, pizarras, margas cuarcitas, gravasacas y yesos. TRIÁSICO. Permeabilidad media.
- Cuarcitas y pizarras. PERMIÓCO - TRIÁSICO. Permeabilidad baja.

- Contacto superior
- Faja
- Taza de corte hidrogeológico
- Faja sujeta

- E.D.A.R.
- Punto de la red de control piezométrica del IGME
- Punto de la red de control de la calidad del IGME
- Punto de bombeo con explotación superior a 500 000 m³/año

- Límite hidrogeológico abierto
- Límite hidrogeológico a flujo cado
- Límite propuesto del acuífero de la Vega Media
- Límite oficial del acuífero de la Vega Media
- Línea isopica de trazo acuífero superior y su cota en m s.n.m. (diciembre 2000)
- Línea isopica de trazo acuífero profundo y su cota en m s.n.m. (diciembre 2000)
- Dirección preferida del flujo subterráneo
- Trazo acuífero superior
- Trazo acuífero profundo

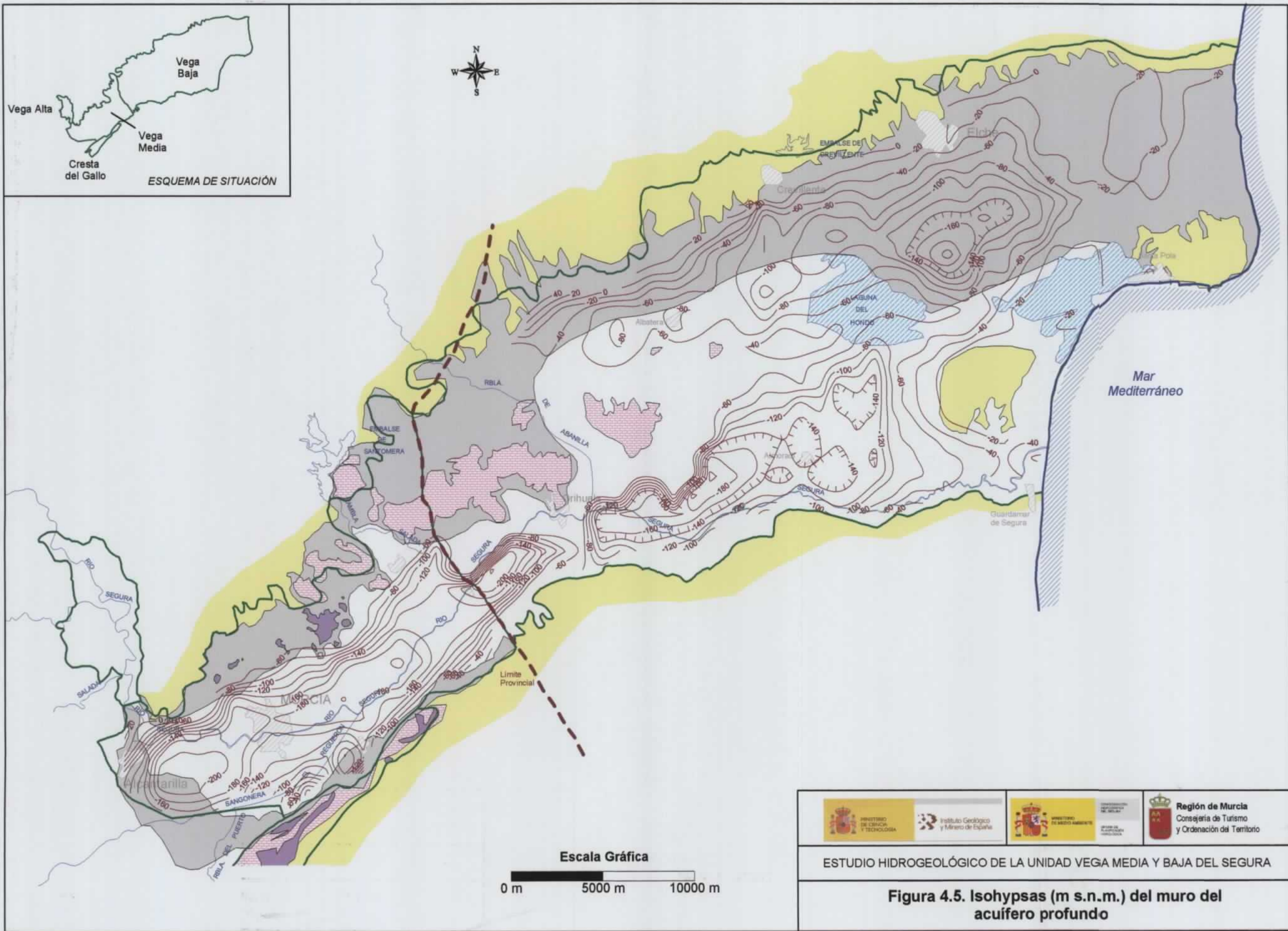
Base cartográfica: Mapa topográfico nacional a escala 1:25 000 del Instituto Geográfico Nacional

Escala Gráfica
0 500 1000 1500 2000 m



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 4.4. Mapa Hidrogeológico de la Vega Media



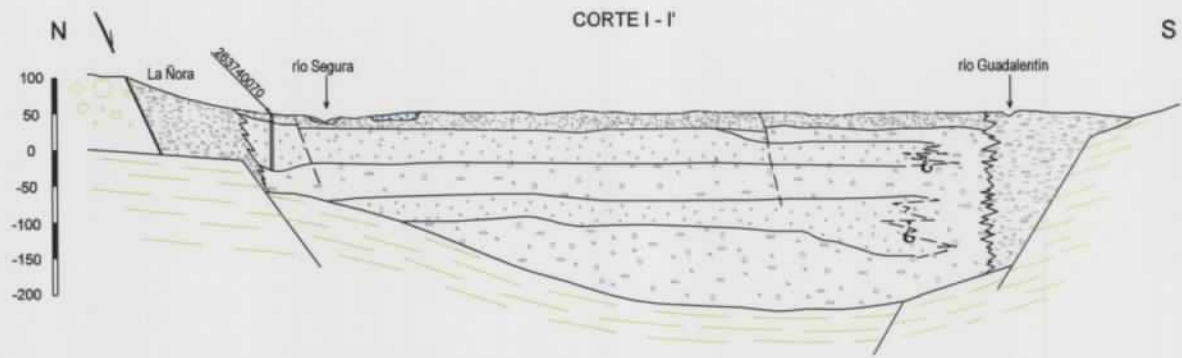




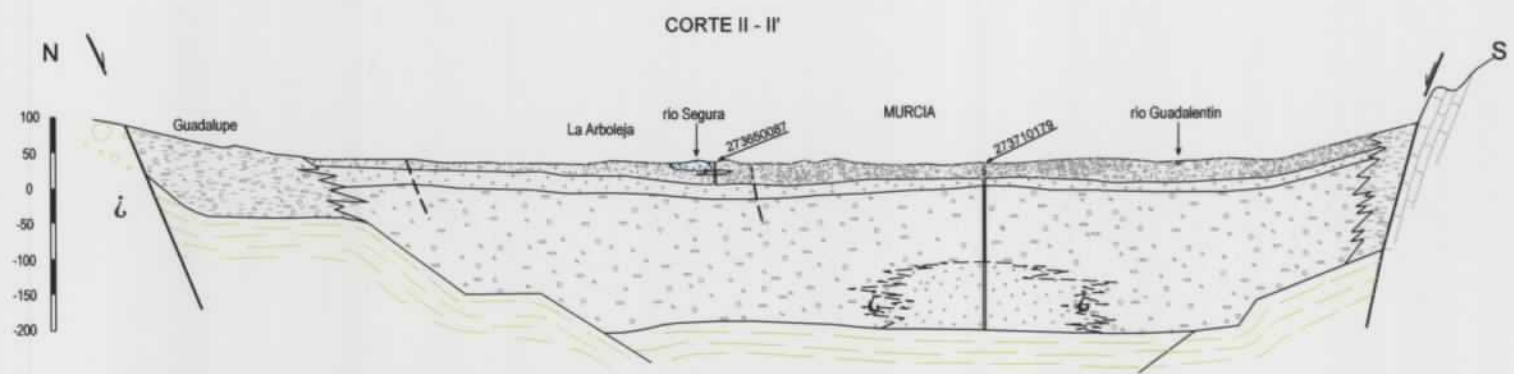
 Ministerio de Ciencia y Tecnología
 Instituto Geológico y Minero de España
 Ministerio de Medio Ambiente
 Región de Murcia
 Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

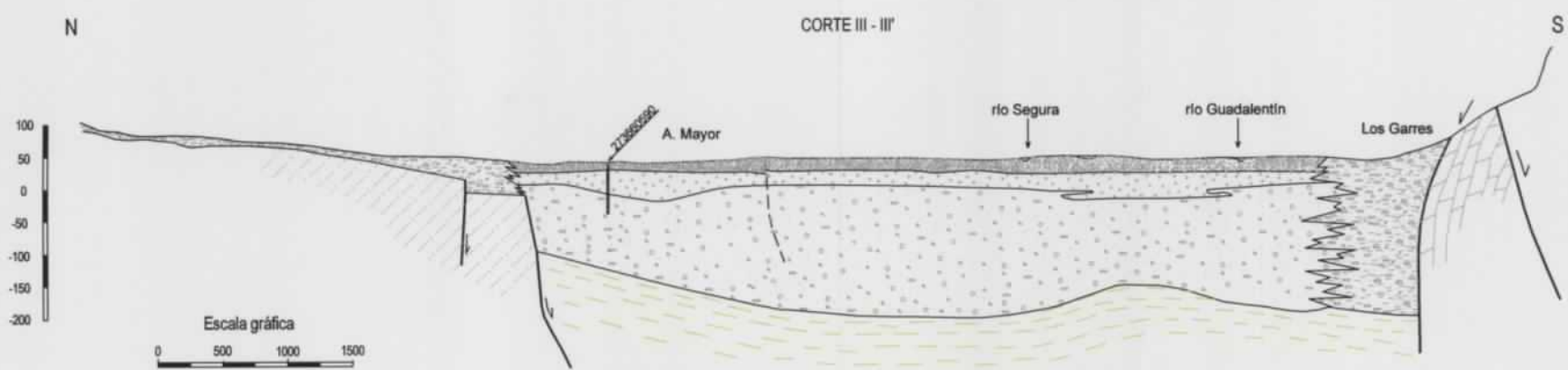
Figura 4.5. Isohypsas (m s.n.m.) del muro del acuífero profundo



Escala gráfica
0 500 1000 1500



Escala gráfica
0 500 1000 1500



Escala gráfica
0 500 1000 1500

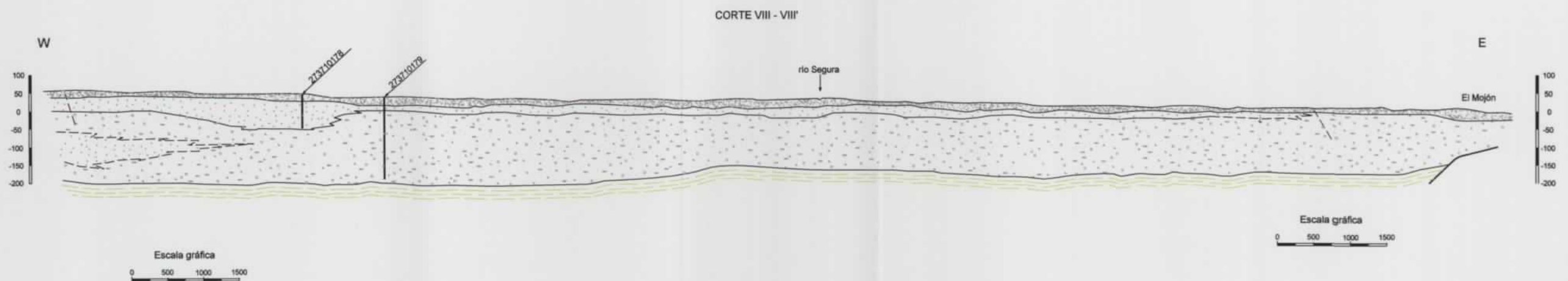
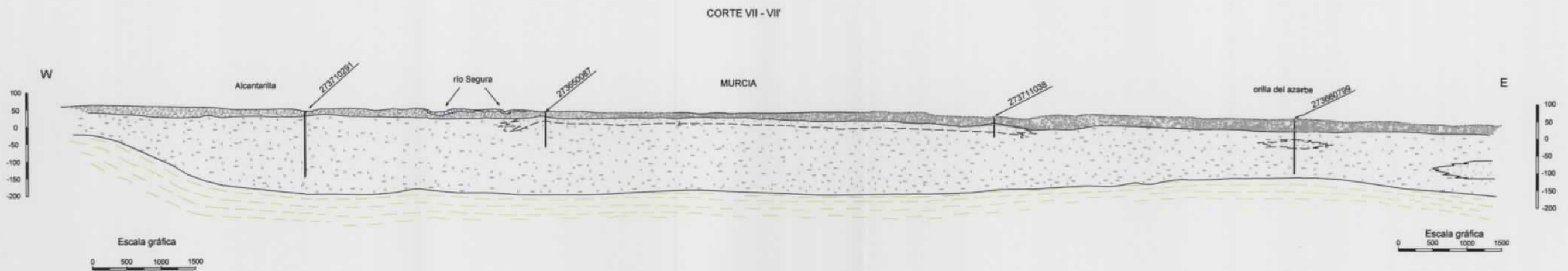
LEYENDA	
	Gravas.CUATERNARIO
	Niveles de gravas con alguna intercalación de arenas. CUATERNARIO
	Limos.CUATERNARIO
	Abanicos aluviales. Gravas, arenas y arcillas. PLIO-CUATERNARIO
	Falla
	Arenas, gravas y limos. PLIO-CUATERNARIO
	Conglomerados.MIOCENO
	Margas.MIOCENO
	Dolomias.TRIÁSICO
	Dolomias.TRIÁSICO

Base cartográfica: Mapa topográfico nacional a escala 1: 25 000 del Instituto Geográfico Nacional

--	--	--	--

ESTUDIO HIDROGEOLOGÍCO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 4.6. Cortes geológicos de la Vega Media



LEYENDA

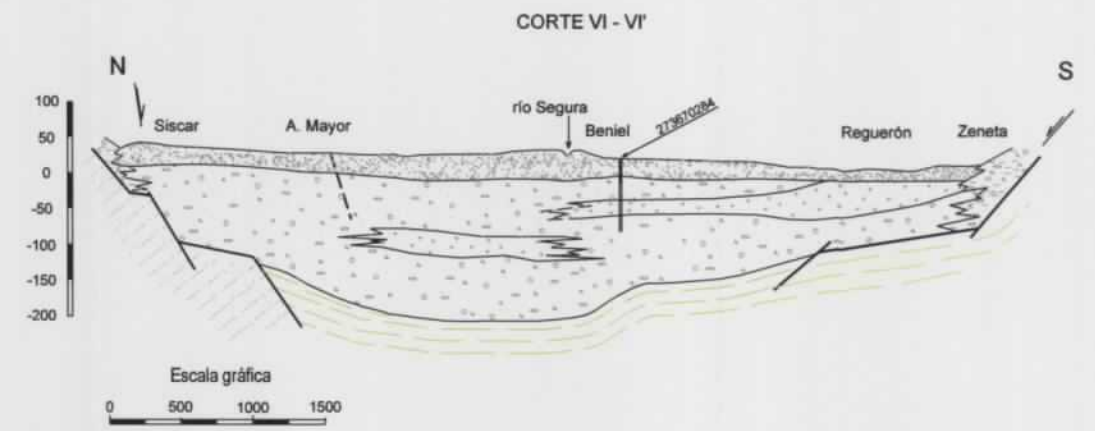
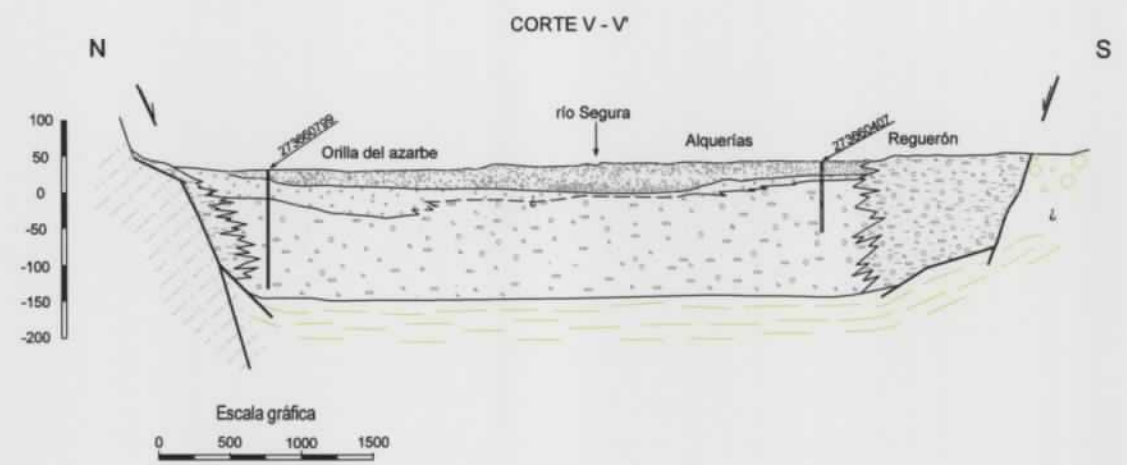
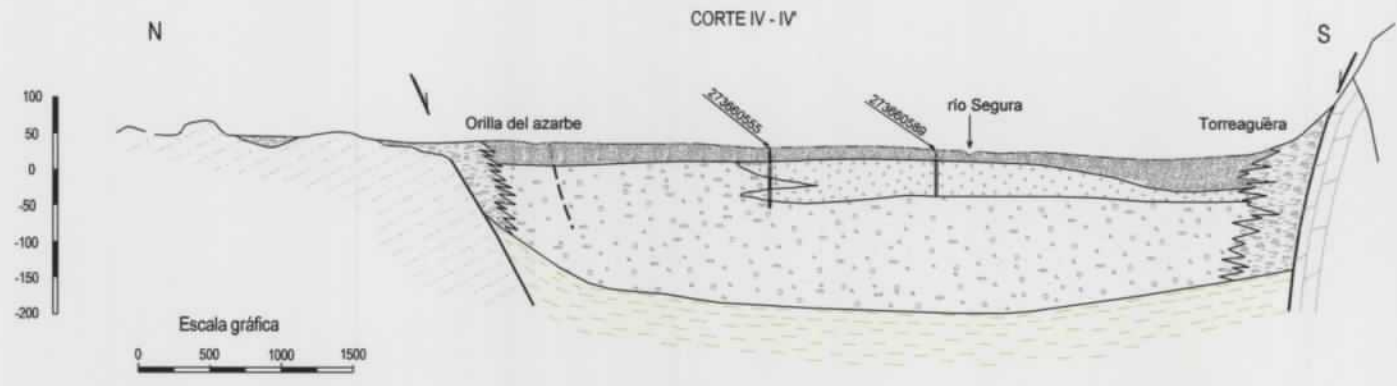
	Gravas.CUATERNARIO		Arenas, gravas y limos. PLIO-CUATERNARIO
	Niveles de gravas con alguna intercalación de arenas. CUATERNARIO		Margas.MIOCENO
	Limos.CUATERNARIO		Falla
	Abanicos aluviales. Gravas, arenas y arcillas. PLIO-CUATERNARIO		Falla supuesta Neotectónica

Base cartográfica: Mapa topográfico nacional a escala 1: 25 000 del Instituto Geográfico Nacional



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 4.8. Cortes geológicos de la Vega Media



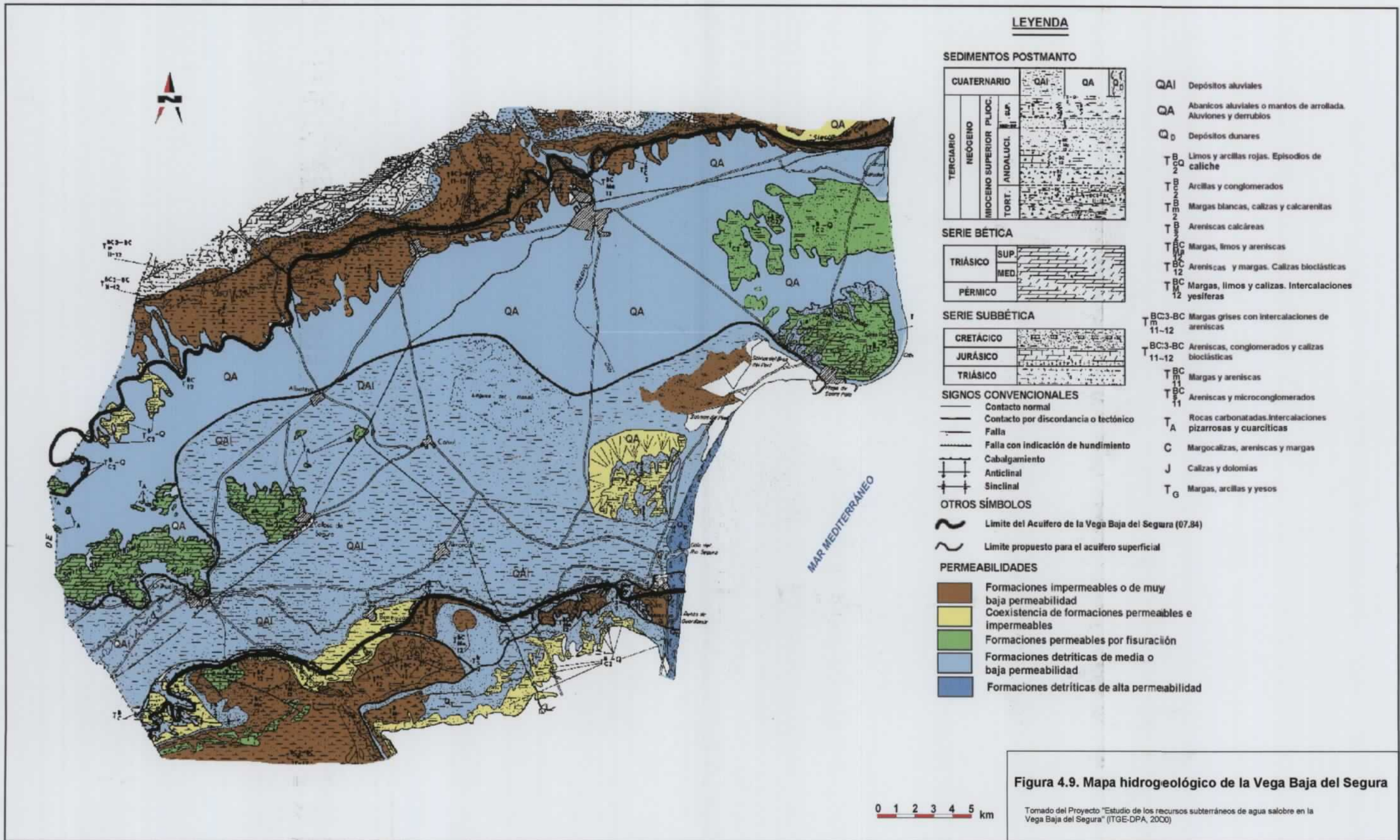
LEYENDA			
	Niveles de gravas con alguna intercalación de arenas. CUATERNARIO		Conglomerados. MIOCENO
	Limos. CUATERNARIO		Margas. MIOCENO
	Abanicos aluviales. Gravas, arenas y arcillas. PLIO-CUATERNARIO		Dolomias. TRIÁSICO
	Arenas, gravas y limos. PLIO-CUATERNARIO		Dolomias. TRIÁSICO
	Falla		

MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA	Instituto Geológico y Minero de España	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE	Región de Murcia Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 4.7. Cortes geológicos de la Vega Media

Base cartográfica: Mapa topográfico nacional a escala 1:25 000 del Instituto Geográfico Nacional



4.5. CARÁCTER HIDROGEOLÓGICO DE LOS BORDES

En la Figura 4-4 se presenta un mapa hidrogeológico del sistema acuífero de la Vega Media del Segura –AVM–, que incluye una cartografía hidrogeológica formada a partir de la agrupación de los diferentes conjuntos litoestratigráficos según sus permeabilidades, acompañada de la red hidrográfica completa de la Vega Media –ríos Segura y Guadalentín, ramblas Salada y del Puerto, y red acequias y azarbes– y sendas familias de líneas isopiezas correspondientes a los tramos acuíferos somero y profundo, trazadas con los datos piezométricos de la campaña flash efectuada en el mes de diciembre de 2000, que reflejan el régimen de funcionamiento actual del acuífero, caracterizado por un estado general deprimido, especialmente del tramo profundo, como consecuencia de los bombeos efectuados para suplir el déficit de aportaciones de agua superficial para la dotación de los riegos de la vega. Así mismo, se han incluido los puntos de las redes de control del IGME y los sondeos de mayor explotación de agua subterránea (los que extraen más de 0,5 hm³/año).

De acuerdo con la descripción de la litología y geometría de los bordes y el substrato del relleno aluvial efectuada en los apartados precedentes, los límites del sistema acuífero de la Vega Media coinciden en la mayor parte de su perímetro con la línea de contacto entre el relleno detrítico y los materiales neógenos o permotriásicos que forman los bordes de la cuenca, excepto en algunos sectores, especialmente en sus extremos oriental y occidental, en los que se han establecido de forma arbitraria:

- En todo el borde noroeste, los afloramientos y subafloramientos del substrato (conglomerados del Mioceno y rocas triásicas y permotriásicas, de baja permeabilidad, constituyen un límite hidrogeológico a flujo prácticamente nulo. La única posibilidad de transferencia de agua subterránea sería a través del cañón excavado en los conglomerados miocenos a la altura de la Contraparada, cuyas exiguas dimensiones hacen prácticamente despreciable el flujo subterráneo desde el acuífero de la Vega Alta.
- En el sector nordeste, al norte de la alineación Campo de la Matanza-Sierra de Orihuela, el límite del acuífero de la Vega Media se ha llevado tradicionalmente siguiendo una línea de trazado arbitrario que bordea afloramientos miocenos y triásicos hasta cortar el límite provincial entre Murcia y Alicante, sin que existan criterios hidrogeológicos claros que lo apoyen: es una zona en la que prácticamente no existen captaciones de agua y no es evidente, aunque tampoco descartable de forma absoluta,

la continuidad hidrodinámica, ya que la alineación triásica rompe la continuidad del relleno detrítico de la depresión del Segura. En todo caso, se trata de un límite abierto.

- Por el este, no existe un límite hidrogeológico entendido como tal, ya que el acuífero detrítico no tiene solución de continuidad entre las vegas Media y Baja. Se ha tomado arbitrariamente el límite provincial entre Murcia y Alicante, como separación entre los acuíferos de la Vega Media y de la Vega Baja del Segura, es decir, en la transversal correspondiente al límite entre Murcia y Alicante circula un flujo subterráneo que es función del gradiente hidráulico en el sector.
- Por el borde sudeste, el relleno detrítico está limitado por formaciones neógenas de baja permeabilidad y materiales triásicos de baja y alta permeabilidad, que constituyen un límite hidrogeológico en su mayor parte a flujo nulo, excepto en dos sectores concretos correspondientes a la zona limitrofe de la vega con la unidad hidrogeológica de la Cresta del Gallo, en la que están en contacto hidrodinámico directo las dolomías triásicas que constituyen la formación acuífera de dicha unidad, con el acuífero detrítico de la Vega Media. Se pueden diferenciar tres zonas según el tipo de materiales de borde, en las que la conexión hidrodinámica es de signo distinto, tal como se refleja con claridad en las isopiezas trazadas en el mapa hidrogeológico:
 - Entre el extremo oriental de la vega y Los Ramos, el conjunto detrítico está en contacto con margas y areniscas del Plioceno superior que, a su vez, se apoyan en una serie francamente margosa del Mioceno-Plioceno inferior-medio; todas ellas de baja permeabilidad, por lo que puede considerarse un límite a flujo nulo.
 - Entre la citada localidad de Los Ramos y Santo Ángel, las facies detríticas están en contacto con las formaciones que constituyen el acuífero de la Cresta del Gallo –calizas, dolomías y yesos de la Unidad Inferior del Complejo Alpujarride (Triásico) y argilitas y cuarcitas del Pérmico. El límite entre las dos unidades es una falla de borde que da lugar a gran desplazamiento vertical en el labio hundido y a una disposición muy verticalizada de los materiales permeables triásicos aflorantes, que están en contacto directo con las facies detríticas de la Vega Media. El límite es a flujo nulo, excepto en dos sectores –entre Los Ramos y Beniaján (zona de Torreagüera) y entre Los Garres y Santo Ángel (zona de Los Garres)–, donde existe conexión hidrodinámica entre los dos acuíferos:

- En un tramo de, aproximadamente, 1 km al oeste de la entrada de la rambla del Puerto en la vega, entre Los Marqués y Los Garres, el acuífero de la Vega Media recibe recarga lateral desde la unidad de la Cresta del Gallo.
- Por el contrario, en un tramo de 1,8 km de longitud, como máximo, al NE de Beniaján, el sentido del intercambio de flujo subterráneo es desde el acuífero detrítico hacia las dolomías de la Cresta del Gallo, debido a la importante desaturación que ha provocado el sobrebombeo de agua subterránea en este sector, que, en régimen de funcionamiento natural, se descargaba lateralmente hacia la vega.
- Entre la zona de Santo Ángel y el límite occidental de la Vega Media, los materiales que rellenan la depresión están imbricados con los depósitos de ladera y conos de deyección de la sierra de la Cresta del Gallo, que cubren parcialmente los conglomerados continentales del Mioceno del borde de la cuenca. Por las características de sus rocas originarias, los depósitos de ladera deben de tener una permeabilidad inferior al relleno detrítico de la vega, por lo que puede considerarse que forman el límite efectivo de la depresión del Segura-Guadalentín en este sector. Se trata de un límite abierto, aunque el intercambio de agua subterránea a través de él debe ser muy escaso.
- Por el oeste, la vega del Segura es continuación del valle del Guadalentín, con un límite estratigráfico impreciso que debe coincidir con el cambio de las facies de grano fino del Guadalentín a las más groseras originadas por los aportes más energéticos del Segura. El límite tradicional se ha establecido de forma arbitraria, aunque puede aproximarse con la ayuda de la interpretación de los perfiles geofísicos longitudinales, ya que es una zona en la que el apoyo de información directa de sondeos es muy escaso. Solamente en su parte septentrional, este límite está formado por la facies conglomerática del Mioceno, que, en dicho sector aflora formando una especie de esquina en la zona de tránsito entre las vegas Alta y Media del Segura, y se hunde bruscamente, de modo que en apenas a un kilómetro al sur del borde experimenta una variación de profundidad de 50 a 150 m hacia el sur. En todo caso, se trata de un límite abierto.

Con la configuración indicada, el acuífero de la Vega Media del Segura tiene una superficie de 206 km². El esquema hidrogeológico y el régimen de funcionamiento

hidrodinámico en la parte superior del acuífero detrítico de la Vega Media al final del año 2000, se han representado mediante los cortes hidrogeológicos incluidos como Figura 4-10.

Los límites hidrogeológicos considerados para el conjunto de acuíferos de la Vega Baja del Segura (Figura 4-9), vendrían definidos por la aparición de los materiales Neógenos de baja o muy baja permeabilidad, en los bordes norte y sur, con aportes, de existir, aparentemente poco significativos, y el límite natural del mar (muy probablemente a potencial constante) al este. En la zona interior aparece en contacto directo con los niveles cuaternarios la Unidad Carbonatada de las Sierras de Callosa y Orihuela.

Respecto al acuífero superficial, cabría añadir el límite considerado a partir de la aparición de depósitos de derrubios y abanicos aluviales hacia la mitad norte de la zona, coincidiendo con las Unidades de Albaterra-Benferri y Campo de Elche.

El límite occidental de la Vega Baja se ha tomado, arbitrariamente, coincidente con la divisoria provincial entre Murcia y Alicante. Los aportes aguas arriba, desde la Vega Media, constituyen la entrada principal al sistema.

Como base para la determinación espacial de la geometría de los acuíferos cuaternarios de la Vega Baja del Segura se ha empleado, por una parte, la información de las columnas de sondeos y por otra los datos deducidos de los perfiles de Sondeos Eléctricos Verticales existentes en la zona. En el estudio ITGE-DPA (2000) se muestra la situación geográfica de los mismos. En el presente estudio se ha reinterpretado la información del citado Proyecto, para la elaboración del modelo de flujo subterráneo.

La información más fiable sin duda se encuentra en las columnas litoestratigráficas, sin embargo, se debe recordar algo ya adelantado al hablar de las características hidráulicas de los materiales, y es la limitación de no contar con apenas sondeos suficientemente penetrantes para cubrir toda la serie cuaternaria (cuyo espesor puede llegar perfectamente a los 250 metros).

En la delimitación geométrica de los acuíferos cuaternarios de la Vega Baja se ha encontrado con la dificultad intrínseca adicional que implica su heterogeneidad litológica tanto lateral como vertical ligada a su origen deposicional. A pesar de ello, y teniendo como modelo básico el esquema de un acuífero superficial independiente hidráulicamente de unos tramos productivos profundos más o menos diferenciados por paquetes impermeables o semipermeables intercalados, en el estudio del ITGE-DPA (2000) se han elaborado cuatro planos de isohipsas correspondientes a techo y muro de los acuíferos superficial y profundo.

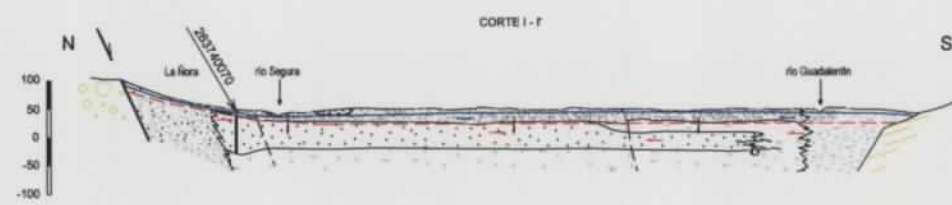
Tales mapas han sido sometidos a un proceso de depuración, especialmente en lo que a cotas del terreno se refiere evitando inconsistencias y a su ensamble con la Vega Media, para elaborar el modelo de flujo subterráneo (figuras 4-1, 4-2, 4-3 y 4-5).

Respecto al acuífero superficial existe una zona situada entre la localidad de Dolores y la Sierra del Molar donde parece existir una mayor potencia, en torno a los veinte metros, manteniéndose en el resto unos espesores raramente superiores a los diez metros. Esta conclusión, que ha de ceñirse a las partes donde se ha encontrado un límite inferior más o menos claro, no debe extrapolarse a aquellas zonas donde la identificación de dicho límite no ha sido factible.

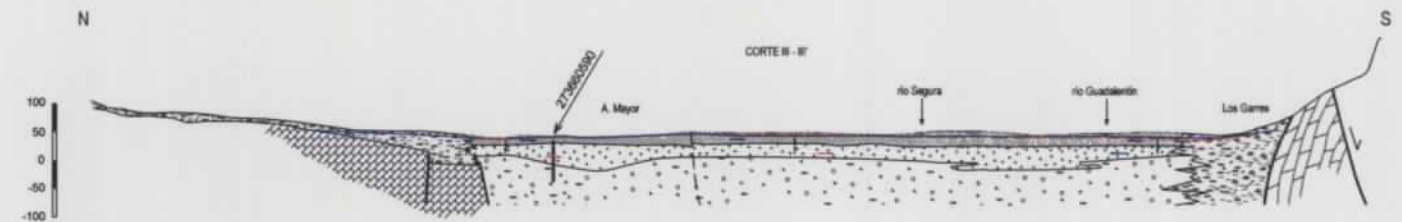
En el sistema profundo, por su parte, se hace si cabe más difícil hablar de espesores. A pesar de ello sí se observan mayores potencias en la zona SE y central donde podía llegar el conjunto de tramos productivos y no productivos a los 150 metros.

En el caso del estudio de la naturaleza y morfología del sustrato, la información más fiable sería la proporcionada por las columnas litoestratigráficas pero, a este respecto, se cuenta con la limitación de que son muy pocos los sondeos que penetran en el sustrato. Es por ello que se ha recurrido a la utilización de datos gravimétricos recogidos en ITGE-DPA (1996), que, aunque son menos precisos, ofrecen una imagen bastante aproximada de la disposición general de los materiales.

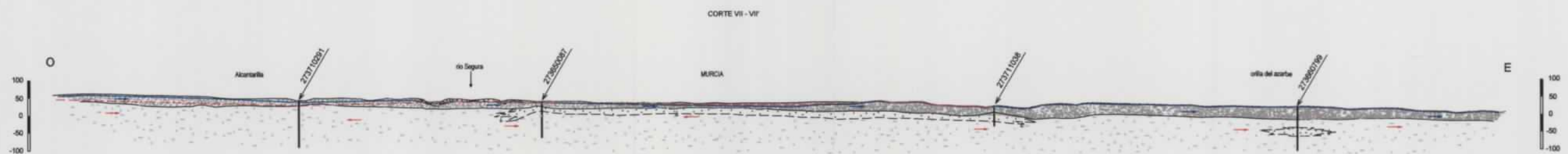
Los mapas de anomalías residuales y de anomalías de Bouguer definen la morfología y profundidad del sustrato. El tratamiento de estos datos revela la existencia de una elevación estructural de dirección aproximada N50°E, que contiene las mencionadas sierras y que se prolonga hasta la zona de Santa Pola. Dicha elevación está limitada al S por la falla del Bajo Segura y al N por la falla de Alhama de Murcia. Además, esta elevación se divide en varios bloques por medio de un sistema de fallas conjugadas perpendiculares, de las cuales, la más importante es la de San Miguel, que separa ambas sierras. En el ámbito regional, el alto estructural de Orihuela – Callosa, está flanqueado por dos depresiones, que conforman la llanura neógena de Fortuna al N y el corredor del Bajo Segura, al S.



Escala gráfica
0 500 1000 1500



Escala gráfica
0 500 1000 1500



Escala gráfica
0 500 1000 1500

0 500 1000 1500

LEYENDA		
	Gravas y arenas CUATERNARIO Permeabilidad media - alta	
	Lutitas, arenas y arcillas CUATERNARIO Permeabilidad baja	
	Alcantarilla aluvial, gravas, arenas y arcillas PLEO - CUATERNARIO Permeabilidad baja	
	Arenas, gravas y limos PLEO - CUATERNARIO Permeabilidad baja	
	Conglomerados MIOCENO Permeabilidad media	
	Margas MIOCENO Permeabilidad baja	
	Rocas carbonatadas (dolomías, calizas, pizarras, margas, cuarcitas y yesos) TRIÁSICO Permeabilidad media - baja	
	Rocas carbonatadas (dolomías y calizas) TRIÁSICO Permeabilidad media - alta	
	Faja	

MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Instituto Geológico y Minero de España

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

Región de Murcia
Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 4.10. Cortes hidrogeológicos de la Vega Media

Base cartográfica: Mapa topográfico nacional a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional

5. FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO

5.1. RÉGIMEN NO INFLUENCIADO

5.1.1. Recopilación, tratamiento y análisis espacio-temporal de los datos piezométricos preexistentes

El régimen de funcionamiento hidrodinámico de la unidad Vega Media-Baja que puede considerarse como natural estaba caracterizado por:

- Una recarga constituida principalmente por la infiltración tanto de la lluvia útil como del exceso de agua aplicada a los riegos tradicionales con agua del río Segura, por infiltración de las aguas superficiales del propio río y, secundariamente, por entradas laterales subterráneas desde los acuíferos del Bajo Guadalentín, Vega Alta y Cresta del Gallo, aunque estos últimos con una participación muy minoritaria en el global de recursos hídricos de la unidad.
- Una descarga con varios componentes: salidas hacia los ejes de drenaje superficial –río Segura y red de azarbes–, evaporación en las lagunas, salidas al mar y bombeos de agua subterránea, si bien estos últimos en magnitud muy reducida.

La representación de la evolución de los niveles piezométricos existentes en la unidad hidrogeológica de la Vega Media y Baja del Segura (véase el capítulo 11) durante el periodo 1970-2001 (Figura 11.9.) permite observar cómo, a pesar de la relativa estabilidad general que parece observarse (si se exceptúan las sequías de 1983-85 y 1993-97), existen menos fluctuaciones así como una cota piezométrica ligeramente superior durante el periodo 1970-1977, que resulta coherente con una menor explotación de las aguas subterráneas. Incluso puede seleccionarse el subperiodo 1973-75 como representativo de la mayor estabilidad en los niveles (Figura 11.10).

Para dicho subperiodo, considerado como el más representativo del funcionamiento del acuífero en condiciones poco influenciadas, se dispone inicialmente de 172 puntos de control cuyo valor promedio a lo largo del periodo mencionado se presenta en la Tabla 11.20. A partir de estos datos se han elaborado los mapas de isopiezas representativos del

funcionamiento en régimen natural tanto para el acuífero superficial como para el profundo (Figuras 11.11. y 11.12.).

Del análisis de dichos mapas se obtienen las siguientes conclusiones más importantes (para un mayor detalle, consultar el epígrafe 11.4 . Evolución piezométrica): tanto en el acuífero superficial como en el profundo el flujo predominante se realiza en dirección y sentido SO-NE; en la Vega Media y parte más suroccidental de la Vega Baja existe escasa o nula diferencia piezométrica entre ambos acuíferos ($\pm 1,5$ m), mientras que en el resto de la Vega Baja la cota piezométrica del acuífero profundo tiende a encontrarse por encima de la del superficial (flujo ascendente predominante); a partir de la zona central de la Vega Media el nivel freático se sitúa por encima del fondo del río, lo cual resulta coherente con el comportamiento ganador que presenta el río en este tramo, pero aguas arriba, es decir, en la cabecera de la Vega Media, la situación es la contraria, en coherencia con el carácter perdedor que presenta; en las inmediaciones de la Vega Alta el tramo acuífero profundo presenta un carácter libre, al situarse su carga hidráulica por debajo de su techo; en la parte oriental de la Vega Baja existe un flujo predominantemente ascendente, lo que favorece la aparición de zonas de descarga como la Laguna del Hondo.

Puede deducirse, por tanto, que en condiciones poco influenciadas, en la mayor parte de la Vega Media y, posiblemente, en la parte suroccidental de la Vega Baja, existe un único nivel acuífero de carácter predominantemente confinado (a excepción de una pequeña zona situada en la cabecera de la Vega Media donde el acuífero se comportaba como libre). Hacia la Vega Baja, y como consecuencia de la presencia de un mayor número y espesor de niveles arcillosos, se produce una desconexión hidráulica de forma que los niveles más profundos tienden a presentar un potencial hidráulico mayor, favoreciendo la existencia de un flujo predominantemente ascendente.

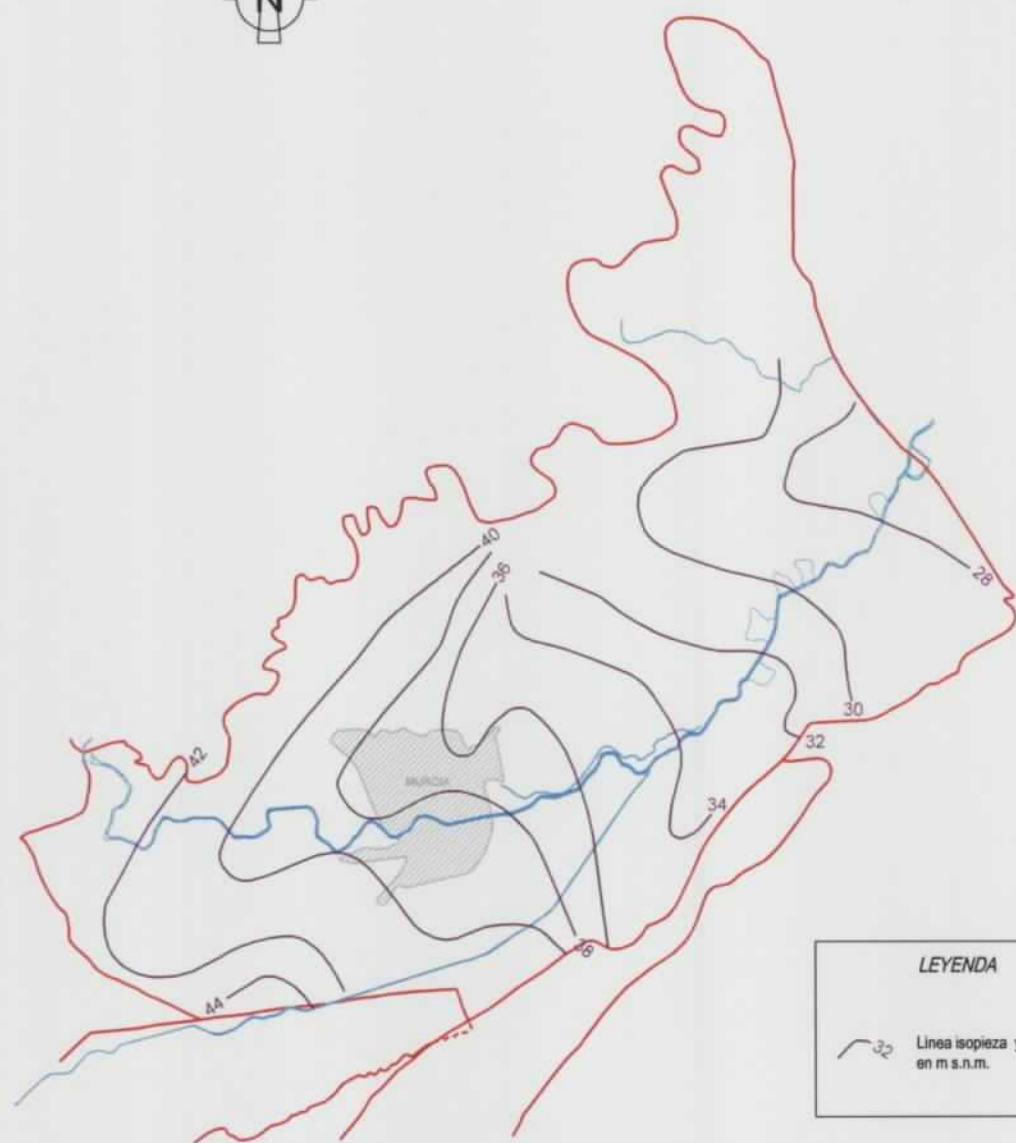
En las condiciones indicadas, es decir, prácticamente con ausencia de bombeos, el sistema acuífero de la **Vega Media** debía de funcionar como un conjunto único, con un régimen hidrodinámico ligado directamente a la secuencia de los riegos con agua superficial, caracterizado por una evolución piezométrica de forma sinusoidal, con máximos piezométricos en verano-otoño, después de las campañas de riegos, y mínimos en invierno-primavera. Este tipo de funcionamiento se ha ilustrado con los mapas de isopiezas correspondientes a 1979 (IGME, 1983 y VMyB-3) y a 1988 (VMyB-3), incluidos como base de comparación en la Figura 5.1. Las dos familias de isopiezas citadas están trazadas mayoritariamente con sondeos que captan diferentes niveles de gravas del conjunto detrítico

y, globalmente, no presentan grandes diferencias con las que pueden trazarse hoy, o hubieran podido trazarse entonces, con cotas de la superficie en puntos que capten exclusivamente el tramo superficial arcilloso-limoso. En las isopiezas de 1988 ya se observan unos ligeros descensos generales del nivel piezométrico con respecto a 1979, y, además, ya se aprecia la distorsión causada en el esquema de la circulación subterránea del AVM por la sobreexplotación del acuífero dolomítico de la Cresta del Gallo, que dio lugar a una inversión del flujo que se mantiene en la actualidad: el AVM pasó a recargar al de la Cresta del Gallo, cuando en régimen natural, el segundo se descargaba hacia el primero. El esquema descrito se observa con nitidez en las evoluciones piezométricas de los puntos de la red de control que el IGME mantiene en la zona desde el año 1972, representadas gráficamente en la Figura 5.2., que muestran una tendencia continua con oscilaciones en torno a un valor medio prácticamente constante.

5.2. RÉGIMEN INFLUENCIADO

5.2.1. Vega Media del Segura

La situación descrita experimentó un cambio drástico a partir de la sequía del año 1982, de tal manera que puede hablarse de un antes y un después de dicha fecha en el régimen de funcionamiento del AVM. En efecto, como puede observarse también en el gráfico de volúmenes de agua almacenados en los embalses de Fuensanta y Cenajo (véase capítulo 13), en 1982 se inicia la que puede considerarse como primera sequía en la cuenca del Segura en los tiempos recientes, con régimen hidrológico regulado por embalses, con una disminución importante en el volumen de aportaciones reguladas. La sequía quedó también registrada con fidelidad por las evoluciones piezométricas en el AVM (Figura 5.2.), en las que se observa cómo el efecto de los bombeos rompe la tendencia monótona a base de oscilaciones periódicas seguida por el nivel piezométrico hasta entonces.

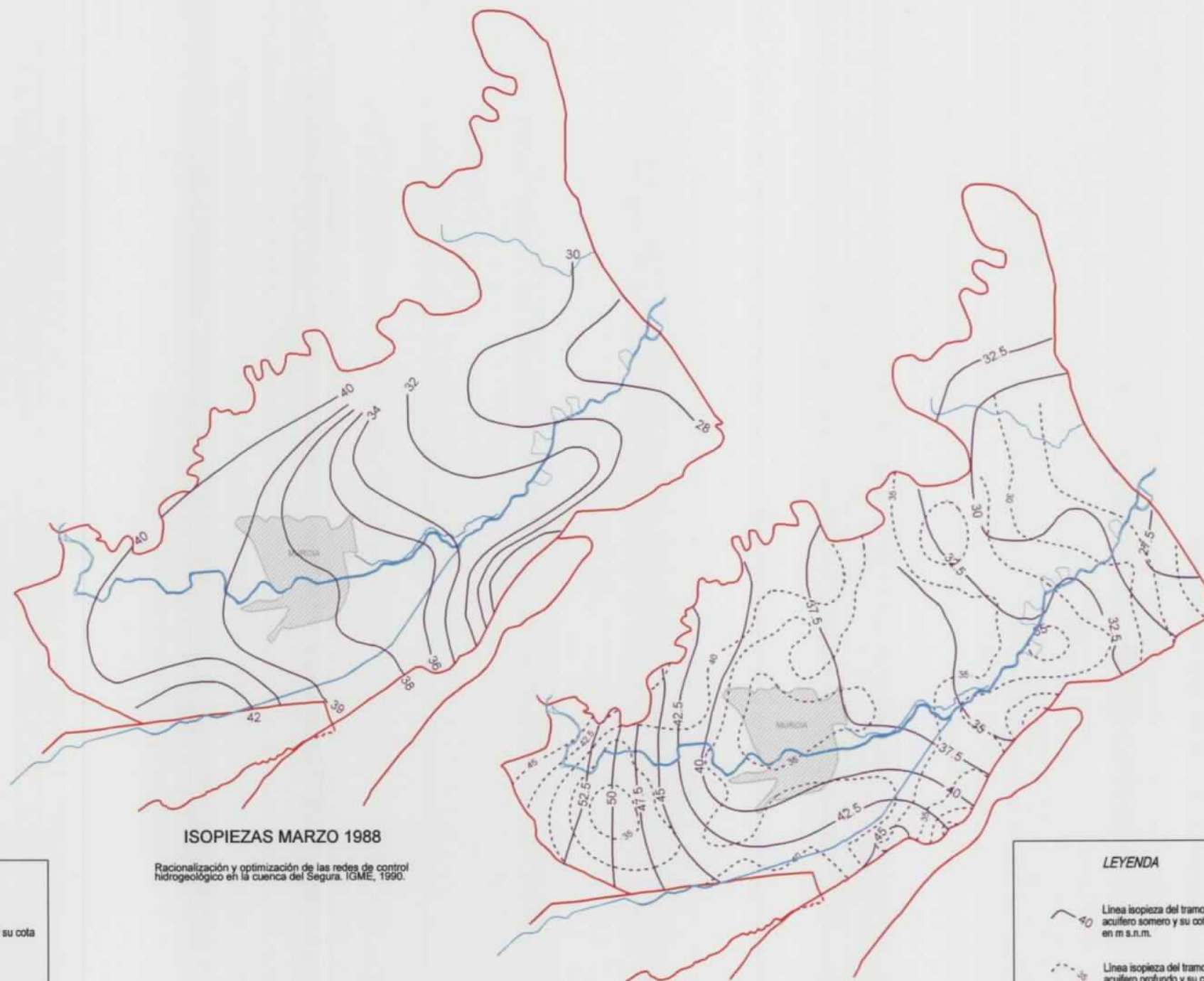


ISOPIEZAS MARZO 1979

Evolución de los acuíferos en la cuenca baja del Segura y costeras de Alicante. IGME, 1983.

LEYENDA

— 32 —
Línea isopieza y su cota en m s.n.m.



ISOPIEZAS MARZO 1988

Racionalización y optimización de las redes de control hidrogeológico en la cuenca del Segura. IGME, 1990.

ISOPIEZAS DICIEMBRE 2000

LEYENDA

— 40 —
Línea isopieza del tramo acuífero somero y su cota en m s.n.m.

- - - 36 - - -
Línea isopieza del tramo acuífero profundo y su cota en m s.n.m.

—
Límite del acuífero de la Vega Media



MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA	Instituto Geológico y Minero de España	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE	Región de Murcia Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 5.1. Evolución de la circulación subterránea en el acuífero de la Vega Media

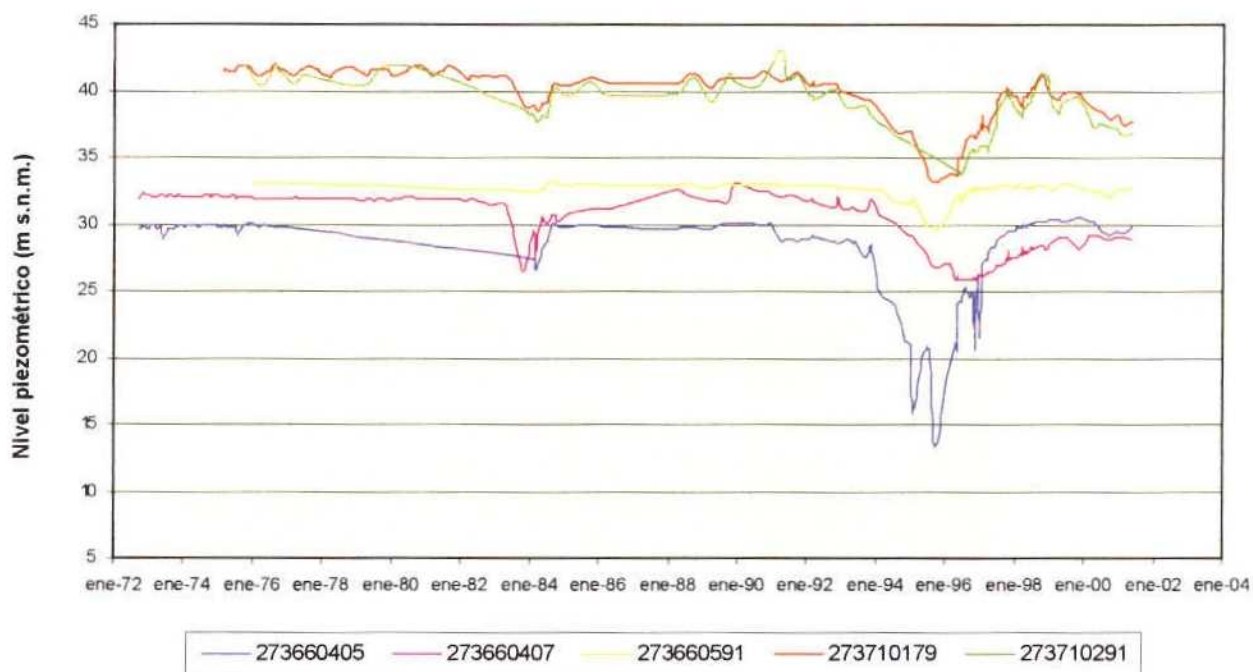


Figura 5.2. Evolución piezométrica histórica en el Acuífero de la Vega Media (Red Oficial del IGME)

Más o menos a partir de esa fecha, se pasa de un régimen de esorrentía casi permanente por la red de acequias y azarbes de la Vega Media a un suministro de agua en periodos concretos de riego, con aportes en los periodos interriegos cuando hay recursos disponibles en cabecera, y con volúmenes limitados, que no siempre coinciden o no satisfacen las necesidades de riego, especialmente en los cultivos herbáceos.

Todo ello ha dado lugar a un progresivo aumento de las extracciones de agua subterránea –ya desde 1982 se promueve la perforación de sondeos (los denominados pozos-sequía) para paliar los periodos de sequía– con sondeos que captan los tramos más permeables del acuífero detrítico, es decir, los niveles de gravas localizados principalmente en los primeros 100 m del relleno.

La proliferación e intensificación de los bombeos de agua subterránea en el AVM han modificado su esquema hidrodinámico, dando lugar a una diferenciación que se puede esquematizar en 2 niveles acuíferos, de régimen de funcionamiento hidrodinámico distinto:

- Por un lado, el que se ha denominado tramo acuífero somero –TAS–, albergado en los materiales limoso-arenosos-arcillosos de la franja superficial de la llanura aluvial. Se

trata de un acuífero libre y de características hidrodinámicas mediocres, con una capacidad de producción muy pequeña que no permite la explotación de agua subterránea, salvo para pequeños usos y ello con reparos por la mala calidad del agua. Su papel hidrogeológico es importante, en cualquier caso, ya que en él tienen lugar los intercambios de agua con el exterior (a excepción de los bombeos): recarga por infiltración de lluvia y retomo de riegos y descarga hacia los cauces.

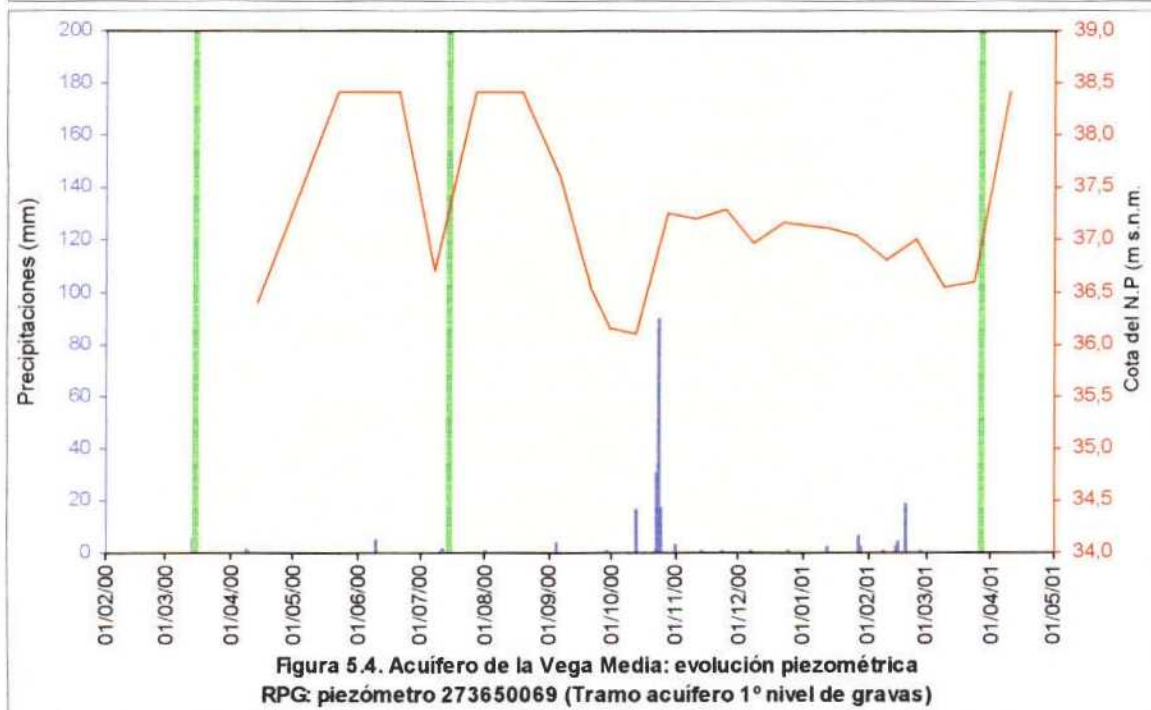
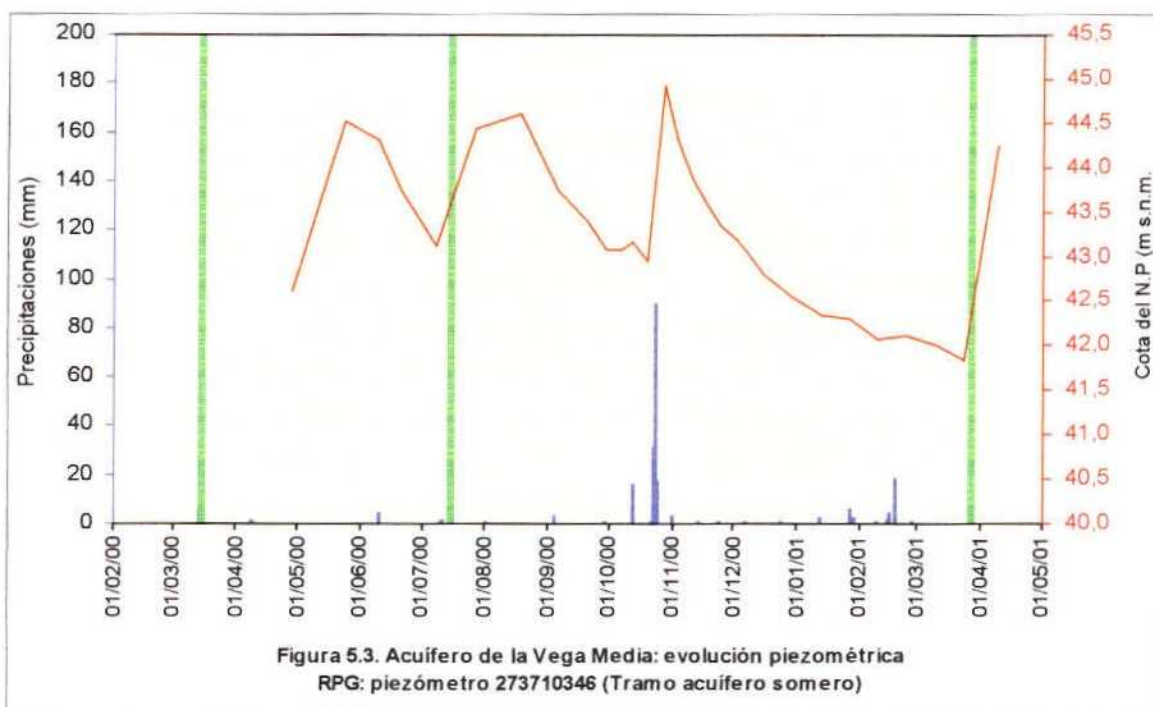
- Por otra parte, el tramo acuífero profundo –TAP–, compuesto por niveles de gravas con intercalaciones de arcillas. Funciona como un acuífero semiconfinado por el tramo somero y tiene unas excelentes características hidrodinámicas, por lo que en él – especialmente en sus primeros 100 m– se centran las extracciones de agua para abastecimiento industrial y regadío.

El distinto régimen hidrodinámico en los dos tramos acuíferos debido al aumento paulatino de la explotación de aguas subterráneas, se pone de manifiesto con toda claridad en los episodios de gran intensidad de bombeo producidos a raíz de la sequía de 1993-95 y de la que aparentemente se ha iniciado en 1999 y continuado en 2000 –así lo reflejan las evoluciones piezométricas de la Figura 5.2.–, aunque la tendencia descendente de niveles puede truncarse si las lluvias del otoño invierno tienen continuidad en 2001, ya que las evoluciones piezométricas registradas durante la realización del Estudio (periodo de control de marzo de 2000 a abril de 2001) insinúan una subida piezométrica general como consecuencia de la campaña de riegos de marzo de 2001, según se observa en las evoluciones piezométricas de las Figuras 5.3. y 5.4., que se incluyen a modo de ilustración de las tendencias de los dos tramos acuíferos diferenciados en el AVM.

En las citadas figuras se observan dos máximos correspondientes a los riegos de marzo y julio (se indica el comienzo de las campañas de riegos mediante una franja vertical de color verde), y un tercer pico, más acusado en el TAS, ocasionada por las fuertes lluvias de octubre, seguidos de descensos pronunciados debidos a la explotación por bombeo sufrida por el acuífero.

En el primer periodo de sequía, 1993-95, que es la más acusada desde que se dispone de registros piezométricos, sólo pudieron observarse las diferencias residuales (en 1997) entre la superficie libre del TAS y el nivel piezométrico del TAP en una zona restringida al casco urbano de Murcia (IGME, 1999), pero la diferenciación piezométrica que se ha producido en 2000 sí ha podido registrarse con precisión en el Estudio, tal como se refleja en el mapa de isopiezas correspondiente que se incluye en la Figura 4.4., en el que

se observa una gran zona deprimida que ocupa prácticamente todo el sector central del acuífero, con mínimos localizados a la altura de Alcantarilla y el este de la zona urbana de Murcia.



Los importantes descensos producidos por los bombeos en el TAP –del orden de 10 a 15 m entre 1992 y 1995, y de 4,5 m entre 1998 y 2000– tienen repercusión en el TAS, que como se ha indicado prácticamente no es objeto de explotación, provocando una desaturación parcial que dio lugar a la aparición de problemas de subsidencia en el casco urbano de Murcia.

En el Anejo 3 se analiza en profundidad el funcionamiento hidrodinámico del sistema y se realiza un tratamiento más extenso de la circulación subterránea, dándose cuenta de todos los trabajos realizados para poder efectuar dichos estudios, en especial las campañas de medidas piezométricas y de nivelación topográfica de precisión de las referencias necesarias, así como la ejecución de piezómetros para la identificación de gradientes verticales en el seno del acuífero.

5.2.2. Vega Baja del Segura

Al igual que en el caso de la Vega Media, el régimen de funcionamiento hidrodinámico cambia a partir del año 1982 como consecuencia de la sequía y de las mayores extracciones de agua subterránea, que han sufrido un notable incremento en los últimos años motivado por la creciente tendencia de desalación de las aguas salobres del acuífero para su utilización en regadío, existiendo además planes futuros al respecto.

Con objeto de conocer el funcionamiento actual de este sistema acuífero, se han llevado a cabo diferentes campañas de observación piezométrica en redes de medida diseñadas al efecto, desde comienzos del año 1997 hasta el año 2001, habiéndose realizado un pormenorizado y sectorizado estudio piezométrico en el que se han incluido mapas de isopiezas de distintas épocas (véase Estudio de los recursos subterráneos de agua salobre en la zona sur de la provincia de Alicante. ITGE-DPA, 2000).

Como conclusiones más relevantes cabe citar las que se relacionan seguidamente.

En el **acuífero profundo** los gradientes hidráulicos mayores se aprecian en la parte más septentrional de la Vega, especialmente en el NO. Esta zona de baja permeabilidad parece extenderse hasta Crevillente. Se trata de una zona donde ya no puede hablarse, *sensu stricto*, de acuífero cuaternario profundo. Los gradientes hidráulicos menores y, en consecuencia, la mayores permeabilidades, parecen corresponder a la zona central, desde la Sierra de Callosa a la Sierra del Molar.

Se distinguen claramente las diferentes zonas de bombeo: oeste de Orihuela, Bigastro y Jacarilla, donde la presencia de amplios conos de depresión perturba las líneas generales de flujo en estas áreas.

Las cotas piezométricas mayores se dan en el NO de la Vega (en el punto 2735/7/0015 llega a superar los 178 m s.n.m.), donde a la vez se sitúan los sondeos con mayor cota topográfica. Los sondeos ubicados en la vega del Segura no sobrepasan los 28 m s.n.m., en la parte más SO.

Las líneas de flujo tienen una dirección preferente SO-NE y NO-SE. Parecen existir dos valles hidrogeológicos claros en la parte occidental del área, casi coincidentes en superficie con los ejes de los valles topográficos (vega del Segura y Depresión Albaterra-Benferri), y cuyo final se sitúa entre las sierras de Orihuela y Callosa. Desde la sierra de Callosa hacia el este, se observa una alimentación adicional desde el Campo de Elche en dirección N-S y ligera componente NE-SO hacia la laguna del Hondo.

Los niveles piezométricos del acuífero cuaternario profundo, no afectados a priori por bombeos, parecen haber aumentado desde el inicio de 1997 hasta finales de 1998.

En las zonas afectadas tradicionalmente por extracciones, el comportamiento no es generalizable y depende del régimen de bombeos particular en cada caso. Sí se han observado a partir de junio y julio de 1998, y hasta finales de este año, descensos continuados de niveles en zonas como Bigastro, Jacarilla y Orihuela, ligado sin duda a bombeos prolongados originados por la falta de suministro procedente del Trasvase Tajo-Segura en una época de escasas precipitaciones.

Respecto a la evolución general de niveles, hay que señalar los meses de junio y octubre de 1997 como los que han presentado incrementos más generalizados (siempre respecto al mes o período de medida inmediatamente anterior), siendo por el contrario febrero-marzo y septiembre de 1998 los meses en los que apenas se observan aumentos, y sí descensos o mantenimiento de niveles generalizados.

Al margen de estas consideraciones iniciales, y con el fin de poder caracterizar lo más exhaustivamente posible el régimen de funcionamiento del acuífero, se ha descrito la evolución de la superficie piezométrica por zonas concretas (véase el antes mencionado Estudio de ITGE-DPA, 2000).

En el **acuífero superficial** la menor densidad de datos en la mayor parte de las zonas implica, cuando menos, cierta incertidumbre a la hora de determinar la dinámica del acuífero, cuantificando gradientes y flujos locales. A ello se le une la gran extensión de las redes de drenaje y su efecto en la dinámica natural del sistema. A pesar de ello, se han podido extraer una serie de conclusiones generales.

Los gradientes hidráulicos más elevados parecen existir en la mitad oeste de la Vega Baja, entre las sierras de Callosa y Orihuela, mientras que los menores y, en consecuencia, las mayores permeabilidades, parecen corresponder a la zona central, entre las localidades de Callosa del Segura y Almoradí, y al tercio este de la zona (la parte más próxima a la desembocadura). En la primera de ellas, relativamente poco afectada por drenajes artificiales, se obtienen gradientes muy bajos; en la segunda, el efecto de la red de azarbes es mucho mayor y, por lo tanto, el flujo horizontal no se puede considerar reflejo exclusivo de la conductividad hidráulica de la formación.

Las cotas piezométricas más altas se dan al O (en el punto 2735/7/0268 llega a superar los 25 m s.n.m.), donde a su vez se encuentran las mayores cotas topográficas.

Las líneas de flujo tienen una dirección preferente O-E, si bien la presencia de la red de drenaje de los azarbes provoca variaciones locales, tanto más importantes cuanto mayor es la densidad de la misma (mitad oriental). Desde la zona de Crevillente y Campo de Elche se aprecia una alimentación adicional de componente N-S con ligera componente NE-SO hacia la laguna del Hondo.

La característica fundamental del acuífero superficial es la de oscilaciones de nivel siempre inferiores a un metro, lo que, junto a la escasez de puntos de referencia, hace que, en muchos casos, no se hayan podido reflejar variaciones notables y generalizadas en las líneas isopiezas.

Los períodos de marzo-abril y noviembre-diciembre son los que han presentado mayor número de incrementos, siendo por el contrario el mes de julio el que ha registrado más descensos, si bien nunca mayoritarios.

La evolución de la superficie piezométrica por zonas se hace especialmente difícil por la escasez de datos. En cualquier caso se ha realizado una serie de consideraciones según la ubicación de los diferentes puntos (véase el mencionado Estudio de ITGE-DPA, 2000).

6. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

6.1. REINTERPRETACIÓN DE ANTERIORES ENSAYOS DE BOMBEO

Del conjunto de la documentación recopilada y analizada sólo se ha podido obtener información de 7 ensayos de hidrodinámica subterránea realizados en distintos tramos del acuífero de la Vega Media, todos los cuales han sido objeto de revisión y, en su caso, reinterpretación. En la Tabla 6.1. se recogen los datos de localización y los parámetros hidrodinámicos correspondientes a los puntos con ensayo hidrodinámico preexistente, cuya localización sobre el terreno se ha reflejado en la Figura 6.1.

Tabla 6.1. Sondeos con ensayo hidrodinámico reinterpretado

Nº registro	X _{UTM}	Y _{UTM}	K (m/s)	S
2736/6/0356	671501	4211025	3.60E-03	
2737/1/0179	663076	4202822	4.00E-04	
2737/1/0291	659719	4205127	5.30E-03	
2737/2/0178	666941	4205491	2.50E-03	3.00E-04
2737/1/0972	668872	4210336	3.00E-04	
2737/1/1004	664196	4203540	2.30E-04	
2737/1/1006	669068	4210149		

Las características de los ensayos reinterpretados y los resultados obtenidos se describen detalladamente en el Anejo 4, efectuándose ahora un breve resumen.

En los **4 ensayos realizados por el IGME durante el PIAS**, en la primera mitad de la década de los 70, cabe comentar que están correctamente interpretados y proporcionan valores fiables de las características hidrodinámicas del acuífero de la Vega Media. La permeabilidad horizontal media obtenida para el nivel acuífero correspondiente al primer tramo de gravas está comprendida entre 216 m/d (transmisividad de 310 m²/h) y 458 m/d (transmisividad de 1092 m²/h), con un valor intermedio de 311 m/d (transmisividad de 65 m²/h); el coeficiente de almacenamiento sólo se ha podido deducir en una de las pruebas, siendo de 3·10⁻⁴. El ensayo realizado en el tramo acuífero profundo, es decir, el conjunto situado por debajo del primer nivel de gravas, indica una permeabilidad media de 34,5 m/d (transmisividad de 137 m²/h).

En los **ensayos realizados por EMUASA** en sondeos de su propiedad, de los que se ha dispuesto de datos originales, ha sido posible proceder a la reinterpretación de uno de

ellos, que capta exclusivamente el primer tramo de gravas, obteniéndose un valor de 14,0 m²/h para la transmisividad, que, para un espesor supuesto de unos 13 m (igual a la altura del tramo filtrante), significaría un valor aproximado de 26 m/d para su permeabilidad horizontal media.

La interpretación de los ensayos realizados por el IGME en 1998 en el marco del "Estudio geotécnico para el análisis, prevención y corrección de la patología derivada de los cambios en el subsuelo de la ciudad de Murcia" resulta complicada porque diversas causas externas pudieron influir en los datos observados. No obstante, y mediante un análisis más profundo de los ensayos realizados en el sondeo 2737/1/10004, se puede deducir que la permeabilidad media del primer tramo de gravas es de 20 m/d (transmisividad de 13,8 m²/h), valor que debe considerarse reducido como consecuencia de la existencia en realidad de diferentes niveles de gravas en un conjunto eminentemente arcilloso. No obstante, en fecha inmediatamente posterior se llevó a cabo un segundo ensayo en este sondeo, que aportó valores superiores (permeabilidad media de 32,8 m/d; transmisividad de 22,5 m²/h), aunque es posible que estos parámetros estén algo sobrevalorados por la probable influencia de la lluvia acaecida durante el ensayo.

6.2. REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE BOMBEO

En el marco del Estudio se han realizado 54 ensayos de hidrodinámica subterránea, de duración y principio metodológico adaptados al régimen de funcionamiento hidrodinámico del acuífero –que se caracteriza por un estado transitorio "permanente" debido a los bombeos puntuales que en un momento u otro se efectúan en una parte u otra de la unidad, de modo que el nivel piezométrico está en un estado de oscilación continua– y a las características hidrodinámicas de los dos tramos acuíferos que se han diferenciado en la unidad de la Vega Media, es decir: el tramo somero, de naturaleza arcillosa-limosa, de baja permeabilidad, y el conjunto subyacente, de permeabilidad media a alta, constituido por una alternancia de niveles de gravas con matriz arenosa o arenosa-arcillosa, y tramos en los que predominan las arcillas. De todos los ensayos realizado han resultado interpretables un total de 49, que se distribuyen de la forma que se indica a continuación.

Para la caracterización del tramo acuífero somero se han llevado a cabo 43 ensayos, realizados en los sondeos de investigación hidrogeológica (infiltración en parcelas, relación río-acuífero, piezometría diferencial) del tramo acuífero somero y en los sondeos de

objetivo geotécnico, ejecutados todos ellos en el marco del Estudio o de estudios precedentes llevados a cabo por el IGME y la Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio. Los ensayos se han distribuido de la siguiente forma:

- 18 bombeos de ensayo, distribuidos del siguiente modo:

. 14 bombeos de ensayo (7 en sondeos aislados y 7 en las baterías para control de riegos y para el estudio de la relación río-acuífero).

. 4 bombeos de ensayo para análisis de la relación río-acuífero en baterías construidas expresamente para ello.

- 25 ensayos de vaciado y recuperación (*bail test*).

En los tramos de gravas se llevaron a cabo un total de 6 bombeos de ensayo individuales.

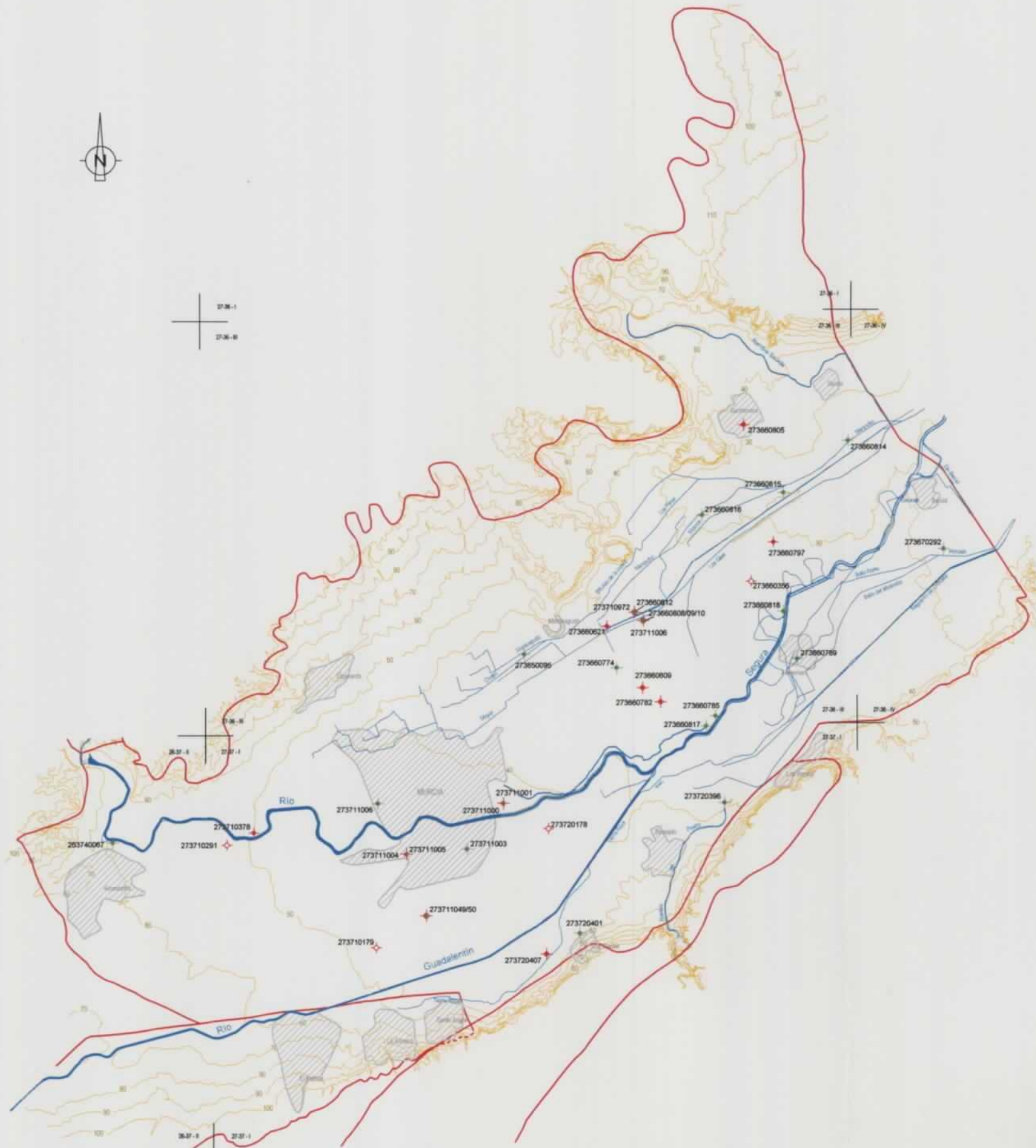
En muchos puntos, debido a la baja permeabilidad del tramo acuífero somero, no fue posible realizar bombeos de ensayo porque se agotaba el agua en el sondeo al cabo de unos pocos minutos de bombeo, incluso con equipos que sólo extraen caudales del orden de centésimas de litro por segundo. En estos casos se realizaron ensayos tipo *Bail test*, consistentes en provocar una depresión "instantánea" en el nivel piezométrico del sondeo por vaciado mediante la introducción de un *Bailer* (cilindro hueco con un dispositivo para la extracción de agua) o bien mediante un bombeo de corta duración, para inmediatamente ir midiendo la evolución del nivel durante la recuperación.

La descripción de los ensayos realizados, sus características y resultados obtenidos se exponen en el Anejo 4.





La localización de los emplazamientos de ensayo se indica en la Figura 6.1. Se observará que, aparentemente, hay menos emplazamientos que ensayos realizados, pero ello se debe a que a todos los puntos que forman una misma batería se les ha asignado el mismo número de inventario.

Parámetros hidrodinámicos

Tramo acuífero profundo			Tramo acuífero somero		
Nº registro	K (m/s)	S	Nº registro	K (m/s)	m.
273660306	3,60E-03	3,0E-04	273660814 (RA1-P1)	8,22E-07	
273710179	4,00E-04		273660814 (RA1-P2)	8,33E-07	
273720178	5,30E-03		273660814 (RA1-P3)	4,58E-07	
273710072	2,50E-03		273660815 (RA2-P1)	8,10E-07	
273711004	3,00E-04		273660815 (RA2-P2)	8,10E-07	
273660782	2,30E-04		273660815 (RA2-P3)	8,10E-07	
273660621	1,03E-04		273660815 (RA2-P4)	7,14E-07	
273710378	2,88E-04		273660817 (RA5-P8)	9,13E-06	
243720407	3,43E-04		273660817 (RA5-P1)	2,78E-06	
273660609	8,62E-04		273660817 (RA5-P2)	6,72E-07	
273660797	1,54E-03	273660818 (RA6-P8)	9,87E-07		
273660797	2,38E-04	273660818 (RA6-P1)	2,58E-06		
		273710050 (P11-P1)	1,25E-06		
		273660849 (P11-P3)	1,31E-07		
		273720396	1,51E-07		
		263740067	4,11E-07		
		273660785	1,49E-07		
		273660808 (P12-P1)	4,48E-07		
		273660809 (P12-P2-1)	1,57E-06		
		273660809 (P12-P2-2)	1,51E-06		
		273660810 (P12-P3)	1,80E-06		
		273670292 (SP2-P1)	1,81E-07		
		273670292 (SP2-P2)	1,88E-06		
		273680815 (RA2-P8)	7,08E-06		
		273690095 (RA4-P1)	6,38E-05		
		273690095 (RA4-P2)	3,80E-05		
		273690095 (RA4-P3)	5,22E-05		
		273711001	1,79E-06		
		273711000	8,52E-06	5,2E-02	
		273711003	1,09E-05		
		273711005	3,37E-06		
		273720401	2,68E-06		
		273660774	2,80E-04		
		273660782			
		273660812 (P13-P2)	3,34E-05		
		273660812 (P13-P22)	5,03E-05	4,8E-02	
		273660812 (P13-P22)	3,87E-05		
		27370814 (RA1-P8)	5,13E-06		
		27370814 (RA1-P1)	1,88E-05	9,0E-03	
		27370814 (RA1-P2)	1,42E-05	4,0E-03	
		27370815 (RA2-P8)	7,00E-06	9,0E-03	
		27370815 (RA2-P1)	1,04E-05	9,0E-03	
		27370815 (RA2-P2)	8,29E-06	1,0E-03	
		27370815 (RA2-P3)	4,31E-05	3,0E-03	
		27370815 (RA2-P4)	8,44E-05	1,0E-03	
		273660818 (RA3-P8)	2,12E-05		
		273690095 (RA4-P1)	4,80E-04		
		273690095 (RA4-P2)	6,30E-04	8,3E-02	
		273690095 (RA4-P3)	8,51E-04	3,1E-02	
		273690095 (RA4-P3)	8,88E-04	4,0E-02	



LEYENDA

-  273660774 Puntos del tramo somero en los que se han realizado ensayos hidrodinámicos
-  273660782 Puntos del tramo profundo en los que se han realizado ensayos hidrodinámicos
-  273720178 Puntos con ensayo reinterpretado (tramo acuífero profundo)
-  Limite del acuífero de la Vega Media



ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 6.1. Puntos con información de parámetros hidrodinámicos

6.3. SÍNTESIS DE RESULTADOS

En la Tabla 6.2. se resumen los valores de las características hidráulicas (permeabilidad y porosidad eficaz) obtenidas en los ensayos realizados en el tramo acuífero somero. En los casos de las baterías de ensayo, se ha tomado como valor representativo de los parámetros hidrodinámicos la media aritmética de los valores obtenidos en los puntos de la batería.

Como corresponde a un medio arcilloso-limoso, los valores de permeabilidad son bajos, entre 10^{-5} y 10^{-7} m/s (la mayoría de ellos inferiores a 0,5 m/d), lo mismo que su porosidad eficaz –inferior a 1%–, excepto en el sector localizado entre Zarandona y Monteagudo, donde la facies más arenosa confiere al TAS características hidrodinámicas

Tabla 6.2. Características hidrodinámicas del tramo acuífero somero

Nº registro	X _{UTM}	Y _{UTM}	K (m/s)	m _e (%)
2637/4/0067	657160	4205180	4.11E-07	
2736/5/0095	666400	4209400	6.08E-04	4.5
2736/6/0774	668475	4209100	2.80E-04	
2736/6/0785	670695	4208025	1.45E-07	
2736/6/0808	668872	4210336	4.46E-07	
2736/6/0809	668872	4210336	1.57E-06	
2736/6/0812	669068	4210149	3.66E-05	4.6
2736/6/0816	670550	4212600	2.12E-05	
2736/6/0817	670490	4207800	4.19E-06	
2736/6/0818	672225	4210360	1.78E-06	
2736/7/0292	675830	4211750	1.61E-07	
2737/1/0049	664196	4203540	1.31E-07	
2737/1/0050	664196	4203540	1.25E-06	
2737/1/1001	665931	4206064	1.79E-06	
2737/1/1003	665115	4205039	1.05E-05	
2737/1/1005	663757	4204923	3.37E-06	
2737/2/0396	670900	4206080	1.51E-07	
2737/2/0401	667640	4203150	2.68E-06	
2737/6/0814	673676	4214193	2.75E-06	0.7
2737/6/0815	672226	4213007	1.56E-05	0.4

propias de acuíferos –la permeabilidad alcanza valores medios de $4 \cdot 10^{-4}$ m/s (entre 25 y 50 m/d) y la porosidad eficaz es del 4,5 %–.

En la Tabla 6.3. se indican los valores de parámetros hidrodinámicos calculados para el tramo acuífero profundo. Descontando valores excesivamente bajos que corresponden a sondeos de objetivo geotécnico que seguramente se han colmatado por acondicionamiento deficiente, se han obtenido valores excelentes, entre 10^{-3} y 10^{-4} m/s (los más representativos entre 25 y 300 m/d), es decir, entre 2 y 3 órdenes de magnitud mayores

que en el tramo somero. El único valor del coeficiente de almacenamiento medido es propio de un acuífero semiconfinado.

Tabla 6.3. Características hidrodinámicas del tramo acuífero profundo

Nº registro	XUTM	YUTM	K (m/s)	S
2437/2/0407	666890	4202680	8.62E-04	
2736/6/0356	671501	4211025	3.60E-03	
2736/6/0609	669055	4208655	1.54E-03	
2736/6/0621	668255	4210025	2.98E-04	
2736/6/0782	669460	4208340	1.03E-04	
2736/6/0797	672000	4211900	2.35E-04	
2737/1/0179	663076	4202822	4.00E-04	
2737/1/0291	659719	4205127	5.30E-03	
2737/1/0378	660325	4205400	3.43E-04	
2737/1/0972	668872	4210336	3.00E-04	
2737/1/1004	664196	4203540	2.30E-04	
2737/2/0178	666941	4205491	2.50E-03	3.00E-04

En el Anejo 4 se describen con todo detalle los diferentes ensayos realizados, su interpretación (incluida la de los preexistentes) y los resultados obtenidos.

En la Vega Baja, el conocimiento de los parámetros hidráulicos del acuífero se ha centrado principalmente en la determinación de la distribución de transmisividades en el acuífero profundo y en los acuíferos carbonatados, para lo cual se han tenido en cuenta los datos obtenidos en los bombeos de ensayo realizados durante el PIAS y en los mapas y perfiles de resistividades procedentes de estudios asociados con el PIAS y con campañas específicas de exploración petrolífera (véase el Estudio de ITGE-DPA, 2000).

La distribución espacial resultante varía entre zonas donde el valor de transmisividad es menor o igual a 100 m²/día hasta otras en las que se alcanzan valores superiores a 1000 m²/día. En el primer caso, el área abarcada es la más extensa, situada preferentemente en los sectores este y norte de la Vega Baja, combinándose con áreas internas o en continuidad con los materiales carbonatados donde los valores de transmisividad aumentan hasta los 500 m²/día. Para valores superiores a 500 m²/día, llegando incluso a los 4000 m²/día, la distribución espacial esta asociada a las formaciones carbonatadas triásicas de las sierras de Callosa, Orihuela y Santa Pola.

Además, se han considerado los resultados de un modelo preliminar de este sistema acuífero realizado por ITGE y DPA (1996) con motivo del estudio de los recursos subterráneos salobres de la Vega Baja (1ª Fase).

Del análisis de todos los datos previos mencionados se efectúa una primera distribución espacial de los parámetros hidráulicos, que se utilizan como datos iniciales para la calibración del modelo numérico desarrollado en este Estudio (capítulos 11 y 12).

7. RELACIÓN ENTRE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

7.1. PLANTEAMIENTO

En el estudio de la relación entre el acuífero de las vegas Media y Baja y los ejes de drenaje superficial se han aplicado varias metodologías diferentes.

Por un lado, se han realizado bombeos de ensayo de la duración suficiente para poner de manifiesto, caso de que exista, la conexión hidrodinámica entre el acuífero y el agua superficial. En el planteamiento inicial se había previsto la posibilidad de realizar controles simultáneos de la evolución de la superficie libre en el acuífero somero y del nivel del agua en el cauce, en los casos en que, habiéndose observado la existencia de conexión, se considerase conveniente completar el análisis, pero se observó que la infiltración de los excedentes del riego daba lugar a variaciones piezométricas que enmascaraban totalmente la posible influencia en la superficie libre del tramo acuífero somero de las variaciones de nivel en los cauces, por lo que se renunció a realizar estos controles. Estos trabajos se han centrado en la Vega Media.

Por otra parte, se han efectuado campañas de aforos diferenciales que pusieran de manifiesto la pérdida o ganancia de los cauces a lo largo de su recorrido por el acuífero.

Por último, la elaboración del modelo de flujo subterráneo ha requerido también del análisis de las relaciones entre el acuífero y los cauces superficiales que, en este caso, se ha centrado en conocer los tramos ganadores y perdedores así como el intercambio de caudales, para lo que se han estudiado los datos disponibles de las estaciones de aforo existentes y todas las relaciones entre cotas del río y azarbes y parámetros hidráulicos que condicionan el intercambio de caudales.

En los Anejos 3 y 4, en el modelo hidrogeológico conceptual y en el modelo de flujo se muestran otros aspectos complementarios a los tratados en el presente capítulo.

7.2. ANÁLISIS MEDIANTE ENSAYOS DE BOMBEO EN LA VEGA MEDIA

El análisis de la relación río-acuífero mediante bombeos de ensayo se ha efectuado a partir de la construcción y acondicionamiento de 6 baterías de sondeos que captan

exclusivamente el tramo acuífero somero, localizadas en las proximidades de los principales cauces que recorren longitudinalmente la Vega Media (véase Figura 2.3).

Las baterías, cuya descripción detallada se muestra en el Anejo 3, constan de un sondeo de bombeo y de un número variable entre 2 y 4 piezómetros auxiliares de observación, con la siguiente disposición espacial, siempre que ello fue posible: 3 piezómetros, como mínimo, situados en la misma margen que el sondeo de bombeo respecto al cauce superficial, y el cuarto, en la orilla opuesta. Los sondeos que están del mismo lado respecto del cauce se disponen según una configuración en ángulo recto: 2 piezómetros están alineados con el punto de bombeo y el tercero perpendicular a la alineación anterior.

Después de las operaciones de perforación y acondicionamiento, todos los sondeos fueron sometidos individualmente a bombeos periódicos para conseguir la limpieza y el adecuado desarrollo de los tramos captados, antes de llevar a cabo los bombeos de ensayo. Este proceso previo, que resultó considerablemente más laborioso de lo previsto debido al carácter arcilloso-limoso de las formaciones que constituyen el tramo acuífero somero, proporcionó una información de partida muy ilustrativa sobre las características hidrodinámicas de dicho nivel acuífero y la naturaleza de su conexión con los cauces.

En efecto, en todos los casos, los primeros intentos de bombeo de limpieza, realizados con bombas portátiles de pequeño diámetro capaces de suministrar caudales del orden de centésimas a unas pocas décimas de litro por segundo, tuvieron como consecuencia el vaciado de los sondeos y sólo después de una prolongada serie de bombeos intermitentes que tuvo una duración de varios días, se consiguió, y no en todos los casos, un grado de acondicionamiento suficiente para efectuar bombeos de ensayo, eso sí, con caudales de los órdenes de magnitud indicados. Esta circunstancia es indicativa de unas características hidrodinámicas francamente bajas, que ya indican una deficiente conexión con los cursos de agua, sin tener en cuenta la colmatación de los cauces, que es muy importante por la gran cantidad de sólidos en suspensión que habitualmente transporta el agua superficial.

Las baterías que quedaron en disposición de ser objeto de bombeos de ensayo fueron las RA1, RA2, RA3 y RA4. Por el contrario, en ninguno de los sondeos de las dos baterías situadas a orillas del Segura –RA5 y RA6– fue posible mantener un bombeo mínimamente prolongado, ya que se agotaron en pocos minutos, lo que obligó a realizar

ensayos de tipo *bail test* para estimar las características hidrodinámicas del acuífero somero en los dos sectores captados por las baterías.

En los bombeos de ensayo realizados en las baterías RA1, RA2, RA3 y RA4 (ver gráficos y resultado de la interpretación en Anejo 4), sólo se ha puesto de relieve la conexión río-acuífero en el caso de la batería RA3, que únicamente cuenta con el propio sondeo de bombeo como punto de observación, por lo que no es posible deducir información adicional sobre las características de la conexión, que se produce en un sector muy localizado del cauce del azarbe de Los Molinos, a través de una junta abierta en el revestimiento del cauce, prácticamente situada frente al sondeo. En las otras 3 baterías, el seguimiento de los niveles de la superficie libre indica descensos continuados sin que en ningún caso se haya iniciado una estabilización del nivel, ni siquiera en el caso de la batería RA4, cuyo punto de bombeo se encuentra a menos de 5 m de distancia del cauce sin revestimiento, pero bastante colmatado –por él circula agua de vertidos industriales, con aceites y una elevada proporción de sólidos en suspensión–, del Azarbón.

Es indudable que debe existir conexión hidrodinámica entre los ejes de drenaje superficial –río Segura y azarbes– y el tramo acuífero somero, pero la baja permeabilidad de éste y el previsible alto grado de colmatación o el revestimiento de los cauces hacen que no sea evaluable en la práctica dicha relación.

Tomando en consideración los bajos valores de difusividad del acuífero somero, se desestimó la realización de controles simultáneos de nivel en el acuífero y en los cauces. En las medidas esporádicas realizadas durante los ensayos y en alguna campaña específica, se observa que los niveles en el acuífero están siempre por encima de la lámina de agua en los cauces, seguramente por el aporte permanente que recibe el acuífero por retorno de riegos, lo que indica la existencia de descarga de agua subterránea desde el acuífero somero a los cauces, que probablemente se pondrá de manifiesto en un rezume difuso centrado en los azarbes secundarios.

7.3. AFOROS EN CAUCES

La segunda actividad enfocada a identificar y caracterizar la relación entre el acuífero superficial y los cursos de agua consistió en la realización de campañas de aforos diferenciales. Los controles se realizaron en un periodo que incluyó la tanda de riegos con agua superficial de marzo-abril de 2001 (primer riego del año 2001; véase Anejo 6-3), y los

periodos anterior y posterior a la misma, todo ello con objeto de obtener información sobre las características de la descarga subterránea en régimen influenciado y no influenciado por los riegos a manta.

Los trabajos, inicialmente planteados para la Vega Media, se trataron de efectuar en ambas vegas, pero la gran complejidad del regadío de la Vega Baja donde se producían importantes interferencias por vertidos y derivaciones intermedias en las secciones de aforo establecidas, hizo que se desestimaran los trabajos en esta zona que se limitaron a recorridos de campo donde, al final, se evidenció la inexistencia de drenajes puntuales significativos durante el periodo de estudio.

Las labores se iniciaron tras un recorrido previo a lo largo de los principales cauces de drenaje de la Vega Media, con excepción del río Segura, donde se identificaron 33 secciones de control repartidas en 17 cauces, que constituyen la Red Foronómica del Estudio –RFE– (Tabla 7.1). En el periodo de tiempo comprendido entre el 28 de febrero y el 25 de abril de 2001 se llevaron a cabo 7 campañas de medidas en las que se efectuó un total de 114 aforos y 164 medidas de la conductividad eléctrica del agua. En el Anejo 3 se detallan los resultados de las medidas efectuadas en cada campaña.

El resultado de mayor relieve es la confirmación de la escasa cuantía de los aportes subterráneos de la Vega Media a los cauces, incluso en los que carecen de revestimiento, como los azarbes de Azarbón (Zaraiche de Monteagudo), Los Chopos y el Reguerón de Orihuela (Hurchillo).

En el Azarbón, el caudal medido antes del riego era de 4 l/s en las dos secciones de control, distantes unos 400 m entre sí, con unos aportes que prácticamente se pueden considerar vertidos industriales. El caudal subió hasta un máximo de 168 (en la sección de aguas arriba) y 233 l/s (en la sección de aguas abajo) hacia la mitad del periodo de riegos – que comenzó el 24 de marzo y finalizó el 18 de abril– para descender rápidamente a 10 y 22 l/s, respectivamente, una semana después del final del riego. Aún en el caso de que la diferencia de caudal pudiera atribuirse en su totalidad a descarga de agua subterránea, su valor correspondería a un drenaje específico de 0,03 l/s/m, equivalentes a 0,38 hm³/año para una longitud de 400 m, en el supuesto de que dicho caudal correspondiera al valor medio anual, lo que parece una sobreestimación notoria, dado el escaso tiempo que había transcurrido entre el final del aporte de agua superficial al acuífero y el aforo. El agua corresponderá con mayor probabilidad a colas de riego.

En el azarbe de Los Chopos, la conclusión es mucho más evidente, ya que en la mayor parte de las medidas el caudal disminuye a lo largo del tramo controlado. Ello indica que las variaciones de caudal obedecen preferentemente al balance entre tomas y vertidos.

Tabla 7.1. Red foronómica del Estudio

DENOMINACIÓN	X _{UTM}	Y _{UTM}	TIPO DE CAUCE	REVESTIMIENTO
Zaraiche	674.000	4215.350	Acequia	Si
Rambra Salada 1	670.000	4215.420	Desagüe Embalse	Si
Rambra Salada 2	674.360	4214.930	Desagüe Embalse	Si
Rambra Salada 3	674.590	4214.590	Desagüe Embalse	Si
Merancho 1	672.520	4213.220	Azarbe	Si
Merancho 2	674.530	4214.560	Azarbe	Si
Merancho 3	674.670	4214.570	Azarbe	No
Mayor	674.680	4214.460	Azarbe	Si
Giles 1	670.340	4211.230	Azarbe	Si
Giles 2	674.690	4214.490	Azarbe	Si
Azarbón 1	666.180	4209.260	Azarbe	No
Azarbón 2	666.520	4209.500	Azarbe	No
Chopos 1	666.200	4209.220	Azarbe	No
Chopos 2	666.550	4209.460	Azarbe	No
Brazal Bajo de la Cueva	668.190	4209.900	Azarbe	Si
La Gironda	676.370	4212.500	Acequia	Si (entubada)
De la Cruz	676.420	4212.410	Azarbe	Si (entubada)
Horcajo	676.960	4211.710	Acequia	No
Reguerón de Hurchillo 1	673.240	4208.630	Azarbe	No
Reguerón de Hurchillo 2	673.900	4209.320	Azarbe	No
Reguerón de Hurchillo 3	674.510	4209.900	Azarbe	No
Reguerón de Hurchillo 4	674.870	4210.230	Azarbe	No
Reguerón de Hurchillo 5	675.010	4210.360	Azarbe	No
Reguerón de Hurchillo 6	675.380	4210.710	Azarbe	No
Reguerón de Hurchillo 7	676.100	4211.340	Azarbe	No
Reguerón de Hurchillo 8	676.720	4211.570	Azarbe	No
Reguerón de Hurchillo 9	676.990	4211.995	Azarbe	No
Nueva Zeneta 2	677.140	4211.540	Acequia	Si
Nueva Zeneta 1	674.500	4209.860	Acequia	Si
Indiano	677.140	4211.440	Acequia	No
Zeneta	677.200	4211.320	Acequia	Si
Bollo Norte	674.920	4211.260	Azarbe	No
Bollo Mediodía	675.080	4211.160	Azarbe	No

En el Reguerón de Hurchillo, que es probablemente el cauce sin revestir de mayor longitud de la Vega Media, las observaciones son similares. Antes de los riegos, el caudal era mínimo (1-2 l/s), durante el riego aumentó considerablemente, pero con balance negativo en el tramo controlado en varias campañas de medidas (es decir, el caudal era mayor en la sección de aguas arriba que en la de aguas abajo), y volvió a hacerse nulo una

semana después del final del riego, lo cual refleja una muy reducida capacidad drenante de agua subterránea.

En los azarbes principales, revestidos en la mayor parte de su traza, las medidas de caudal realizadas indican que, en ausencia de riegos, su escorrentía corresponde a vertidos de aguas residuales urbanas e industriales. Si hubiera algún aporte subterráneo, en todo caso de pequeña cuantía, sería prácticamente indetectable.

En general, la conductividad eléctrica del agua varía de forma inversa con el caudal debido a que el aumento de éste se debe al aporte de agua superficial del Segura, mucho menos mineralizada que las aguas residuales urbanas e industriales que en ausencia de agua de riegos constituyen la mayor parte de la escorrentía circulante por la red de avenamiento de la Vega Media.

7.4. SÍNTESIS DE LAS RELACIONES RÍO SEGURA-ACUÍFERO Y AZARBES-ACUÍFERO

La campaña de aforos diferenciales llevada a cabo en el marco del Estudio ha confirmado las conclusiones obtenidas en el estudio de la relación río-acuífero mediante bombes de ensayo: la descarga del acuífero hacia los cauces en el **periodo de observaciones** es muy pequeña, debido seguramente a una conjunción de factores, entre los que cabe señalar como principales los siguientes:

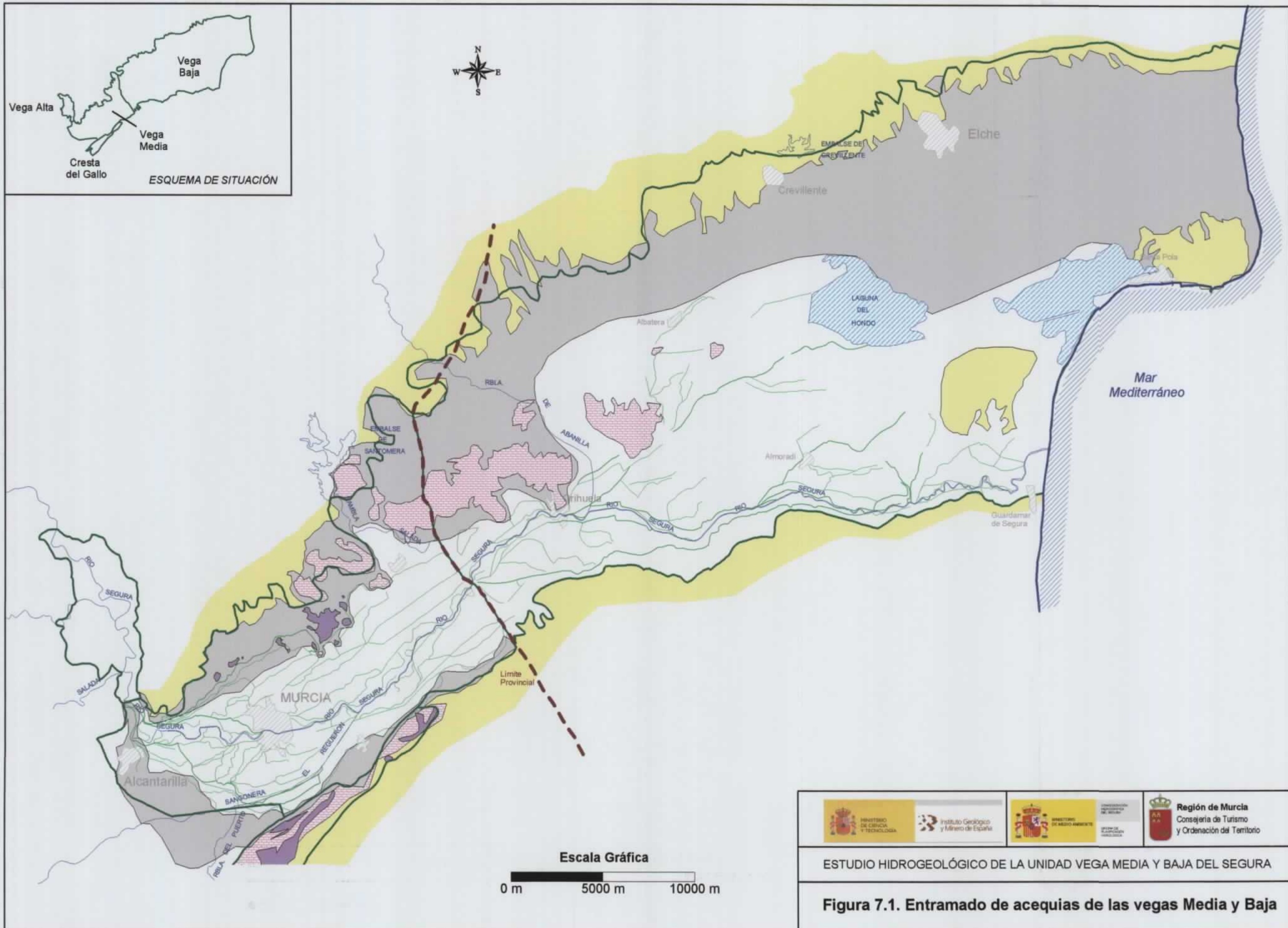
- La realización del Estudio ha coincidido con un periodo seco que ha dado lugar a importantes bombes de agua subterránea para suplir el déficit de aportes superficiales, que se han traducido en un notable descenso en el tramo acuífero profundo que, a su vez, provoca una bajada general de niveles en el tramo somero, que es en el que tiene lugar el intercambio de agua con los cauces. Es muy probable que la superficie libre se haya mantenido en una posición tan baja que ni los riegos hayan provocado una subida de niveles suficiente para evidenciar drenajes significativos hacia los cauces, que, en general, tienen lugar de forma diferida y con un caudal específico de descarga muy pequeño debido a la baja permeabilidad del tramo acuífero somero. Teniendo en cuenta las escasas variaciones topográficas y los bajos gradientes hidráulicos existentes, basta un ligero descenso del nivel piezométrico para que muchos azarbes pierdan la función de drenaje del acuífero y se conviertan únicamente en recolectores de excedentes de riego que no llegan a infiltrarse.

- Por otro lado, los azarbes vienen sufriendo sustanciales modificaciones que inciden en la pérdida de su función de drenaje: revestimiento en la mayor parte de los ramales principales y colmatación del lecho por el vertido directo de aguas residuales de una población dispersa y en aumento. De hecho, los azarbes constituyen una parte de la red de saneamiento en determinados sectores de las vegas Media y Baja.

Desde el punto de vista de las relaciones entre los cauces y el acuífero, los datos disponibles permiten establecer la existencia de tres grandes tramos:

- El primer tramo comprende el sector situado entre la Contraparada y Murcia. El nivel piezométrico se sitúa por debajo de la cota de fondo del río que se comporta como perdedor, no existiendo tampoco azarbes.
- En el segundo tramo, aproximadamente de Murcia a Orihuela, el río drena claramente al acuífero. El drenaje se inicia aguas abajo de la ciudad de Murcia, donde además se inicia la red de azarbes de las vegas al situarse el nivel piezométrico próximo a la superficie topográfica. En concreto, en el sector de Zarandona arranca el azarbe Mayor que junto con el azarbe del Merancho son los principales ejes de drenaje por la margen izquierda. En el sector de Beniaján comienza el azarbe de Hurchillo que es el correspondiente eje de drenaje principal por la margen derecha. Se ha observado que la densidad de azarbes en la margen derecha es mayor que en la margen izquierda, con azarbes más cortos y es una zona más problemática de cara al drenaje, lo que podría atribuirse a una menor permeabilidad.
- El tercer tramo, desde Orihuela hasta la desembocadura del río en Guardamar, queda incluido en su totalidad en la Vega Baja. En esta zona los intercambios de agua entre el río y el acuífero son poco significativos. El río discurre muy cerca del borde sur a cotas superiores a las del eje central de la vega. Toda esta zona está dominada por una basta red de azarbes para descender el nivel piezométrico y evitar la inundación de los terrenos. En la actualidad buena parte de estos azarbes han perdido su función como elementos de drenaje del acuífero. En el "Estudio de los recursos salobres en la zona sur de la provincia de Alicante (Fase II)" (ITGE-DPA, 1997) se efectúa un detallado análisis de las zonas de influencia de la red de azarbes de la Vega Baja.

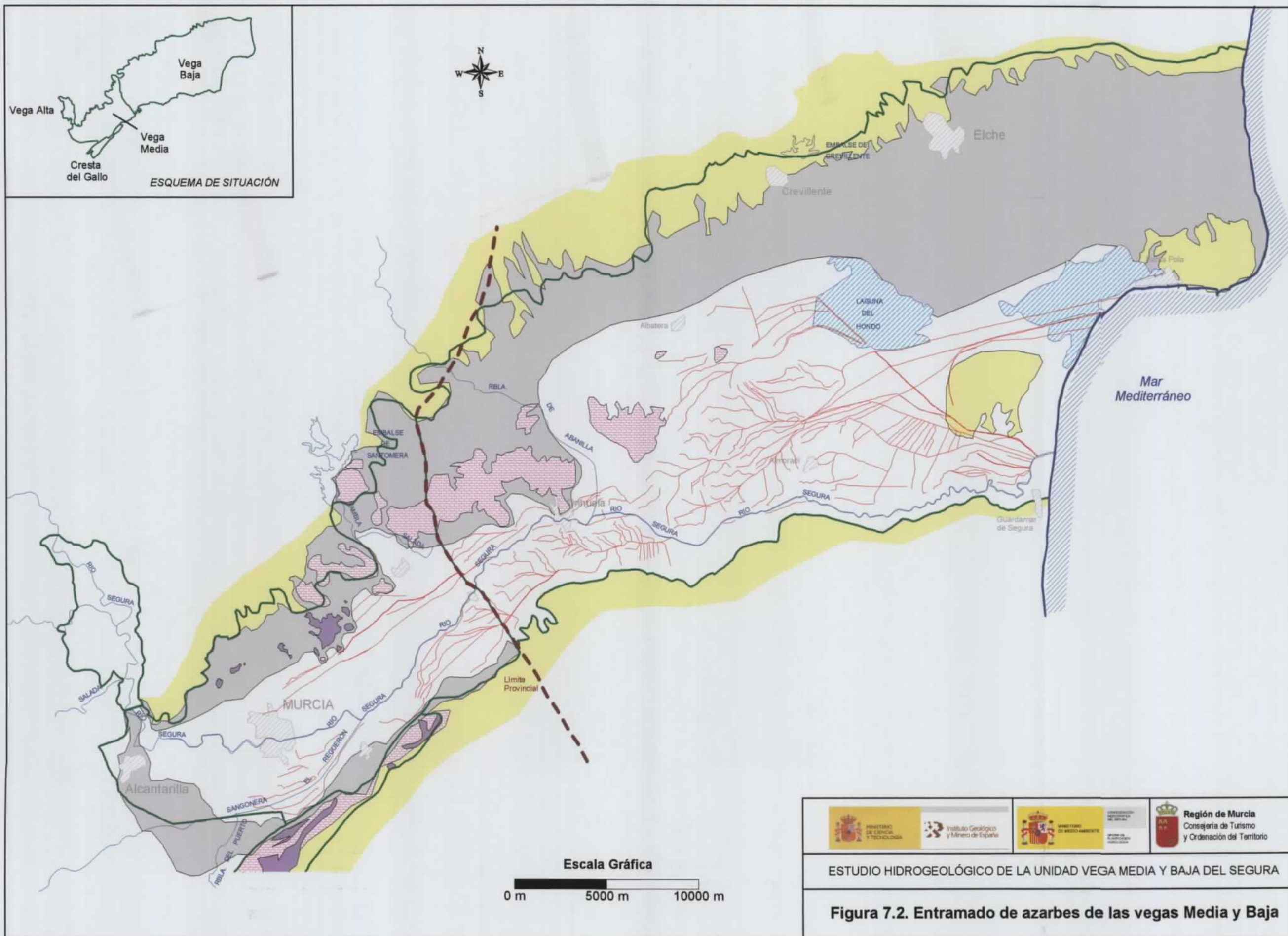
En las Figuras 7.1 y 7.2 se muestra la situación esquemática de las principales acequias y azarbes de las vegas Media y Baja.



 <p>MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA</p>	 <p>Instituto Geológico y Minero de España</p>	 <p>REGIÓN DE MURCIA SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE OPERA DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL</p>	 <p>Región de Murcia Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 7.1. Entramado de acequias de las vegas Media y Baja








ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 7.2. Entramado de azarbes de las vegas Media y Baja

8. USOS Y DEMANDAS DE AGUA

8.1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los usos del agua ha partido del conocimiento del destino del agua subterránea bombeada en cada captación, haciendo especial hincapié en la Vega Media, donde se ha efectuado el inventario de puntos de agua, incorporando de anteriores estudios del IGME lo referente a la Vega Baja.

De los tres grandes tipos de demanda de agua –urbana, industrial y agrícola– son solamente dos, la industrial y la agrícola, las que tienen relación con el funcionamiento del acuífero y el uso de las aguas que de él se extraen por bombeo, ya que su calidad química impide el uso para abastecimiento :

- La demanda de agua subterránea para usos agrícolas es variable en función de las aportaciones disponibles de aguas del Segura para los riegos tradicionales en las vegas del Segura y de las aguas del Trasvase Tajo-Segura. Además, una parte del agua aplicada a los cultivos retorna al acuífero por infiltración de los excedentes de los riegos.
- Por el contrario, el agua subterránea destinada a uso industrial puede considerarse como una demanda fija a lo largo del año. El uso industrial del agua subterránea es estrictamente consuntivo, ya que se transforma en agua residual y prácticamente no hay retornos al acuífero.

8.2. REGADÍO

El riego de los cultivos de la zona constituye la principal demanda de agua y el destino casi exclusivo de las aguas subterráneas.

En la actualidad, la asignación de recursos para riego está establecida en el Plan Hidrológico de la cuenca del Segura – PHCS-, que utiliza como elemento de gestión básico la Unidad de Demanda Agraria (UDA) y que, dada la escasez casi permanente de recursos, suele ser complicada su completa satisfacción cada año hidrológico.

Atendiendo a la superficie que ocupan y a los volúmenes demandados, las principales unidades de demanda relacionadas con el acuífero de las vegas Media y Baja

del Segura son las nº 32 "Tradicional Vega Media", nº 46 "Tradicional Vega Baja", nº 53 "Riegos de Levante Margen Izquierda-Segura", nº 54 "Riegos de Levante Margen Izquierda-Júcar" y nº 72 "Nuevos regadíos Riegos de Lev. M. Izquierda-Segura".

La demanda bruta conjunta de todas las unidades que quedan dentro del acuífero de las vegas Media y Baja asciende a unos 375 hm³/año. Esta cifra resulta de disminuir las demandas de forma proporcional al porcentaje de superficie bruta de cada UDA que queda dentro del acuífero. En el Anejo 6-3 se muestran todos los detalles del regadío en las vegas Media y Baja y una estimación de los volúmenes destinados en el periodo 1994/95-2000/01 que se comentarán más adelante.

8.2.1. Evaluación de superficies agrícolas mediante teledetección

El objetivo principal del estudio se ha centrado en el cálculo de superficies de regadío mediante Imágenes Landsat 7 ETM+, en el año 2000, para la zona geográfica de la Vega Media. Además de esto se han incorporado las evaluaciones de superficies realizadas, en un trabajo similar, para la Vega Baja, pertenecientes al "Estudio de los recursos subterráneos de agua salobre en la zona sur de la Provincia de Alicante" (ITGE-DPA, 2000), donde se utilizaron imágenes Landsat 5 TM del año 1998. También se ha procedido a la reconstrucción temporal en seis fechas concretas, entre los años 1985 y 2000, para los acuíferos de la Vega Media, Cresta del Gallo y Vega Baja. Todos estos trabajos que se detallan en el Anejo 9, pretenden proporcionar elementos fiables para valorar y modificar, en su caso, las actuales demandas de agua para riego establecidas actualmente en el Plan Hidrológico de la cuenca del Segura.

El estudio multitemporal se ha efectuado con imágenes LANDSAT 7 ETM+ de marzo y agosto del año 2000, calculando las superficies cultivas en el dominio definido por los acuíferos de la Vega Media, Cresta del Gallo y Unidades de Demanda Agraria 32, 34 y 36.

En la Tabla 8.1 se muestra la distribución por UDAs en el acuífero de la Vega Media. En la clase otras se incluyen, además de zonas no asignadas a ninguna unidad de demanda, los cultivos pertenecientes a otras UDAs presentes en el acuífero.

La superficie total cultivada estimada mediante regresión simple en el acuífero de la Vega Media durante el año 2000 es de 11151 ha, lo que supone la mitad del área total del

acuífero. La mayor parte de la superficie cultivada corresponde a cultivos leñosos de regadío de hoja perenne (cítricos) y supone 7971 ha. En un marco de disminución de la superficie cultivada, se ha observado que el cultivo de cítricos, de mayor rentabilidad en la actualidad, presenta un aumento en superficie en detrimento de los cultivos herbáceos (1942 ha). El resto de superficie del acuífero no está cultivada y corresponde en su mayor parte a zonas urbanas, áreas forestales y campos de cultivo que han sido abandonados durante los últimos años debido a la expansión urbanística de la ciudad de Murcia y sus pedanías.

Tabla 8.1. Distribución de superficies de cultivo por Unidades de Demanda Agraria dentro del acuífero de la Vega Media

Cultivos (valores en ha)	UDA 32	UDA 34	UDA 36	Otras	Total
Cultivos leñosos (cítricos)	5698.14	399.43	51.49	1822.3	7971.36
Cultivos leñosos (sin producción)	298.57	16.68	3.74	231.91	550.90
Leñosos secano (almendros y olivos)	234.85	17.94	4.65	180.28	437.72
Cultivos leñosos (no cítricos)	50.67	2.23	0.24	16.77	69.91
Vinedo regadío (uva de mesa)	4.33	0.27	-	1.97	6.57
Forrajeros	99.33	3.33	-	22.54	125.20
Herbáceos (Hortalizas, tubérculos y bajo plástico)	1572.98	46.46	8.25	314.7	1942.39
Cereal de secano	13.61	5.77	0.17	5.62	25.17
Cultivo industrial (algodón)	-	10.01	0.07	12.18	22.26
Total evaluado por Teledetección (superficie neta)	7972.48	502.12	68.61	2608.27	11151.49

Los cultivos leñosos de hoja perenne (cítricos) se han podido diferenciar en las imágenes en tres categorías según el porcentaje de fracción cabida cubierta (FCC). La imagen de verano (8 Agosto de 2000) ha permitido discriminar las especies arbóreas de hoja caduca (frutales de hueso) de las de hoja perenne (cítricos). Los cultivos de huerta que se encuentran abiertos en la imagen de primavera, no se han podido diferenciar de las especies caducifolias en esta época. La imagen de verano ha permitido diferenciar este tipo de clases. La discriminación entre los diversos cultivos de huerta no ha sido posible aunque, a efectos de estimar volúmenes de agua aplicados, no debe suponer una merma significativa de los resultados obtenidos.

En lo que respecta al cálculo por unidades de demanda agraria, las estimaciones se han efectuado de forma precisa para las UDAs 32, 34 y 36 y, para el resto, mediante suma de celdas del modelo de flujo con asignación a UDAs y que se comentarán más adelante.

Según el Plan Hidrológico de la cuenca del Segura (CHS, 1997), la superficie neta de la UDA 32 "Tradicional Vega Media" asciende a 9693 ha (68% de la superficie total de la UDA) con una demanda bruta de 76,5 hm³/año. La superficie obtenida en este estudio proporciona un valor total de 8412 ha (Tabla 8.2), lo que supone el 59% cultivado de la Unidad y una reducción de nueve puntos respecto de la proporcionada en el Plan Hidrológico. En el estudio comparativo detallado de los datos del PHCS y los obtenidos mediante teledetección resulta significativo el aumento de los cítricos, de 4595 ha según PHCS (47% del total cultivado) a 6022 ha (72%) según el presente trabajo; sin embargo, se cree que están sobrestimados los valores de frutales de hueso del PHCS (1219 ha según PHCS y 53 ha según el presente estudio) y que en buena parte corresponderían a cítricos. La reducción más notable se realiza en los cultivos herbáceos, que han pasado de 2818 ha, como cifra total de los cultivos hortícolas que se diferencian en el PHCS, a 1639 ha. En esta reducción influye el crecimiento urbanístico y la menor rentabilidad de este tipo de cultivo.

Con respecto a la Unidad 34 (Tabla 8.3), también se observa una reducción notable de la superficie cultivada, de 1397 ha (según PHCS) a 948 ha (según el presente estudio), de las que 1306 ha y 644 ha, respectivamente, corresponden a cítricos, cuya reducción es mayor en este caso (en comparación con la UDA 32), porque esta UDA se ve más afectada por la expansión urbanística y las nuevas infraestructuras.

En lo que concierne a la UDA 36 (Tabla 8.4), la superficie total cultivada ha pasado de 1913 ha a 1051 ha, lo que supondría una reducción muy importante de cítricos ya que pasan de 1774 ha (93% del total cultivado) según el PHCS a 820 ha (71%; suma de cítricos adultos y jóvenes) según el estudio realizado.

En las comparaciones entre los datos obtenidos en el presente estudio y en el Plan Hidrológico de la cuenca del Segura debe tenerse en cuenta que el procedimiento de cálculo de ambos trabajos es diferente.

Tabla 8.2. Distribución de superficies de cultivo en la UDA 32 "Tradicional Vega Media".

UDA 32 Cultivos (valores en ha)	Acuífero VM	Acuífero CG	Resto	Total UDA
Cultivos leñosos (cítricos)	5698.14	12.03	312.13	6022.29
Cultivos leñosos (sin producción)	298.57	0.70	20.68	319.96
Leñosos secano (almendros y olivos)	234.85	-	20.75	255.60
Cultivos leñosos (no cítricos)	50.67	-	2.75	53.42
Viñedo regadío (uva de mesa)	4.33	-	-	4.33
Forrajeros	99.33	0.22	3.63	103.18
Herbáceos (Hortalizas, tubérculos y bajo plástico)	1572.98	0.87	64.72	1638.57
Cereal de secano	13.61	-	0.80	14.41
Cultivo industrial (algodón)	-	-	0.14	0.14
Total evaluado por Teledetección (superficie neta)	7972.48	13.81	425.59	8411.89

Tabla 8.3. Distribución de superficies de cultivo en la UDA 34 "Vega Media Post. Al 33 y Ampl. al 53".

UDA 34 Cultivos (valores en ha)	Acuífero VM	Resto	Total UDA
Cultivos leñosos (cítricos)	399.43	244.83	644.26
Cultivos leñosos (sin producción)	16.68	29.94	46.62
Leñosos secano (almendros y olivos)	17.94	36.19	54.13
Cultivos leñosos (no cítricos)	2.23	4.38	6.60
Viñedo regadío (uva de mesa)	0.27	0.37	0.64
Forrajeros	3.33	4.22	7.55
Herbáceos (Hortalizas, tubérculos y bajo plástico)	46.46	100.61	147.07
Cereal de secano	5.77	21.86	27.63
Cultivo industrial (algodón)	10.01	3.64	13.64
Total evaluado por Teledetección (superficie neta)	502.12	446.03	948.15

Tabla 8.4. Distribución de superficies de cultivo en la UDA 36 "Regadíos de acuíferos en la Vega Media".

UDA 36 Cultivos (valores en ha)	Acuífero VM	Acuífero CG	Resto	Total UDA
Cultivos leñosos (cítricos)	51.49	34.08	612.77	698.34
Cultivos leñosos (sin producción)	3.74	2.96	115.38	122.09
Leñosos secano (almendros y olivos)	4.65	6.44	79.09	90.18
Cultivos leñosos (no cítricos)	0.24	0.78	11.41	12.43
Viñedo regadío (uva de mesa)	-	-	-	-
Forrajeros	-	-	-	-
Herbáceos (Hortalizas, tubérculos y bajo plástico)	8.25	3.21	115.75	127.21
Cereal de secano	0.17	-	-	0.17
Cultivo industrial (algodón)	0.07	-	0.25	0.32
Total evaluado por Teledetección (superficie neta)	68.61	47.47	934.66	1050.74

La incorporación de los datos generados a partir de las imágenes en un Sistema de Información Geográfico, ha permitido que los resultados obtenidos en la clasificación se crucen con una malla de celdas de 1 km², correspondientes al dominio del modelo matemático de flujo subterráneo. Estos datos, junto a los de la Vega Baja y Campo de Elche, obtenidos en un estudio anterior, se han utilizado en el modelo de flujo para la evaluación zonificada de los volúmenes de agua aplicados para riego y el cálculo de los retornos de riego. En la Tablas 8.5 y 8.6 se comparan las superficies del acuífero de la Vega Media con las consideradas para el modelo y con las del Plan Hidrológico de la cuenca del Segura para todas las unidades de demanda agraria que quedan dentro de su dominio.

Tabla 8.5. Comparación entre las superficies de cultivo del acuífero de la Vega Media y los considerados para el modelo por suma de valores obtenidos en celdas de 1 km².

Cultivos (valores en ha)	Superficies en Acuífero Vega Media (206 km ²)	Superficies consideradas Modelo numérico (203 km ²)	
Cultivos leñosos (cítricos)	7971	7570	
Cultivos leñosos (sin producción)	551	539	
Leñosos secano (almendros y olivos)	438	(427) No se consideran por ser cultivo de secano	
Cultivos leñosos (no cítricos)	70	77	
Vinedo regadío (uva de mesa)	7	7	
Forrajeros	125	134	
Herbáceos (Hortalizas, tubérculos y bajo plástico)	1942	1865	1912
Cereal de secano	25	28	
Cultivo industrial (algodón)	22	19	
Total sin leñosos de secano	10713	10239	
Total con leñosos de secano	11151	10666	

Tabla 8.6. Comparación entre las superficies de cultivo por Unidades de Demanda Agraria calculadas en este estudio (valores obtenidos por suma de celdas de 1 km²) y los del PHCS.

COD.	UNIDAD de DEMANDA AGRARIA	Dominio Modelo de flujo			Datos PHCS			Porcentaje UDA dentro del Modelo	
		UDAs	Sup. Bruta (km ²)	Sup. Neta (ha)	Sup. Bruta (ha)	CPR	CRT		Sup. Neta (ha)
32	Tradicional Vega Media	32	139	7778	14254	0,80	0,85	9693	99%
		32+72	2	106					
34	Vega Media, post. al 33 y ampl. del 53	34	7	415	2055	0,80	0,85	1397	33%
36	Regadíos de acuíferos en la Vega Media	36	2	79	2813	0,80	0,85	1913	7%
39	Nuevos regadíos Zona IV Vega Alta-Media	39	32	1481	8233	0,85	0,70	4899	39%
46	Tradicional Vega Baja	46	200	17960	20464	0,85	0,85	14785	100%
		46+72	5	332					
48	Vega Baja, post. al 33 y ampl. del 53	48	42	3262	13310	0,85	0,85	9616	40%
		48+72	11	823					
51	Regadíos de acuíferos en la Vega Baja	51	0	0	219	0,85	0,85	158	100%
		51+72	3	149					
53	Riegos de Levante Margen Izquierda-Segura	53	5	359	12063	0,85	0,75	7690	95%
		53+72	109	7330					
54	Riegos de Levante Margen Izquierda-Júcar	54	192	9958	20341	0,85	0,75	12967	94%
66	Nuevos regadíos Lorca y Valle del Guadal.	66	9	153	10798	0,85	0,85	7802	8%
72	Nuevos regadíos Riegos de Lev. M. Izq.-Seg.	72 s.s.	78	2267	8343	0,85	0,75	5319	94%
		Sin asignar	73	1879					
		TOTAL		54331					

El último grupo de trabajos de teledetección realizado ha consistido en el estudio de la evolución temporal de superficies de cultivo. En este caso el ámbito de trabajo ha incluido la totalidad de la superficie de los acuíferos de la Vega Media, Cresta del Gallo y Vega Baja del Segura. El objetivo de este trabajo ha sido conocer las variaciones en las superficies de cultivo, que se van a traducir en cambios respecto a los volúmenes de agua demandados para riego.

En este trabajo se han elegido distintos momentos temporales del periodo 1985-2000, de acuerdo con la disponibilidad de imágenes y con la siguiente representatividad de cada una de las fechas:

- Imagen de 1985: Situación previa a la entrada en vigor de la Ley de Aguas
- Imagen de 1991: Año medio desde el punto de vista pluviométrico
- Imagen de 1995: Sequía.
- Imagen de 1998: Situación representativa de recuperación de niveles
- Imagen de 2000: Fecha de realización del presente estudio (año seco).

A lo largo del tiempo, se ha puesto de manifiesto un aumento de áreas urbanas en detrimento de zonas agrícolas y de vegetación natural. A partir del año 1995 se evidencia un incremento de leñosos de regadío, tanto en la Vega Media como en la Vega Baja, debido a las transformaciones de las parcelas de huerta a este tipo de cultivo durante principios de los años noventa. La evolución de los cultivos hortícolas no se puede observar de una manera clara dado que las imágenes disponibles corresponden a fechas de verano (julio o agosto), cuando estos cultivos están recogidos o recién plantados, en su mayor parte. No obstante, se puede establecer que hay una disminución de este tipo de cultivos durante los últimos 10 años en favor de los leñosos de regadío tanto en la Vega Media como en la Vega Baja. Debe señalarse, por último, que los trabajos de evaluación de superficies de cultivo deben contar siempre con al menos dos imágenes elegidas en fechas adecuadas (estudio multitemporal), para poder discriminar los cultivos estacionales.

8.2.2. Demanda de agua para riego en la Vega Media en el año 2000

El cálculo de la demanda de agua para riego en la Vega Media en el periodo en el que se ha centrado el estudio (año 2000), se ha efectuado a partir de la cuantificación de las superficies de cultivos mediante el tratamiento de imágenes satélite anteriormente comentado, y la posterior estimación de las dotaciones de cada cultivo a partir de encuestas directas de campo, para lo cual se tomó como referencia la división de los cultivos en los 7 tipos siguientes:

- Leñosos regadío (cítricos)
- Leñosos sin producción (cítricos jóvenes)
- Leñosos secano (almendros y olivos)
- Leñosos regadío (no cítricos)
- Viñedo de regadío
- Forrajeros
- Herbáceos (hortalizas, tubérculos y bajo plástico)

El cálculo de las dotaciones de agua por riego sobre el acuífero de la Vega Media del Segura se ha realizado a partir de la información recabada sobre el terreno en encuestas realizadas en 24 explotaciones repartidas de forma homogénea en el ámbito del acuífero de la Vega Media, correspondientes a los siguientes tipos de cultivo: cítricos (15 parcelas), herbáceos (16), forrajeras (2), frutales (3), olivos (1), cereal de invierno (1), cereal de verano (3) y algodón (1). La información obtenida se resume seguidamente:

- a) En el grupo de los cítricos, se incluyen las dos variedades de limones, fino y verna, y las naranjas. La dotación para el limón fino y para la naranja es ligeramente mayor a la del limón verna. Se cultivan durante todo el año, y su dotación se reparte en seis riegos a lo largo de todo el año; para cada riego se estima un aporte de agua de 1250 m³/ha. Las fechas de los riegos son: primeros de marzo –coincidiendo con la floración–, abril, junio, julio o agosto (dependiendo de la fecha del riego con aguas superficiales), septiembre y diciembre. Los cítricos jóvenes (sin producción) necesitan un riego adicional, aunque se les aplica menos agua que a los árboles en producción; se ha estimado una dotación aproximada del 60 % de la evaluada para estos.
- b) El grupo de los herbáceos es de composición y, por tanto, de dotación heterogénea, ya que agrupa los siguientes tipos de hortalizas: de flor, de tubérculo, de raíz, de fruto, y de hoja. En este caso, la estimación de las dotaciones es especialmente compleja debido a que las diferentes variedades tienen distintas necesidades hídricas, distinta duración de

periodo de cultivo de cada uno y se cultivan en diferentes épocas del año. Por ello, se ha optado por calcular la dotación de forma individual para cada variedad, y posteriormente, estimar una dotación media para todas las hortalizas en general como la media ponderada de las individuales en función de su representatividad en el acuífero de la Vega Media.

Como idea de complejidad, que dificulta la estimación de dotaciones tanto de forma individual por cultivo como, sobre todo, para todo el grupo, se pueden mencionar las siguientes consideraciones:

- No todos los cultivos de herbáceos tienen la misma duración, por lo que en dos parcelas de igual número de hectáreas puede darse el caso de albergar un número distinto de cultivos en un mismo año (1, 2 ó 3).
- Si, por ejemplo, en la misma época del año se plantan tomates y repollos, la demanda de agua de los primeros es mayor, por lo que la frecuencia de riegos también lo será.
- Incluso dentro de una variedad puede haber diferencias según la época del año, tal como ocurre con el cultivo de lechugas: su duración es de tres meses y, si se plantan en enero, se riegan cada 15 días; en cambio, si se siembran en marzo, los riegos serán cada 6-7 días, aplicándose la misma dotación en los dos casos.

El valor de dotación más frecuente obtenido en las encuestas es de 1078 m³ por hectárea y riego, pero en algunos cultivos, en los meses de invierno, con una buena distribución de "regaderas", disminuye hasta 660 m³.

Los meses de mayor intensidad son de marzo a junio y de septiembre a diciembre, con cultivos de tres a cuatro meses de duración. Las fechas de siembra corresponden a los meses de marzo, septiembre y diciembre.

El número de riegos varía de seis, en meses poco calurosos, a diez, a finales de primavera y verano. En general, los herbáceos se riegan cada dos semanas, en invierno, y cada semana ó cinco días en verano. El primer riego de cada cultivo debe ser más abundante que los demás. Para el cálculo de las dotaciones se ha obtenido una media de 6,5 riegos por cultivo.

Lo normal es que se produzcan uno o dos cultivos al año, aunque pueden llegar hasta tres (si los cultivos son muy cortos). Los meses de julio y agosto son los más habituales

para el descanso de la tierra, aunque no es una norma que se cumpla en todas las parcelas. El coeficiente de rotación de cultivo obtenido es de 1,7.

Entre los herbáceos se ha incluido el cereal de verano, en concreto el panizo (maíz), en el grupo de las hortalizas de fruto. La superficie de cultivo es muy reducida: sólo un porcentaje mínimo de cultivo de rotación con maíz (sólo tres parcelas de las dieciséis encuestadas), que se siembra en parcelas que en los meses de invierno han sido ocupadas por herbáceos. El periodo de este cultivo es de mayo a septiembre, y recibe del orden de seis riegos, uno al mes, excepto en los meses de julio y agosto en los que recibe dos, con una dotación media por riego y hectárea de 1449 m³.

Las dotaciones calculadas para cada variedad y el valor de la dotación media para las hortalizas se indica en la Tabla 8.7.

Tabla 8.7. Dotaciones de hortalizas.

Variedad	Dotación (m³/ha/año)
Hortalizas flor	5798
Hortalizas tubérculo	6176
Hortalizas raíz	6766
Hortalizas fruto	6591
Hortalizas hoja	5050

- c) El de forrajeras, es otro cultivo significativo en el acuífero debido a la alta dotación asignada, aunque no ocurre así con su representación en extensión. Se siembran dos cultivos al año, de febrero a junio y de septiembre a diciembre, con un total de ocho riegos por cultivo. La dotación por riego resultante es de 1625 m³.
- d) Los leñosos de regadío no cítricos; es decir, los frutales, tienen una dotación por riego similar a los cítricos, con la diferencia de un menor número de riegos: sólo cuatro. Esta variedad de cultivo ocupa poca extensión en la Vega Media.
- e) Otros cultivos leñosos, los almendros y los olivos, son poco significativos en un cálculo total, debido a su escasa extensión y su baja dotación. Sólo se riegan dos veces al año, al comenzar la primavera y en otoño, con una dotación unitaria por riego de 1300 m³/ha.

En la Tabla 8.8 se reflejan las dotaciones medias calculadas a partir de la información facilitada por los regantes y el estado de preparación de las parcelas y la procedencia del agua.

Tabla 8.8. Dotaciones medias aplicadas en los cultivos sobre el acuífero de la Vega Media.

Tipo de cultivo	Dotación por riego (m ³ /ha)	Dotación total (m ³ /ha/año)	Número de cultivos/año	Fechas de cultivos	Número de Riegos	Fechas de riego
Leñosos regadío (cítricos)	1250	7500	1	Todo el año	6	Marzo, abril, junio, julio o agosto (según la tanda de riego tradicional), septiembre y diciembre
Leñosos (sin producción)	650	4500	1	Todo el año	7	Marzo, abril, junio, julio, agosto, septiembre y diciembre
Leñosos secano (almendros y olivos)	1300	2600	1	Todo el año	2	Marzo, septiembre
Leñosos regadío (no cítricos)	1250	5000	1	Todo el año	4	Abril, julio, septiembre, diciembre
Viñedo de regadío	714	4640	1	Marz-Sep	6-7	
Forrajeros	1625	13000	2	Febr-Jun Sept-Dic	8	1 febrero, 2 en Marzo, 2 Abril, 2 Mayo, 2 Junio 2 Septiembre, 2 octubre, 2 Noviembre, 2 Diciembre
Herbáceos (huerta)	1078	5653	1- 2	Según tipo*	6 - 10	Se cultivan todo el año; en general en invierno se da un riego cada 15 días, y en verano cada 5-7 días

* los diferentes cultivos tienen diferentes épocas de siembra: finales de marzo, principios de septiembre y finales de diciembre.

Considerando las superficies de los distintos cultivos y las dotaciones unitarias calculadas en el Estudio (Tabla 8.8), se obtiene una demanda total de agua para los riegos localizados sobre el acuífero de la Vega Media en el año 2000 de 75,51 hm³, que se desglosa por tipos de cultivos según se indica en la Tabla 8.9. En el capítulo del modelo hidrogeológico conceptual se muestran más detalles de cálculo de volúmenes demandados y se observarán ligeras diferencias atribuibles a la menor superficie del modelo de flujo y a la cuantificación realizada por suma de cultivos en cada celda de 1 km².

Tabla 8.9 Demanda de agua para riego en el acuífero de la Vega Media (año 2000).

Tipo de cultivo	Superficie (ha)	Dotación (m ³ /ha/año)	Demanda anual (hm ³)
Leñosos regadío (cítricos)	7971	7500	59.78
Leñosos (sin producción)	551	4500	2.48
Leñosos regadío (no cítricos)	70	5000	0.35
Viñedo de regadío	7	4640	0.03
Forrajeros	125	13000	1.63
Herbáceos (huerta) ¹	1989	5653	11.24
Total	10713		75.51

¹ La demanda de herbáceos se calcula considerando un coeficiente de rotación de 1

Con el reparto de los cultivos de regadío entre los grupos genéricos de leñosos y herbáceos, para adaptar esta información al conocimiento que se ha obtenido en el marco del Estudio sobre los porcentajes de retorno de riego, y calculando las dotaciones de ambos como media ponderada de las dotaciones individuales, se obtienen las cifras siguientes:

- f) 8592 ha de cultivos leñosos (80,2 %) con una dotación media de 7287 m³/ha/año.
- g) 2121 ha de cultivos herbáceos (19,8 %), con una dotación media de 6082 m³/ha/año.

8.2.3. Demanda de agua para riego en la Vega Baja (año 1998).

En el "Estudio de los recursos subterráneos de agua salobre en la zona sur de la Provincia de Alicante" (ITGE-DPA, 2000), se procedió al cálculo mediante teledetección de superficies de riego y a la determinación de demandas a partir de las dotaciones utilizadas para cada tipo de cultivo obtenidas en trabajos de campo. Los resultados fueron referidos a celdas de 1 km² para un modelo preliminar de flujo. En la Tabla 8.10 se muestran las superficies de riego calculadas para el dominio del modelo de flujo del presente estudio (menor que el preliminar), dotaciones consideradas y los volúmenes resultantes. La demanda anual calculada con datos de superficie evaluadas por teledetección con imágenes de marzo y agosto de 1998, se estima en unos 282 hm³ que se destinan principalmente a los cultivos de cítricos y hortícolas.

Tabla 8.10. Superficies de cultivo, dotaciones y volúmenes demandados en la Vega Baja del Segura.

Tipo de cultivo	Superficie (ha)	Dotación (m ³ /ha/año)	Demanda anual (hm ³)
Invernadero	203	12000	2.44
Cítricos	14046	6000	84.28
Caducifolios	3085	5800	17.89
Parral y vid	426	4640	1.98
Palmeras y viveros	3938	13000	51.19
Huerta y cereal	13956	4900	68.38
Forrajeros	2292	12150	27.85
Transformación	6146	4500	27.66
TOTAL	44092		282.66

8.2.4. Orígenes del agua de riego y volúmenes aplicados en el periodo 1994/95-2000/01

La procedencia del agua de riego en una parcela concreta de las vegas Media y Baja del Segura puede tener uno de los siguientes orígenes o una combinación de ellos: 1) aguas superficiales procedentes de recursos propios de la cuenca (desembalses o riegos tradicionales), 2) aguas superficiales procedentes del Traspase Tajo-Segura, 3) aguas subterráneas (la desalación podría ser una variante) y 4) residuales y/o excedentes de riego.

En este estudio se ha procedido a la evaluación mensual de los volúmenes destinados para riego en el periodo 1994/95-2000/01, según los posibles orígenes y atendiendo a distintas zonificaciones (acuífero, unidades de demanda agraria y zonas de recarga del modelo de flujo). En la Tabla 8.11 y Figura 8.1 se muestran los volúmenes anuales destinados al riego y en el Anejo 6-3 se presentan con más detalle otros resultados obtenidos.

La mayor parte del agua de riego procede de los desembalses efectuados para cubrir las necesidades del regadío tradicional de ambas vegas, con volúmenes anuales que han estado comprendidos entre 69 y 230 hm³. Las aguas del trasvase Tajo-Segura, aplicadas mayoritariamente en la zona de riegos de Levante Margen Izquierda (sector norte de la Vega Baja), han sido evaluadas entre 14 y 91 hm³/año.

Las aguas subterráneas aplicadas para riego proceden del propio acuífero de las vegas y han sido evaluadas mediante un estudio específico de cálculo de la explotación (Anejo 6-2), descontando los volúmenes bombeados destinados a uso agrícola fuera del acuífero o a otros usos. Los volúmenes anuales han estado comprendidos entre 16 y 36 hm³.

El uso agrícola de las aguas residuales ha sido estimado de forma constante en 49 hm³/año, que se aplican de forma mayoritaria en la Vega Baja.

Tabla 8.11. Volúmenes anuales (hm³), según origen, aplicados para riego en el acuífero de vega Media y Baja del Segura (dominio del modelo de flujo).

AÑO HID.	Recursos propios (riegos tradicionales)	Trasvase Tajo-Segura	Aguas Subterráneas (sólo para riego)	Aguas Residuales	TOTALES
1994-95	69.4	13.9	36.2	49.2	168.7
1995-96	169.3	53.5	33.5	49.2	305.5
1996-97	219.3	57.4	17.2	49.2	343.1
1997-98	230.6	63.0	15.8	49.2	358.6
1998-99	193.7	80.6	23.4	49.2	346.9
1999-00	103.1	90.6	28.1	49.2	271.0
2000-01	180.1	89.2	23.6	49.2	342.1
Media	167	64	25	49	305

Resulta significativo observar que en ninguno de los años hidrológicos estudiados quedaría completamente satisfecha la demanda de 375 hm³ calculada con datos del PHCS y referida al comienzo de este capítulo. Por otro lado, si se comparan los volúmenes que demanda la Vega Media, calculados con datos de dotaciones y superficies de cultivo obtenidas por teledetección para el año 2000 (75,5 hm³), y la Vega Baja para el año 1998 (282,7 hm³), cuya suma total es de 358 hm³/año, se aprecia que sólo en el año 1997/98, la demanda quedaría cubierta. En definitiva, a pesar del importante uso de las aguas subterráneas y residuales, que desde el punto de vista de la asignación de recursos no está especificado para las vegas del Segura en el PHCS (salvo UDAs 36 y 51), no se cubren por completo las demandas, aunque gracias a estos recursos adicionales sí hay una buena aproximación en determinados años. Además de esto, debe tenerse en cuenta que existe una reutilización de excedentes de riego, muy difícil de evaluar, pero que constituye una pieza clave en el regadío. Este uso en "cascada" de los sobrantes, que puede efectuarse un número indeterminado de veces, suele ser el que permite sustentar los cultivos, especialmente en la Vega Baja, aunque con aguas cada vez de peor calidad.

Los años hidrológicos 1994/95 y 1999/00 han sido los que mayor déficit hídrico han acumulado. En el primer año se observa un importante incremento de las extracciones por bombeo que no llegan a paliar los efectos de la reducción de las aportaciones de recursos propios y trasvase.

8.3. ABASTECIMIENTO URBANO E INDUSTRIAL

Las demandas de agua para el abastecimiento de las poblaciones ubicadas en las vegas Media y Baja del Segura están especificadas en el PHCS y quedan atendidas, salvo en casos puntuales, por la Mancomunidad de Canales del Taibilla, cuyos recursos proceden de la cuenca alta, y por tanto son exteriores a las vegas. Las aguas subterráneas no tienen, en consecuencia, uso para abastecimiento. Sólo la población de Callosa de Segura complementa parte del suministro con aguas subterráneas con un volumen anual de unos 0,3 hm³.

En lo que respecta a la demanda industrial de agua también queda cubierta, en su mayor parte, por las aguas de la Mancomunidad de Canales del Taibilla. No obstante, se efectúa un uso del agua subterránea para la industria que se ha estimado a partir de la información recabada en la fase de inventario de puntos de agua, partiendo del supuesto razonable –dado el carácter exhaustivo del inventario, que se enfocó preferentemente hacia las captaciones activas– de que la explotación por bombeo para abastecimiento de industrias es equivalente a la demanda. De acuerdo con ello, la demanda de agua subterránea de la Vega Media para la industria se ha evaluado en 3,16 hm³ para el año 2000 y se centra en las actividades de refrigerado y lavado.

En la Vega Baja no se dispone de datos precisos respecto al uso industrial de las aguas subterráneas, aunque se estima que es escaso y con las mismas actividades de la Vega Media.

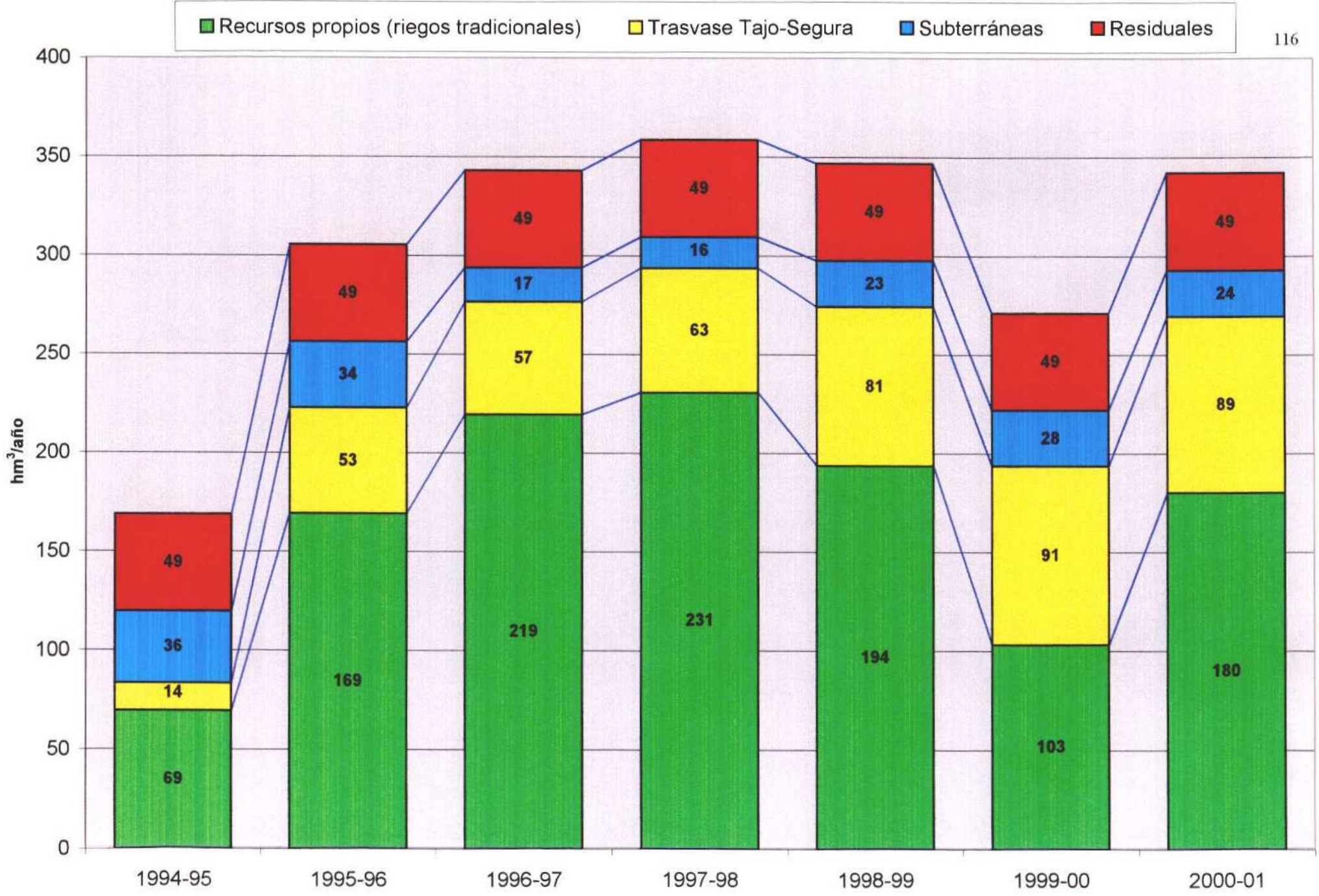


Figura 8.1. Volúmenes aplicados para riego en las Vegas Media y Baja del Segura (dominio del modelo de flujo).
Periodo 1994/95 a 2000/01

9. BALANCE HÍDRICO

9.1. BALANCE HÍDRICO DE LA VEGA MEDIA (AÑO 2000)

El balance hídrico del acuífero de la Vega Media se compone de los siguientes elementos:

- **Entradas**
 - Recarga por infiltración de lluvia útil
 - Recarga por infiltración de excedentes de riego
 - Entrada lateral subterránea desde el acuífero del Bajo Guadalentín
 - Entrada lateral subterránea desde el acuífero de la Cresta del Gallo
 - Entrada lateral subterránea desde el acuífero de la Vega Alta.
- **Salidas**
 - Descarga hacia los ejes de drenaje superficial
 - Salida lateral subterránea hacia el acuífero de la Vega Baja
 - Salida lateral subterránea hacia el acuífero de la Cresta del Gallo
 - Explotación por bombeo.

La metodología empleada para la evaluación de cada uno de los términos anteriores, que en el caso de los dos elementos principales de recarga –infiltración por lluvia útil y retorno de riegos– ha sido diseñada y puesta a punto, expresamente, para el periodo comprendido entre los meses de abril de 2000 y marzo de 2001 se describe en los siguientes apartados. En los capítulos del modelo hidrogeológico (capítulos 11 y 12) se elabora un balance del periodo 1973-1975, representativo de condiciones poco influenciadas por el bombeo. Asimismo, algunos términos del balance expuestos en este capítulo son revisados y mejorados en el del modelo de flujo en régimen transitorio, donde también se expone el balance obtenido para el periodo de simulación empleado.

No se tiene en cuenta la recarga del río porque en este periodo se considera que debe de ser mínima por los reducidos caudales circulantes.

9.1.1. Recarga por infiltración de lluvia útil

La estimación de la recarga por infiltración de lluvia útil se ha llevado a cabo mediante la aplicación del programa THORDOS al periodo de referencia –abril 2000-marzo 2001–, como

continuación al cálculo completo correspondiente al periodo 1967/68-1999/00 con las series de precipitación y temperatura media diarias de la estación núm. 7182 "Murcia-Alfonso X (antes Vistabella)", para la que se dispone de datos desde octubre del año 1967.

El programa THORDOS, cuyo fundamento, características y procedimiento de cálculo se describen con detalle en el Anejo 5, proporciona distintas estimaciones del valor de la lluvia útil –LU–, para series de datos diarios de precipitación y temperatura media, que dependerán de la opción que se adopte en cuanto al funcionamiento de la reserva útil del suelo, caracterizada por dos valores extremos RMIN y RMAX, que, habitualmente, son las mayores indeterminaciones que presenta este tipo de métodos.

En el caso de la Vega Media los valores de RMIN y RMAX han podido ser calibrados de forma realista a partir del análisis por deconvolución entre las series de lluvia útil calculadas para distintas opciones de dicha pareja de valores y la evolución piezométrica observada en los piezómetros de control instalados en una de las parcelas piloto acondicionadas expresamente en el Estudio para el control de la infiltración –denominada parcela PI1, situada en la pedanía de Patiño–, tanto por lluvia como por retorno de riegos. Ello ha sido posible porque en el periodo de control hidrogeológico del Estudio se produjo un episodio de precipitaciones de la suficiente intensidad –138,2 mm entre los días 23 a 25 de octubre de 2000, justamente en el inicio del año hidrológico 2000/01– como para dar lugar a la saturación de la reserva útil y a la infiltración efectiva de agua en el tramo acuífero somero, que provocó una respuesta rápida y nítida del acuífero, cuya evolución pudo ser registrada con detalle, ya que desde finales de septiembre se habían programado controles piezométricos semanales que pasarían a diarios ante cualquier previsión de lluvia. En la Figura 9.1 se presenta un gráfico con la evolución piezométrica observada en la parcela.

El proceso de modelización secuencial que permite el cálculo de las series de lluvia útil y su correlación por deconvolución, cuyo fundamento, características y procedimientos de cálculo se describen con detalle en el Anejo 5, permitió llegar a unos valores de RMIN y RMAX de 30 y 70 mm, respectivamente, con un grado de ajuste excelente entre la serie piezométrica observada y la generada por deconvolución (coeficiente de correlación de 0,9922), tal como se refleja en la Figura 9.2.

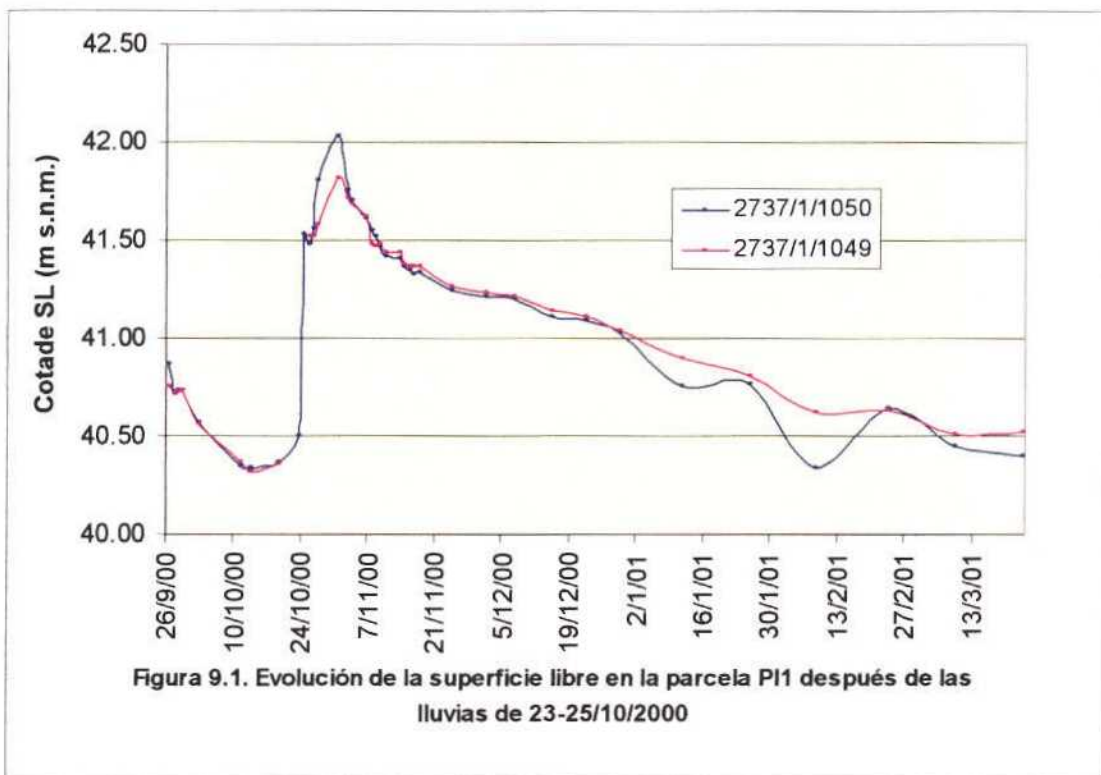
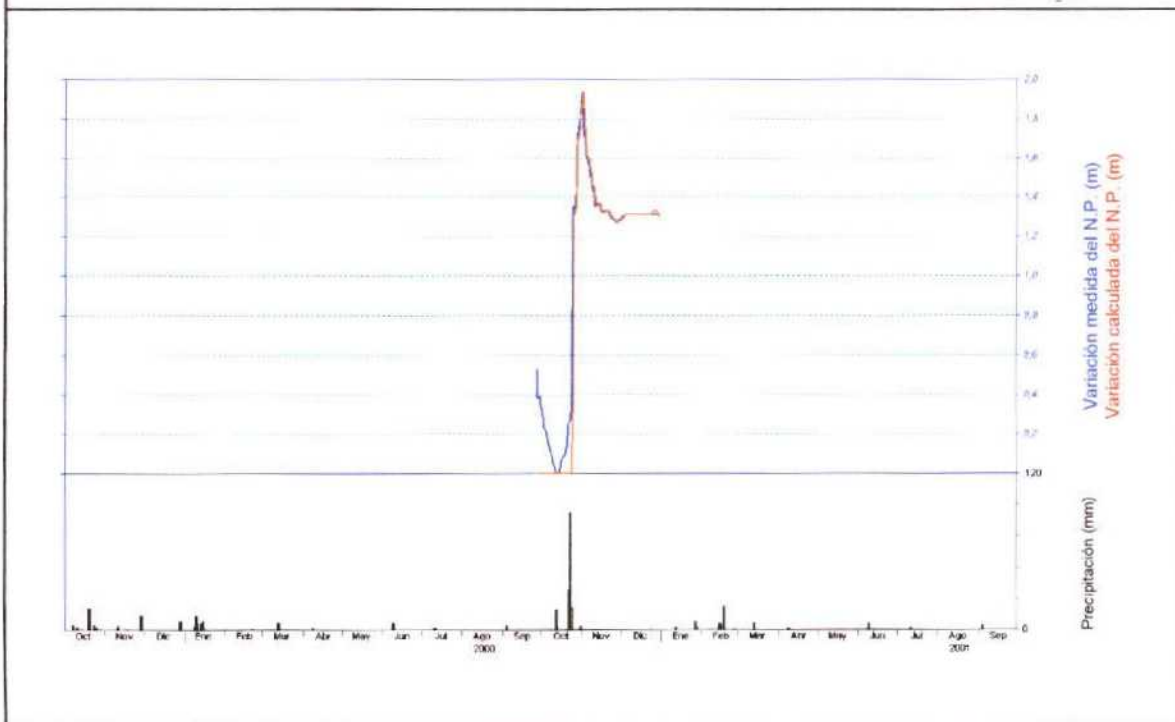


Figura 9.1. Evolución de la superficie libre en la parcela PI1 después de las lluvias de 23-25/10/2000

Figura 9.2. Ajuste por deconvolución entre las evoluciones piezométricas observada y calculada



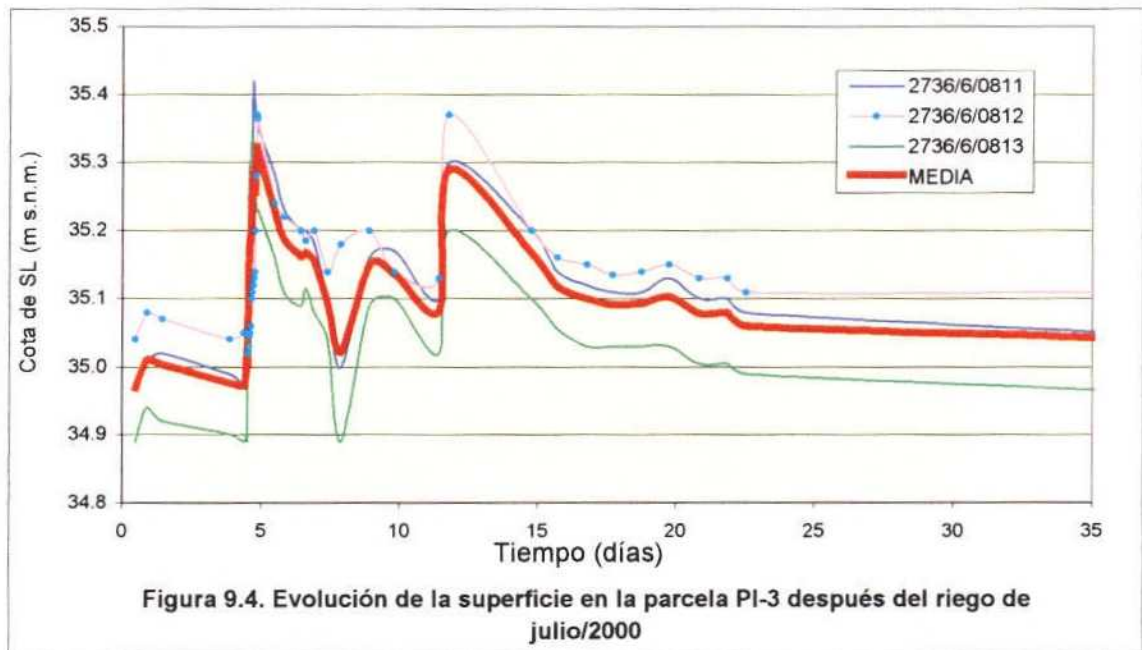
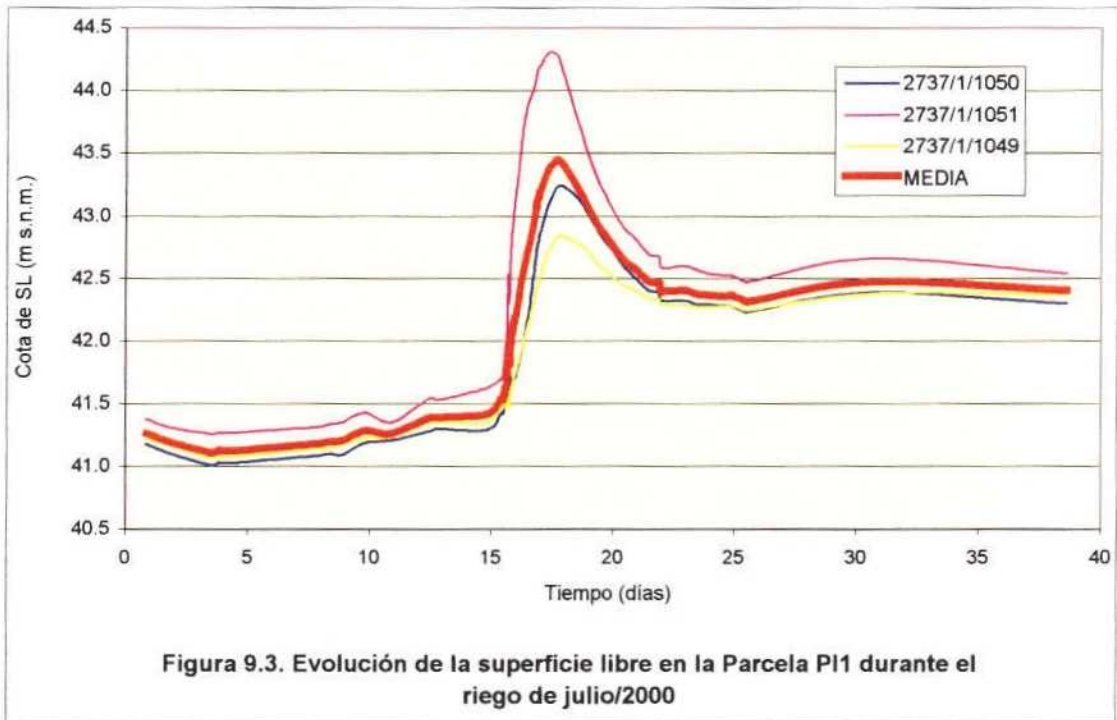
Con los valores de RMIN y RMAX ajustados y los valores diarios de precipitación y temperatura de octubre de 2000 a abril de 2001 en la estación del Instituto Nacional de Meteorología nº 7182 Murcia "Alfonso X", encadenados a la serie completa 1967/68-1999/00, se calculó una lluvia útil de 81,3 mm para el periodo abril 2000-marzo 2001.

Considerando una superficie útil de infiltración en el acuífero de la Vega Media de 189 km² (descontando a la superficie total del acuífero 17 km² de zona urbana), la cifra anterior indicada supone una **recarga por infiltración de lluvia útil de 15,4 hm³** para el periodo abril 2000-marzo 2001 en el acuífero de la Vega Media.

9.1.2. Recarga por retorno de excedentes de riegos

Para la determinación de la recarga por retorno de riegos al acuífero en la unidad de la Vega Media a partir de los controles de riegos efectuados en dos de las tres parcelas piloto acondicionadas al efecto, y teniendo en cuenta que se disponía de valores representativos de las características hidrodinámicas del tramo acuífero somero derivados de los ensayos de diverso tipo realizados en el Estudio, se optó por la elaboración de modelos matemáticos del flujo, de concepción sencilla, como medio más operativo y objetivo de considerar todos los parámetros que influyen en el cálculo, cuya viabilidad analítica es más que dudosa.

Se realizaron dos modelizaciones, correspondientes a las parcelas PI1, representativa de cultivos leñosos (cítricos), y PI3, representativa de cultivos herbáceos. En las figuras 9.3 y 9.4 se han reflejado los hidrogramas de la superficie libre observados en cada una de las dos parcelas, junto con el correspondiente a la media de los registros en los piezómetros de observación, que es la evolución utilizada como referencia en los trabajos de simulación matemática.

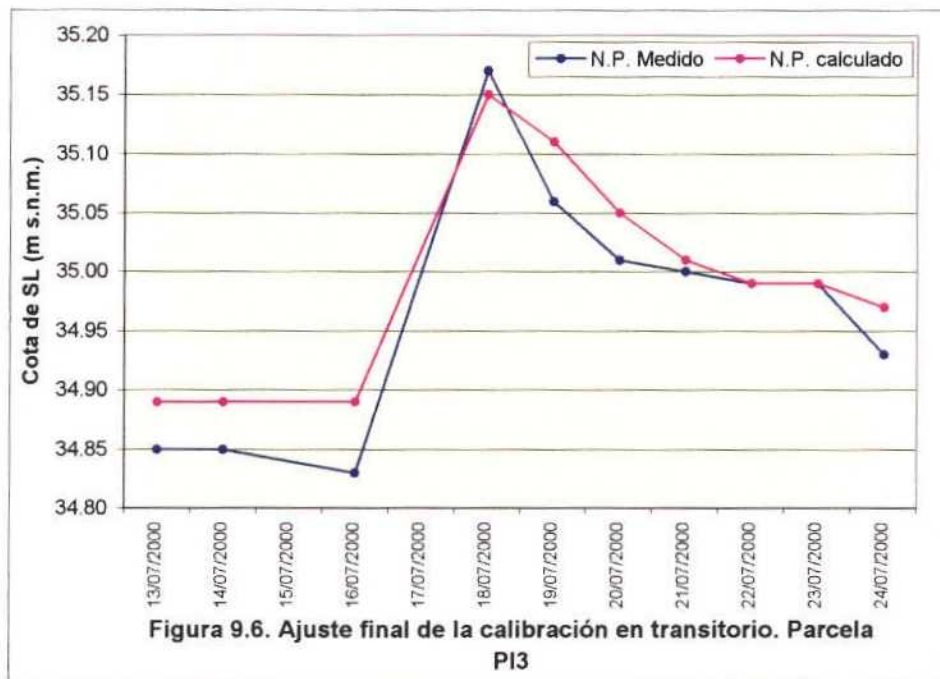
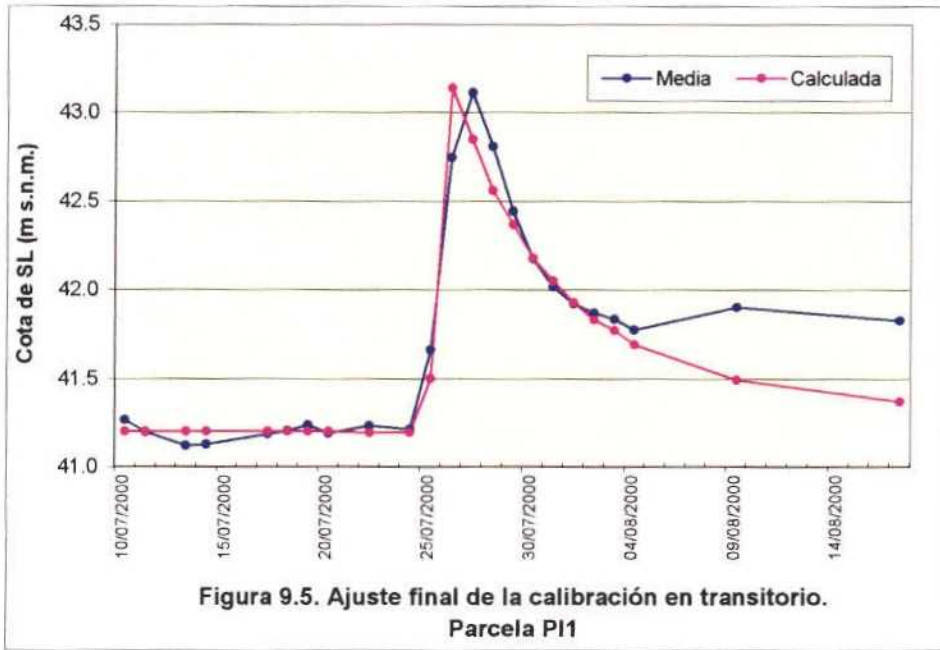


El planteamiento seguido en la modelización del flujo, para la que se ha utilizado el programa VisualModflow¹, es idéntico para ambas parcelas: se trata de reproducir el comportamiento del nivel piezométrico influenciado por la infiltración del exceso de agua aplicada al riego. Para ello se han diseñado sendos modelos monocapa que reflejan la situación de la parcela y su entorno en régimen transitorio con paso de tiempo de 1 día y cuya duración depende en cada caso de la duración del efecto del riego.

Cada modelo está constituido por un conjunto de 35 celdas, con una malla central cuadrada cuyas dimensiones son las de la parcela piloto correspondiente (60 m de lado, en la PI1, y 116 m, en la parcela PI3); en las celdas restantes se incrementa una de sus dimensiones un 50% conforme se alejan de la celda central, hasta formar un conjunto de 7 filas por 5 columnas, de forma rectangular, con el lado mayor alineado según la dirección del flujo subterráneo. Las condiciones de contorno han sido idénticas para las dos parcelas modelizadas, variando únicamente los valores que toman los distintos parámetros que las definen en cada caso: flujo nulo en los laterales de la zona modelizada y celdas dren en las celdas que forman las filas extremas –primera y última–.

En el Anejo 5 se describen los detalles del modelo conceptual, las características geométricas e hidrodinámicas (mallado, condiciones de contorno, parámetros hidrodinámicos, piezometría,..) y los resultados del proceso de calibración en el que se retocaron los valores de permeabilidad y porosidad hasta alcanzarse los satisfactorios ajustes entre las evoluciones piezométricas observadas y las calculadas por el modelo en cada caso, que se presentan gráficamente en las figuras 9.5 y 9.6.

¹ Programa para la modelización tridimensional del flujo subterráneo, desarrollado por Waterloo Hydrogeologic Inc. (Canada).



El resultado principal de la calibración son los valores buscados de la infiltración por retorno de riego según el cultivo, que han resultado ser, del **18 % para los cítricos** (leñosos), y del **29 % para los herbáceos**, del volumen aplicado al riego.

A la hora de efectuar balances del acuífero debe tenerse presente que los regantes tienden a cubrir de forma prácticamente completa las necesidades de los cultivos existentes, en el caso de los leñosos, o sembrados en la temporada, caso de los herbáceos. Por lo tanto, debe considerarse que, en el periodo de estudio, el volumen de agua aplicado para el riego de cultivos en la Vega Media asciende a 75,51 hm³, de los cuales, en primera aproximación, unos 37 hm³ procederían de las dos tandas de riego efectuadas y el resto del volumen aplicado sería dotado con aguas subterráneas (25,3 hm³), con aguas residuales (mínimo de 5,93 hm³)² y con agua de riego reutilizada³ (7,38 hm³). La procedencia del agua de riego y los volúmenes destinados han sido tratados en capítulos anteriores y se detallan en el Anejo 6-3.

Con la excepción de los cultivos leñosos sin producción y el viñedo de regadío, para los que se ha considerado una tasa de infiltración por retorno de riegos del 10 %, se ha supuesto que el resto del agua aplicada se reparte según el mismo porcentaje con que se distribuyen las superficies de los cultivos leñosos (80 %) y herbáceos (20 %) en la Vega Media. Por tanto los 75,51 hm³ aplicados al riego se reparten entre 60,13 hm³, destinados a cultivos leñosos, 12,87 hm³, destinados a cultivos herbáceos, y 2,51 hm³, dedicados a leñosos sin producción y viñedo.

Aplicando los coeficientes de retorno calculados, a las cifras aplicadas a cada grupo de cultivos, se obtienen unas tasas de infiltración por retorno de riegos de:

- 10,82 hm³, en las zonas de cultivos leñosos.

² Una importante fuente de recursos para riego está constituida por las aguas residuales que circulan por los cauces del Segura y de los azarbes principales (Mayor, Merancho y Los Giles), cuya contribución a los riegos resulta muy complicada de evaluar por el carácter difícilmente controlable de la mayoría de las tomas. Se conoce con certeza que 0,73 hm³ de la EDAR de Santomera se aplica para riegos en el sector NE de la unidad, al norte del Campo de Matanzas, pero la parte que haya podido destinarse al riego, de los 5,2 hm³ liberados de la EDAR de Zarandona y los vertidos en régimen de prueba de la nueva EDAR Murcia-Este (cuyo caudal nominal previsto es de 100 000 m³/día) se desconoce con exactitud. Una aproximación se detalla en el Anejo 6-3.

³ También debe considerarse como recurso un porcentaje no evaluable de las dotaciones de agua superficial aplicadas al riego que es reutilizada por varias parcelas en la misma tanda de riego porque una parte del agua aplicada en exceso es drenada rápidamente hacia los azarbes y acequias y puede ser aplicada nuevamente aguas abajo.

- 3,73 hm³, en las zonas de cultivos herbáceos.
- 0,25 hm³, en las zonas de cultivos leñosos sin producción y viñedos.

Es decir, la recarga del acuífero de la Vega Media por **retornos de riegos** en el periodo abril 2000-marzo 2001 ascendió a un total de **14,80 hm³**.

9.1.3. Entradas laterales subterráneas

Apenas se dispone de datos para efectuar un cálculo afinado de los intercambios subterráneos del acuífero de la Vega Media con las unidades hidrogeológicas en contacto con él. En todo caso, son elementos del balance cuya cuantía tiene escasa importancia en comparación con los elementos principales (infiltración por lluvia y riegos y descarga por bombeos).

Las entradas laterales desde los acuíferos de la Vega Alta, Bajo Guadalentín y la Cresta del Gallo, se han estimado aplicando la ley de Darcy y considerando los gradientes existentes en el acuífero en el periodo en que fue realizada la campaña "flash" (diciembre de 2000) y considerando, a partir de los ensayos hidrodinámicos realizados, valores de permeabilidad razonables en las zonas de paso del agua subterránea.

- En la zona de contacto con el acuífero del valle del Guadalentín, se ha considerado una sección de paso de 4 500 m de longitud por 200 m de espesor saturado, con un gradiente hidráulico de 0,01 y una permeabilidad media de $3 \cdot 10^{-6}$ m/s, resultando una entrada de 1,4 hm³.
- En la estrecha zona de contacto con el acuífero de la Vega Alta, se ha considerado una sección de paso de 900 m de longitud por 5 m de espesor saturado, con un gradiente hidráulico de 0,01 y una permeabilidad media de $8 \cdot 10^{-4}$ m/s, resultando una entrada de 1,1 hm³.
- En la zona de contacto con el acuífero de la Cresta del Gallo, se ha considerado una sección de paso de 1 300 m de longitud por 200 m de espesor saturado, con un gradiente hidráulico de $7 \cdot 10^{-3}$ y una permeabilidad media de $3 \cdot 10^{-5}$ m/s, resultando una entrada de 2,9 hm³.

9.1.4. Entradas totales

Según lo expuesto en los apartados anteriores, las entradas totales al acuífero de la Vega Media en el periodo abril 2000-marzo 2001 pueden estimarse en **35,60 hm³**.

9.1.5. Descargas hacia los ejes de drenaje

Tal como se indica en el Anejo 3, descriptivo del funcionamiento hidrodinámico del acuífero de la Vega Media, tanto los ensayos de bombeo específicos como las campañas de aforos diferenciales realizadas en el marco del Estudio han puesto de manifiesto la imposibilidad práctica de estimar las descargas del acuífero somero hacia los cauces, ya que, debido en buena medida a la posición disminuida de la superficie piezométrica y baja permeabilidad de los materiales que constituyen el acuífero superficial, el drenaje subterráneo por unidad de longitud debe de ser en estas concretas circunstancias poco menos que inmedible (no pasará de ser un rezume) y, por lo menos en el periodo de control, queda prácticamente enmascarado por las variaciones de caudal debidas a la distribución de las aguas de riego y a los vertidos urbanos e industriales.

En todo caso, el régimen de bombeos a que estuvo sometido el acuífero en el periodo hace prácticamente despreciable la descarga del acuífero por este concepto.

9.1.6. Descargas laterales subterráneas

Las salidas laterales hacia el acuífero de la Vega Baja y la Cresta del Gallo en el periodo abril 2000-marzo 2001, se han estimado aplicando la ley de Darcy, considerando los gradientes existentes en el acuífero en el periodo en que fue realizada la campaña "flash" (diciembre de 2000) y adoptando, a partir de los ensayos hidrodinámicos realizados, valores de permeabilidad razonables en las zonas de paso del agua subterránea.

- En la zona de contacto con la Vega Baja se ha considerado una sección de paso de 6000 m de longitud por 200 m de espesor saturado, con un gradiente hidráulico de $2,5 \cdot 10^{-3}$ y una permeabilidad media de $5 \cdot 10^{-5}$ m/s, resultando una salida de 4,7 hm³.

- En la zona de contacto con el acuífero de la Cresta del Gallo, se ha considerado una sección de paso de 1 500 m de longitud por 200 m de espesor saturado, con una gradiente hidráulico de 10^{-3} y una permeabilidad media de $6 \cdot 10^{-7}$ m/s, resultando una salida de $2,4 \text{ hm}^3$.

9.1.7. Explotación por bombeo

De acuerdo con la metodología que se detalla en el Anejo 6, en el periodo comprendido entre abril de 2000 y marzo de 2001, se ha producido en el acuífero de la Vega Media una explotación de agua subterránea por bombeo estimada en $28,64 \text{ hm}^3$, que se reparte en $3,16 \text{ hm}^3$ destinados a uso industrial, $0,23 \text{ hm}^3$ a usos varios (ganadería, riego de jardines y huertas domésticas, ...), y $25,25 \text{ hm}^3$ aplicados a regadío.

9.1.8. Salidas totales

De acuerdo con las cifras indicadas en los apartados anteriores las salidas totales del acuífero de la Vega Media en el periodo abril 2000-marzo 2001 se han estimado en $35,74 \text{ hm}^3$.

La pequeña diferencia a favor de las salidas del acuífero, cuando en realidad el balance hídrico del periodo del Estudio debe de ser netamente deficitario, puede compensarse fácilmente si se tiene en cuenta la incertidumbre que existe en la parte de recarga correspondiente a los riegos con aguas residuales y, especialmente, a la reutilización en cascada del agua aplicada en los riegos tradicionales.

9.2. BALANCE HIDRÍCO DE LA VEGA BAJA

El balance que se presenta a continuación procede del estudio del ITGE-DPA (2000) y debe contemplarse como un balance preliminar ampliado y sometido a revisión en los capítulos del modelo de flujo subterráneo. El balance contempla tanto las aguas subterráneas como las superficiales conectadas hidráulicamente a través del cauce natural del río Segura y las construcciones de drenaje (azarbes).

Para la elaboración del siguiente balance hídrico de la Vega Baja, de carácter anual y para un año tipo en algunos términos, se han utilizado los datos obtenidos en los diferentes trabajos específicos contenidos en el citado estudio:

- Lluvia útil: obtenida a partir del estudio del cálculo del exceso de agua en el suelo. El valor obtenido es de 29,3 hm³.
- Retorno de riego: a partir de aplicar un porcentaje de infiltración (10%) a la cantidad total obtenida como demanda agrícola en la zona (313 hm³), se obtiene un valor de retorno de riego de 31,3 hm³. El porcentaje de infiltración aplicado, relativamente bajo, se ha estimado tanto en función de la tipología de terrenos definida en el estudio del cálculo del exceso de agua en el suelo, como por la existencia en la zona de una numerosa red de pequeñas estructuras de drenaje subterráneas que interceptan el agua de retorno de los riegos. La demanda agrícola especificada anteriormente es ligeramente mayor a la indicada en el capítulo 8.2.4 que se refiere al dominio del modelo de flujo.
- Extracciones del acuífero profundo: a partir del inventario de extracciones realizado para el periodo marzo 1997-noviembre de 1998, se ha obtenido el volumen total de agua subterránea extraída para el año hidrológico comprendido entre estas fechas. El valor obtenido asciende a 11,7 hm³.
- Con datos de aforos, facilitados por la CHS, se estimaron los caudales medios anuales del río Segura entre 1978/79 y 1997/98 en las estaciones de Beniel (entrada a la Vega Baja) y Guardamar (desembocadura), que se corresponden respectivamente con 4,04 m³/sg y 1,11 m³/sg, y suponen 127,4 hm³ y 35 hm³.
- Por parte de los gestores de la comunidad de regantes "Riegos de Levante Margen Izquierda", que comprenden una de las áreas mayores de riego dentro de la Vega Baja, se obtuvieron datos detallados sobre el funcionamiento de las tomas de riego del cauce del río Segura antes de la estación de aforo de Guardamar del Segura. El volumen medio anual de agua captada desde el río Segura para esta unidad de riego es de 33,4 hm³. En el Anejo 6-3 se indican los volúmenes destinados al riego por esta comunidad procedentes de concesiones (río Segura) y Trasvase.
- Los datos correspondientes a la infiltración en los bordes de agua procedente de la

escorrentía de las Sierras situadas al norte de la Vega Baja (Crevillente y Elche) se han obtenido a partir de los estudios realizados en la zona para el PIAS. El valor asciende a 4 hm³.

- La extracción media anual de aguas subterráneas procedentes del acuífero superficial se ha estimado en 5 hm³ basándose en los datos reflejados en el Plan Hidrológico del Júcar, que si bien aporta un valor más elevado (10,5 hm³), se debe considerar que actualmente el volumen de extracciones del acuífero superficial se ha reducido significativamente debido a la baja calidad de las aguas. El valor de la evaporación en la laguna del Hondo se ha calculado utilizando los datos aportados por el evaporímetro de Ciudad Jardín (Alicante), siendo el valor medio en función del área ocupada por la laguna de 2 hm³/año.
- Los datos de entradas laterales al acuífero profundo (32 hm³/año), salidas al mar del mismo acuífero (3 hm³/año) e interconexiones hídricas entre el acuífero superficial y profundo (recarga desde nivel superficial al acuífero profundo de 27 hm³/año y descargas del acuífero profundo al superficial de 30 hm³/año), han sido obtenidos del modelo preliminar de flujo realizado en la primera fase del "Estudio de los recursos de agua salobre en la zona sur de la Provincia de Alicante" (ITGE-DPA, 1996).
- Finalmente, los datos de drenaje de aguas subterráneas a través de los azarbes, utilizados posteriormente para riego, y la de drenaje directo al río Segura, sólo pueden ser obtenidos por cierre de balance, dada la complejidad en su funcionamiento unido a la falta de datos suficientes y fiables. Para ello habría que aplicar un porcentaje de reparto en la cantidad a calibrar del 60% del drenaje para los azarbes (mayor densidad que el río) y de un 40% del drenaje al río Segura, de acuerdo con su distribución espacial.

10. HIDROGEOQUÍMICA

10.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA

10.1.1. Vega Media del Segura

La caracterización de la calidad química de las aguas subterráneas y superficiales y del grado de contaminación por nitratos y metales pesados de las primeras se ha realizado teniendo en cuenta la información preexistente y, fundamentalmente, a partir de las siguientes actividades:

- Una campaña de caracterización preliminar mediante la determinación *in situ* de la conductividad eléctrica y el contenido aproximado en nitratos (mediante métodos semicuantitativos) en todos los puntos reconocidos durante las labores del inventario de puntos de aguas en los que fue posible bombear agua.
- Una campaña general de caracterización de aguas superficiales y subterráneas, que se efectuó entre el 22/01/2001 y el 04/02/2001, en la que se tomaron muestras de agua en 119 captaciones de agua subterránea y en 47 puntos localizados en el río Segura y principales azarbes.
- Una campaña específica para analizar la influencia de los riegos en el contenido en nitratos de las aguas subterráneas, en la que se tomó muestra en 31 puntos de agua y se llevó a cabo una vez finalizada la campaña de riegos de marzo-abril de 2001.
- Además, se tomaron muestras de agua para caracterización complementaria durante los bombeos de ensayo realizados en el marco del Estudio.
- Paralelamente a los muestreos de agua para el análisis de plaguicidas, en julio y septiembre de 2000, se tomaron muestras para determinar las principales características hidroquímicas.

En los anejos 7 y 10 se da cuenta de los resultados analíticos y de las conclusiones que de ellos se derivan acerca de las características de la calidad y el grado de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales de la Vega Media.

Los análisis químicos de las muestras de agua subterránea tomadas en la campaña de caracterización general –119 muestras de agua subterránea, mayoritariamente del TAP– reflejan que se trata de aguas con pH en torno a la neutralidad o básicos (6,7 a 8,6), muy mineralizadas –valores de conductividad eléctrica medidos en campo comprendidos entre 1 050 y 7 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$ –, con facies químicas sulfatadas o sulfatadas-cloruradas magnésico-cálcicas o magnésico-sódicas o, más concretamente mixtas, como puede apreciarse en la representación de los iones mayoritarios en el diagrama de Piper-Hill-Langelier (Figura 10.1.). La composición química corresponde a la naturaleza calizo-dolomítica y yesífera de los materiales que constituyen el encajante y el relleno detrítico de la vega.

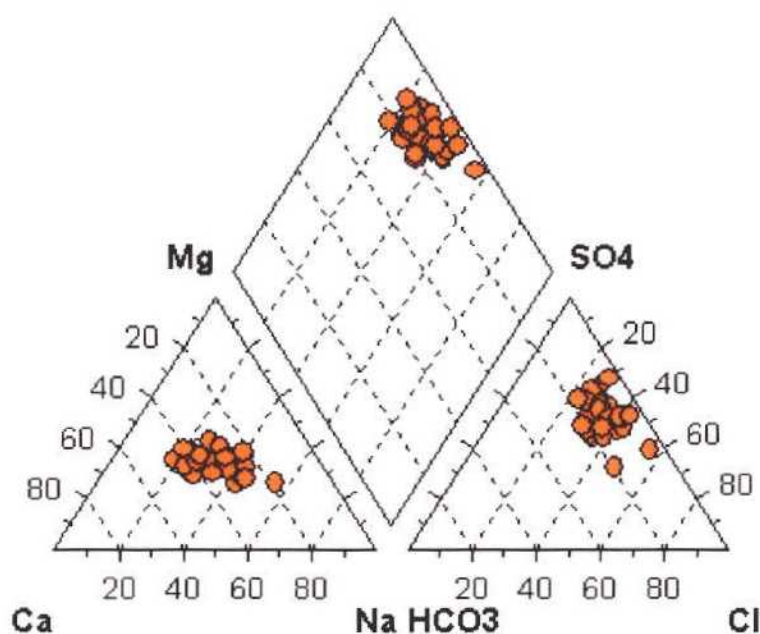


Figura 10.1. Diagrama de Piper-Hill-Langelier para las aguas subterráneas del AVM

Por su calidad natural, estas aguas subterráneas no son potables y presentan elevado riesgo de salinidad para el riego.

Para ilustrar la distribución espacial de la calidad del agua subterránea, en las Figuras 10.2. y 10.3. se han representado sendos mapas de isoconductividad eléctrica del agua

subterránea en los acuíferos profundo y somero, respectivamente, a partir de los datos tomados en campo. En el acuífero somero se observa una salinización progresiva del agua subterránea en el sentido de aguas abajo, aumentando la conductividad eléctrica del agua desde valores de 2 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en el sector de Alcantarilla-Murcia, a 8 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en el extremo nordeste del acuífero (sector de influencia de la rambla Salada).

En el acuífero profundo se observa que el agua de mejor calidad corresponde a una franja central del acuífero, entre La Raya y El Raal, con conductividades inferiores 3 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; hacia los bordes del acuífero, la calidad empeora, pasando a valores de conductividad superiores a 4 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en el sector central (al norte y sur de Murcia) que se elevan hasta 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ cerca del límite con la Vega Baja. Destaca una zona de conductividad muy elevada –más de 15 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – al norte de Alcantarilla, debida seguramente a una contaminación local no identificada.

Esta discriminación espacial debe estar relacionada también con alimentación diferencial desde los bordes, más salina desde el Bajo Guadalentín y la Cresta del Gallo, aunque también puede tener influencia el reciclaje de agua de riego y las pérdidas en acequias y azarbes.

El contenido en sulfatos es coherente con la conductividad y, dado que el ión sulfato suele ser predominante sobre el cloruro, se puede pensar que sea el ión sulfato el principal responsable de la salinización que afecta al acuífero. La distribución espacial de este ión muestra que en la margen izquierda los valores están comprendidos entre 500 y 1000 mg/l mientras que en la margen derecha se superan normalmente los 1000 mg/l, con valores frecuentes en torno a 1500-2000 mg/l y máximos de 3000 mg/l al sur de Santomera.

Con los datos actuales, poco se puede decir acerca del origen del sulfato, en primera aproximación relacionado con las aguas de recarga; sin embargo, la distribución del ión calcio, que no guarda relación suficientemente estrecha con los sulfatos, hace sospechar que, posiblemente de manera notable, el origen de los sulfatos esté ligado a las actividades agrícolas, concretamente a la aplicación de fertilizantes sulfatados.

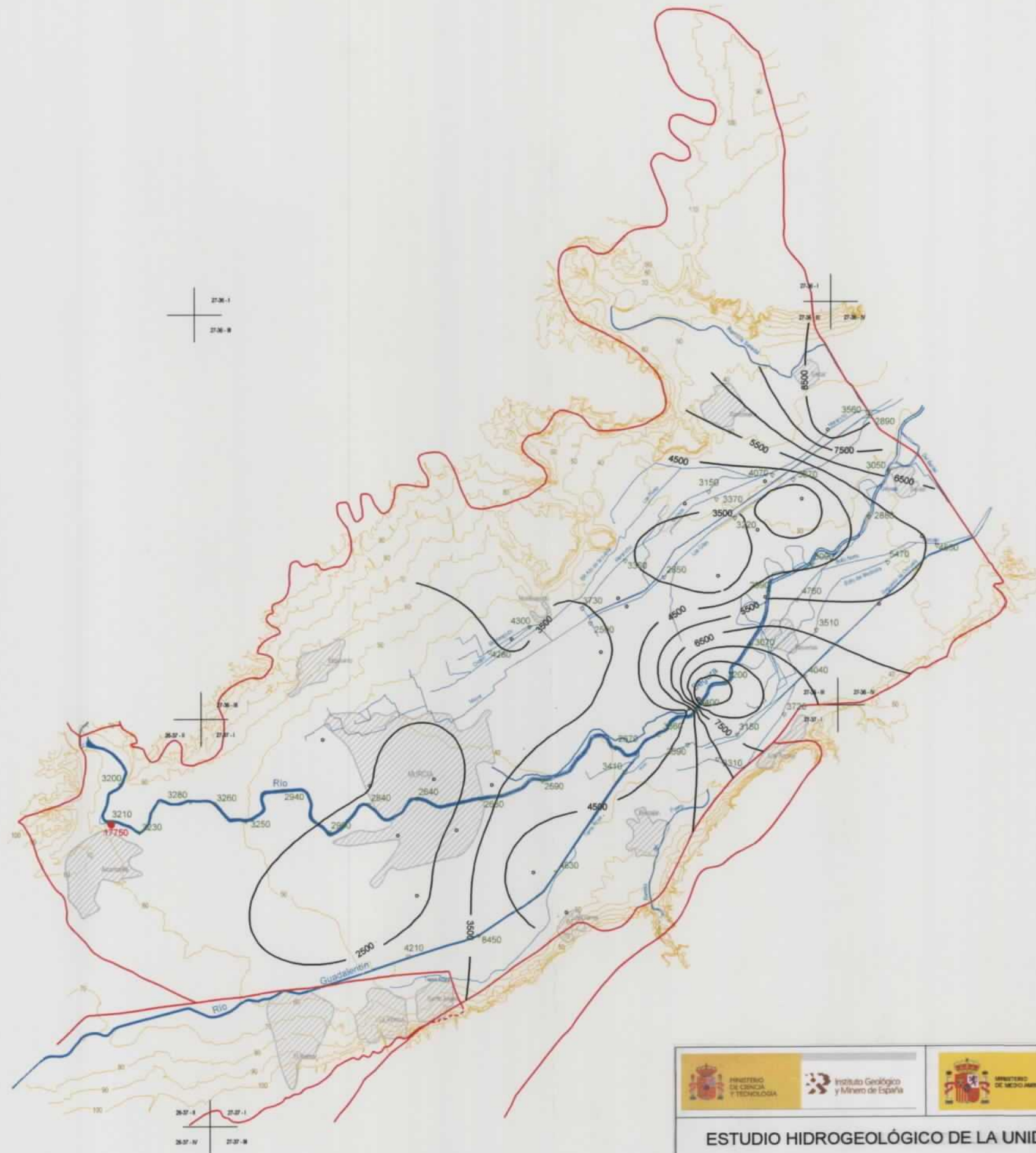
El contenido en magnesio presenta valores muy elevados, con una media cercana a 250-300 mg/l. La distribución espacial es coherente con la de los sulfatos, por lo que, en

primera aproximación, se podría invocar una fuente común para ambos iones, relacionada con procesos de disolución de dolomita, presente en los relieves del borde meridional del acuífero.

Llama la atención las elevadas concentraciones de sulfatos y magnesio, especialmente en la margen derecha, cuya presencia puede estar relacionada con diversos factores, entre los que cabría apuntar la recarga diferencial desde los acuíferos de borde, en los que se puede esperar procesos de disolución incongruente de dolomita, la aplicación de fertilizantes (en el caso de los sulfatos), y la naturaleza de las aguas de riego, que son de alta salinidad, incluidas las aguas residuales eventualmente utilizadas.

En lo que se refiere a las **aguas superficiales**, los parámetros hidroquímicos son muy variables en función de la procedencia del agua, es decir, de la importancia relativa de los vertidos de aguas residuales así como de los desembalses. Así, en las muestras analizadas en la campaña de julio de 2000 la conductividad está comprendida entre 4 000 y 5 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los sulfatos en torno a 1 000 mg/l y los cloruros alrededor de 700 mg/l. En las mismas muestras tomadas en el mes de septiembre de ese año, tanto la conductividad como las concentraciones iónicas son del orden de la mitad, ya que la regulación por embalses del caudal y la gran cantidad de vertidos procedentes de las industrias y núcleos urbanos situados aguas abajo de los mismos condicionan mucho la calidad del agua del río, cuya carga contaminante sufre, además de las oscilaciones y variaciones propias del tipo de aguas residuales que las originan, los procesos de dilución de dichos vertidos por efectos del desembalse de las aguas del propio río o las procedentes del trasvase Tajo - Segura, cuya hidroquímica es totalmente diferente a la propia de la cuenca, por lo que no se puede realizar una interpretación de los mismos sino sólo intentar conocer los efectos sobre el acuífero en las diferentes relaciones acuífero - río tanto en la Vega Media como en la Vega Baja.

Las muestras de aguas superficiales analizadas en la campaña de caracterización general (enero-febrero de 2001) presentan valores de pH próximos a la neutralidad a ligeramente básicos (7,1 a 7,6); están muy mineralizadas (2 630 a 8 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$), en consonancia con un carácter sulfatado-clorurado sódico o mixto; en menor medida, presentan facies bicarbonatadas-cloruradas-sulfatadas mixtas. Los valores de conductividad se explican por los numerosos vertidos de aguas residuales, como así lo corroboran los altos niveles de nitratos (26-120 mg/l) detectados, y en especial, de nitritos (0,06-6,70 mg/l), amonio (0,40-54,0 mg/l) y fosfatos (0,14-18,00 mg/l), cuyos orígenes están en aguas fecales, detergentes, etc.



LEYENDA	
	Líneas de isoconductividad y su valor en $\mu\text{S/cm}$
	Punto de apoyo para el trazado de las isohalinas
	Puntos de medida en cauces y valor de la CE en $\mu\text{S/cm}$
	Punto con valor anómalo de conductividad eléctrica
	Límite del acuífero de la Vega Media

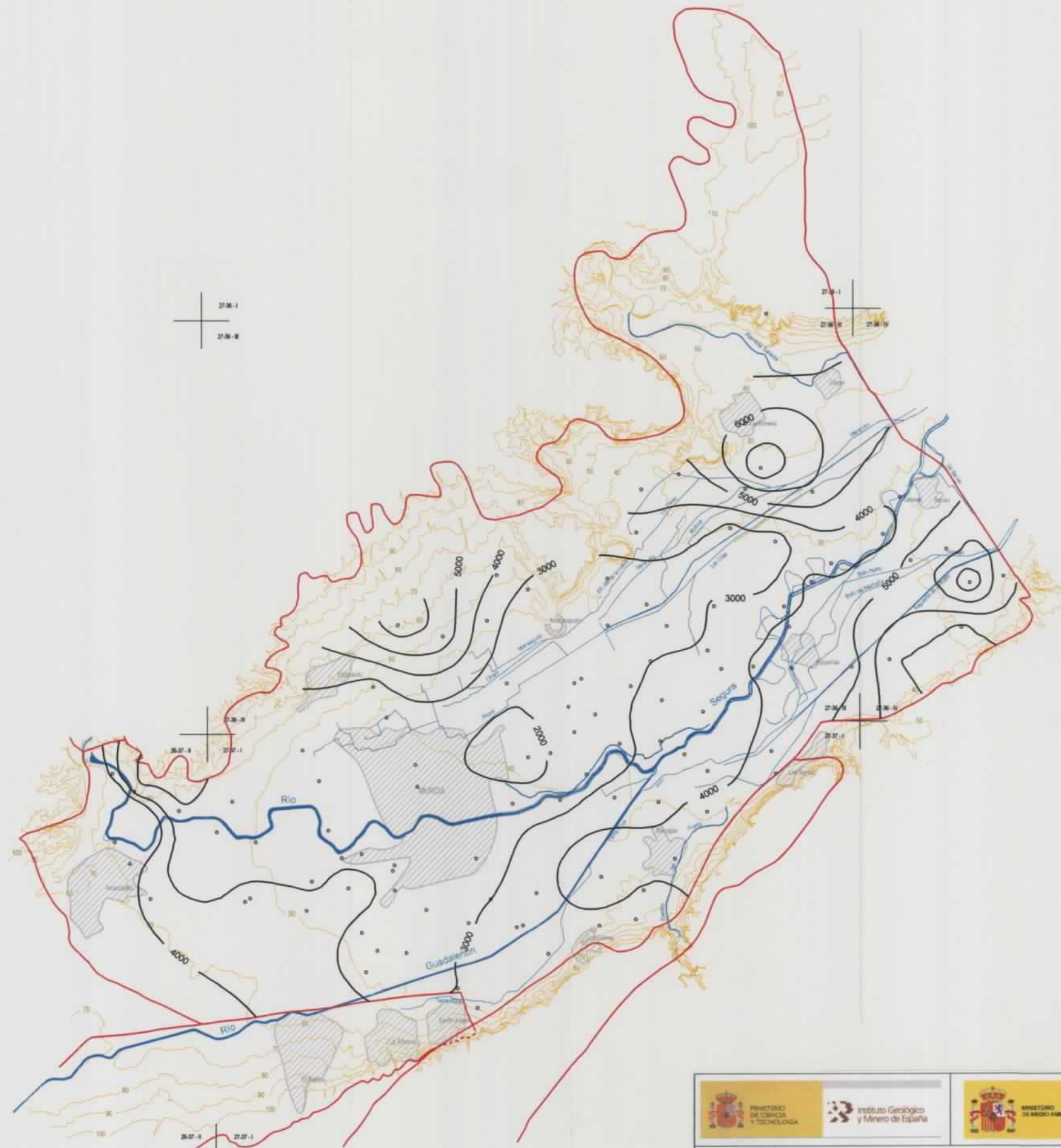
--	--	--	--

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 10.3. Calidad del agua subterránea
Conductividad eléctrica en el tramo acuífero somero
(Campaña general 22/1/2001 - 4/2/2001)

Base cartográfica: Mapa topográfico nacional a escala 1: 25 000 del Instituto Geográfico Nacional

Escala Gráfica
0 500 1000 1500 2000 m



LEYENDA	
	Líneas de isoconductividad y su valor en $\mu\text{S/cm}$ del tramo acuífero profundo
	Punto de apoyo para el trazado de las isohetas
	Límite del acuífero de la Vega Media

--	--	--	--

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 10.2. Calidad del agua subterránea
Conductividad eléctrica en el tramo acuífero profundo
(Campaña general 22/1/2001 - 4/2/2001)



Base cartográfica: Mapa topográfico nacional a escala 1:25 000 del Instituto Geográfico Nacional

10.1.2. Vega Baja del Segura

La caracterización hidroquímica tanto de los acuíferos superficial y profundo como de las aguas superficiales está ampliamente desarrollada en los antes mencionados estudios de los recursos subterráneos de agua salobre de esta zona (ITGE-DPA, 1996 y 2000), realizada a partir de la interpretación de más de 850 análisis químicos efectuados desde el año 1972 hasta 1996 y de dos campañas de muestreo adicionales, una en el año 1998 y otra en 1999 como complemento a un estudio isotópico que también se llevó a cabo.

En consecuencia, sólo se exponen ahora las principales conclusiones de los mencionados estudios.

Las facies hidroquímicas dominantes están influenciadas por la mezcla de aguas de formaciones superficiales y profundas y por la recirculación del agua de riego. En general, predominan las de tipo clorurado o sulfatado sódico o sódico-cálcico, no habiéndose encontrado ninguna, ni aún en el entorno de las sierras carbonatadas, en la que predomine el ión bicarbonato. Entre los iones mayoritarios destacan los sulfatos, que alcanzan una concentración relativamente elevada en la mayoría de las captaciones.

Dentro de la notable homogeneidad que se encuentra en las facies de las aguas para un área tan extensa, existen algunos hechos significativos que a continuación se exponen.

Al sur de la Sierra de Abanilla se aprecia una clara influencia de los materiales triásicos subbéticos con yesos aflorantes en la zona media de la sierra, siendo la facies de las aguas del acuífero profundo sulfatada magnésica.

En las inmediaciones septentrionales de las sierras de Callosa y Orihuela, donde afloran calizas y dolomías triásicas, las aguas son de fuerte mineralización y presentan facies predominantemente cloruradas sódicas; sin embargo, en la zona sur de estas sierras la facies varía ligeramente y pasa a ser sulfatada sódico-cálcica con claro aumento de los bicarbonatos por efecto de la descarga de estos macizos montañosos.

En la zona norte de Rojales se presentan dos tipos de agua claramente diferenciados: el del acuífero profundo, de mineralización muy elevada y facies clorurada sódica, y el del acuífero superficial, de facies sulfatada clorurada cálcico sódica (al igual que en la zona de

Crevillente, en la que se aprecia una influencia directa de materiales evaporíticos) y características comunes a las generales de la Vega.

Al norte y este de Almoradí, la existencia de una zona con intrusión marina fósil provoca que las aguas presenten facies clorurada sódica.

Salvo excepciones muy puntuales, se trata de aguas extremadamente duras, generalmente con valores entre 1000 y 2500 mg/l de CaCO_3 excepto en algún sector al norte de la sierra de Orihuela en que la mineralización del acuífero profundo no es muy elevada, probablemente por mezcla.

En relación con la clasificación del agua para riego según su salinidad, hay que indicar que predominan ampliamente las de clase C4, es decir, aguas de salinidad muy elevada que se consideran no apropiadas para el riego excepto en condiciones especiales tales como suelos muy permeables, drenaje intenso y cultivos tolerantes a la salinidad, requiriendo su uso el empleo de un exceso de riego para eliminar las sales que pudieran depositarse.

A pesar del elevado contenido en sodio que tiene la mayor parte de las muestras, la influencia de materiales calizo-dolomíticos y yesos comporta que los valores de índice SAR calculados sean bajos en la mayoría de los casos (predominan los tipos S1 y S2).

En relación con las **aguas superficiales**, cabría diferenciar al menos cuatro grupos, que a continuación se describen de manera resumida.

En un primer grupo se incluirían aquellas cuya conductividad eléctrica se encuentra dentro del rango normal en las aguas superficiales. En este grupo se encuentran las muestras pertenecientes al embalse de Crevillente, Sifón de Orihuela y Taibilla, que son las de menor conductividad eléctrica con gran diferencia, aunque con un contenido elevado en sulfatos. Las del embalse de Crevillente presentan una conductividad algo mayor (1226 $\mu\text{S}/\text{cm}$ frente a los 958 y 913 de las otras dos muestras), un contenido superior en sodio y, la principal diferencia, una concentración en magnesio notablemente mayor. En principio, las tres muestras corresponden a aguas procedentes del trasvase Tajo-Segura, pero la de Crevillente ha de estar influenciada por la mezcla con aguas de escorrentía superficial más cargada en sales solubles. Además de su menor mineralización general, estas aguas presentan como notas diferenciales

el menor contenido en sílice y potasio (en ambos casos siempre por debajo de 5 mg/l) y el pH ligeramente más elevado, oscilando entre 7,9 y 8,1.

En un segundo grupo se engloban las aguas de elevada conductividad eléctrica, en general superior a 13000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, de facies cloruradas o cloruradas sulfatadas sódicas, sin presencia significativa de nitratos en su composición, y con concentraciones de sílice relativamente elevadas, al menos las mayores de las muestreadas. En este grupo se encuentran las correspondientes a Charca SE, Charca N, Charca SW y probablemente Fort Apache. Son zonas de surgencia de aguas salobres, seguramente "reconcentradas" por procesos de evaporación, con escasa influencia de drenajes superficiales.

En un tercer grupo se incluyen aguas con conductividades intermedias a los dos primeros grupos, entre 4000 y 8000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sin presencia significativa de nitratos. En este grupo están incluidas las muestras Segura Ac Molina y Segura Ent. Orihuela, que son las de menor conductividad y contenido en cloruros. Aquí también se incluyen las aguas del Canal Central y de los embalses de Poniente y Levante, aunque su conductividad es aproximadamente el doble que la de las muestras anteriores, si bien en teoría todas proceden del Segura, siendo las facies ligeramente más cloruradas y menos sulfatadas.

Por último, puede ser descrito un cuarto grupo de aguas, en el que se incluyen las muestras del Azarbe de Culebrina, Azarbe del Reguerón, Del Señor, Murtulas I, Robatorio y Fort Apache. Se trata de un grupo algo heterogéneo, pero que tiene un origen común: se trata de aguas de drenaje superficial, con frecuencia con un componente de aguas procedentes de vertidos y, en ocasiones, de escorrentía superficial. Las tres primeras tienen una conductividad en torno a los 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, un contenido elevado en nitratos y facies sulfatadas cloruradas sódico cálcicas; las tres últimas tienen una conductividad mucho más elevada, por encima de 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y facies cloruradas sulfatadas sódico cálcicas.

Se trata en general de aguas extremadamente duras, excepto las procedentes del trasvase, que se diferencian claramente por su menor dureza (inferior a 600 mg/l).

Son aguas con elevado contenido en sales solubles (todas pertenecen a la clase C4), excepto las procedentes del trasvase Tajo-Segura, que pertenecen a la clase C2 (de salinidad media, apta para su empleo en toda clase de suelos a excepción de los de permeabilidad muy baja).

El riesgo de alcalinización, a pesar de la notable mineralización de las aguas, se encuentra en la mayoría de las muestras entre S1 y S2, es decir, de bajo a medio, excepto la Charca Norte, Murtulas y Robatorio, en las que la proporción de calcio y magnesio respecto al sodio es más baja de lo habitual, seguramente por influencia de aguas con elevadas concentraciones en cloruro sódico.

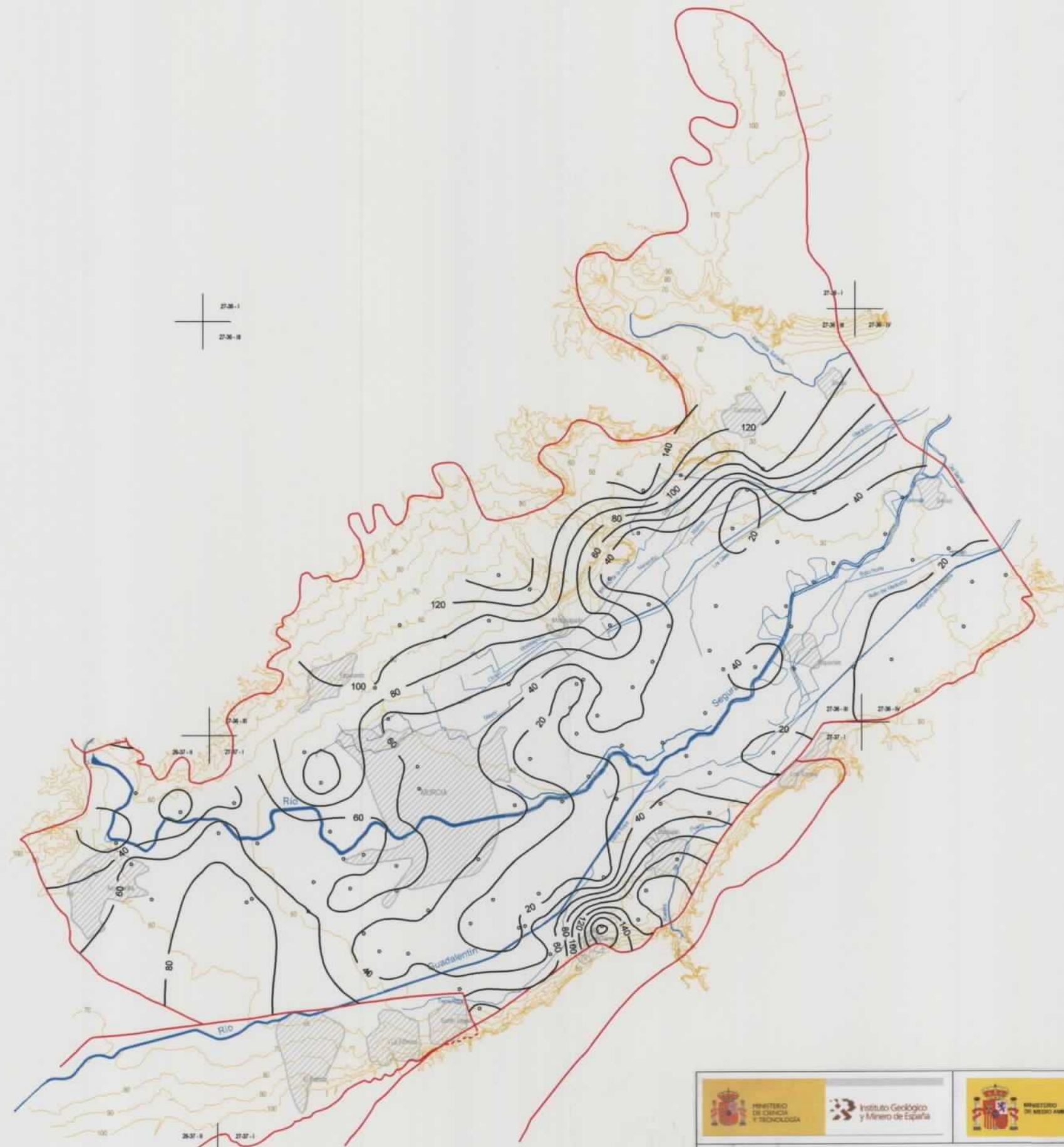
10.2. CONTAMINACIÓN POR NITRATOS

10.2.1. Vega Media del Segura

En lo referente a la incidencia de la contaminación por especies nitrogenadas en el acuífero aluvial, se observa que prácticamente la mitad de las muestras de agua subterránea (42%) están contaminadas en nitratos, con concentraciones comprendidas entre 50 y 160 mg/l; la cuarta parte de las muestras (26%) tienen concentraciones comprendidas entre el nivel guía (26 mg/l) y el nivel máximo admisible (50%) por la legislación vigente para las aguas de consumo público, y el 32% restante no presenta signos de contaminación, puesto que sus valores están comprendidos entre 2 y 24 mg/l. De las especies reducidas del nitrógeno, nitritos y amonio, únicamente se aprecia contaminación en 5 de las 119 muestras, con preferencia en el TAS (3/2) sobre el TAP (2/3).

En la Figura 10.4. se ha representado el contenido de nitratos en el agua del tramo acuífero profundo, correspondiente a la campaña general de muestreo de enero-febrero de 2001. Existe un gran sector que ocupa el centro y el sureste del acuífero, en el que las concentraciones de nitratos varían entre 20 y 40 mg/l. Desde dicha franja hacia el límite NE, los valores aumentan hasta sobrepasar los 150 mg/l.

Para analizar la influencia de los riegos en el contenido en nitratos de las aguas subterráneas, una vez finalizada la campaña de riegos de marzo-abril de 2001, los días 24 a 26 de abril se efectuó una toma de muestras en puntos distribuidos de manera uniforme por todo el acuífero y repartidos por igual entre los dos tramos diferenciados en la Vega Media.



LEYENDA	
	Línea de igual contenido de nitratos (ppm) en el agua subterránea
	Punto de apoyo para el trazado de las isolinias
	Límite del acuífero de la Vega Media

--	--	--	--

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 10.4. Calidad del agua subterránea
Contenido en nitratos en el tramo acuífero profundo
(Campaña general 22/1/2001 - 4/2/2001)

Base cartográfica: Mapa topográfico nacional a escala 1: 25 000 del Instituto Geográfico Nacional

Escala Gráfica
0 500 1000 1500 2000 m

Las determinaciones analíticas, efectuadas en los laboratorios del IGME, se han agrupado en la Tabla 10.1., correspondientes tanto a la campaña específica como a muestreos complementarios, entre los que se incluyen los efectuados en los bombeos de ensayo.

Los resultados indican escasas variaciones en caso del tramo acuífero profundo, incluso dentro del rango de variación de los métodos analíticos, excepto en los puntos 2737/1/0338, en el que la concentración pasa de 28 a 43 mg/l, y 2736/6/0805, en que disminuye de 160 mg/l a 39 mg/l. Estas rápidas variaciones seguramente son debidas a que el sondeo no

Tabla 10.1. Evolución del contenido en nitratos en el primer cuatrimestre de 2001

Nº REGISNAC	ACUÍFERO	X _{UM}	Y _{UM}	campaña general		muestreos en bombeos		campaña específica	
				Conc. NO ₃ (mg/l)	Fecha	Conc. NO ₃ (mg/l)	Fecha	Conc. NO ₃ (mg/l)	Fecha
273660808	somero	669068	4210149					36	24/04/2001
273660812	somero	668872	4210336			10	15/02/2001	8	24/04/2001
273660819	somero	672050	4211900	1	25/01/2001	108	14/03/2001	2	24/04/2001
273710346	profundo	663770	4202555					0	25/04/2001
273650069	profundo	665970	4208720	60	31/01/2001			72	25/04/2001
273650095	somero	666400	4209400			88	17/02/2001	92	24/04/2001
273660491	somero	673066	4212612	4	23/01/2001			1	25/04/2001
273660611	profundo	667380	4207940					42	26/04/2001
273660612	profundo	667355	4208190	17	26/01/2001			18	26/04/2001
273660775	profundo	670630	4210460	36	25/01/2001			37	25/04/2001
273660777	somero	671150	4210850	11	23/01/2001			8	25/04/2001
273660779	profundo	672190	4210455	22	25/01/2001			22	25/04/2001
273660783	profundo	670790	4209050	39	23/01/2001			39	25/04/2001
273660805	profundo	671330	4214540			160	20/02/2001	39	25/04/2001
273660814	somero	673676	4214193			1	13/02/2001	2	24/04/2001
273660815	somero	672226	4213007			4	14/02/2001	220	24/04/2001
273660817	somero	670490	4207800			80	15/03/2001	50	24/04/2001
273660818	somero	672225	4210360					160	24/04/2001
273670088	somero	674836	4210196	52	26/01/2001			45	25/04/2001
273670296	profundo	675830	4211750	24	29/01/2001			25	24/04/2001
273710311	profundo	660080	4203850	110	25/01/2201			100	26/04/2001
273710332	somero	662040	4207105	120	25/01/2001			58	25/04/2001
273710338	profundo	662252	4204820	43	25/01/2001			28	25/04/2001
273710345	somero	663770	4202555					33	25/04/2001
273710591	somero	666850	4209840					3	26/04/2001
273711049	somero	664196	4203540			3	21/02/2001	32	24/04/2001
273711052	somero	664600	4206200	92	23/01/2001			17	25/04/2001
273720220	somero	667770	4206670	6	26/01/2001			4	25/04/2001
273720369	somero	666875	4204065	68	25/01/2001			7	25/04/2001
273720390	profundo	666950	4207150			14	22/02/2001	2	26/04/2001
273720401	somero	667640	4203150			100	14/03/2001	76	26/04/2001

tenga debidamente aislada la parte correspondiente al tramo acuífero somero.

En algunos sectores del tramo somero sí se observan aumentos espectaculares en las concentraciones de nitratos, 2737/1/0230, 2737/1/0332 y 2737/2/0369. El primero de ellos está situado en el casco urbano de Murcia, por lo que el aumento debe atribuirse a contaminación orgánica, posiblemente fecal. Por su parte, el incremento en los otros debe achacarse básicamente a la aplicación de abonos en el riego, ya que ambos están situados en zonas de huerta con viviendas aisladas. Resulta llamativo el caso del sondeo 2736/6/0819, en el que las medidas indican un nivel de fondo muy pequeño con un pico que podría ser debido a un vertido puntual o a que la medida intermedia se efectuó durante o inmediatamente después de la campaña de abonado.

10.2.2. Vega Baja del Segura

La contaminación por nitratos afecta en general tanto a los pozos que captan el acuífero profundo como al superficial, no observándose, en cambio, afección por este contaminante en los sondeos de elevada mineralización que se han identificado con zonas de intrusión de agua fósil.

La zona de mejor calidad desde el punto de vista de la contaminación por nitratos, con valores en su mayor parte por debajo de 20 mg/l, es el sur de Orihuela, en sondeos que captan el acuífero profundo.

En puntos muestreados en la zona de influencia de las sierras de Callosa y Orihuela, pertenecientes al acuífero superficial, se observa un contenido elevado en nitratos, especialmente el punto 2836-1-0208, con 270 mg/l, claramente afectado por el abonado agrícola.

El contenido en nitratos de las aguas superficiales permite diferenciar claramente al menos dos grupos: por un lado, aquellas con concentraciones superiores a 25 mg/l (en realidad, salvo en el caso de Robatorio, superiores a 50 mg/l), que por tanto se encuentran afectadas por contaminación de origen agrícola, y, por otro, aguas con concentraciones inferiores a 10 mg/l (en la mayoría de las ocasiones no llegan siquiera a 5 mg/l), no influidas por la actividad agraria, aunque probablemente sí por otros procesos de contaminación.

Al primer grupo pertenecen principalmente las muestras procedentes de los sistemas de drenaje superficial como los azarbes de Culebrina del Reguerón, del Señor, Robatorio, Safari o la muestra de Murtulas 1 (una zona de saladares). Se trata de aguas fuertemente cargadas en abonos agrícolas, de recirculación subsuperficial y seguramente reconcentradas por procesos de evaporación.

El resto de las muestras, que corresponden a zonas de posible surgencia, aguas del trasvase o del Segura pertenecen al otro grupo y sus concentraciones de nitratos son perfectamente compatibles con origen no agrícola o mixto.

10.3. CONTAMINACIÓN POR METALES

En la Tabla 10.2. se presentan los resultados de las determinaciones de metales en 40 muestras de la campaña de caracterización general realizada en enero-febrero de 2001 en la Vega Media, para los metales en que se han detectado algunas concentraciones superiores al límite de detección analítico. Se han resaltado en letra cursiva los valores que superan el nivel guía fijado por la Reglamentación Técnico-Sanitaria vigente (R.D. 1138/1990) y en negrita los valores que superan las concentraciones máximas admitidas por dicha normativa.

Entre los metales que pertenecen a las sustancias no deseables (R.D. 1138/1990) destaca la presencia de manganeso, con contenidos que superan el nivel guía, en 9 casos, y la concentración máxima, en 12 casos.

Entre los metales considerados como sustancias tóxicas por la legislación vigente, es relevante la presencia generalizada de níquel (en 16 puntos se supera el nivel guía y en otros 12 se rebasa la concentración máxima) y aparece contaminación puntual por selenio (en 2 puntos se supera la concentración máxima) y por arsénico, en 1 punto.

En la Vega Baja las aguas analizadas contienen cantidades apreciables de estroncio, un metal, cuyo sulfato, la celestina, está asociado con frecuencia a los depósitos evaporíticos de yeso o de dolomía, por lo que no tiene necesariamente que ser indicativo de contaminación antrópica.

Tabla 10.2. Contenido en metales en aguas subterráneas ($\mu\text{g/l}$)

COD. IGME	Al	As	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Sb	U	Zn
263740049	<30	<10	8.4	<10	<5	0,00	<5	6.3	24.2	<2,5	2.8	<30
263740056	<30	<10	26.0	<10	<5	5,45	44.7	<5	<5	<2,5	<2	<30
273650020	<30	<10	13.4	<10	<5	0,00	<5	<5	42.4	<2,5	5.7	92.2
273650029	<30	<10	13.9	<10	<5	0,00	<5	<5	21.3	<2,5	5.3	<30
273650033	<30	<10	<5	<10	<5		49.3	<5	72.8	<2,5	36.4	<30
273650048	<30	<10	16.4	<10	<5	0,19	<5	<5	36.2	<2,5	2.8	77.7
273650067	<30	<10	<5	<10	6.2	0,00	<5	<5	62.9	<2,5	12.7	<30
273650069	<30	<10	21.3	<10	<5	0,00	<5	<5	43.9	<2,5	3.4	88.8
273660526	<30	<10	28.2	<10	<5		109	<5	36.2	<2,5	4.0	94.0
273660612	<30	<10	6.9	10.9	6.7	0,57	87.6	11.3	41.9	<2,5	6.4	53.3
273660664	241	<10	30.1	<10	<5	1,75	<5	5.5	34.4	<2,5	3.8	89.4
273660700	93.0	<10	<5	<10	<5	1,02	18.9	<5	20.4	<2,5	5.4	<30
273660759	<30	<10	9.4	<10	<5	0,62	<5	<5	22.4	<2,5	3.1	<30
273660770	<30	<10	5.1	<10	<5	0,46	24.3	<5	8.7	<2,5	3.2	<30
273660775	421	<10	<5	10.0	9.7	0,78	43.8	<5	32.5	<2,5	7.7	<30
273660779	<30	<10	<5	<10	<5	0,00	<5	<5	25.9	<2,5	9.5	206
273660779	<30	<10	<5	<10	<5		73.9	<5	43.2	<2,5	8.3	<30
273660784	165	<10	<5	<10	<5	0,95	91.1	<5	25.4	<2,5	9.7	<30
273660788	<30	<10	<5	10.4	<5	0,00	<5	<5	32.8	24.6	11.3	<30
273660797	<30	<10	<5	<10	<5	0,00	<5	<5	16.6	<2,5	5.0	<30
273660801	<30	<10	10.0	<10	8.0	0,00	72.2	<5	86.4	<2,5	9.3	88.8
273660802	<30	34.6	<5	12.1	14.7	0,00	131	19.2	61.5	59.5	14.8	<30
273670280	<30	<10	<5	<10	7.1	0,54	<5	<5	60.9	<2,5	6.3	70.3
273670287	<30	<10	<5	<10	23.1	20,4	551	<5	85.4	<2,5	8.5	524
273670296	<30	<10	<5	<10	7.9	1,27	11.1	<5	57.9	<2,5	6.8	<30
273710168	<30	<10	18.9	<10	<5	0,00	210	<5	54.0	<2,5	7.3	86.5
273710260	<30	<10	<5	<10	<5	0,00	20.2	5.2	33.2	<2,5	7.8	<30
273710315	<30	<10	31.0	<10	<5	0,00	8.8	<5	56.9	<2,5	3.2	87.5
273710324	<30	<10	<5	<10	5.0	0,00	<5	<5	21.2	<2,5	10.4	<30
273710348	<30	<10	13.9	<10	<5	0,13	32.7	<5	50.9	<2,5	5.6	77.3
273710529	<30	<10	7.7	<10	<5	0,00	<5	<5	<5	<2,5	<2	<30
273710548	<30	<10	14.4	<10	24.6	0,23	33.0	5.8	72.1	<2,5	3.9	44.6
273710706	<30	<10	<5	<10	20.1	0,00	23.2	<5	45.9	<2,5	12.1	<30
273710791	<30	<10	19.5	<10	<5	0,00	193	8.6	53.9	<2,5	4.9	95.2
273711022	613	<10	9.7	<10	5.2	1,33	110	<5	39.9	<2,5	9.7	45.3
273711052	<30	<10	10.2	<10	7.3	0,00	22.8	9.8	13.5	<2,5	2.6	<30
273720016	<30	<10	<5	<10	<5	0,00	<5	12.4	30.3	<2,5	12.7	49.1
273720220	<30	<10	27.3	11.0	6.6	0,00	<5	10.3	29.4	<2,5	10.3	<30
273720395	<30	<10	<5	11.5	<5	0,00	118	6.1	47.6	<2,5	17.4	<30
273720398	<30	<10	<5	<10	10.6	17,98	504	5.7	62.6	<2,5	18.9	<30

10.4. CONTAMINACIÓN POR PLAGUICIDAS EN LA VEGA MEDIA

En el Anejo 10 se describe con sumo detalle la investigación de plaguicidas llevada a cabo en la Vega Media del Segura, trabajo pionero en esta materia en la cuenca del Segura.

Las conclusiones más relevantes de dicha investigación se resumen a continuación.

A grandes rasgos, los más elevados niveles de residuos de plaguicidas se encuentran en la margen izquierda del río Segura, en el sector comprendido entre las poblaciones de Murcia y Santomera. Localmente, también se han encontrado concentraciones apreciables en un reducido sector situado al noreste de Beniaján.

No se han encontrado diferencias notables entre las dos campañas de análisis realizadas (julio y septiembre de 2000), si acaso mayores concentraciones en la segunda.

En general, y sin que ello implique necesariamente relación de dependencia, la mayor presencia de plaguicidas se encuentra en las áreas de menor salinidad de las aguas subterráneas, aunque también de mayores concentraciones de nitratos.

El compuesto más frecuente detectado ha sido el fungicida **carbendazima**, que aparece en casi el 90% de las muestras analizadas, con una concentración máxima de 0.264 microg/l en el agua subterránea y de 0.493 microg/l en las aguas superficiales.

Los **herbicidas** son los compuestos más frecuentemente detectados, destacando especialmente las triazinas (simazina, terbutilazina, terbumetona y terbutrina) que se han encontrado en aproximadamente un 25% de las muestras analizadas. Porcentaje similar se observa en el MCPA (27% de positivos), otro herbicida ampliamente usado en la zona. Bromacilo, diuron y glifosato también aparecen en algunas muestras (7%). Cabe destacar los altos niveles encontrados en algunos casos, con concentraciones máximas de 1.96 (terbutilazina), 3.33 (bromacilo), 0.43 (MCPA) o 0.60 microg/l (glifosato), muy por encima del valor de 0.1 ppb (microg/l).

En cuanto a los **insecticidas**, los más frecuentes han sido los carbamatos, destacando metomilo, carbofuran, pirimicarb y etiofencarb. Sin embargo, en muy pocas ocasiones sus niveles han superado los 0.1 microg/l (solamente metomilo en dos muestras, con un valor

máximo de 0.20 ppb). En cuanto a los fosforados, a pesar de su amplio uso, únicamente se han detectado dimetoato, clorpirifos, metidation y diazinon. El valor de 0.1 ppb solamente se ha superado en dos muestras de agua: una, que contenía 0.11 ppb de dimetoato, y otra muestra que contenía 0.91 microg/l de clorpirifos. En esta ultima muestra también se detectó su principal producto de transformación, 3,5,6-tricloro-2-piridinol. En ninguna de las muestras analizadas se detectaron los acaricidas investigados.

En términos generales, entre los compuestos detectados se encuentran algunos de los más solubles en agua (glifosato, metomilo, dimetoato, etiofencarb, pirimicarb, todos ellos con solubilidades mayores de 1 g/l), junto a otros con solubilidades relativamente elevadas (bromacilo, terbacilo, MCPA, imidacloprid, carbofuran, con solubilidades superiores a 300 mg/l). Todos estos compuestos se aplican actualmente, en mayor o menor medida, en la agricultura de la Vega.

También se han detectado compuestos poco solubles en agua (solubilidad inferior a 50 mg/l), tales como las triazinas simazina, terbutilazina y terbutrina. Algo semejante ocurre con el diuron (solubilidad en agua de 42 mg/l), que se ha detectado en cuatro muestras.

Sorprende la presencia de diazinón y, especialmente, de clorpirifos, el cual se detectó en una sola muestra a altos niveles de concentración. Esta detección es inesperada pues es conocida su alta adsorción y rápida degradación en suelos, por lo que su presencia en el agua subterránea debería achacarse más a un accidente que a las prácticas habituales en la agricultura.

Es interesante resaltar la detección de algunos productos de transformación pues son muy escasos los datos existentes en la literatura científica sobre este tema. En el trabajo realizado se han detectado siete productos de transformación, entre los que destacan, por su mayor frecuencia, el 2-aminobenzimidazol (procedente de carbendazima) y el DIA (triazinas). El AMPA (glifosato), carbofuran-7-fenil-3-carbonilo (carbofuran), ácido 6-cloronicotínico (imidacloprid) y 3,5,6-tricloro-2-piridinol (clorpirifos) se han detectado tan sólo una vez, pero su presencia es significativa desde el punto de vista ambiental, como una demostración de cómo los derivados de plaguicidas muy diversos pueden llegar a alcanzar las aguas subterráneas.

Se han realizado ensayos de adsorción en suelos de la Vega Media. Uno de ellos corresponde a una muestra tomada entre 0 y 20 cm de profundidad. Las otras dos muestras

corresponden a un mismo punto, a profundidades respectivas de 0 a 20 cm una y 40-60 cm la otra.

Los plaguicidas seleccionados para los experimentos de adsorción han sido seis: cuatro herbicidas (terbutilazina, MCPA, terbacilo y diuron), un fungicida (carbendazima) y un insecticida (metomilo), que se encuentran entre los más frecuentemente detectados en las aguas subterráneas.

Los resultados de los ensayos de adsorción en suelos indican que la adsorción de estos compuestos es relativamente baja, lo que justificaría su mayor movilidad y presencia en las aguas subterráneas.

Se confirma la baja adsorción señalada en la bibliografía para metomilo y terbacilo, lo que está de acuerdo con sus mayores solubilidades en agua (58 g/l y 710 mg/l, respectivamente). El herbicida terbutilazina y el fungicida carbendazima también presentan adsorciones relativamente bajas. Entre todos los compuestos investigados, es el diuron el que más se adsorbe sobre los suelos ensayados, aunque sus coeficientes de partición quedan lejos de otros plaguicidas fuertemente adsorbidos, de acuerdo con la bibliografía, tales como compuestos clorados y la mayoría de organofosforados. Un caso particular es el herbicida MCPA, cuya adsorción fue relativamente baja, destacando sobre todo el suelo MU-3, en el cual este herbicida presentó la menor adsorción de todos los compuestos estudiados.

La materia orgánica no parece jugar un papel fundamental en el proceso de adsorción de los plaguicidas seleccionados, lo cual puede justificarse más fácilmente en los compuestos más solubles en agua (metomilo, MCPA y terbacilo), requiriéndose, sin embargo, un estudio más detallado para explicar este comportamiento en los compuestos menos solubles (carbendazima, terbutilazina y diuron). Si bien, debe tenerse en cuenta que para el estudio de adsorción se han seleccionado compuestos que, a priori, presentaban alta movilidad tal como pusieron de manifiesto los datos relativos a su presencia en las aguas subterráneas. Debe considerarse también que la materia orgánica puede ejercer una doble influencia sobre el comportamiento de los plaguicidas en el suelo, ya que, por un lado, puede favorecer su retención, pero dependiendo del tipo de materia orgánica y de plaguicida puede actuar también en sentido opuesto, favoreciendo su lixiviación. Además, puede ejercer un papel importante en

la degradación de los plaguicidas, la cual suele ser mayor en medios con altos contenidos de materia orgánica.

La distribución espacial de los plaguicidas encontrados pone de manifiesto que sólo en el sector central del acuífero se encuentran concentraciones que pueden ser consideradas como indicativas de elevado grado de contaminación. Por el contrario, tanto en el área occidental, al oeste de la ciudad de Murcia, como, en general, en la margen derecha del Segura, las identificaciones positivas han sido escasas y poco significativas.

Además de las consideraciones relativas a la movilidad de los compuestos investigados, se pueden invocar diversos factores que, con mayor o menor grado de influencia, contribuyen a justificar el reparto espacial encontrado. Estos factores son las características tanto litológicas como hidrodinámicas de la zona no saturada (espesor, arcillosidad), la propia naturaleza y textura del suelo y también las prácticas agrícolas.

En el sector occidental, en el que no existen identificaciones significativas, el espesor de la zona no saturada, del orden de 10 a 15 metros, y la naturaleza limo-arcillosa, pueden ser razones suficientes para justificar la ausencia de plaguicidas en el acuífero. En el sector oriental, es decir, aguas abajo de la ciudad de Murcia, se diferencian dos zonas: la margen izquierda del río Segura, en la que se localizan las mayores concentraciones de plaguicidas y de mayor número de compuestos, y la margen derecha, con escasos indicios de contaminación.

Con los conocimientos actuales, resulta problemático establecer claramente las razones de esta diferenciación. Sin embargo, es posible asociar la presencia de plaguicidas con el tipo de cultivo y, en consecuencia, con el modo de aplicación de los mismos, sobre el árbol en el caso general de los cítricos, y sobre el suelo en los cultivos hortícolas. En la margen derecha predominan los cítricos (igual que en el sector occidental), mientras que en la margen izquierda los cultivos hortícolas, sin ser predominantes, representan una parte significativa de la actividad agrícola.

Sin que haya sido posible establecer relaciones de causa-efecto, parece razonable suponer que la aplicación directa al suelo y la mayor frecuencia de riego en el caso de las hortalizas implica una mayor posibilidad de que los compuestos puedan alcanzar el medio no saturado. En el caso de los cítricos, este mecanismo puede afectar también a los herbicidas, aunque la menor frecuencia de riego puede favorecer los procesos de pérdida por volatilización

y/o degradación. Por otra parte, en la margen derecha del río, la mayor parte de las captaciones muestreadas tienen profundidades del orden de 100 metros, lo que probablemente suponga aportes de niveles más profundos y, por tanto, más protegidos frente a la contaminación.

11. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

11.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realiza una síntesis de toda la información previa disponible, con la finalidad de establecer un modelo hidrogeológico conceptual que integre todos los datos y resultados obtenidos en las investigaciones realizadas hasta el momento en la Vega Media y Baja del Segura. Dicho modelo conceptual resulta esencial para plantear adecuadamente un modelo numérico del flujo subterráneo que permita simular y calibrar diversas hipótesis de funcionamiento hidrodinámico.

La metodología adoptada ha consistido en realizar un análisis preliminar de la evolución piezométrica experimentada por el acuífero durante el periodo 1970-2001, con objeto de elegir un periodo de referencia en el que el sistema se encuentre menos influenciado por las extracciones, es decir, lo más próximo posible a las condiciones naturales. Posteriormente, se han evaluado las principales entradas y salidas del acuífero, tanto para el periodo de referencia anteriormente seleccionado (1973-75) como para el periodo 1994-2001, con objeto de calibrar el modelo numérico en régimen estacionario y transitorio.

El presente capítulo comienza evaluando la recarga y la descarga en la Vega Media y Baja del Segura. Para ello se resumen los estudios realizados y se presentan los principales resultados obtenidos, analizando las limitaciones y representatividad de los mismos, relacionándolos entre sí y teniendo en cuenta la información previa disponible. Las entradas al acuífero vienen dadas por la infiltración producida a partir del agua de lluvia, retornos de riego y río Segura (aguas arriba de la ciudad de Murcia) y aportes laterales. Las salidas se producen a través de los azarbes, río Segura, lagunas, mar y bombeos. Posteriormente, se estudia la evolución piezométrica y se define el esquema general de flujo, elaborando las isopiezas tentativas representativas del funcionamiento del acuífero en condiciones poco influenciadas. Finalmente, se presenta un balance hídrico tanto para la Vega Media como para la Vega Media y Baja del Segura, teniendo en cuenta todas las limitaciones e incertidumbres asociadas a los términos implicados.

11.2. EVALUACIÓN DE LA RECARGA

Las principales fuentes de recarga en la Vega Media y Baja son la infiltración por agua de lluvia y por retornos de riego, así como la infiltración a partir del río Segura (ver apartado 11.3.1).

11.2.1. Recarga por la infiltración de agua de lluvia

La infiltración por agua de lluvia se ha calculado mediante la aplicación de un balance hidrometeorológico a escala diaria para los periodos 1967/68-1999/00 (Vega Media) y 1954/97-1994/01 (Vega Baja). En el caso de la Vega Media, la recarga media obtenida es de 50 mm/a (periodo 1967/68–1999/00), mientras que para la Vega Baja es de 34,56 mm/a (periodo 1954-1997) y de 34,35 mm/a (periodo 1994-2001). Dichos resultados resultan cualitativamente coherentes con el mapa de isoyetas presentado en el PHCS. Según el PIAS la recarga producida mediante este concepto para el conjunto de la Vega es de 50 mm/a. De todo ello se puede concluir que la recarga calculada puede considerarse como razonablemente representativa para simular el sistema en régimen estacionario (dada la amplitud de los periodos considerados y la coherencia en los datos).

11.2.2. Recarga por infiltración de retornos de riego

11.2.2.1. Introducción y metodología

La metodología para la evaluación de la recarga por infiltración de retornos de riego ha consistido en: a) evaluación de las superficies de riego y tipo de cultivo predominante, b) estimación de dotaciones y volúmenes de agua aplicados y c) estimación de las tasas de infiltración. Dicha metodología se ha desarrollado siguiendo diferentes etapas o fases en coherencia con los datos disponibles y el grado de conocimiento existente en cada momento. Estas etapas son:

- Realización de una zonificación preliminar según una serie de criterios hidrogeológicos teniendo en cuenta los estudios previamente realizados en la Vega Media y Baja del Segura. Obtención de los volúmenes aplicados teniendo en cuenta las superficies de cultivo evaluadas mediante teledetección (imágenes marzo 1997 y agosto 1998 en la Vega Baja; marzo y agosto 2000 en la Vega Media) y las dotaciones correspondientes al PHCS, CEBAS y encuestas de campo en la Vega Media (año 2000).
- Comparación de los volúmenes anteriores con los volúmenes obtenidos suponiendo exclusivamente las dotaciones de agua existentes en el PHCS (según UDAS).
- Realización de una zonificación definitiva mejorando la anteriormente realizada e integrando la Vega Media con la Vega Baja, con el objeto de considerar de forma independiente el aluvial de la Vega Media y Vega Baja (zonas A y B de recarga) en función de los resultados del modelo numérico inicialmente obtenidos, así como facilitar la entrada de datos en régimen transitorio.

11.2.2.2. Zonificación preliminar, volúmenes aplicados y recarga inicial obtenida

Para facilitar el estudio y tratamiento de la recarga producida mediante retornos de riego y con la finalidad de facilitar la posterior incorporación y tratamiento de la recarga en el modelo numérico se han definido inicialmente tres zonas con características distintas (Figura 11.1):

- Zona 1: corresponde a la parte norte del acuífero de la Vega Baja, entre el Campo de la Murada y el Campo de Elche, donde afloran principalmente limos y arcillas del Cuaternario. Coincide "grosso modo" con las Unidades de Demanda Agraria 53 "Riegos de Levante Margen Izquierda-Segura" y 54 "Riegos de Levante Margen Izquierda-Júcar", redotada la primera con aguas del Trasvase Tajo-Segura (UDA 72 "Nuevos Regadíos Riegos de Levante. M. I.- Segura"). Los cítricos son el cultivo predominante con un 36 %, la huerta y cereal representa el 25% y la transformación, especialmente cítricos jóvenes, supone el 19%. La técnica de riego mayoritaria es el goteo. Se trata de una zona con un cierto gradiente topográfico y baja permeabilidad de los materiales.
- Zona 2: corresponde a las vegas Media y Baja del Segura en sentido geográfico. Los materiales aflorantes principales son arenas y gravas del Cuaternario (acuífero superficial).

Esta zona viene a coincidir, en términos generales, con las UDAs 32 "Tradicional Vega Media" y 46 "Tradicional Vega Baja". Predominan también los cítricos aunque la superficie de cultivos de huerta y cereal es mayor respecto a la zona anterior. La técnica de riego predominante es por gravedad. El gradiente topográfico es pequeño y los materiales tienen mayores permeabilidades que en la zona anterior.

- Zona 3: corresponde a la parte donde afloran los materiales carbonatados del Triásico, fundamentalmente las Sierras de Orihuela y Callosa. La mayor parte de los regadíos de esta zona pertenecen a la UDA 48 "Vega Baja, posteriores a 1933 y ampliados como consecuencia del Decreto de 1953", redotados con aguas del trasvase (UDA 72 "Nuevos Regadíos Riegos de Levante. M. I.- Segura"). Los cultivos, predominantemente cítricos regados por goteo, se sitúan en las zonas de piedemonte, por lo tanto con un cierto gradiente topográfico. La permeabilidad de los materiales es mayor que en las zonas anteriores. Esta zona representa una escasa superficie por lo que su peso en la recarga al sistema será mucho menor.

a) Evaluación de las superficies de riego y tipo de cultivo predominante.

Las clases y superficies de cultivo se han obtenido mediante teledetección con imágenes LANDSAT y aplicación posterior de un Sistema de Información Geográfico para el cálculo de valores referidos a celdas del modelo de tamaño 1 km². Los datos de la Vega Baja corresponden al análisis de imágenes Landsat 5 TM de marzo de 1997 y agosto 1998, y los de la Vega Media se han obtenido mediante la utilización combinada de imágenes Landsat 7 EMT+ de marzo y agosto de 2000. En el estudio específico de Teledetección se presentan los detalles de los trabajos realizados.

En la Tabla 11.1 se muestran las superficies obtenidas para cada tipo de cultivo en cada una de las zonas diferenciadas. Como puede observarse la superficie evaluada en la Vega Media es de 10239 ha (parte de la zona 2) y de 44092 ha en la Vega Baja (zonas 1, 3 y parte de la 2). El total de superficie cultivada es de 54331 ha. En la Tabla 11.2 se comparan las superficies anteriores, distribuidas por UDAs, con las del Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura. Si a las superficies netas del PHCS se le aplican los porcentajes de UDA dentro del dominio del modelo, el total de superficie cultivada que resulta es de 56450 ha, lo cual supondría una reducción en torno al 10% de la superficie cultivada entre las fechas de realización de ambos estudios

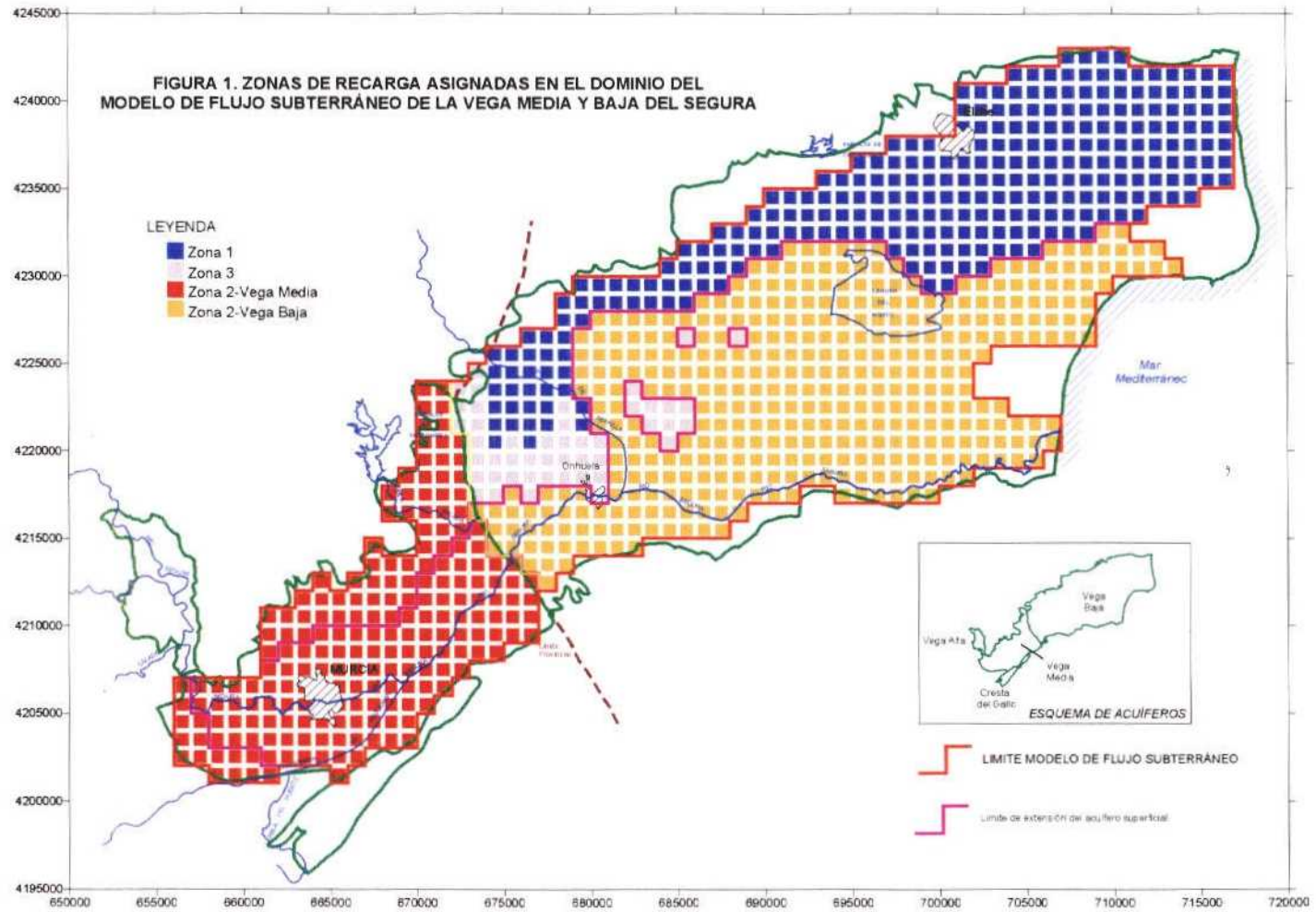


Figura 11.1. Zonificación preliminar realizada con objeto de evaluar la recarga en la Vega Media y Baja del Segura

Tabla 11.1. Clases y superficies de cultivo obtenidas para las Vegas Media y Baja del Segura, en el dominio del modelo de flujo.

	Zona 1		Zona 2				Zona 3	
Localización	Vega Baja		Vega Media		Vega Baja		Vega Baja	
Superficie bruta	277 km ²		203 km ²		383 km ²		46 km ²	
Cultivos	Ha	(%)	Ha	(%)	Ha	(%)	Ha	(%)
Invernadero	109	0.7	0	0.0	89	0.3	5	0.4
Cítricos	5402	35.5	7570	73.9	8060	29.1	584	50.9
Caducifolios	1471	9.7	77	0.8	1548	5.6	66	5.8
Parral	284	1.9	7	0.1	137	0.5	5	0.4
Palmeral y vivero	1006	6.6	0	0.0	2822	10.2	110	9.6
Huerta y Cereal	3751	24.7	1912	18.7	10012	36.1	193	16.8
Forrajeros	364	2.4	134	1.3	1898	6.8	30	2.6
Transformación (*)	2819	18.5	539	5.3	3173	11.4	154	13.4
Total cultivado	15206	100.0	10239	100.0	27739	100.0	1147	100.0

(*)=Corresponden a nuevos cultivos, especialmente cítricos jóvenes.

Para la evaluación de la recarga por retornos de riego y que ésta corresponda al periodo representativo del régimen lo menos influenciado posible sería interesante disponer de las superficies de cultivo durante el periodo de referencia que corresponde al PIAS, es decir, los años 1973-75. En dicho trabajo se aportan unas cifras de superficies de cultivo de 17464 ha en la Vega Media y 23041 ha en la Vega Baja, es decir, un total de 40505 ha, sin especificar cuál es la zona exacta a la que corresponden tales superficies. Tales cifras no parecen coherentes, ya que la superficie cultivada en la Vega Media parece encontrarse bastante sobrestimada (téngase en cuenta que la superficie total del acuífero es de 206 km², lo que supondría una superficie de cultivo del 85 %, demasiado elevada), por lo que probablemente sea una superficie bruta orientativa. Para la Vega Baja, parece evidente que la superficie de cultivo es muy inferior a la evaluada en estudios posteriores.

Tabla 11.2. Superficies de cultivo obtenidas para las Vegas Media y Baja del Segura, en el dominio del modelo de flujo y comparación con las del PHCS

COD.	UNIDAD de DEMANDA	Dominio Modelo de flujo			Datos PHCS		Porcentaje de UDA dentro del Modelo
		UDAs Diferenciadas	Sup. Bruta (km ²)	Sup. Neta (ha)	Sup. Bruta (ha)	Sup. Neta (ha)	
32	Tradicional Vega Media	32	139	7778	14254	9693	99%
		32+72	2	106			
34	Vega Media, post. al 33 y ampl. Del 53	34	7	415	2055	1397	33%
36	Regadíos de acuíferos en la Vega Media	36	2	79	2813	1913	7%
39	Nuevos regadíos Zona IV Vega Alta-Media	39	32	1481	8233	4899	39%
46	Tradicional Vega Baja	46	200	17960	20464	14785	100%
		46+72	5	332			
48	Vega Baja, post. al 33 y ampl. Del 53	48	42	3262	13310	9616	40%
		48+72	11	823			
51	Regadíos de acuíferos en la Vega Baja	51	0	0	219	158	100%
		51+72	3	149			
53	Riegos de Levante Margen Izquierda-Segura	53	5	359	12063	7690	95%
		53+72	109	7330			
54	Riegos de Levante Margen Izquierda-Júcar	54	192	9958	20341	12967	94%
66	Nuevos regadíos Lorca y Valle del Guadalentín	66	9	153	10798	7802	8%
72	Nuevos regadíos Riegos de Lev. M. Izquierda-Segura	72 s.s.	78	2267	8343	5319	94%
Sin asignar			73	1879			
TOTAL (ha)			909	54331	112893	76239	56450

Dado que se desconoce el origen y/o método de obtención de las superficies evaluadas durante el PIAS, se ha decidido considerar las superficies evaluadas mediante teledetección como más fiables y representativas. La utilización de este tipo de técnica permite además un buen conocimiento acerca de la distribución espacial de las superficies de riego. Sin embargo, dado que tal y como se ha comentado anteriormente, dichas superficies se han obtenido a partir de imágenes registradas en los últimos años (1985-2000), su utilización en el modelo numérico presupone que la superficie de cultivo en la Vega del Segura se ha mantenido relativamente constante desde 1973-75 hasta la actualidad, lo cual parece resultar coherente, en principio, con el hecho de obtener superficies aproximadamente coincidentes con las del PHCS. No obstante, dado que se reconoce una disminución progresiva de la superficie de cultivo a lo largo del tiempo, se asume una cierta limitación en este sentido. Dicha limitación, sin embargo, se considera como poco significativa si se tiene en cuenta la elevada incertidumbre asociada a la determinación de la recarga (estimación de dotaciones, volúmenes de agua aplicados y tasas de infiltración).

b) Estimación de dotaciones y volúmenes de agua aplicados.

La evaluación de los volúmenes aplicados requiere del conocimiento de las dotaciones. La información disponible al respecto procede de las siguientes fuentes:

- Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura PHCS (Tablas 11.3 y 11.4): es tal vez la información más fiable además de ser la única oficial y consensuada. Para cada Unidad de Demanda Agraria (UDA) se detallan las fechas y duración de los riegos y sus demandas por cultivos.

Tabla 11.3. Superficies, demandas y dotaciones de las Unidades de Demanda Agraria incluidas, total o parcialmente, en el dominio del modelo de flujo de las vegas Media y Baja del Segura (PHCS, 1997).

COD	Unidad de demanda	Sup. Neta (ha)	Demanda Neta (Hm ³)	Demanda Bruta (Hm ³)	Dot. Neta (m ³ /ha/año)	Dot. Bruta (m ³ /ha/año)
32	Tradicional Vega Media	9.693	65,03	76,50	6.709	7.893
34	Vega Media, post. al 33 y ampl. del 53	1.397	8,06	9,49	5.770	6.789
36	Regadíos de acuíferos en la Vega Media	1.913	13,07	15,38	6.835	8.041
39	Nuevos regadíos Zona IV Vega Alta-Media	4.899	27,09	31,87	5.530	6.506
46	Tradicional Vega Baja	14.785	83,68	98,45	5.660	6.658
48	Vega Baja, post. al 33 y ampl. del 53	9.616	53,12	62,50	5.524	6.499
51	Regadíos de acuíferos en la Vega Baja	158	1,08	1,28	6.852	8.061
53	Riegos de Levante Margen Izquierda-Segura	7.690	46,31	54,49	6.023	7.085
54	Riegos de Levante M. I.-Júcar	12.967	57,43	67,57	4.429	5.210
66	Nuevos regadíos Lorca y Valle del Guadalentín	7.802	42,54	50,05	5.453	6.415
72	Nuevos regadíos Riegos de Lev. M. I.-Segura	5.319	32,03	37,68	6.023	7.085
74	Nuevos regadíos R. de Levante M. I.-Júcar	1	0,00	0,00	4.429	5.210

- Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS) del CSIC (Tabla 11.5). Datos facilitados relativos al trabajo de Portero-Faus (2001) "Contribución al estudio de las necesidades hídricas del regadío en la Región de Murcia", Universidad Miguel Hernández-CEBAS. Se ha podido disponer de datos para cultivos leñosos y herbáceos en los términos municipales de Alcantarilla, Beniel, Murcia y Santomera con distribución mensual de las necesidades hídricas. Esta información se ha utilizado para contrastarla con la existente en el PHCS. Se observa como, por ejemplo, el consumo real (encuesta a los agricultores) asignado para los cítricos en la Vega Media es aproximadamente coincidente con la dotación neta del PHCS (7200 m³/ha/año). En el caso de los cultivos herbáceos los consumos son también parecidos a los del PHCS.

- Datos obtenidos en el Presente Proyecto. Las encuestas de campo realizadas en la Vega Media del Segura han permitido obtener las dotaciones aplicadas por los agricultores a los diferentes tipos de cultivo. En aquellos cultivos en los que no ha sido posible obtener datos fiables, sus dotaciones se han calculado o estimado a partir de las fuentes anteriormente comentadas (PHCS y CEBAS). Las dotaciones finalmente consideradas en la Vega Media han sido las siguientes:
 - Cítricos: 7500 m³/ha/año distribuidos en 6 riegos de 1250 m³/ha/riego a lo largo del año (abril, junio, julio-agosto, septiembre y diciembre de 2000, y marzo de 2001).
 - Caducifolios: 5000 m³/ha/año distribuidos en 4 riegos de 1250 m³/ha/riego a lo largo del año (abril, julio, septiembre y diciembre de 2000).
 - Huerta y cereal: 5653 m³/ha/año. Valor obtenido mediante el cálculo de la dotación de los distintos tipos de cultivo de herbáceos (distribución porcentual con datos del CEBAS en los municipios de Beniel y Santomera): hortalizas flor, hortalizas tubérculo, hortalizas raíz, hortalizas fruto y hortalizas hoja. A partir de éstos, la dotación media se ha calculado con una media ponderada de las anteriores dotaciones en función de su representatividad en la Vega Media. Estas dotaciones se calculan para 6,5 riegos por cultivo con la siguiente la distribución mensual a lo largo del año: abril, 11.12%; mayo, 10.91%; junio, 5.27%; julio, 0.55%; agosto, 6.79%; septiembre, 14.14%; octubre, 13.64%; noviembre, 10.10%; diciembre, 8.39%; enero, 4.55%; febrero, 6.45% y marzo, 8.09% (el coeficiente de rotación de cultivos al año es de 1.7).
 - Forrajeros: 13000 m³/ha/año distribuidos en 8 riegos de abril a noviembre de 2000.
 - Transformación: 4500 m³/ha/año con una distribución mensual igual a la de cítricos, por tratarse mayoritariamente de plantaciones jóvenes de este cultivo con riego por goteo prácticamente generalizado.
 - Invernadero: 12000 m³/ha/año. Valor estimado por extrapolación a partir de la encuesta realizada en la Vega Baja del Segura.
 - Parral: 4640 m³/ha/año. Valor estimado a partir del PHCS.

El volumen de agua total estimado para el riego de las 10239 ha de cultivo distribuidas sobre la superficie del acuífero en la Vega Media es del orden de unos 72 hm³/año (Tabla 11.6) con máximos en torno a 11 hm³/mes coincidentes, lógicamente, con los meses donde se produce riego de cítrico.

Tabla 11.4. Superficies, dotaciones y demandas de cultivos en las principales Unidades de Demanda Agraria correspondientes al acuífero de la Vega Media del Segura. Según Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (PHCS, 1997).

Cultivo	Sup. Bruta (% total UDA)	Sup. bruta (ha)	Sup. Neta (ha)	Dot. Neta (m ³ /ha/año)	Dotación bruta (m ³ /ha/año)	Demanda neta (hm ³ /año)	Demanda bruta (hm ³ /año)	Nº riegos anuales
UDA 32. Tradicional Vega Media								
FORRAJE	4,28	610	415	12150	14294	5,04	5,93	11
CER INVIERNO	1,85	264	179	1450	1706	0,26	0,31	1
HORT FLOR	4,45	634	431	6300	7412	2,72	3,2	9
LEGUMINOSA	0,12	17	12	3900	4588	0,05	0,05	7
HORT TUBERCULO	9,3	1326	901	4040	4753	3,64	4,28	6
HORT RAIZ	0,69	98	67	4900	5765	0,33	0,39	7
HORT FRUTO	1,66	237	161	7700	9059	1,24	1,46	11
HORT HOJA	12,98	1850	1258	4900	5765	6,16	7,25	7
CER VERANO	4,35	620	422	5300	6235	2,23	2,63	8
UDA 34. Vega Media, post, al 33 y ampl. del 53								
FRUT HUESO	12,58	1793	1219	8300	9765	10,12	11,91	14
CITRICOS	47,41	6758	4595	7200	8471	33,09	38,93	11
VID MESA	0,33	47	32	4640	5459	0,15	0,17	4
TOTAL		14254	9693	6709	7893	65,03	76,5	
FRUT HUESO	0,99	20	14	7000	8235	0,1	0,11	14
CITRICOS	93,48	1921	1306	5700	6706	7,45	8,76	9
FORRAJE	0,89	18	12	12150	14294	0,15	0,18	11
HORT TUBERCULO	2,21	45	31	6100	7176	0,19	0,22	12
HORT HOJA	1,66	34	23	4900	5765	0,11	0,13	7
HORT FLOR	0,77	16	11	6300	7412	0,07	0,08	9
TOTAL		2055	1397	5770	6789	8,06	9,49	
UDA 36. Regadós de acuíferos n la Vega Media								
CITRICOS	92,72	2608	1774	7200	8471	12,77	15,02	11
ALMENDRO	5,35	150	102	2400	2824	0,25	0,29	4
OLIVO	1,93	54	37	1600	1882	0,06	0,07	2
TOTAL		2813	1913	6835	8041	13,07	15,38	
VEGA MEDIA								
TOTAL		19122	13003					

Coef, cultivos o de concentración parcelaria: 0.80

Coef, rotación o aprovechamiento: 0.85

Coef, eficiencia riego: 0.85

Tabla 11.5. Necesidades hídricas calculadas (m³/ha), consumos reales (m³/ha) y eficiencia de aplicación en la Vega del Segura (CEBAS, 2001).

Cultivo	Necesidades Hídricas calculadas	Consumo Real	Eficiencia de aplicación
Limonero	6.327	7.200	0,88
Naranja y Mandarino	6.970	6.700	1,04
Almendro	5.634	3.100	1,82
Albaricoquero	5.507	5.050	1,09
Melocotonero	5.887	6.700	0,88
Parral	5.142	4.650	1,11
Ciruelo	5.272	5.300	0,99
Melón	3.724	4.100	0,91
Lechuga	3.476	3.850	0,9
Patata	3.947	3.450	1,14
Cereales	3.000	2.000	1,5

Tabla 11.6. – Dotaciones y volúmenes de agua obtenidos para la Vega Media del Segura (zona 2).

Cultivo	Dotacion (m ³ /ha/año)	Volumen (m ³ /año)	Volumen (hm ³ /año)
Cítricos	7500	56777616	56.78
Caducifolios	5000	385911	0.39
Parral	4640	33309	0.03
Huerta y Cereal	5683	10807585	10.81
Forrajeros	13000	1739941	1.74
Transformación (*)	4500	2424767	2.42
Total		72169129	72.17

Con respecto a la Vega Baja, las dotaciones teóricas consideradas se han basado principalmente en la realización de entrevistas directas con los responsables de las comunidades de regantes. En aquellos casos en los que ha sido imposible obtener datos fiables de las dotaciones aplicadas se han considerado las establecidas en el PHCS (ITGE-DPA, 2000). Los volúmenes de agua estimados para cada una de las zonas anteriormente diferenciadas teniendo en cuenta dichas dotaciones se presentan en la Tabla 11.7. Como puede observarse, el volumen total de agua estimado para el riego de las 44092 ha de cultivo distribuidas sobre la superficie del acuífero en la Vega Baja es del orden de unos 282 hm³/año.

Tabla 11.7. – Dotaciones y volúmenes de agua obtenidos para la Vega Baja del Segura

Cultivo	Dotacion (m3/ha/año)	Volumen (m3/año) Zona 1	Volumen (m3/año) Zona 2	Volumen (m3/año) Zona 3
Invernadero	12000	1328865	1064135	43018
Cítricos	6000	34104876	48361534	1810999
Caducifolios	5800	8686410	8980917	231074
Parral	4640	1331725	633810	11382
Palmeral y vivero	13000	13625652	36691852	858974
Huerta y Cereal	4900	18725161	49056649	600685
Forrajeros	12150	4525378	23063634	261748
Transformación (*)	4500	13024404	14279258	356659
Total (m3/año)		95352471	182131789	4174539
Total (hm3/año)		95.35	182.13	4.17

Como comentario final a este apartado, nótese la coherencia general existente entre las dotaciones obtenidas en el Proyecto, las dotaciones netas presentadas en el PHCS y los consumos reales presentados en la Tabla 11.5 (CEBAS, 2001).

c) Estimación de las tasas de infiltración

Una vez evaluado el volumen de agua aplicado o la demanda agraria tanto para la Vega Media como para la Vega Baja del Segura, se ha aplicado un porcentaje o tasa de infiltración en coherencia con: tipo de cultivo predominante, forma de riego, pendiente del terreno y permeabilidad del terreno. Para ello, se ha tenido en cuenta la zonificación realizada al comienzo del presente apartado. En la Tabla 11.8 se presenta un resumen de las características principales de cada zona así como la tasa de infiltración inicialmente estimada para cada una de ellas.

Tabla 11.8. – Resumen de las principales zonas de recarga definidas para la Vega Media y Baja del Segura.

ZONA	UDA	CULTIVO (*)	RIEGO (*)	PENDIENTE	SUBSTRATO	VEGA	TASA(%)
1	51	Cítricos	Goteo	Media	Limos y arcillas del Cuaternario	Baja	5
2	32 y 46	Cítricos y Huerta	Manta	Baja	Arenas y gravas del Cuaternario	Media y Baja	20
3	48 y 72	Cítricos	Goteo	Media-alta	Carbonatos del Triásico	Baja	10

En la Vega Media del Segura los porcentajes o tasas de infiltración aplicadas se han estimado de forma cualitativa a partir de los valores obtenidos en las parcelas experimentales de cítricos de Patiño (18%) y de herbáceos de Orilla del Azarbe (29%), con riego a manta (Anejo 5). En la Vega Baja, por su mayor extensión y menor conocimiento de la misma se han aplicado las tasas de infiltración presentadas en la Tabla 11.8. En la Vega Media, sin embargo, se ha realizado un tratamiento más detallado aplicando una tasa de infiltración diferente para cada tipo de cultivo. Las tasas aplicadas en este caso han sido las obtenidas en las parcelas experimentales para cítricos (18%) y herbáceos (29%). Para los caducifolios se ha introducido el mismo porcentaje que en cítricos (18%). Mientras que para la clase Transformación se ha estimado una tasa retorno del 10% para introducir el hecho de la eficiencia del riego por goteo que se efectúa en estas parcelas. Finalmente, para el invernadero y parral se han estimado unas tasas de 5 y 10%, respectivamente.

En la Tabla 11.9 se resumen los valores de recarga obtenidos (por infiltración de agua de lluvia y retornos de riego) teniendo en cuenta la zonificación preliminar anteriormente comentada.

Tabla 11.9. – Superficies y recarga obtenida para la Vega Media y Baja del Segura según las zonificación preliminar realizada.

	SUPERFICIE (km ²)	RECARGA (hm ³ /año)		
		LLUVIA	RETORNOS DE RIEGO	TOTAL
ZONA 1	277	9.41	4.60	14.01
ZONA 21	203	10.15	14.29	24.44
ZONA 22	383	12.55	36.42	48.97
ZONA 3	46	2.1	0.74	2.84
VEGA MEDIA+BAJA	909	34.21	56.05	90.26

La recarga de 65,8 hm³/a obtenida para la Vega Baja (zonas 1, 2 parcial y 3), de la que 24 hm³/a es por infiltración de lluvia y 41,7 hm³/a por infiltración de retornos de riego, es aproximadamente coincidente con los 60,6 hm³/a (29,3 por infiltración de lluvia y 31,3 por infiltración de retornos de riego) evaluados en el “Estudio de los recursos subterráneos de agua salobre en la zona sur de la Provincia de Alizante” (ITGE-DPA, 2000). Si se tiene en cuenta la incertidumbre asociada tanto a la diferente metodología adoptada como a la representatividad de los valores medios anuales obtenidos, se observa una buena coherencia entre los valores

presentados y los estudios previos realizados para un año tipo. Por lo tanto, a pesar de las limitaciones relacionadas con la posible disminución de la superficie de riego a lo largo del tiempo y con el hecho de considerar unas dotaciones referidas esencialmente al año 2000, esta coherencia permite suponer que dichos valores pueden considerarse como razonablemente representativos de la recarga producida durante el periodo 1973-75, seleccionado para simular y calibrar el funcionamiento natural del acuífero (régimen estacionario). No obstante, con la finalidad de confirmar la viabilidad de la hipótesis adoptada, se ha comparado, además, la recarga obtenida con la producida si se tienen en cuenta los volúmenes de agua resultantes de considerar las demandas y superficies brutas indicadas en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura.

11.2.2.3 Comparación entre los volúmenes obtenidos y los resultantes de PHCS. Zonificación definitiva y valores de recarga obtenidos.

Para comparar los valores de recarga obtenidos (Tabla 11.9) con los resultantes de considerar los volúmenes teniendo en cuenta las demandas y superficies brutas indicadas en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura, se ha estimado oportuno modificar ligeramente la zonificación inicialmente planteada (Figura 11.1) Dicha modificación se ha realizado con la finalidad de: a) asignar la misma zona de recarga a los materiales triásicos situados tanto en la Vega Media como en la Vega Baja, b) adaptar las zonas de recarga a las principales Unidades de Demanda Agraria existentes dentro del dominio del modelo, c) considerar por separado la recarga producida sobre el aluvial de la Vega Media y Baja y d) facilitar la entrada de los datos de recarga en el modelo en régimen transitorio. La zonificación finalmente adoptada consta de cinco zonas diferentes (A, B, C, D y E) (Figura 11.2).

En la Tabla 11.10 se comparan los volúmenes aplicados para riegos por Unidades de Demanda Agraria en el dominio del modelo numérico. Como puede observarse, en el aluvial de la Vega Media (UDA 32, actualmente considerada como zona A de recarga), el volumen considerado es del orden de unos 20 hm³/año menor, mientras que en el aluvial de la Vega Baja (UDAS 46 y parte de la 48, actualmente considerada como zona B) se observa el efecto contrario, el volumen considerado es de unos 24 hm³/año mayor al del PHCS. Dichas diferencias, se atribuyen al grado de incertidumbre existente en las dotaciones teóricas y reales consideradas, así como a los diferentes periodos de tiempo considerados. No obstante, los volúmenes obtenidos presentan un orden de magnitud similar y una vez transformados a recarga, las diferencias obtenidas son poco significativas ($\pm 4,5$ hm³/año) (Tabla 11.11)

Tabla 11.10. – Comparación entre los volúmenes aplicados para riego anteriormente calculados con los resultantes al considerar la demanda bruta del Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura.

	Presente estudio	Demanda bruta PHCS	Diferencia
UDA 32	55.50	75.75	-20.25
UDA 34	3.04	3.13	-0.09
UDA 36	0.54	1.08	-0.54
UDA 39	10.53	15.30	-4.77
UDA 46	122.35	98.45	23.90
UDA 48	26.55	25.00	1.55
UDA 51	0.84	1.28	-0.44
UDAs 53 y 54	107.02	115.27	-8.25
UDA 66	0.86	4.00	-3.14
UDA 72-74	UDA 72 _{ss} =14.8	UDA 72=35.4	

Los valores de recarga finalmente obtenidos teniendo en cuenta la nueva zonificación y posteriormente considerados en el modelo numérico (régimen estacionario) se presentan en la Tabla 11.12. No obstante, durante la fase de ajuste y calibración del modelo numérico en régimen estacionario se ha analizado la sensibilidad a la recarga teniendo en cuenta las dos hipótesis anteriormente comentadas, observándose cómo, en general, las diferencias e implicaciones en los resultados son poco significativas.

Tabla 11.11. – Comparación entre los volúmenes aplicados y la recarga obtenida en el presente estudio con los resultantes de considerar las demanda bruta del Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (PHCS) (Zonas A y B).

VEGA MEDIA (Zona A)				
	UDA 32	UDA 34	UDA 66	TOTAL
VOLÚMENES APLICADOS				
Presente estudio	55.5	3	0.9	59.4
PHCS	75.7	3.1	4	82.8
RECARGA (EXCEDENTES DE RIEGO)				
Presente estudio	11.1	0.6	0.18	11.88
PHCS	15.14	0.62	0.8	16.56
				-4.68
VEGA BAJA (Zona B)				
	UDA 46	UDA 48	UDA 53	TOTAL
VOLÚMENES APLICADOS				
Presente estudio	122.4	26.6	48.18	197.18
PHCS	98.4	25	51.76	175.16
RECARGA (EXCEDENTES DE RIEGO)				
Presente estudio	24.48	5.32	9.64	39.44
PHCS	19.68	5	10.35	35.03
				4.40

Tabla 11.12. – Superficies y recarga obtenida para la Vega Media y Baja según la zonificación definitiva.

	SUPERFICIE (km ²)	RECARGA (hm ³ /año)		
		LLUVIA	RETORNOS DE RIEGO	TOTAL
ZONA A	163	8.15	12.01	20.16
ZONA B	345	12.42	36.04	48.46
ZONA C	299	10.52	5.78	16.30
ZONA D	43	1.96	0.67	2.63
ZONA E + Inactivas	38 + 21			
VEGA MEDIA+BAJA	909	33.05	54.5	87.55

11.2.2.4 Evolución de volúmenes aplicados y recarga durante 1994-2001

El procedimiento de evaluación de la recarga del periodo 1994/95 a 2000/01, realizado con el objetivo de su incorporación al modelo de flujo en transitorio, presenta diferencias sustanciales respecto al análisis de la recarga media correspondiente a un régimen estacionario, y que se refieren al método de estimación de la recarga por retornos de riego. En ambos casos, la recarga por infiltración por agua de lluvia se ha calculado mediante la aplicación de un balance hidrometeorológico a nivel diario.

La metodología de evaluación de la recarga media ha sido objeto de análisis en apartados precedentes. En esencia, ha consistido, en lo que a recarga por retornos de regadío se refiere, en una primera fase de cuantificación de volúmenes aplicados para riego a partir

del conocimiento por teledetección de las superficies de cultivo (Anejo 9) y dotaciones de agua de cada cultivo, y una segunda fase de aplicación de distintas tasas de infiltración, donde se han tenido en cuenta aspectos agronómicos e hidrogeológicos. Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto la mayor importancia global de los volúmenes de recarga por retornos de riego en comparación con la procedente de la precipitación.

En el caso de la evaluación de la recarga por retornos de riego para el periodo 1994/95-2000/01, se podría haber realizado un procedimiento parecido al anterior, tratando de tener en cuenta las posibles variaciones de superficies de cultivo y de dotaciones aplicadas. Sin embargo, estas últimas son difíciles de conocer con el detalle mensual requerido por el modelo y, además, el periodo escogido ha presentado situaciones hidrológicas extremas y opuestas que se han traducido en notables variaciones de volúmenes desembalsados para riego. De esta manera, se ha estimado conveniente realizar la evaluación de la recarga por riegos teniendo en cuenta los volúmenes reales procedentes de cada uno de los posibles orígenes del agua de riego y aplicar posteriormente una tasa de infiltración. En el Anejo 6-3 se muestran todos los detalles del procedimiento seguido para el cálculo de volúmenes aplicados para riego y recarga.

En las vegas Media y Baja del Segura, el agua aplicada para riego puede proceder de: 1) recursos propios de la cuenca (desembalses o riegos tradicionales), 2) Trasvase Tajo-Segura, 3) aguas subterráneas, con la posible variante de la desalación y, 4) excedentes de riego y aguas residuales. Los dos primeros casos se han podido conocer con cierto detalle aunque ha sido necesario realizar una importante labor de recopilación de datos dispersos y su adaptación a las distintas zonas del modelo de flujo y áreas de planificación consideradas. Las extracciones de aguas subterráneas han sido objeto de estudio específico, evaluando inicialmente el volumen total bombeado (Anejo 6-2) y, posteriormente, el agua destinada al riego dentro de los límites del modelo de flujo. Las mayores incertidumbres se han planteado en el conocimiento del grado de uso de aguas residuales y, sobre todo, en la reutilización de excedentes de riego. En todos los casos se han tenido como referencias los límites del modelo y zonas de recarga, aunque también se han efectuado cálculos por Unidades de Demanda Agraria.

Los resultados obtenidos de volúmenes anuales aplicados para riego en cada una de las zonas del modelo de flujo se muestran en la Tabla 11.13. En el Anejo 6-3 (Apéndice 7) se muestran los volúmenes mensuales aplicados para riego por zonas de recarga del modelo de flujo con distinción del origen del agua.

Tabla 11.13. Volúmenes aplicados para riego por zonas del modelo (hm³/año).

	ZONA "A" (163 km ²)	ZONA "B" (345 km ²)	ZONA "C" (299 km ²)	ZONA "D" (43 km ²)	ZONA "E" (21 km ²)	TOTAL
1994-95	50.5	73.6	44.6	0.0	0.0	168.7
1995-96	89.9	140.2	75.4	0.0	0.0	305.5
1996-97	100.3	158.2	84.6	0.0	0.0	343.1
1997-98	104.8	165.5	88.3	0.0	0.0	358.6
1998-99	94.2	150.0	102.7	0.0	0.0	346.9
1999-00	67.0	106.1	98.0	0.0	0.0	271.0
2000-01	90.4	143.6	108.1	0.0	0.0	342.1

Los volúmenes de recarga anual por precipitación y retorno de riegos evaluada para estas mismas zonas queda reflejada en las Tablas 11.14, 11.15 y 11.16; Figuras 11.3 y 11.4. En el Anejo 6-3 (Apéndice 8) se presentan los datos a escala mensual. La recarga inicial procedente de la precipitación ha sido evaluada en este trabajo a partir de los métodos tradicionales de balance de agua en el suelo a escala diaria en los siete años hidrológicos considerados. Respecto a la recarga por retornos de riego, en las zonas A y B, se ha asumido un 20% de tasa de infiltración respecto del volumen aplicado, en la Zona C un 5% y en las zonas D (Sierras de Orihuela y Callosa) y E (Laguna del Hondo y Salinas de Santa Pola) no se producen retornos de riego.

La recarga total del periodo está comprendida entre los 106.8 hm³ en el año 1996/97 y 40.7 hm³ en el año 1994/95, con una importante variabilidad mensual tanto en la recarga por precipitación como por riegos. La recarga por infiltración de la precipitación ha tenido valores máximos de 50.8 y 45.0 hm³ en los años 1996/97 y 2000/01, y su mínimo de 6.1 hm³ en el año 1999/00 y la recarga por retornos de regadío ha presentado el máximo de 58.5 hm³ en el año 1997/98 y el mínimo de 27.1 hm³ en el año 1994/95.

Tabla 11.14. Recarga por infiltración de la precipitación por zonas del modelo de flujo (hm³/año)..

	ZONA "A"	ZONA "B"	ZONA "C"	ZONA "D"	ZONA "E"	TOTAL
1994-95	0.4	6.8	5.4	0.9	0.7	14.2
1995-96	1.2	14.1	11.6	1.8	1.5	30.0
1996-97	5.1	23.5	19.3	2.9	2.4	53.2
1997-98	1.0	4.4	3.6	0.5	0.5	10.0
1998-99	3.4	11.3	6.1	1.4	0.8	23.0
1999-00	0.0	3.2	2.5	0.4	0.3	6.4
2000-01	13.3	19.2	10.1	2.4	1.3	46.3

Tabla 11.15. Recarga por retornos de riego por zonas del modelo de flujo ($\text{hm}^3/\text{año}$).

	ZONA "A"	ZONA "B"	ZONA "C"	ZONA "D"	ZONA "E"	TOTAL
1994-95	10.1	14.7	2.2	0.0	0.0	27.1
1995-96	18.0	28.0	3.8	0.0	0.0	49.8
1996-97	20.1	31.6	4.2	0.0	0.0	55.9
1997-98	21.0	33.1	4.4	0.0	0.0	58.5
1998-99	18.8	30.0	5.1	0.0	0.0	54.0
1999-00	13.4	21.2	4.9	0.0	0.0	39.5
2000-01	18.1	28.7	5.4	0.0	0.0	52.2

Tabla 11.16. Recarga total (precipitación y retornos de riego) por zonas del modelo de flujo ($\text{hm}^3/\text{año}$).

	ZONA "A"	ZONA "B"	ZONA "C"	ZONA "D"	ZONA "E"	TOTAL
1994-95	10.5	21.5	7.7	0.9	0.7	41.2
1995-96	19.1	42.1	15.3	1.8	1.5	79.8
1996-97	25.2	55.1	23.5	2.9	2.4	109.2
1997-98	22.0	37.4	8.0	0.5	0.5	68.5
1998-99	22.2	41.3	11.3	1.4	0.8	77.0
1999-00	13.4	24.4	7.4	0.4	0.3	45.9
2000-01	31.3	47.9	15.5	2.4	1.3	98.5

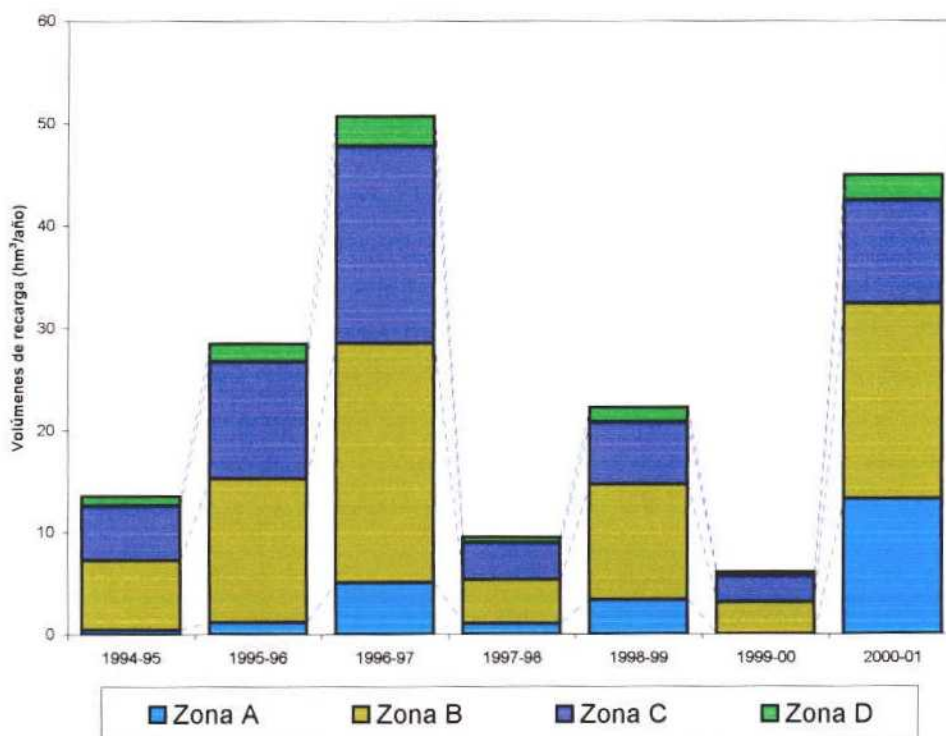


Figura 11.3. Recarga por infiltración de la precipitación en las zonas del modelo de flujo.

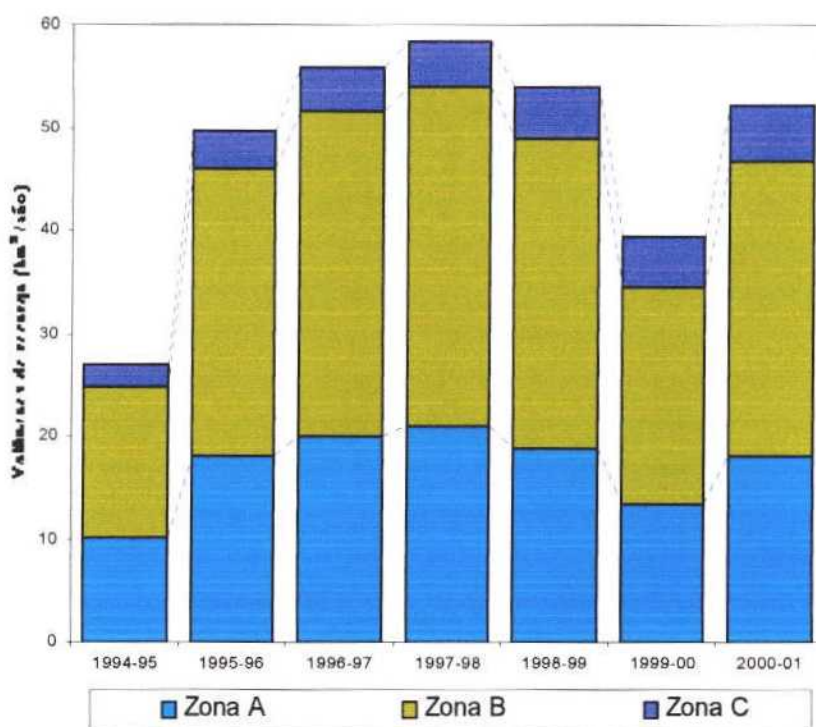


Figura 11.4. Recarga por retornos de riego en las zonas del modelo de flujo.

11.3. EVALUACIÓN DE LA DESCARGA

Las principales zonas de descarga existentes en la Vega del Segura son: río Segura (según el tramo considerado), azarbes, lagunas, extracciones o bombeos y salidas al mar.

11.3.1. Río Segura

El perfil longitudinal del río Segura realizado por el Centro de Estudios Hidrográficos, así como la información previa disponible (aforos realizados durante 1962-1973, en PIAS 1978) permiten diferenciar tres tramos principales atendiendo a la relación río-acuífero:

- 1) Cabecera de la Vega Media, aguas arriba de la ciudad de Murcia, donde el nivel piezométrico parece encontrarse claramente por debajo de la cota de fondo del río, es

decir, donde el río presenta un carácter predominantemente perdedor (ver apartado 11.4).

- 2) Tramo comprendido aproximadamente entre Murcia y Orihuela, donde el río drena claramente al acuífero.
- 3) Desde Orihuela hasta la desembocadura en Guardamar de Segura, donde no parece existir un intercambio de agua significativo entre el río y el acuífero. En este tramo el río discurre muy cerca del borde sur, a cotas superiores a las del centro de la depresión.

La existencia de estos tres tramos resulta coherente con la forma que presentan los hidrogramas correspondientes a las estaciones de aforo de Contraparada, Beniel, Orihuela, Rojas y Guardamar (periodo 1962-73) (PIAS, 1978) (Figura 11.5). En los hidrogramas de Beniel y Orihuela, se observa claramente la existencia de una componente subterránea, la cual tiende a disminuir aguas abajo del río Segura. Por el contrario, en los hidrogramas correspondientes a las estaciones de Rojas y Guardamar se observa claramente la casi nula aportación de origen subterráneo, registrándose una serie de picos atribuidos casi exclusivamente a escorrentía superficial siendo el caudal de base observado muy pequeño. Los aportes medios, máximos y mínimos registrados en las diferentes estaciones de aforo durante el periodo 1962-73 se presentan en la Tabla 11.17 (PIAS, 1978). Como puede observarse, los aportes van disminuyendo claramente aguas abajo desde la estación de Contraparada hasta la de Guardamar. Este hecho se interpreta, al menos en parte, como debido a la desconexión anteriormente comentada entre el río y el acuífero a partir de la localidad de Orihuela, así como, posiblemente, a la existencia de una menor escorrentía superficial en la parte baja como consecuencia de la menor precipitación y, sobre todo, de la menor topografía. No conviene olvidar, sin embargo, que otra causa importante de dicha disminución en los aportes se debe a las numerosas derivaciones de agua existentes para el riego de la Vega Baja.

Tabla 11.17. - Aportes registrados en diferentes estaciones de aforo durante el periodo 1962-73 (valores medios orientativos al corresponder a periodos de referencia diferentes) (PIAS, 1978).

NUMERO	ESTACION	PERIODO	APORTACION (hm ³ /a)		
			MINIMA	MEDIA	MAXIMA
63	Contraparada (azud)	1968-71	340.4	381.3	439.3
59,60,61 y 64	Límite (Beniel)	1968-73	260.1	318.6	373
28	Orihuela	1964-73	95.3	201.7	263.3
29	Rojales	1962-73	27.7	99.7	189.6
30	Guardamar del Segura	1962-73	4.9	45.2	89.6

Con objeto de calibrar el modelo numérico en la Vega Media (régimen estacionario), se ha obtenido un orden de magnitud de los caudales de recarga y descarga subterránea producidos a lo largo del río a partir de los datos de aforo disponibles. Para ello, se han considerado los caudales circulantes por el río durante el periodo 1973-75, en coherencia con el periodo de referencia seleccionado (apartado 11.4) La metodología aplicada ha consistido en:

- 1) Obtención del porcentaje de escorrentía subterránea a partir del hidrograma de la estación de Beniel (EA-064) correspondiente al periodo 1973-75, con un caudal total circulante de 232,8 hm³/a. Para ello se ha aplicado el método de Barnes suponiendo dos hipótesis de carácter extremo, es decir, subestimando y sobreestimando el porcentaje de escorrentía subterránea (Figura 11.6). Los resultados obtenidos oscilan entre el 58 y 70 %, por lo que se ha considerado un valor medio del 65 % (es decir, unos 150 hm³/a).
- 2) Teniendo en cuenta el caudal medio aforado en la estación de Beniel, el porcentaje de escorrentía subterránea anteriormente obtenido y el balance hídrico correspondiente a la Vega Media , se ha aplicado la expresión:

$$RVM + ELCG + ELBG + ELVA + IRS = DRS + DSVB;$$

donde:

RVM = Recarga en la Vega Media (precipitación + retornos de riego): 20,16 hm³/a

ELCG = Entrada lateral Cresta del Gallo: 0,09 (Torreaguera), 0,3 (Los Lajes)
= 0,39 hm³/a

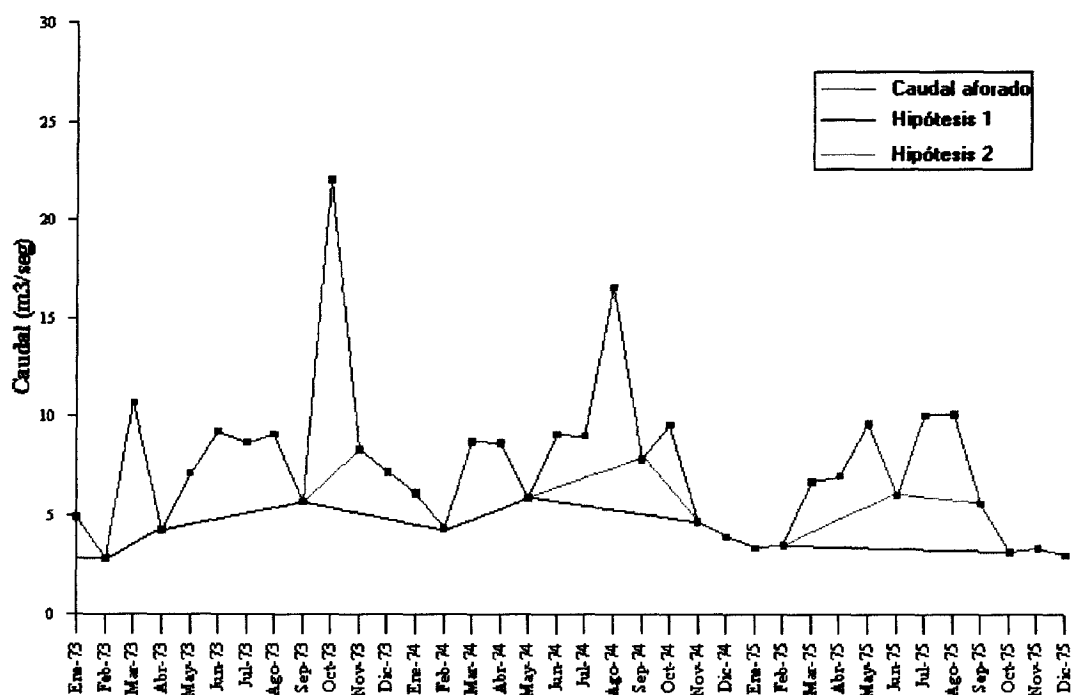


Figura 11.6. Descomposición del hidrograma correspondiente a la estación de aforos de Beniel

ELBG = Entrada lateral Bajo Guadalentín: 2,5 hm³/a

ELVA = Entrada lateral Vega Alta: 1,1 hm³/a

IRS = Infiltración o recarga producida a partir del río Segura en la cabecera de la Vega Media (primer tramo del río)

DRS = Descarga subterránea al río Segura desde aguas abajo de Murcia hasta la estación de Beniel (segundo tramo de río): 150 hm³/a

DSVB = Descarga subterránea desde la Vega Media hacia la Vega Baja obtenida a partir de los espesores (geometría), permeabilidad (estimación previa obtenida a partir de los ensayos de bombeo realizados en la Vega Media) y gradiente hidráulico deducido de la piezometría en estado estacionario (Tabla 11.18). El caudal inicialmente estimado es del orden de unos 40,5 hm³/año (1,75 y 38,8 hm³/año), aproximadamente coherente con los 32 hm³/año evaluados para el acuífero profundo en estudios anteriores (ITGE-DPA, 1996).

Las relaciones laterales con los acuíferos de borde se han cuantificado según se expone en el apartado de balance.

Conocidos RVM, ELCG, ELBG, ELVA, DRS y DSVB; IRS ~ 171 hm³/a

Tabla 11.18. – Estimación del caudal medio de paso desde la Vega Media hacia la Vega Baja a partir de los espesores medios de los acuíferos superficial y profundo, permeabilidad y gradientes deducidos de la piezometría en estacionario.

LIMITE VEGA MEDIA-VEGA BAJA		
	Superficial	Profundo
Esesor medio	30	135
Permeabilidad (m/día)	50	375
Gradiente en estacionario	0.00064	0.00042
Distancia contacto	5000	5000
Caudal (m ³ /día)	4800	106312.5
Caudal (hm ³ /año)	1.75	38.80

El método de cálculo aplicado presupone la ausencia de bombeos y que la mayor parte del agua drena por el río (siendo despreciable el caudal drenado por los azarbes). El valor obtenido tan sólo indica un orden de magnitud inicial con objeto de calibrar el balance de agua en el río.

Por otro lado, se ha comprobado que para el periodo 1973-75 el balance de agua aforado en las estaciones de Contraparada (455 hm³/a) y Contraparada (azud), situada unos 1200 m aguas abajo (381 hm³/a)⁴, es razonablemente coherente con el caudal medio detraído para riego entre ambas estaciones (74 hm³/a). Como puede observarse, esta cifra resulta coherente con el volumen de agua total aplicado en la Vega Media, que es del orden de unos 72 hm³/a (Tabla 11.6). Si se toma como válido el caudal de recarga anteriormente estimado (171 hm³/a) y se consideran los 381 hm³/a aforados en la estación de Contraparada (azud), el porcentaje de infiltración que se obtiene en la cabecera de la Vega Media, una vez detraída el agua para regadío, es de aproximadamente un 45 %.

⁴ Dado que no se dispone del caudal medio aforado en esta estación durante el periodo 1973-75, se ha considerado el aforado durante el 1968-71: 383 hm³/a

11.3.2. Azarbes

Los azarbes son canales de avenamiento de los terrenos agrícolas situados en zonas de fácil encharcamiento. La red actual de azarbes se ha configurado tras siglos de transformación del terreno para el regadío, dando lugar a una compleja red de canales vertebrada en su mayor parte por el río Segura y siendo muy abundantes en la Vega Baja (en coherencia con lo expuesto en el apartado 11.4). Dado que la finalidad de los azarbes es descender el nivel freático y facilitar la evacuación de la escorrentía superficial, se considera que tienen una importante incidencia en el funcionamiento hidrodinámico de la Vega del Segura, por lo que resulta esencial considerarlos en el modelo numérico. La red de azarbes existentes en la Vega Baja del Segura, sus zonas de influencia y la distribución de las cotas de drenaje dentro de ellas con el fin de ser incorporadas al modelo numérico se presentan en el "Estudio de los recursos de agua salobre en la zona sur de la Provincia de Alicante (Fase II)" (ITGE-DPA, 1997). Se trata uno de los términos del balance peor conocidos, teniendo únicamente como referencia el valor de 45 hm³/año estimado en estudios anteriores (ITGE-DPA, 1996).

11.3.3. Lagunas del Hondo y Santa Pola

La Laguna del Hondo y la de Santa Pola se encuentran situadas en la Vega Baja del Segura, presentando una superficie de 20,48 y 18,56 km², respectivamente. Los estudios realizados hasta el momento no han permitido conocer con exactitud el papel que desempeñan dichas lagunas en el funcionamiento hidrodinámico del sistema. En general, existen dos hipótesis principales al respecto:

- Depresiones naturales del terreno donde se recoge el agua de escorrentía superficial proveniente principalmente de la Sierras de Elche y El Molar, caracterizadas por su baja permeabilidad y elevada pendiente.
- Zonas de descarga natural del sistema (acuífero superficial y profundo) como consecuencia de la existencia de un flujo vertical ascendente predominante favorecido por la conexión hidráulica debida a neotectónica (fallas y discordancias).

La Laguna del Hondo, dada su situación y la información previa actualmente disponible, parece presentar un mayor interés e implicaciones en el funcionamiento hidrogeológico del sistema. No obstante, su funcionamiento en condiciones naturales se

encuentra muy enmascarado debido a su utilización desde 1914 como embalse para almacenar agua para riego (procedente de la desembocadura del río Segura y de algunos azarbes).

En las inmediaciones de la Laguna del Hondo el suelo es muy poco permeable (arcillas y limos muy compactados). Este hecho, unido a otra serie de observaciones realizadas en el pasado, parece indicar que la laguna inicialmente se producía esencialmente debido a encharcamientos en épocas de lluvias (lo cual resulta en principio coherente con la primera de las hipótesis anteriormente mencionada). Sin embargo, la presencia de agua, durante épocas de fuerte sequía, en una serie de charcas actualmente existentes alrededor del embalse principal, correspondientes a antiguos "ullales" y menos modificadas, es decir, con un comportamiento más próximo al funcionamiento natural de la laguna, parece más coherente con la segunda hipótesis.

Por otro lado, la realización de una serie de ensayos de conductividad eléctrica y temperatura en sondeos situados en las inmediaciones de la Laguna del Hondo, han permitido detectar una serie de anomalías térmicas así como la existencia de flujos verticales prácticamente a lo largo de toda la columna de agua, lo que podría indicar que se trata de una zona de descarga de flujos profundos. No obstante, las salinidades medidas no son demasiado elevadas (en torno a 5-6 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Además, el agua que entra por la base de los sondeos es menos salina que la que se encuentra por encima, y tanto los isótopos ambientales como la presencia de nitratos indican que se trata, en su mayor parte, de agua de recarga muy reciente. La única explicación posible es que, a pesar de dominar los flujos ascendentes profundos, existan también flujos descendentes que afectan a los niveles detríticos más someros (acuífero superficial) y que están ocasionando una mezcla de aguas al menos en el interior de los sondeos y probablemente también en el terreno (ITGE-DPA, 2000). Todo ello resulta también completamente coherente con la segunda hipótesis planteada y los flujos descendentes recientes podrían interpretarse como debidos a la recarga producida al utilizar la laguna como embalse y almacenamiento de aguas procedentes del exterior.

Finalmente, la recopilación y análisis de los datos piezométricos correspondientes al periodo 1973-75 (ver apartado 11.4), así como los sondeos y estudios hidrogeológicos realizados hasta el momento en las inmediaciones de la Laguna del Hondo, indican un mayor nivel piezométrico en los niveles acuíferos más profundos, favoreciendo por lo tanto la existencia de un flujo del acuífero profundo hacia el superficial y de éste hacia la laguna.

Por último, la evapotranspiración evaluada mediante el método de Thornthwaite es del orden de unos 1000 mm/año, por lo que se considera que la primera hipótesis no parece suficiente como para poder explicar dicho volumen de agua, siendo necesaria la existencia de un aporte profundo.

De todo lo comentado hasta el momento, se concluye que la segunda de las hipótesis planteada es más coherente con el modelo hidrogeológico conceptual, siendo necesaria la existencia de un aporte subterráneo profundo para poder explicar el funcionamiento de la Laguna del Hondo y probablemente también el de Santa Pola (a pesar de disponer de mucha menos información al respecto). No obstante, a pesar de la existencia de un aporte subterráneo predominante, no se descarta que exista una cierta componente de agua de escorrentía superficial y subsuperficial procedente de las Sierras de Elche y El Molar como parece deducirse de los mapas de isopiezas elaborados para el acuífero superficial en esta zona (Rodríguez Estrella et. al. 1992). Sin embargo, dicha componente es minoritaria con respecto al aporte profundo si se tiene en cuenta además la muy baja conductividad hidráulica del acuífero detrítico superficial.

Con respecto al funcionamiento actual de la Laguna del Hondo, el agua se toma en la desembocadura del río Segura (Guardamar de Segura) en el cauce viejo del mismo, únicamente en épocas de avenida. También se toma agua de una serie de azarbes situados algo más al NO. El cauce de la conducción se encuentra excavado y con un cierto gradiente con objeto de recoger el agua drenada por el río y los azarbes. Posteriormente, el agua se eleva unos 6 m mediante una serie de bombas hasta llegar al embalse. En general, la calidad del agua de los azarbes es sensiblemente peor que la procedente del río (contenidos elevados de cromo y plomo). El volumen de agua almacenado sirve para regar una superficie de unas 40.000 ha.

Alrededor del embalse principal existe una zanja perimetral que drena el agua proveniente tanto de escorrentía superficial como de la alimentación procedente del cuaternario (acuífero superficial). La finalidad última es evitar la degradación del agua en los embalses dada la elevada salinidad del agua procedente del acuífero (aguas subterráneas muy salobres). La CE en las aguas de los embalses se encuentra entorno a los 4000-5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que la CE en las aguas de las charcas es de unos 12000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (pudiendo alcanzar los 18000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Alrededor de los embalses existen una serie de vertederos que sirven tanto como entrada como salida de agua.

El fondo de la Laguna no ha sido modificado, las únicas modificaciones realizadas consistieron en la construcción de una serie de diques (con material natural autóctono: limos y arcillas) los cuales separan la zanja perimetral (mayor profundidad) de otra zanja interior (menor profundidad) de las cuales se extrajo el material que forman los diques.

En la parte exterior del embalse (es decir, más allá de la zanja perimetral) existen una serie de charcas, muchas de ellas correspondientes a antiguos "ullales" que se mantienen en la actualidad de forma artificial bombeando agua tanto del freático como de los azarbes, con objeto de mantener un nivel de agua determinado óptimo desde un punto de vista ecológico (profundidad de lámina de agua estimada entre 70 y 80 cm) para mantener el ecosistema (controlado por la Consejería de Medio Ambiente de la Generalidad Valenciana). El nivel de las charcas se encuentra íntimamente relacionado con el de los embalses, procurándose siempre que el nivel de las charcas se encuentre situado por debajo del nivel en los embalses para evitar la afección de estos últimos. Está comprobada la existencia de una conexión a través de los diques a pesar de la baja permeabilidad de los mismos. En épocas de fuertes sequías se ha observado cómo los embalses se han secado por completo (incluso excavándose unos metros no aparecía agua) mientras que en las charcas sí se ha observado una cierta cantidad de agua atribuible a descarga subterránea.

11.3.4. Salidas al mar

Las salidas al mar procedentes de la Vega del Segura han sido evaluadas mediante teledetección en el marco del estudio "Inventario de surgencias de aguas continentales al mar en la Cuenca del Segura (Murcia y Alicante)" (CHS, 1989). Para ello la metodología adoptada consistió en detectar a lo largo de todo el litoral una serie de anomalías (menor salinidad y, frecuentemente, menor temperatura) mediante la utilización de sensores térmicos aeroportados con apoyo de técnicas oceanográficas e hidrogeológicas. En el contacto entre la Vega del Segura y el mar, se detectó una anomalía (a lo largo de una zona de aproximadamente 8 km comprendida entre Santa Pola y la desembocadura del río Segura), dónde se observó una disminución de la salinidad con respecto a las aguas del entorno, como máximo del orden del 0,2 %, acompañada de un descenso térmico de unos 0,35 ° C. Dicha anomalía tenía su límite en el punto donde se produce la mezcla de aguas provenientes del río Segura, donde también se observaba un fuerte descenso de la salinidad. Esta anomalía se mantuvo constante en las dos campañas de medidas realizadas, siendo clasificada como de tipo difuso, abarcando un importante frente costero

aunque con una disminución salina poco aparente. Las salidas evaluadas en dicho estudio en esta zona fueron de 2,8 hm³/a (coherentes con los 2,6 hm³/a obtenidos en ese mismo estudio mediante la aplicación de métodos hidrogeológicos)

11.3.5. Salidas por bombeo

Con el objetivo de disponer de datos de bombeo relativos al periodo considerado para el modelo en transitorio (1994/95-2000/01), se ha procedido a la realización de una encuesta selectiva de explotaciones en ambas vegas, que ha permitido tener una estimación de los volúmenes mensuales extraídos en cada captación. Los detalles del estudio de la reconstrucción temporal de la explotación por bombeo en el citado periodo se presentan en el Anejo 6-2. Los datos obtenidos se han trasladado al formato del modelo de flujo subterráneo utilizado, que requiere la información en m³/día. Dentro de cada mes de (84 meses en total), el bombeo es estimado como constante.

En la Vega Media, el número de captaciones introducidas en el modelo de flujo ha sido de 76, las que concentran las mayores tasas actuales de explotación. El resto de la explotación por bombeo que se produce en los 179 puntos restantes ha sido redistribuida homogéneamente en los 76 puntos principales de forma proporcional a la extracción de éstos últimos. Los volúmenes anuales extraídos están comprendidos entre 12.3 hm³ en el año 1997/98, el más húmedo del periodo, y 24.1 hm³ en el año 1994/94, el más seco (Tabla 11.19; Figura 11.7).

En la Vega Baja, el total de puntos de bombeo estudiados e introducidos en el modelo ha sido de 72. En determinados casos de bombeos cercanos se ha asignado el caudal extraído al principal de ellos. Los volúmenes anuales de bombeo están comprendidos entre 8.0 hm³ en el año 1997/98 y 22.8 hm³ en el año 1995/96 (Tabla 11.20; Figura 11.8).

El total de puntos de bombeo incorporados al modelo de flujo ha sido de 148, especificando para cada uno de ellos, además de su régimen de explotación, su denominación con número de orden y código IGME, sus coordenadas UTM y el tramo ranurado orientativo para conseguir que se extraiga el agua del tramo acuífero apropiado (acuífero superficial o profundo).

Tabla 11.19. Volúmenes estimados de explotación de aguas subterráneas (hm³/año) en las Vegas Media y Baja del Segura.

	VEGA MEDIA		VEGA BAJA		TOTAL	
	hm ³ /año	%	hm ³ /año	%	hm ³ /año	%
1994-95	24.1	18.71%	22.2	22.85%	46.3	20.49%
1995-96	19.8	15.33%	22.8	23.51%	42.6	18.84%
1996-97	13.6	10.53%	8.3	8.56%	21.9	9.69%
1997-98	12.3	9.57%	8.0	8.30%	20.4	9.03%
1998-99	16.9	13.13%	12.2	12.63%	29.2	12.91%
1999-00	22.7	17.62%	13.6	14.06%	36.4	16.09%
2000-01	19.5	15.10%	9.8	10.09%	29.3	12.95%

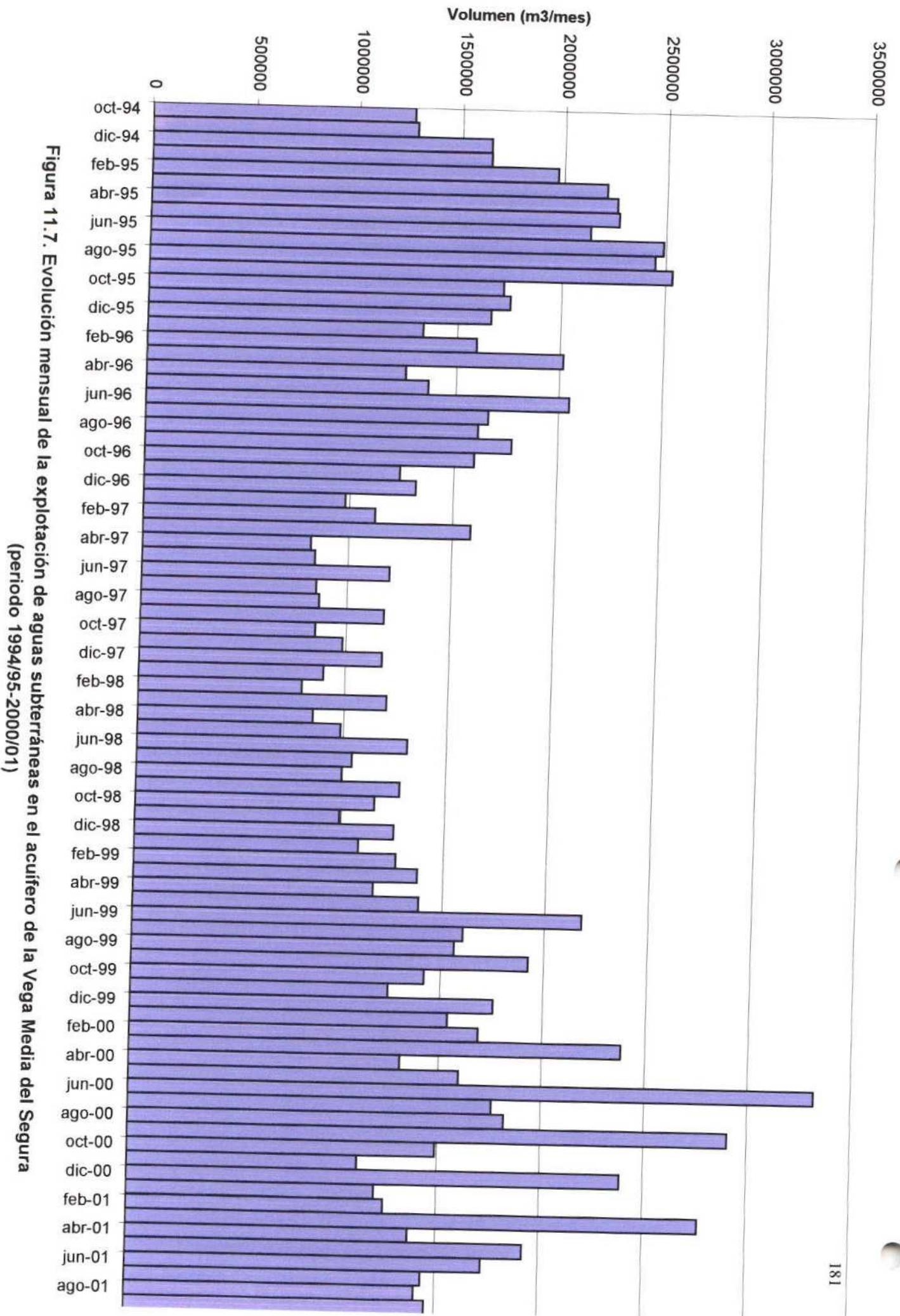


Figura 11.7. Evolución mensual de la explotación de aguas subterráneas en el acuífero de la Vega Media del Segura (periodo 1994/95-2000/01)

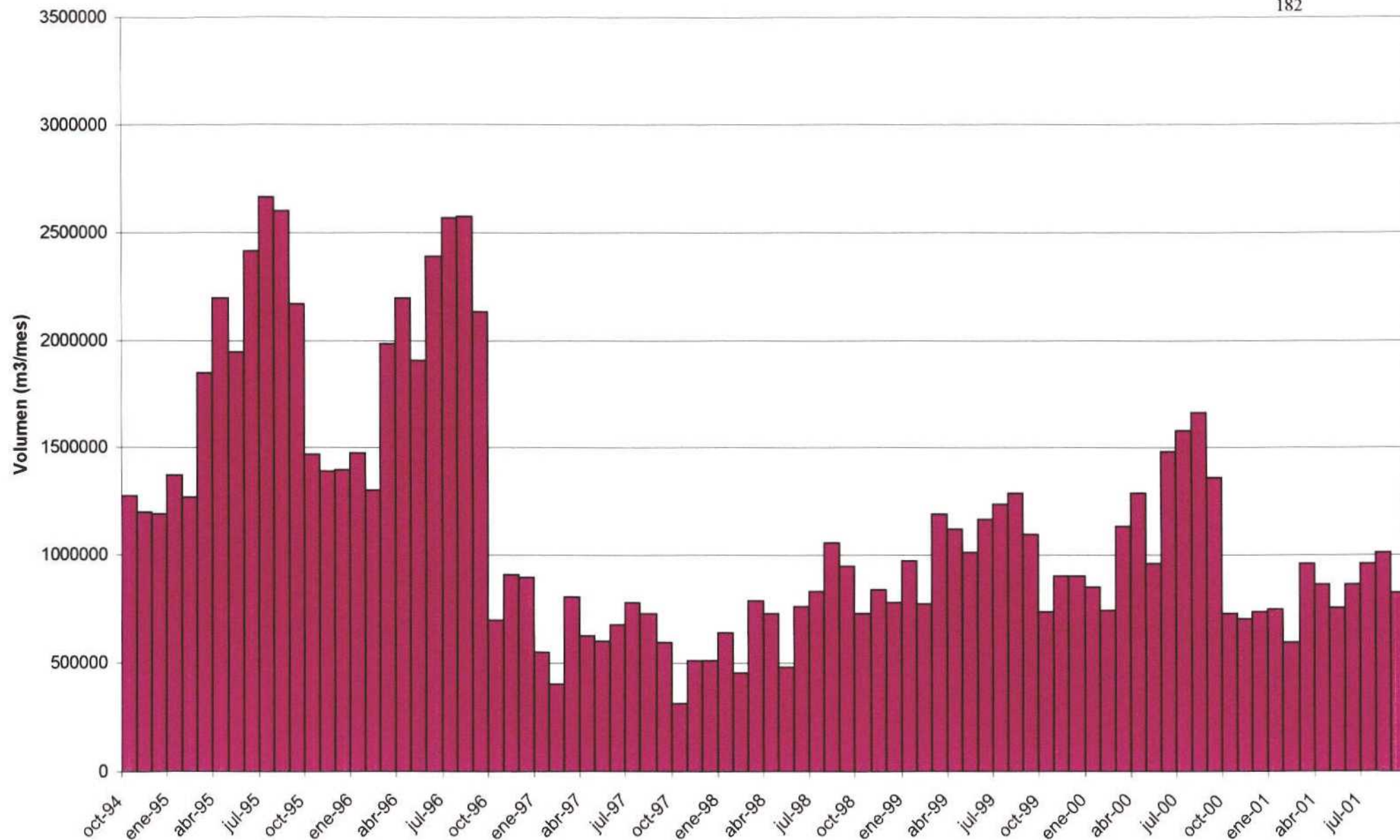


Figura 11.8. Evolución mensual de la explotación de aguas subterráneas en el acuíferos de la Vega Baja del Segura (periodo 1994/95-2000/01)

11.4. EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA

La representación de la evolución de los niveles piezométricos existentes en la unidad hidrogeológica de la Vega Media y Baja del Segura durante el periodo 1970-2001 (Figura 11.9) permite observar cómo, a pesar de la relativa estabilidad general que parece observarse (si se exceptúan las sequías de 1983-85 y 1993-97), existen menos fluctuaciones así como una cota piezométrica ligeramente superior durante el periodo 1970-1977, lo cual resulta coherente con una menor explotación de las aguas subterráneas. Por lo tanto, la utilización de dicho periodo permite acercarse a unas condiciones menos influenciadas, consideradas como más adecuadas para calibrar el modelo numérico en régimen estacionario.

Un estudio más detallado de la evolución piezométrica durante 1970-77 ha permitido seleccionar el subperiodo 1973-75, donde la estabilidad en los niveles resulta todavía más evidente (Figura 11.10). Para dicho subperiodo, finalmente elegido como representativo del funcionamiento del acuífero en condiciones poco influenciadas, se dispone inicialmente de 172 puntos de control cuyo valor promedio a lo largo del periodo considerado se presenta en la Tabla 11.20. Ante la falta de información suficiente, se ha adoptado el criterio inicial de considerar como representativos del acuífero superficial todos aquellos puntos con una profundidad inferior a 10 m. Posteriormente y a partir de los datos iniciales anteriormente comentados se han elaborado mapas de isopiezas tentativos representativos del funcionamiento en régimen natural o poco influenciado tanto para el acuífero superficial como para el profundo. La metodología utilizada para la obtención de dichos mapas ha sido la siguiente.

- a) Representación e interpolación de todos los valores promedio correspondientes tanto al acuífero superficial como al profundo, con objeto de tener una idea inicial de la bondad de los datos.
- b) Selección de puntos y elaboración de las isopiezas definitivas a partir de los datos iniciales: teniendo en cuenta tanto la calidad de los mismos (incertidumbre asociada a la nivelación, variación temporal y/o posible afección de bombeos puntuales) como los estudios y el conocimiento hidrogeológico previo disponible. En las zonas con ausencia de datos (zona nororiental de la Vega Baja) se ha considerado la cota piezométrica obtenida a partir de los niveles medidos en 1998. Los puntos finalmente considerados han sido 151 (80 en el superficial y 71 en el profundo) (Figuras 11.11 y 11.12)

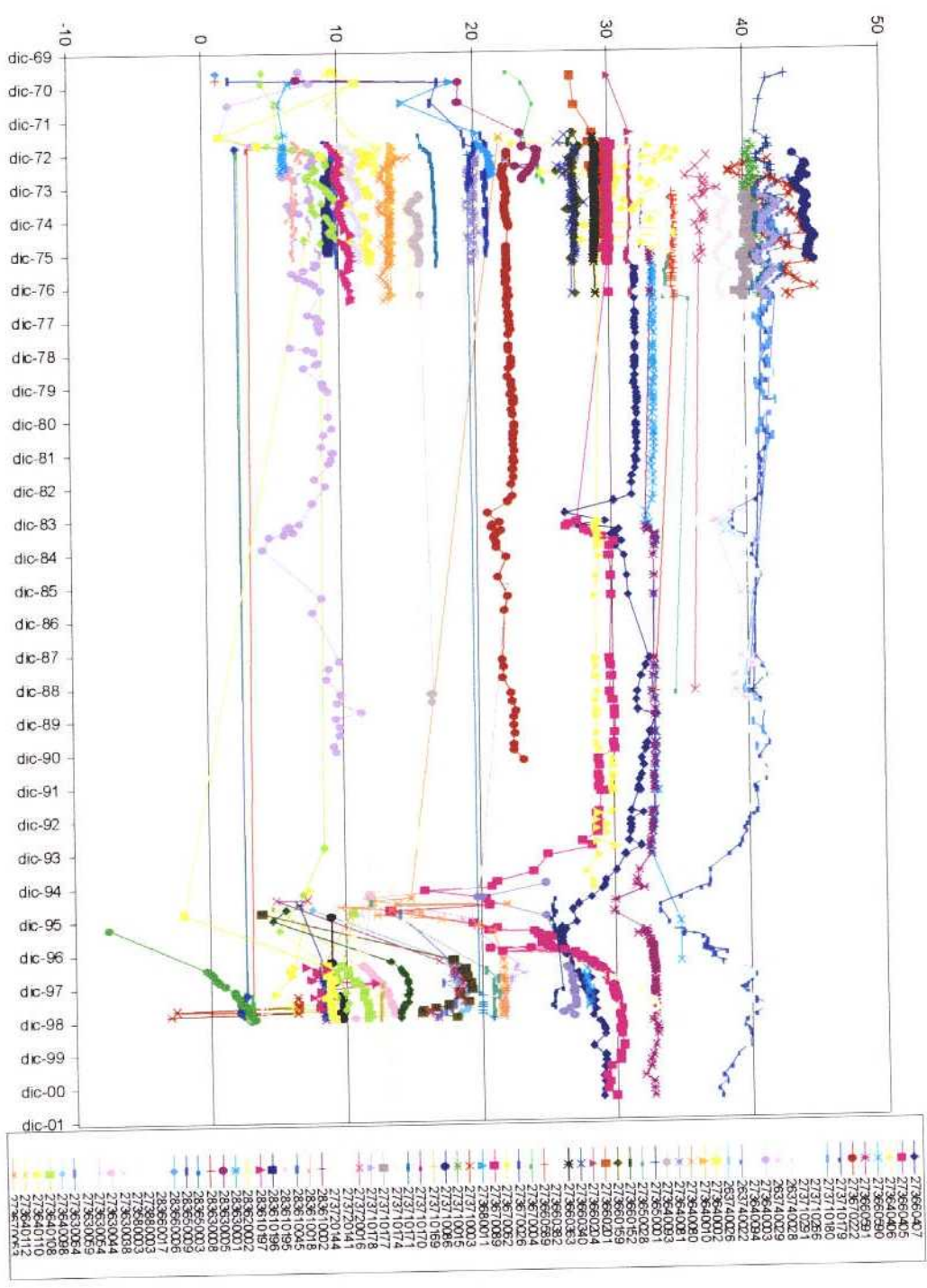
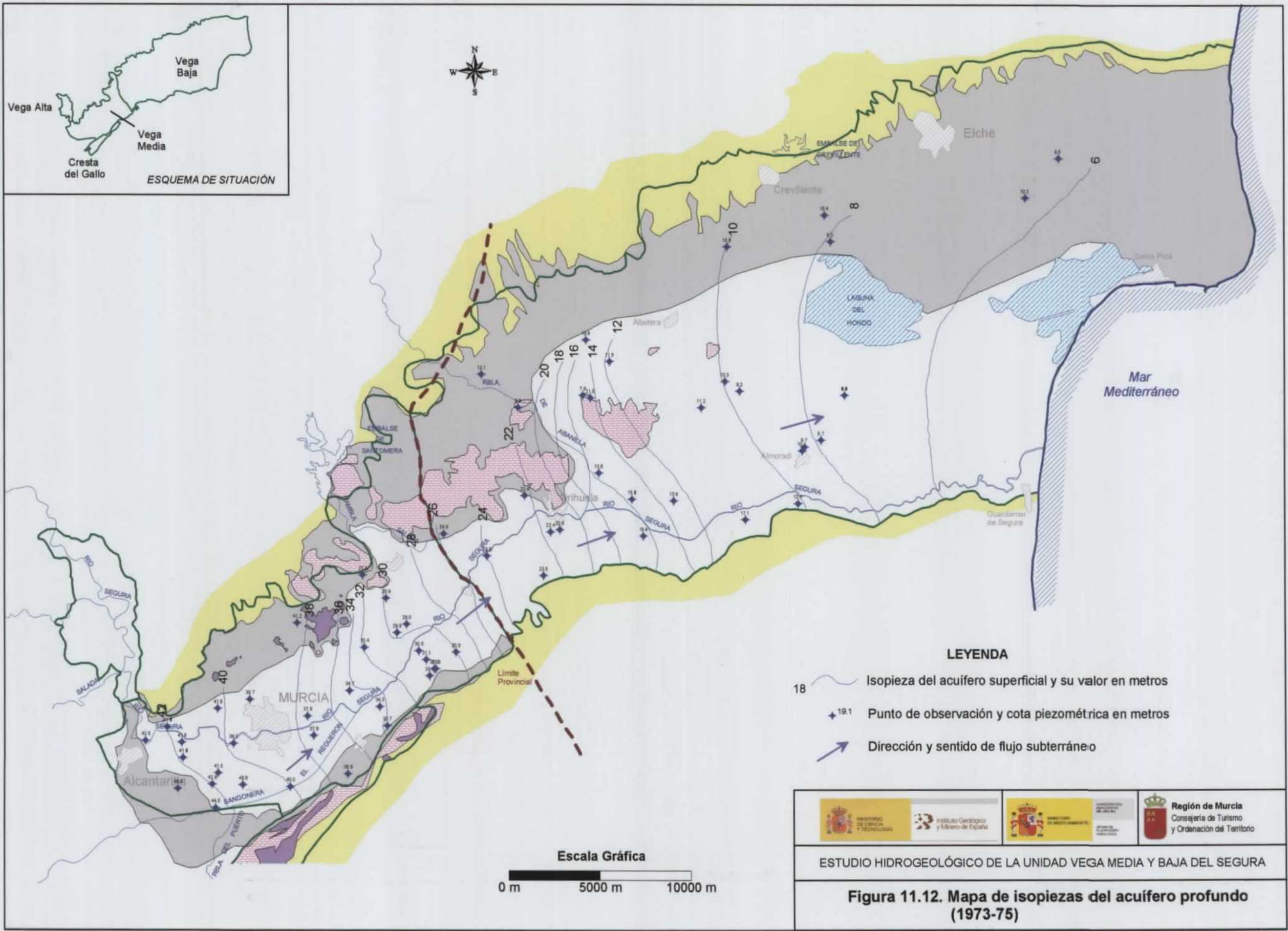


Figura 11.9. - Evolución de los niveles piezométricos existentes en la unidad hidrogeológica de la Vega Media y Baja del Segura durante 1970-2001

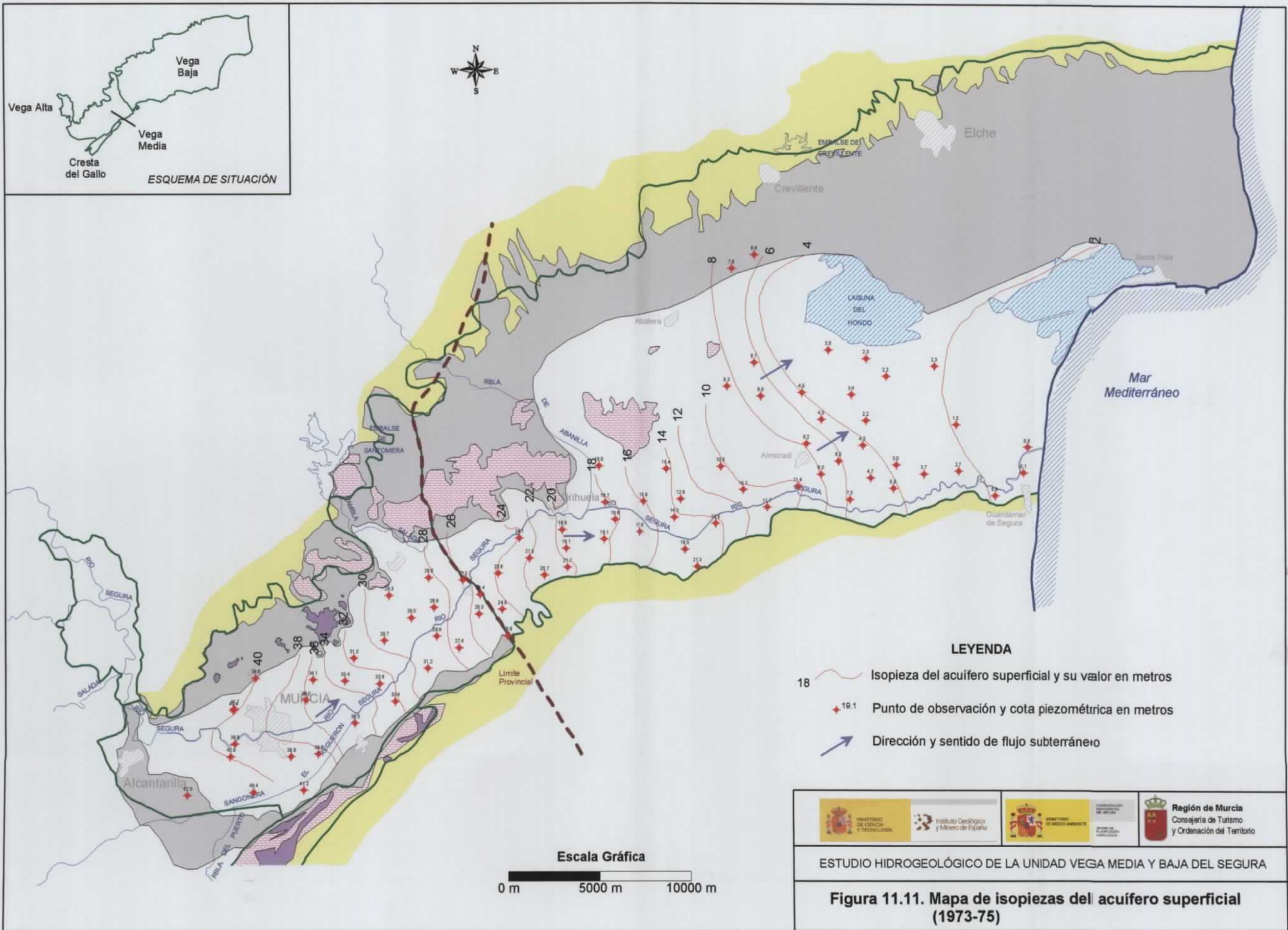


- LEYENDA**
- 18 — Isopeza del acuífero superficial y su valor en metros
 - ✦ 19.1 Punto de observación y cota piezométrica en metros
 - ➔ Dirección y sentido de flujo subterráneo

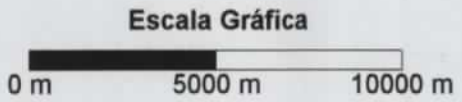
MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA	Instituto Geológico y Minero de España	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE	Región de Murcia Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 11.12. Mapa de isopiezas del acuífero profundo (1973-75)



- LEYENDA**
- 18 ——— Isopieza del acuífero superficial y su valor en metros
 - ◆ 19.1 Punto de observación y cota piezométrica en metros
 - ➔ Dirección y sentido de flujo subterráneo



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA			
Figura 11.11. Mapa de isopiezas del acuífero superficial (1973-75)			

Tabla 11.20. Valores piezométricos promedios correspondientes al periodo 1973-75

PUNTO	X (UTM)	Y (UTM)	COTA	PROFUN	NIVACUA	COTA PIEZO	ACUÍFERO
Promedio 263740022	657744	4205220	54	24	11.51	42.49	Profundo
Promedio 263740026	656996	4206627	60.41	11.2	7.58	52.83	Profundo
Promedio 263740027	658926	4205960	51	158	9.47	41.53	Profundo
Promedio 263740028	658926	4205960	51	150	9.33	41.67	Profundo
Promedio 263740029	658926	4205960	51	57	9.66	41.34	Profundo
Promedio 273630002	678135	4223217	56.33	115	47.52	8.81	Profundo
Promedio 273640002	682088	4223742	36.64	82	25.18	11.46	Profundo
Promedio 273640003	681686	4223870	37.19	37	29.57	7.62	Profundo
Promedio 273640007	687054	4218245	15	3.7	2.14	12.87	Superficial
Promedio 273640008	686253	4219883	17	3.17	1.63	15.37	Superficial
Promedio 273640009	684991	4218103	18	2.9	2.11	15.89	Superficial
Promedio 273640010	686693	4218178	15	50	1.11	13.89	Profundo
Promedio 273640011	682804	4218062	21	3.75	2.29	18.71	Superficial
Promedio 273640080	682548	4219675	21	50	7.39	13.61	Profundo
Promedio 273640081	682548	4219675	21	18	1.08	19.92	Profundo
Promedio 273640093	684262	4219400	18	70	2.24	15.76	Profundo
Promedio 273640094	684367	4218258	16.98	56	1.82	15.16	Profundo
Promedio 273650001	666043	4211552	53	32	11.81	41.19	Profundo
Promedio 273650004	663676	4208586	42	4.55	2.36	39.64	Superficial
Promedio 273650028	665071	4209049	36	58.3	1.69	34.31	Profundo
Promedio 273660030	668883	4211408	31	4.17	1.67	29.34	Superficial
Promedio 273660152	667931	4211256	40.47	13.68	13.04	27.43	Profundo
Promedio 273660159	667882	4211286	41.73	46	14.33	27.40	Profundo
Promedio 273660201	669115	4213947	34.8	9	5.49	29.31	Superficial
Promedio 273660204	673616	4209085	33	33	1.23	31.77	Profundo
Promedio 273660300	670998	4213010	30	4	1.72	28.28	Superficial
Promedio 273660305	670754	4213713	35	8	4.30	30.70	Superficial
Promedio 273660306	669142	4212456	30	4	1.34	28.66	Superficial
Promedio 273660324	669770	4213261	30	5	1.79	28.21	Superficial
Promedio 273660340	669627	4214143	48.36	31	21.10	27.26	Profundo
Promedio 273660356	671501	4211025	30	35	0.13	29.87	Profundo
Promedio 273660363	672026	4211481	30	31.76	1.03	28.97	Profundo
Promedio 273660365	670757	4210591	31	4.17	2.27	28.73	Superficial
Promedio 273660377	673116	4209110	34	7.64	2.79	31.21	Superficial
Promedio 273660378	673090	4209570	33	38	1.93	31.07	Profundo
Promedio 273660382	673273	4208708	33	42	1.00	32.00	Profundo
Promedio 273660405	670912	4212886	30.79	261	1.00	29.79	Profundo
Promedio 273660406	670912	4212886	30.73	150	0.96	29.77	Profundo
Promedio 273660407	673525	4209091	33.4	269	1.36	32.04	Profundo
Promedio 273660424	672694	4210054	32	35	1.50	30.50	Profundo
Promedio 273660450	672229	4211809	31	3	2.01	28.99	Superficial
Promedio 273660487	673464	4212359	31	3.53	2.19	28.81	Superficial
Promedio 273660492	672886	4212644	31	37	0.83	30.17	Profundo
Promedio 273660519	673611	4210817	31	4	2.14	28.86	Superficial
Promedio 273660532	668567	4208429	35	4.58	1.58	33.42	Superficial
Promedio 273660534	669053	4209645	33	4.32	1.69	31.32	Superficial
Promedio 273660540	670492	4208282	36	3.64	2.41	33.59	Superficial
Promedio 273660541	673178	4213977	30	3.54	1.53	28.47	Superficial
Promedio 273660542	672863	4214555	31	35	0.07	30.93	Profundo
Promedio 273660544	666817	4208494	36	3.6	1.95	34.06	Superficial
Promedio 273660545	669724	4210240	31.2	27.3	0.75	30.45	Profundo
Promedio 273660589	668903	4207925	36	70	1.31	34.69	Profundo
Promedio 273670003	677484	4210853	33	6.61	4.15	28.86	Superficial
Promedio 273670004	674059	4216386	30.5	10.83	5.62	24.88	Profundo
Promedio 273670024	680696	4215558	20.5	3.39	1.37	19.13	Superficial
Promedio 273670026	680405	4216592	21	40.03	0.07	20.93	Profundo
Promedio 273670034	680485	4216571	21	3.09	2.10	18.90	Superficial

PUNTO	X (UTM)	Y (UTM)	COTA	PROFUN	NIVACUA	COTA PIEZO	ACUÍFERO
Promedio 273670060	679513	4214108	28.5	40	5.00	23.50	Profundo
Promedio 273670061	679513	4214108	27.5	4.12	1.78	25.72	Superficial
Promedio 273670062	679658	4213476	42.69	53.55	10.46	32.23	Profundo
Promedio 273670070	680757	4214527	24	6.97	2.33	21.67	Superficial
Promedio 273670088	674836	4210196	30.5	4.92	3.12	27.38	Superficial
Promedio 273670089	674714	4209977	31	65	1.03	29.97	Profundo
Promedio 273670105	677191	4212257	26.9	3.2	2.12	24.78	Superficial
Promedio 273670108	675982	4213058	27.8	3.9	2.40	25.40	Superficial
Promedio 273670126	675923	4212012	27	3.7	1.70	25.30	Superficial
Promedio 273670128	675038	4213836	29	3.75	1.80	27.20	Superficial
Promedio 273670129	676972	4214200	25.3	4.15	1.69	23.61	Superficial
Promedio 273670130	678130	4216121	26.19	3.4	2.06	24.13	Superficial
Promedio 273670131	678690	4215025	23.6	4	2.07	21.53	Superficial
Promedio 273670222	679908	4216480	23.29	82	0.91	22.38	Profundo
Promedio 273670250	676419	4215171	23.74	55.5	0.84	22.90	Profundo
Promedio 273680004	682772	4216051	20.5	3.92	2.38	18.12	Superficial
Promedio 273680005	683352	4217117	21	3.56	2.17	18.83	Superficial
Promedio 273680006	684757	4216444	20.3	4.3	2.65	17.65	Superficial
Promedio 273680007	685025	4216257	19.3	46.51	2.85	16.45	Profundo
Promedio 273680008	687280	4215501	21.7	4.92	2.75	18.96	Superficial
Promedio 273680010	686715	4217248	16.2	4.21	1.94	14.26	Superficial
Promedio 273680011	687973	4214565	30	0	8.71	21.29	Superficial
Promedio 273710003	661810	4199812	93	99	50.90	42.10	Profundo
Promedio 273710004	662319	4204370	46.25	6.93	5.34	40.91	Superficial
Promedio 273710005	659993	4205020	52	12.03	9.98	42.02	Profundo
Promedio 273710006	661396	4202857	53	12.61	10.17	42.83	Profundo
Promedio 273710009	663613	4202438	47.25	4.23	1.87	45.38	Superficial
Promedio 273710010	666366	4202554	43.25	4.71	2.08	41.17	Superficial
Promedio 273710011	666427	4207406	37.75	3.84	1.78	35.97	Superficial
Promedio 273710012	665621	4204362	42	3.96	2.22	39.79	Superficial
Promedio 273710013	662521	4206960	42.5	3.39	1.84	40.66	Superficial
Promedio 273710014	660490	4206957	52	12	9.27	42.73	Profundo
Promedio 273710015	662461	4206870	41	5.2	0.64	40.36	Superficial
Promedio 273710043	661691	4206947	43.25	52	1.30	41.95	Profundo
Promedio 273710086	661575	4201575	55	82	10.53	44.47	Profundo
Promedio 273710152	660461	4198933	107	117	66.92	40.08	Profundo
Promedio 273710169	659787	4204282	53.75	40.87	12.53	41.22	Profundo
Promedio 273710170	659787	4204282	53.75	18.14	12.29	41.46	Profundo
Promedio 273710171	661721	4203465	47.5	31.8	6.04	41.46	Profundo
Promedio 273710172	660020	4202279	57	0	14.99	42.02	Superficial
Promedio 273710174	662545	4205058	43.25	70	4.90	38.35	Profundo
Promedio 273710175	662545	4205058	43.25	6.7	3.46	39.79	Superficial
Promedio 273710176	663446	4207452	38.75	70	0.05	38.70	Profundo
Promedio 273710177	659513	4202613	58	278	17.70	40.30	Profundo
Promedio 273710178	659513	4202613	58	76	16.16	41.84	Profundo
Promedio 273710179	663076	4202822	48.3	236	6.70	41.60	Profundo
Promedio 273710180	663076	4202823	46.75	36	4.74	42.02	Profundo
Promedio 273710266	665677	4202725	44	145	4.00	40.00	Profundo
Promedio 273710291	659719	4205127	50.92	163	9.29	41.63	Profundo
Promedio 273720001	667113	4204499	41.5	4.64	1.99	39.51	Superficial
Promedio 273720002	669128	4206162	40.25	6.27	3.93	36.32	Superficial
Promedio 273720003	671340	4207334	35.5	5.04	2.09	33.41	Superficial
Promedio 273720016	668824	4203423	61.04	82	24.18	36.86	Profundo
Promedio 273720141	670958	4206027	41.5	63	7.81	33.69	Profundo
Promedio 273720144	670547	4207061	36.75	40.5	2.46	34.29	Profundo
Promedio 273720170	666600	4206554	38.75	35.5	1.16	37.59	Profundo
Promedio 273720178	666941	4205491	40.75	253	2.87	37.88	Profundo

PUNTO	X (UTM)	Y (UTM)	COTA	PROFUN	NIVACUA	COTA PIEZO	ACUÍFERO
Promedio 273720179	666941	4205491	40.75	76	2.85	37.90	Profundo
Promedio 283610002	693722	4220899	11	70	0.93	10.07	Profundo
Promedio 283610013	693925	4221268	10	3.25	1.76	8.24	Superficial
Promedio 283610018	694757	4221471	9	14.93	2.29	6.71	Profundo
Promedio 283610045	693844	4221109	10	270	0.32	9.68	Profundo
Promedio 283610047	694747	4222572	6	5.41	1.69	4.32	Superficial
Promedio 283610068	693475	4218950	14	4.45	2.58	11.42	Superficial
Promedio 283610075	693477	4218039	18	10.6	5.67	12.33	Profundo
Promedio 283610082	694677	4222552	6	300	2.41	3.59	Profundo
Promedio 283610098	691427	4221750	9	3.32	1.80	7.20	Superficial
Promedio 283610100	689261	4220018	12	5.22	1.55	10.46	Superficial
Promedio 283610113	690511	4218766	12	3.82	1.83	10.17	Superficial
Promedio 283610121	691515	4220318	9	3.15	1.94	7.06	Superficial
Promedio 283610131	692903	4222248	0	4	2.37	-2.37	Superficial
Promedio 283610144	694731	4219620	10	3.75	1.96	8.04	Superficial
Promedio 283610179	691814	4217814	17	10	5.30	11.70	Superficial
Promedio 283610188	689609	4224338	11	3.38	1.69	9.31	Superficial
Promedio 283610189	691465	4223811	9	3.9	2.24	6.77	Superficial
Promedio 283610190	693679	4224012	6	3.85	2.00	4.00	Superficial
Promedio 283610191	688889	4222182	11	4.95	2.12	8.88	Superficial
Promedio 283610193	695120	4226332	6	3.85	2.47	3.53	Superficial
Promedio 283610195	688208	4223209	12	70	0.84	11.16	Profundo
Promedio 283610196	690317	4224111	10	54.6	0.85	9.15	Profundo
Promedio 283610197	689511	4224639	11	53.35	0.73	10.27	Profundo
Promedio 283610198	691091	4225626	8	4.6	1.95	6.05	Superficial
Promedio 283620002	701596	4225274	15	10	2.31	12.69	Superficial
Promedio 283620007	697007	4221181	6	3.65	1.80	4.20	Superficial
Promedio 283620020	697442	4219426	7	4.4	2.30	4.70	Superficial
Promedio 283620022	695688	4220332	8	4	1.97	6.04	Superficial
Promedio 283620028	696301	4218245	9	4.75	1.73	7.27	Superficial
Promedio 283620030	696380	4223919	5	3.25	1.59	3.41	Superficial
Promedio 283620031	697188	4225873	4	3.2	1.68	2.32	Superficial
Promedio 283620032	697179	4222531	4	3.5	1.80	2.20	Superficial
Promedio 283620033	698819	4220135	5	3.9	2.02	2.98	Superficial
Promedio 283620034	698260	4224913	4	3.25	1.83	2.17	Superficial
Promedio 283620035	700897	4225481	3	2.6	0.69	2.31	Superficial
Promedio 283620036	698918	4221205	3	3.15	1.86	1.14	Superficial
Promedio 283620037	702091	4222328	4	4.5	2.81	1.19	Superficial
Promedio 283620038	702239	4219814	5	4.3	2.35	2.65	Superficial
Promedio 283620039	700336	4219651	5	5.2	1.32	3.68	Superficial
Promedio 283620040	698668	4218865	8	5.63	2.21	5.79	Superficial
Promedio 283620134	696049	4223882	6	213	1.74	4.26	Profundo
Promedio 283620135	696049	4223882	6	82	2.60	3.40	Profundo
Promedio 283630001	704279	4218476	10	0	4.09	5.91	Superficial
Promedio 283630005	703234	4218074	30	14	5.88	24.12	Profundo
Promedio 283630008	705801	4219733	2	5.12	2.07	-0.07	Superficial
Promedio 283630011	706023	4221112	5	6.1	4.46	0.54	Superficial
Promedio 283630013	703901	4221051	4	3.26	1.94	2.06	Superficial
Promedio 283650003	690611	4217155	23.65	160	6.52	17.13	Profundo
Promedio 283650009	689093	4216777	22	70	2.28	19.72	Profundo
Promedio 283650026	688984	4216918	20	5.86	3.39	16.62	Superficial
Promedio 283660006	698968	4216610	50	80	67.34	-17.34	Profundo
Promedio 283660017	697554	4216283	15	69	6.80	8.20	Profundo
Promedio 273630038	678486	4218456	44.93	33.9	22.53	22.40	Profundo
Promedio 273640082	682456	4220036	21.8	4.9	2.18	19.62	Superficial
Promedio 273640088	684769	4223205	58.05	77	49.27	8.78	Profundo
Promedio 273640094	684367	4218258	16.98	56	1.56	15.42	Profundo
Promedio 273670250	676419	4215171	23.74	55.5	0.76	22.98	Profundo

El estudio preliminar de las isopiezas obtenidas permite poner de manifiesto las siguientes observaciones principales:

- Flujo predominante en dirección y sentido SO-NE tanto en el acuífero superficial como en el profundo.
- Dos grandes áreas con un funcionamiento hidrodinámico diferente: a) Vega Media y parte más suroccidental de la Vega Baja y b) resto de la Vega Baja. En la primera predomina la existencia de una escasa o nula diferencia piezométrica entre los acuíferos superficial y profundo ($\pm 1,5$ m). Por el contrario, en el resto de la Vega Baja, la cota piezométrica del acuífero profundo tiende a encontrarse por encima de la del superficial (flujo ascendente predominante), excepto en la zona más próxima al litoral.
- En la primera de las áreas se observa cómo la diferencia piezométrica tiende a ser nula, sobre todo en las inmediaciones del río Segura y a partir del inicio del segundo tramo descrito en el apartado 11.3.1. Por otro lado y a partir de dicho punto, se observa, cómo la cota piezométrica se sitúa por encima del fondo del río, lo cual resulta coherente con el comportamiento ganador que presenta el río en este tramo, pareciéndose poner de manifiesto la existencia de una conexión hidráulica en las inmediaciones del río como resultado del drenaje del mismo.
- En la cabecera de la Vega Media (primer tramo del río descrito en el apartado 11.3.1) la cota piezométrica se sitúa claramente por debajo del fondo del río, en coherencia con el comportamiento perdedor del mismo en dicho tramo. Además, en la parte superior de este tramo se observa claramente cómo la cota piezométrica se encuentra por debajo del techo del acuífero profundo por lo que en este sector dicho acuífero presenta un carácter libre.
- En la parte oriental de la Vega Baja se observa claramente cómo la cota piezométrica del acuífero profundo se encuentra por encima de la del acuífero superficial, lo cual favorece en principio la existencia de un flujo predominantemente ascendente y, posiblemente, la aparición de zonas de descarga como la Laguna del Hondo. Ello parece resultar coherente, en parte, con la interpretación de los flujos verticales detectados a partir de diferentes registros de conductividad eléctrica y temperatura realizados en las inmediaciones (ITGE-DPA, 2000).

A pesar de la incertidumbre existente en los datos piezométricos disponibles como consecuencia de: a) las simplificaciones relacionadas con el hecho de diferenciar únicamente dos acuíferos principales (superficial y profundo) y el criterio de diferenciación utilizado (profundidad de 10 m), y b) las probables afecciones de los posibles aunque escasos bombeos existentes, se puede decir que, en condiciones poco influenciadas, en la mayor parte de la Vega Media y, posiblemente, en la parte suroccidental de la Vega Baja parece existir un único nivel acuífero de carácter predominantemente confinado (a excepción de una pequeña zona situada en la cabecera de la Vega Media donde el acuífero se comportaba como libre) (PIAS, 1978). Hacia la Vega Baja y como consecuencia de la presencia de un mayor número y espesor de niveles arcillosos, se produce una desconexión hidráulica de forma que los niveles más profundos tienden a presentar un potencial hidráulico mayor, favoreciendo la existencia de un flujo predominantemente ascendente.

11.5. BALANCE HÍDRICO

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente y a pesar de las limitaciones reiteradamente comentadas asociadas a gran parte de los términos del balance implicados en la Vega Media y Baja del Segura, en este apartado se realiza una aproximación al balance hídrico referido al periodo 1973-75. Con el objeto de aprovechar al máximo la escasa información existente se han realizado dos balances, uno de ellos representativo de la Vega Media, y el otro del conjunto Vega Media y Baja del Segura. Ambos balances se han utilizado como referencia durante la calibración del modelo numérico en régimen estacionario.

11.5.1. Balance en la Vega Media

El balance hídrico en la Vega Media en condiciones poco influenciadas por las extracciones de agua subterránea se compone de los siguientes términos principales:

Entradas

- Recarga por infiltración de agua de lluvia
- Recarga por infiltración de retornos de riego
- Recarga por infiltración del río Segura (agua arriba de la ciudad de Murcia)
- Entrada lateral subterránea desde el acuífero del Guadalentín
- Entrada lateral subterránea desde el acuífero de la Cresta del Gallo
- Entrada lateral subterránea desde el acuífero de la Vega Alta

Salidas

- Descarga a través del río Segura (aguas debajo de la ciudad de Murcia)
- Descarga a través de la red de azarbes
- Descarga subterránea hacia la Vega Baja

Las entradas producidas por la infiltración tanto de agua de lluvia como de los retornos de riego han sido ampliamente tratadas en el apartado 11.2. A modo de resumen, se puede decir que la recarga total se ha evaluado entre 16,5 y 20,1 hm³/año (según se considere la recarga producida únicamente sobre el acuífero superficial o se tenga en cuenta, además, la posible recarga al acuífero profundo producida a través de los materiales triásicos). Con respecto al agua recargada por infiltración del río Segura, según los métodos y cálculos desarrollados en el apartado 11.3.1 se ha obtenido una primera estimación u aproximación tentativa, evaluándose entre 167 y 171 hm³/año (suponiendo una escorrentía subterránea en la estación de aforos de Beniel del 65 %, ausencia de bombeos y descarga despreciable a través de los azarbes). La entrada lateral procedente del acuífero del Guadalentín (2,5 hm³/año) se ha obtenido a partir de los Planes de Ordenación de la Confederación Hidrográfica del Segura (modelo numérico en régimen estacionario). La entrada lateral procedente de la Cresta del Gallo se ha obtenido tanto de los Planes de Ordenación como de estudios previos realizados (ITGE, 1986; ITGE; 1988), habiéndose considerado la suma del caudal procedente de los acuíferos de Torreagüera (0,02-0,16

hm³/año) y Los Lajes (0,2-0,4 hm³/año) en condiciones naturales. Por último, la entrada lateral procedente del acuífero de la Vega Alta se ha obtenido considerando una sección de paso de 900 m de longitud por 5 m de espesor saturado, con un gradiente de 0,01 y una permeabilidad media de unos 70 m/día.

Con respecto a las principales salidas en la Vega Media, el agua descargada a través del río Segura se ha obtenido a partir de los caudales aforados durante el periodo 1973-75 en la estación de Beniel. Para ello, a partir del hidrograma de descarga y mediante la aplicación del método de Barnes, se ha estimado un porcentaje de escorrentía subterránea aproximado del 65 %, obteniéndose unos 150 hm³/año. La descarga subterránea hacia la Vega Baja se ha evaluado a partir de los espesores medios del acuífero superficial y profundo (33 y 134 m respectivamente), permeabilidad (50 y 375 m/día) y gradiente hidráulico deducido de la piezometría en estado estacionario ($6,4 \times 10^{-5}$ y $4,2 \times 10^{-4}$). El caudal inicialmente estimado es del orden de unos 40,5 hm³/año, aproximadamente coincidente con los 32 hm³/año evaluados en estudios anteriores para el acuífero profundo (ITGE-DPA, 1996). Por último, la descarga producida a través de los azarbes constituye el término del balance peor conocido, siendo muy difícil disponer de un valor aproximado del mismo. Debido a ello, la metodología adoptada para obtener la recarga producida por la infiltración del río Segura presupone la ausencia de salidas significativas a través de los azarbes. Si teniendo en cuenta los rangos anteriormente comentados, se considera una recarga de 16,5 hm³/año y una infiltración en el río de 167 hm³/año, manteniendo el resto de los términos del balance, el agua descargada por los azarbes es de unos 3 hm³/año. No obstante, la posterior realización del modelo numérico permitirá contrastar esta hipótesis así como evaluar la descarga producida a través de los azarbes teniendo en cuenta otras posibles hipótesis de funcionamiento. En la Tabla 11.15 se resumen los valores correspondientes a los términos de balance considerados en la Vega Media.

Tabla 11.15. – Balance hídrico aproximado referido a la Vega Media en condiciones poco influenciadas (periodo de referencia 1973-75)

BALANCE VEGA MEDIA	
ENTRADAS	
Infiltración (lluvia+riego)	16,5 a 20,1
Guadalentín	2,5
Vega Alta	1,1
Cresta del Gallo	0,39
Río Segura	167 a 171
TOTAL	187,5 a 195
SALIDAS	
Descarga Río Segura	150
Descarga azarbes	?
Descarga Vega Baja	40,5
TOTAL	190,5
BALANCE RIO	17 a 21
BALANCE	4,6 a -2,9

11.5.2 Balance en la Vega Media y Baja

El balance hídrico en la Vega Media y Baja en condiciones poco influenciadas por las extracciones de agua subterránea se compone de los siguientes términos principales:

Entradas

- Recarga por infiltración de agua de lluvia
- Recarga por infiltración de retornos de riego
- Recarga por infiltración del río Segura (agua arriba de la ciudad de Murcia)
- Entrada lateral subterránea desde el acuífero del Guadalentín
- Entrada lateral subterránea desde el acuífero de la Cresta del Gallo
- Entrada lateral subterránea desde el acuífero de la Vega Alta

Salidas

- Descarga a través del río Segura

- Descarga a través de la red de azarbes
- Descarga a través de las lagunas (evaporación)
- Descarga hacia el mar

En este caso, las entradas son las mismas que para la Vega Media, aunque teniendo en cuenta la recarga por infiltración de agua de lluvia y retornos de riego producida sobre la Vega Baja. La recarga total se ha evaluado entre 68,5 y 86,8 hm³/año (según se considere la recarga producida únicamente sobre el acuífero superficial o se tenga en cuenta, además, la posible recarga hacia el acuífero profundo producida a través de otros materiales). Ello supone una recarga para la Vega Baja comprendida entre 48,3 y 70,3. Dichos valores extremos se obtienen siempre que se considere recarga a través de los limos y arenas cuaternarios del Campo de Elche. Si no se considera dicha recarga, la recarga total máxima evaluada es de unos 70,5 hm³/año, mientras que la recarga máxima producida en la Vega Baja sería de unos 54 hm³/año. Este valor resulta más razonable si se compara con los obtenidos en estudios anteriores realizados en la Vega Baja: 48 hm³/año teniendo en cuenta solamente el acuífero profundo y en condiciones naturales (ITGE-DPA, 1996) y 60,6 hm³/año considerando tanto el acuífero superficial como el profundo (ITGE-DPA, 2000)

Con respecto a las salidas, al igual que ocurre en la Vega Media, la mayor incertidumbre se encuentra asociada al agua drenada por los azarbes, con la particularidad de que, en el caso de la Vega Baja, este término representa un mayor peso en el balance. Ante la escasa información existente, se ha tomado como orden de magnitud de referencia los 45 hm³/año considerados en estudios anteriores (ITGE-DPA, 1996). En el caso de considerar la Laguna del Hondo como una componente importante del funcionamiento hidrogeológico de la Vega Baja en condiciones naturales, la salida estimada por evaporación a través de la misma es del orden de unos 20,5 hm³/año. Con respecto a las salidas al mar, estas han sido evaluadas entre unos 2,6 a 2,8 hm³/año (CHS, 1989). Por último, y con respecto a la descarga producida a través del río Segura, se considera en principio como poco significativa, al menos desde Orihuela hasta Guardamar de Segura, de acuerdo con lo comentado en el apartado 11.3.1. Inicialmente, aguas arriba de Orihuela, se ha obtenido un orden de magnitud aproximado a partir del resto de los términos anteriores, resultando un rango comprendido entre 21,2 y 43,5 hm³/año según la hipótesis de recarga considerada. En la Tabla 11.16 se resumen los valores correspondientes a los términos de balance considerados en la Vega Media y Baja.

Tabla 11.16. – Balance hídrico aproximado referido a la Vega Media en condiciones poco influenciadas (periodo de referencia 1973-75)

BALANCE VEGA MEDIA y BAJA	
ENTRADAS	
Infiltración (lluvia+riego)	68,51 a 86,8
Guadalentin	2,5
Vega Alta	1,1
Cresta del Gallo	0,39
Río Segura	167 a 171
TOTAL	239,5 a 261,8
SALIDAS	
Descarga Río Segura Vega Media	150
Descarga Río Segura Vega Baja	?
Descarga azarbes	45
Laguna del Hondo	20,5
Mar	2,8
TOTAL	218,3
BALANCE	21,2 a 43,5

12. MODELO NUMÉRICO DE LA VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

12.1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En este capítulo se presenta un modelo numérico de flujo subterráneo en el que se integran todos los datos, estudios y modelos numéricos parciales realizados hasta el momento tanto en la Vega Media (IGME-CTOT, 2001) como en la Vega Baja del Segura (ITGE-DPA, 1996; ITGE-DPA, 1997; ITGE-DPA, 2000).

Los principales objetivos de dicho modelo son:

- Revisar, actualizar y completar o mejorar el modelo hidrogeológico conceptual mediante la utilización de una herramienta que permita integrar y sintetizar toda la información previa disponible así como el conocimiento hidrogeológico obtenido hasta el momento.
- Simular hipotéticos escenarios futuros mediante el planteamiento de diferentes condiciones climáticas así como de diversas opciones de explotación, lo que permitirá estudiar la incidencia de los posibles desequilibrios hídricos en los niveles piezométricos.

La realización del modelo numérico se ha llevado a cabo en dos fases. En primer lugar se ha calibrado el modelo en régimen estacionario con la finalidad de ajustar los principales parámetros de flujo en condiciones poco influenciadas. Para ello, tras el estudio y tratamiento de los datos anteriormente realizado (capítulo 11) se ha elegido como periodo de referencia el 1973-75. Posteriormente, se ha calibrado el modelo en régimen transitorio para el periodo comprendido entre octubre de 1994 y septiembre de 2001, considerando un paso de tiempo mensual.

El código numérico empleado ha sido el MODFLOW (McDonald y Harbaugh, 1988) en su versión Visual MODFLOW 2.7 para Windows, conocido como "U.S. Geological Survey Modular Finite-Difference Ground-Water Model". Dicho código discretiza el medio en prismas de sección rectangular para los que resuelve la ecuación de flujo mediante métodos de diferencias finitas con los nudos centrados en las celdas, permitiendo simular el flujo de agua subterránea en un acuífero multicapa en tres dimensiones.

El capítulo comienza estableciendo una relación entre el modelo hidrogeológico conceptual y el modelo numérico adoptado, para ello se comentan las simplificaciones

realizadas teniendo en cuenta la información previa disponible. A continuación se comenta la metodología adoptada, realizando una descripción general del modelo numérico realizado. Para ello se presentan los límites, geometría, discretización espacial, discretización temporal y condiciones de contorno, así como la estimación previa y zonificación de parámetros realizada.

Posteriormente, tras la fase de ajuste y calibración, se presentan los resultados obtenidos en régimen estacionario y se realiza un análisis de sensibilidad, determinando los principales parámetros que controlan el flujo subterráneo. Finalmente, partiendo tanto de la piezometría como de la conductividad hidráulica obtenida en régimen estacionario, se realiza la calibración en régimen transitorio comentando tanto las limitaciones como las implicaciones de los resultados obtenidos en el funcionamiento hidrodinámico de la Vega Media y Baja del Segura

12.2 RELACIÓN ENTRE EL MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL Y EL MODELO NUMÉRICO.

La unidad hidrogeológica de la Vega Media y Baja del Segura (07.24) corresponde a una gran depresión postectónica rellena por un depósito aluvial plio-cuaternario que puede alcanzar, según la zona, hasta más de 250-300 m de espesor. En general, se trata de una cuenca rellena por materiales terciarios (Mioceno), caracterizados por una clara abundancia de facies margosas cuyo espesor puede superar los 900 m, y un Pliocuaternalio suprayacente, en el que se encuentran los acuíferos principales de la unidad (ITGE-DPA, 1996). La mayor parte del borde septentrional se encuentra constituido por relieves béticos representados generalmente por materiales de baja permeabilidad salvo en los sectores de Orihuela y Callosa, donde los materiales carbonatados triásicos se encuentran en contacto con el aluvial. En el borde NE, entre Callosa y el mar, el aluvial de la Vega del Segura pasa progresiva y lateralmente a las formaciones también cuaternarias del Campo de Elche-Crevillente.

Los materiales detríticos que constituyen la Vega del Segura se caracterizan por presentar una distribución vertical y horizontal heterogénea, presentando una alternancia irregular de capas permeables y poco permeables, de forma que los principales niveles acuíferos albergan varios tramos de características hidráulicas y extensión muy variables, que en determinados sectores pueden estar en conexión (ITGE-DPA, 1996). En condiciones

poco influenciadas, en la cabecera de la Vega Media los datos piezométricos indican la presencia de un único acuífero de carácter libre (PIAS, 1978) que progresivamente y hacia el NO, se subdivide en una serie de distintos niveles permeables cuyo número aumenta hacia la Vega Baja como consecuencia de un mayor contenido progresivo de materiales poco permeables (limos y arcillas). Sin embargo y con la finalidad de simplificar la complejidad existente, se pueden diferenciar dos acuíferos principales:

1. Acuífero superficial o acuífero libre: tradicionalmente denominado como "Acuífero Cuaternario Superficial". Corresponde al tramo superior de la serie sedimentaria del Cuaternario, de forma que comprende desde la superficie del terreno hasta una profundidad variable aproximadamente entre 3 y 30 m, extendiéndose a lo largo de toda la unidad, hasta el mar. Presenta un nivel piezométrico muy somero y se encuentra formado por sedimentos arcilloso-limosos, de muy escaso interés como acuífero (escasa productividad) pero de gran importancia en el funcionamiento hidrodinámico, al encontrarse estrechamente ligado con los cauces superficiales (río Segura y azarbes). Se caracteriza por presentar un comportamiento libre.
2. Complejo profundo: dentro del mismo se pueden diferenciar a su vez diversos tramos o niveles detríticos permeables en función del sector considerado. En gran parte de la Vega Media se diferencia claramente la presencia de un primer tramo en el que predominan las gravas y arenas, que constituye el principal nivel acuífero de la Vega Media desde el punto de vista de la explotación de agua subterránea. Por debajo del mismo, se observa un segundo tramo caracterizado por la presencia de niveles de gravas en un conjunto de matriz arcillosa, poco o nada explotado por la menor productividad de los sondeos que lo captan y por la elevada salinidad del agua. Con respecto a la Vega Baja, este complejo profundo se encuentra constituido por un mayor número de niveles detríticos permeables, pudiendo llegar a contabilizarse hasta más de siete en según que zonas (ITGE-DPA, 1996). Dependiendo del grado de confinamiento de los tramos poco permeables, los acuíferos cuaternarios profundos pueden funcionar como un sistema multicapa (en conexión hidráulica) o como niveles independizados hidráulicamente. Por tanto, más que la presencia de dos niveles acuíferos profundos independientes (Cuaternario Profundo Superior y Cuaternario Profundo Inferior, según IGME, 1996) existe un número variable de niveles que deben estar intercomunicados en algunos sectores e independizados en otros y que, en general, presentan mejores características hidráulicas con respecto al acuífero superior, ya que se encuentran constituidos por materiales de mayor granulometría. Generalmente, los acuíferos

profundos presentan un comportamiento confinado o cautivo (nivel piezométrico situado por encima de los limos cuaternarios que actúan como semiconfinante), llegando incluso a ser surgentes en determinados sectores. Por lo general, a mayor profundidad, mayor potencial hidráulico. En la actualidad se carece de sondeos que presenten aislados los diferentes niveles, por lo que no es factible la realización de medidas piezométricas independientes que permitan conocer la carga hidráulica para cada uno de ellos. Por tanto, la medida realizada en un determinado punto corresponde generalmente a la mezcla de los distintos niveles atravesados por el sondeo (ITGE-DPA, 1996).

Entre ambos conjuntos acuíferos se observa la presencia de un nivel constituido por limos, arcillas o margas muy poco permeables que, generalmente, dan lugar a una diferenciación piezométrica entre el acuífero superficial y el complejo profundo, constituyendo el "impermeable" de base y de techo del acuífero superficial y del primer tramo profundo, respectivamente (ITGE-DPA, 1996).

El único cauce que presenta caudal permanente en la Vega Media y Baja es el río Segura. A lo largo de un año medio, el río Segura se comporta como perdedor hasta unos kilómetros aguas arriba de Murcia en donde cambia su comportamiento a ganador. Desde aguas abajo de Orihuela hasta su desembocadura en Guardamar de Segura, el río discurre muy cerca del borde S, a cotas superiores a las del centro de la depresión, no pareciendo existir un intercambio de agua significativo entre el río y el acuífero. La información previa disponible (aforos y datos piezométricos principalmente) parece indicar que, en condiciones naturales o poco influenciadas, el río Segura presenta una influencia muy significativa en la Vega Media y en el SO de la Vega Baja (primer y segundo tramo). A partir de este punto, el río presenta un papel secundario y el funcionamiento hidrodinámico de la Vega Baja se encuentra condicionado por la red de azarbes, lagunas y salidas al mar.

A modo de resumen, las entradas que se producen en la Vega Media y Baja del Segura corresponden fundamentalmente a la recarga producida por infiltración tanto del agua de lluvia como de retornos de riego, infiltración de las aguas superficiales del río Segura y aportes laterales subterráneos procedentes de la Vega Alta, Bajo Guadalentín y Cresta del Gallo. Las salidas se producen fundamentalmente por drenaje a través del río y los azarbes, evaporación en lagunas, salidas al mar y bombeo.

Teniendo en cuenta el modelo hidrogeológico conceptual, se ha definido un modelo numérico multicapa constituido por:

Capa 1: representa el acuífero superficial anteriormente comentado. Su espesor medio es de unos 20 m y presenta una gran importancia en el modelo dado que controla tanto la recarga al acuífero profundo como la descarga a través del río Segura, azarbes y lagunas. Se ha simulado con un comportamiento libre en coherencia con el modelo conceptual presentado.

Capa 2: representa los materiales de baja permeabilidad existentes entre el acuífero superficial y el complejo profundo. Dada la limitación que presenta el código utilizado de tener que definir capas a lo largo todo el dominio del modelo y teniendo en cuenta el escaso desarrollo de estos materiales en la cabecera de la Vega Media, se ha reducido el espesor de la capa en esta zona a 2 m con objeto de minimizar su efecto en el modelo numérico. En coherencia con el modelo conceptual, esta capa va aumentando su espesor progresivamente hacia la Vega Baja.

Capa 3: representa al complejo profundo en todo su conjunto, así como los materiales triásicos correspondientes a las Sierras de Callosa y Orihuela. En esta capa es donde se centra la mayor explotación y, por lo tanto, donde se han situado los pozos de bombeo.

12.3. DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MODELO NUMÉRICO

Para la resolución del modelo numérico, tal y como se ha comentado anteriormente, se ha utilizado el método de las diferencias finitas mediante la aplicación del código MODFLOW (McDonald y Harbaugh, 1988). En dicho código, la ecuación de flujo planteada sigue la formulación clásica, admitiendo que la conductividad hidráulica pueda ser anisótropa. El problema puede formularse en régimen estacionario o transitorio, con condiciones iniciales definidas arbitrariamente por el usuario o planteadas como la solución de un estado estacionario. Las condiciones de contorno pueden ser de cualquiera de los tipos lineales: nivel fijo en un contorno, flujo a través de un contorno o flujo como una función lineal de los niveles. Tanto los niveles y caudales en los nudos como la recarga distribuida superficialmente, pueden variar en el tiempo.

La elaboración del modelo numérico implica definir y discretizar el dominio del problema, la geometría de zonas y los tipos de condiciones de contorno, para calcular, basándose en un conjunto de parámetros, los niveles en cada punto del dominio. Se requiere definir los datos de niveles y la información previa de los parámetros con una valoración de su fiabilidad. El proceso de modificar reiteradamente los valores de los parámetros hidráulicos, en función de la comparación de los datos de niveles y balance

calculado por el programa con los niveles y balance real (conceptual), permite reproducir numéricamente el medio físico. En la Vega Media y Baja del Segura se ha realizado un modelo multicapa, tridimensional y en estado tanto estacionario como transitorio.

12.3.1. Límites del modelo numérico

Los límites del modelo numérico se han adaptado a los de la unidad hidrogeológica 07.24 "Vegas Media y Baja del Segura" (PHCS, 1997). Dicha unidad se encuentra limitada al sur, por la Sierra de la Cresta del Gallo y su prolongación, mediante una serie de relieves poco pronunciados que siguen una línea imaginaria entre las poblaciones del Mojón, Arneva, Jacarilla, Benejúzar, Benijófar, Rojales y Guardamar de Segura. Por el norte, la unidad limita con una alineación de relieves montañosos desde el Campo de la Matanza hasta las Sierras de Abanilla, Crevillente, Elche y Colmenar. El límite SO viene dado por un cambio lateral de facies desde el Valle del Guadalentín (menor tamaño de grano), hacia la Vega del Segura, con un tamaño de grano mayor relacionado con los aportes de mayor energía del río Segura. Hacia el este, el límite de la unidad coincide con el mar Mediterráneo. Por lo tanto, y dada la baja permeabilidad de los materiales afectados, se ha utilizado una condición de flujo nulo para todos los límites del modelo a excepción del contacto con la Vega Alta, Bajo Guadalentín y Cresta del Gallo (sector SO) y del límite con el mar (sector E). Así mismo, se ha utilizado también este tipo de condición en el muro del acuífero dada la baja permeabilidad de los materiales miocenos que constituyen el substrato del acuífero.

Los aportes laterales procedentes de la Vega Alta, Bajo Guadalentín y Torreagüera-Los Lajes (Cresta del Gallo) se han obtenido de la bibliografía. Para ello se ha consultado la documentación correspondiente a los Planes de Ordenación de la Confederación Hidrográfica del Segura, así como otra serie de estudios realizados en los acuíferos mencionados (IGME, 1986; IGME, 1988), obteniendo un orden de magnitud del caudal aportado en condiciones no influenciadas. Los valores finalmente considerados en $\text{hm}^3/\text{año}$ han sido de 0.09 (Torreagüera), 0.3 (Los Lajes), 2.5 (Bajo Guadalentín) y 1.1 (Vega Alta). Dicho caudales se han simulado en el modelo numérico mediante una batería de pozos de inyección. Las salidas al mar se han simulado mediante una condición de nivel constante.

12.3.2. Definición geométrica

El modelo numérico elaborado ha requerido la definición de cuatro superficies correspondientes a: topografía, muro del acuífero superficial (Capa 1), muro del semiconfinante (Capa 2) y muro tanto del acuífero profundo como de los materiales triásicos (Capa 3).

En llanuras aluviales como la Vega del Segura con suaves cambios de pendiente es necesaria una topografía detallada, especialmente en los puntos de calibración, para definir con precisión los distintos tramos acuíferos y sus relaciones tanto verticales como con los cauces superficiales. En este Proyecto, la topografía ha sido obtenida a partir de las cartografías digitales a escala 1:25.000 del IGN (Instituto Geográfico Nacional) y 1:5.000 de la CARM (Comunidad Autónoma de la Región de Murcia). En determinados sectores, especialmente de borde y celdas de río se han redefinido algunas cotas para adecuar las relaciones anteriormente citadas.

Para la elaboración del resto de superficies anteriormente comentadas se han tenido en cuenta tanto las columnas litoestratigráficas como los resultados de la interpretación de las distintas campañas geofísicas realizadas. Inicialmente, se diferenciaron cuatro capas, separando la Capa 3 (acuífero profundo) de la Capa 4 (materiales triásicos), asignando una cota de corte para la capa 4 de -250 m (dada la ausencia de datos). Sin embargo, esta opción no se consideró demasiado acertada dado que suponía unos espesores demasiado grandes en las Sierras de Callosa y Orihuela y, como consecuencia, unas transmisividades poco creíbles en comparación con los ensayos de bombeo realizados y la información previa disponible. Por lo tanto y tras probar diferentes alternativas, se decidió modificar la estructura geométrica aumentando el espesor de la Capa 3 en las zonas donde aparecen los materiales triásicos aunque rebajando la cota de corte a -50 m con la finalidad de obtener espesores más coherentes. Es decir, se decidió simular el comportamiento del acuífero profundo y el de los materiales triásicos mediante una misma capa (Capa 3) asignando espesores y permeabilidades diferentes en función de los materiales existentes en cada caso.

La metodología adoptada para obtener la geometría del modelo numérico ha sido la siguiente:

- a) Recopilación e interpretación conjunta de los datos obtenidos a partir de las columnas litológicas y campañas geofísicas realizadas (sondeos eléctricos verticales, sondeos electromagnéticos y gravimetrías).
- b) Interpolación de datos y obtención de los mapas de isohipsas de muro del acuífero superficial (Capa 1), semiconfinante (Capa 2) y acuífero profundo (parte de la Capa 3). Para la elaboración de estos mapas se tuvieron en cuenta además las isohipsas obtenidas en estudios anteriores para la Vega Baja (ITGE-DPA, 1996)
- c) Digitalización de los mapas de isohipsas definitivos y obtención mediante interpolación de las cotas correspondientes al centro de cada una de las celdas del modelo numérico.
- d) Representación de dicha cotas en una hoja de cálculo, en formato matriz, con la finalidad de detectar posibles problemas de interpolación así como comprobar la coherencia entre la geometría de las capas, la cota de fondo del río y de los azarbes, y las superficies piezométricas definidas en régimen estacionario (periodo 1973-75).
- e) Entrada de los datos geométricos al código Vmodflow 2.81 y comprobación de la cota correspondiente a cada celda para cada una de las capas del modelo numérico. Corrección de los valores modificados como consecuencia de la interpolación realizada por el código (zonas de borde fundamentalmente) introduciendo los valores iniciales.

En las Figuras 12.1 y 12.2 se presentan una corte longitudinal y otro transversal en los que se observa la geometría finalmente introducida en el modelo numérico.

12.3.3. Discretización espacial y temporal

La discretización espacial consiste en subdividir el dominio en una serie de elementos de diferencias finitas. Este método implica resolver la ecuación de flujo en un medio permeable continuo, para obtener la variable de estado (en este caso el nivel) en el centro de los mencionados elementos. El número de elementos está condicionado por el tiempo de cálculo, el cual aumenta de forma no lineal. En la discretización del modelo numérico se han utilizado elementos rectangulares, por motivos de simplicidad y de mejor ajuste a las características irregulares del contorno del modelo. Los elementos, en general, se ha intentado que no sean alargados en sentido normal al flujo.

Inicialmente se había definido una malla de diferencias finitas de 50 filas en la dirección X (O-E) y 70 columnas en la dirección Y (N-S). Es decir, 3500 celdas homogéneas de 1 km² orientadas y referenciadas según coordenadas UTM. Esta discretización venía condicionada por la información previa disponible obtenida en estudios previos de la Vega Baja (ITGE-DPA, 1996; ITGE-DPA, 1997 y ITGE-DPA, 2000). Posteriormente, teniendo en cuenta tanto la extensión superficial como la densidad de información previa disponible en la Vega Media, se decidió refinar la malla en este sector, definiendo celdas de 500 m de lado. De esta forma, el modelo numérico finalmente realizado presenta 91 columnas por 66 filas con 1576 celdas activas, equivalente a 905 km² (Figuras 12.3 y 12.4; Tabla 12.1).

Tabla 12.1. Número y tamaño de las celdas finalmente consideradas en el modelo numérico.

	Nº celdas 500x500	Nº celdas 500x1000	Nº celdas 1000x500	Nº celdas 1000x1000	Superficie total (km ²)
VEGA MEDIA	728	42	0	0	203
VEGA BAJA	44	78	64	620	702
VEGAS MEDIA Y BAJA	772	120	64	620	905

Con respecto a la discretización temporal, el modelo ha sido calibrado con un paso de tiempo mensual para el periodo comprendido entre octubre de 1994 y septiembre de 2001.

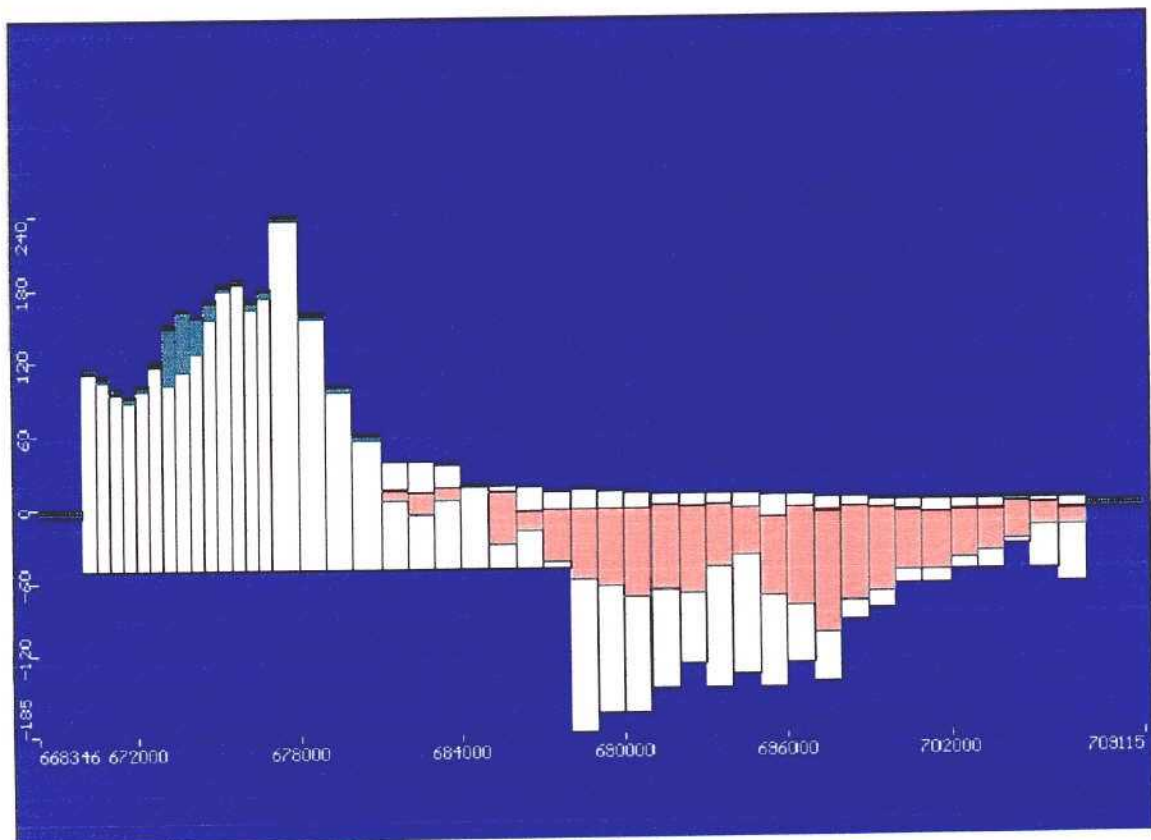
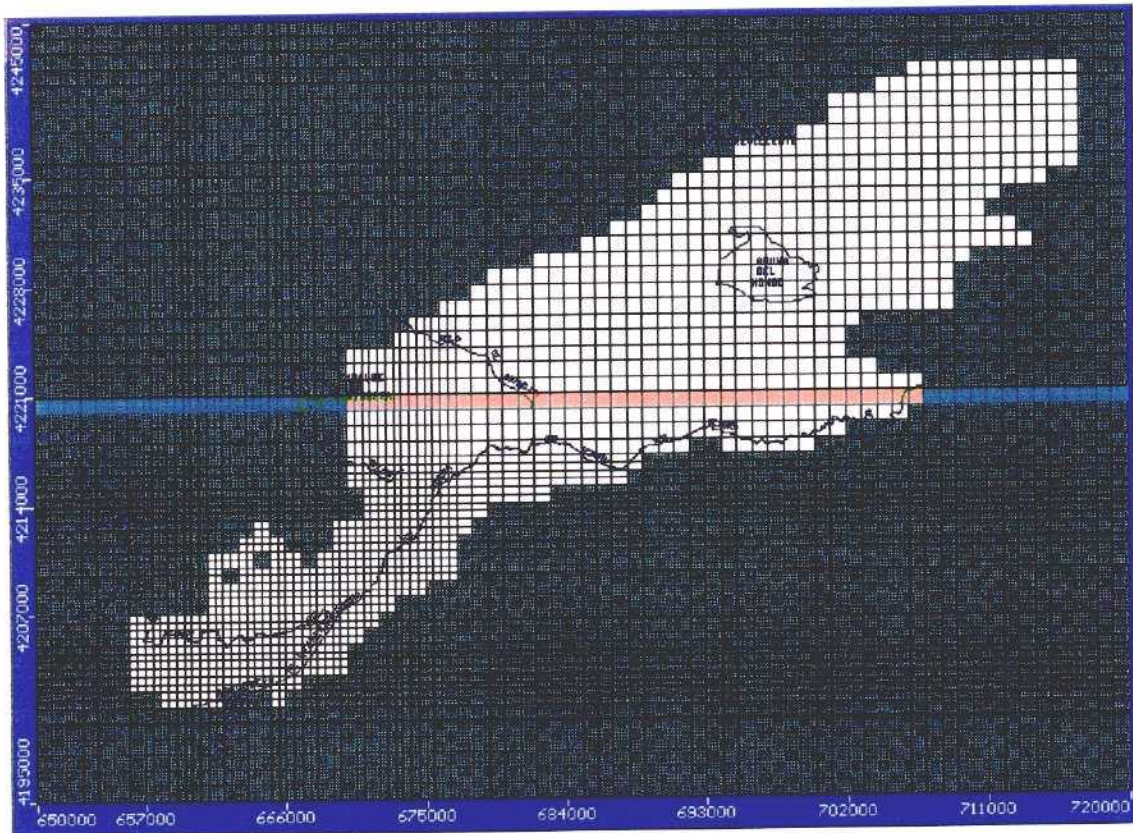


Figura 12.1. Corte longitudinal en el modelo numérico realizado para la Vega Media y Baja del Segura

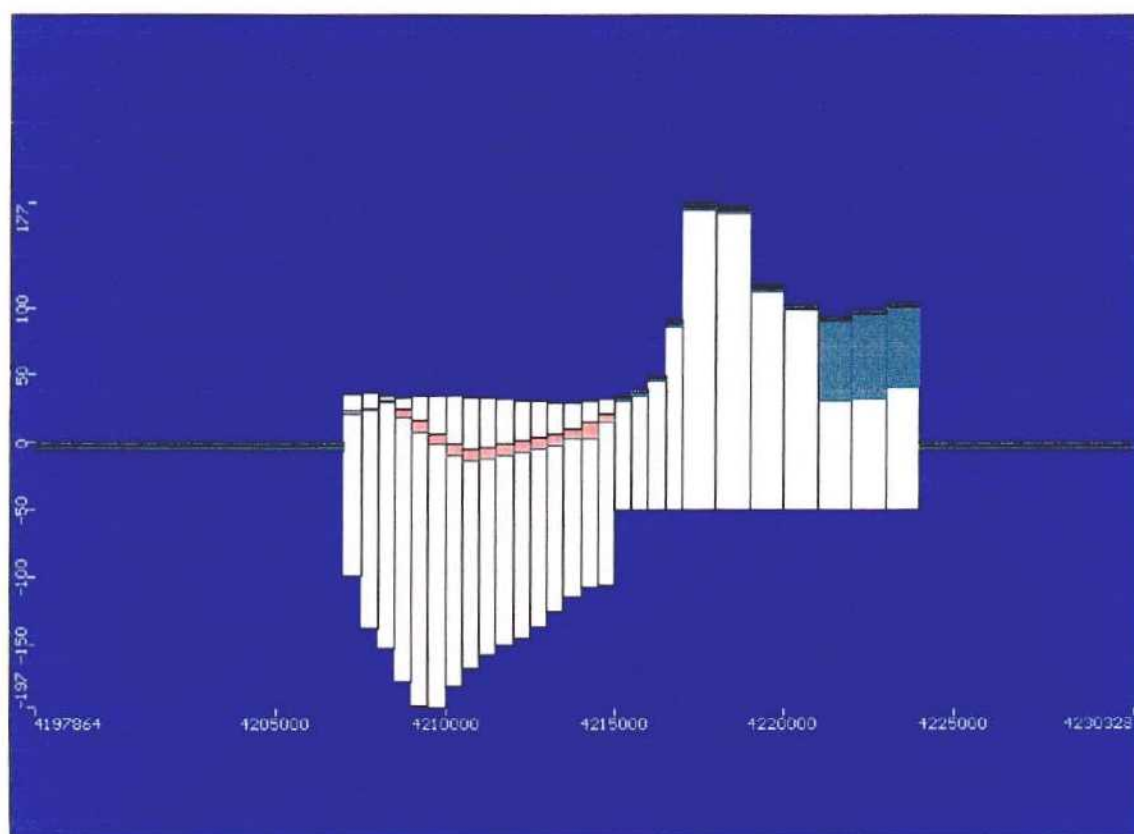
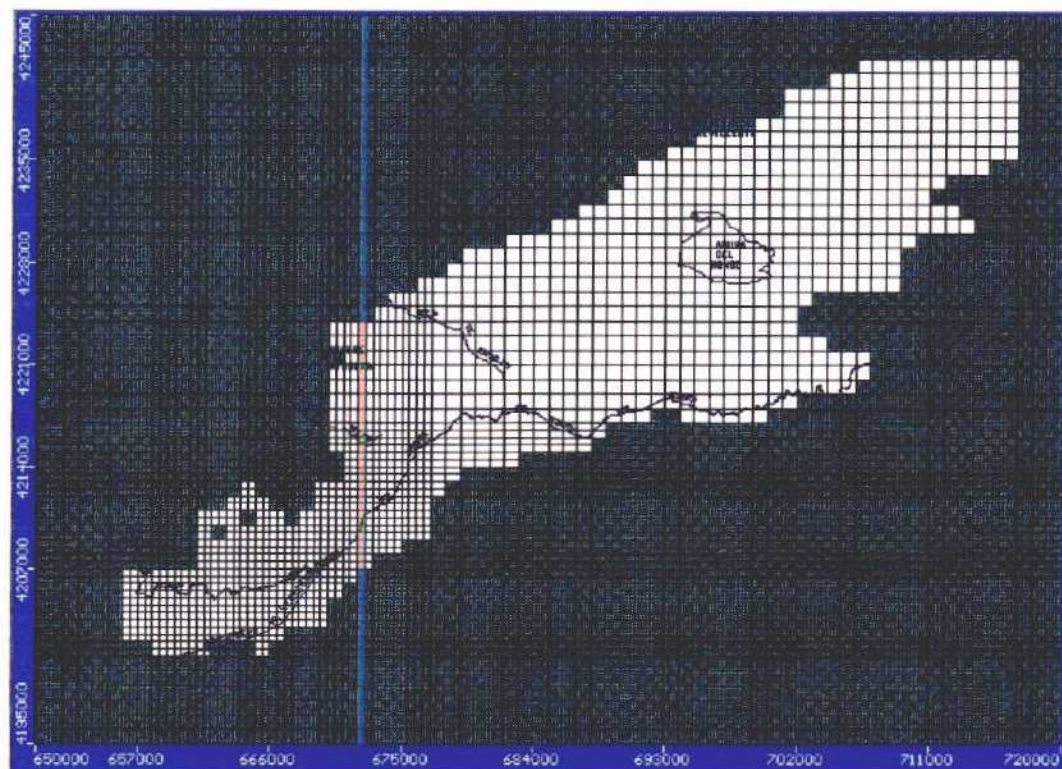


Figura 12.2 - Corte transversal en el modelo numérico realizado para la Vega Media y Baja del Seguro

12.3.4. Condiciones de contorno

Se han definido cinco tipos de condiciones de contorno: flujo nulo, caudal constante, mixta o de goteo, dren y nivel constante (Figura 12.3):

- a) Condición de caudal nulo: esta condición de contorno corresponde a un caso especial de la condición de Neuman y se ha considerado para definir tanto la base como los límites del modelo numérico.
- b) Condición de caudal constante (Neuman): utilizada para simular los aportes laterales procedentes de la Vega Alta, Bajo Guadalentín y Torreagüera-Los Lajes (Cresta del Gallo). Dichos caudales se han obtenido a partir de los Planes de Ordenación de la Confederación Hidrográfica del Segura, así como otra serie de estudios realizados en los acuíferos mencionados (IGME, 1986; IGME, 1988). Estos aportes se han simulado en el modelo mediante pozos de inyección.
- c) Condición de goteo o mixta (Cauchy): utilizada para simular el comportamiento del río Segura. Este tipo de condición se encuentra controlada por la conductancia hidráulica (unidad: L^2/T). A su vez, la conductancia (C), viene definida por la anchura del río (W), longitud del cauce (L), permeabilidad de la capa del lecho del río (K) y espesor de la capa de río (M), mediante la expresión $C = KLW/M$. Dado el elevado número de parámetros implicados y la gran incertidumbre asociada a parte de los mismos resulta difícil conocerla experimentalmente, siendo habitual obtenerla durante la fase de ajuste y calibración del modelo numérico. Esta metodología ha sido también la utilizada en el presente modelo, para lo cual se ha tenido en cuenta tanto el balance de agua en el río (apartado 11.3.1) como el ajuste entre los niveles piezométricos calculados y observados próximos al río. En la Tabla 12.2 se realiza una estimación previa aproximada de la conductancia para cada tramo de río considerando tanto los caudales aforados como los datos y observaciones de campo disponibles. Los valores de lámina de agua se han estimado a partir del valor medio de la lámina real medida en la estación de aforos de Beniel durante 1994-2001 (1,43 m)

Tabla 12.2. Estimación previa de la conductancia para cada tramo diferenciado en el río Segura

	Longitud Río (L)	Anchura Río (W)	Permeabilidad lecho (K)	Espesor capa río (M)	Conductancia (C)
Tramo 1	500	25	10	2	62500
Tramo 2	500	20	10	1	100000
Tramo 3	1000	20	0.1	1	2000

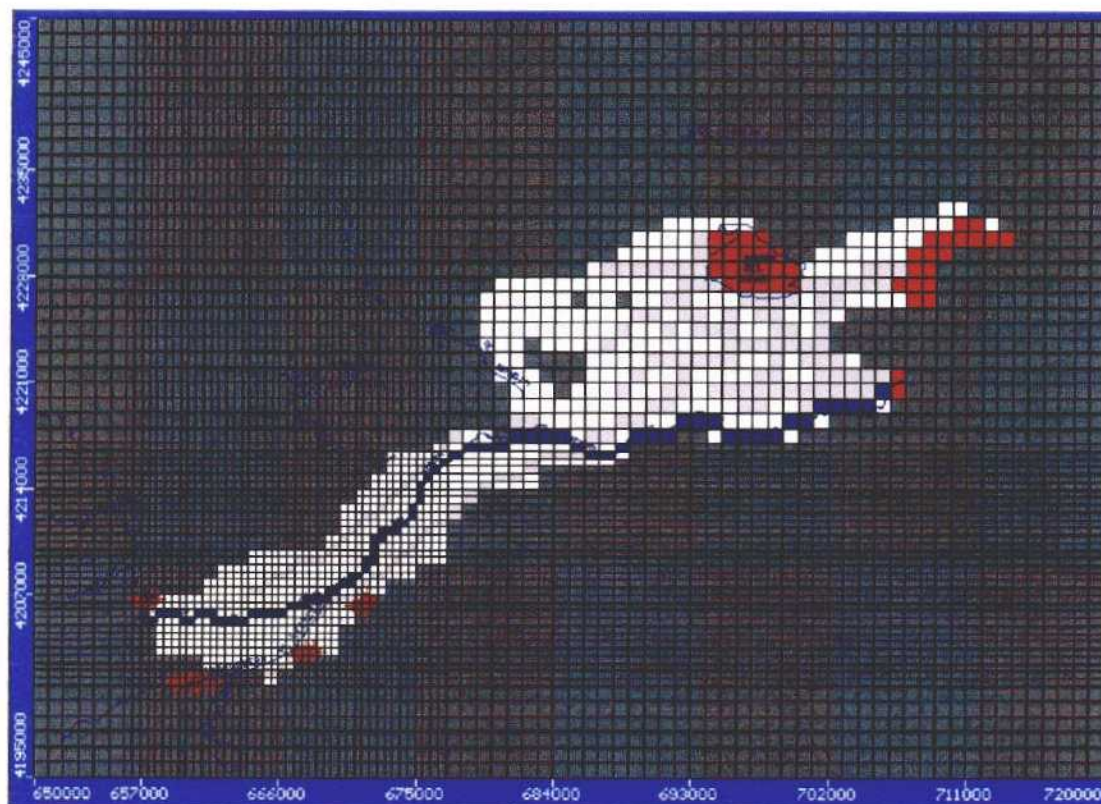


Figura 12.3 - Condiciones de contorno en el modelo numérico de la Vega del Segura.

d) Condición de dren: empleada para simular el comportamiento de los principales azarbes de la Vega Media y Baja del Segura. Este tipo de condición es similar a la anterior, aunque difiere en que sólo permite reproducir la descarga o drenaje de agua. Es decir, si el nivel piezométrico se encuentra por debajo de la cota de fondo del dren, no se produce recarga al acuífero. Los parámetros que requiere este tipo de condición son la cota del fondo y la conductancia. Las cotas del lecho de los azarbes se han obtenido a partir de mapas a escala 1:5.000 de la CARM y nivelación topográfica realizada en el Proyecto. Dada la elevada incertidumbre asociada al agua drenada por los azarbes, el valor de la conductancia se ha obtenido durante la fase de ajuste y calibración del modelo numérico.

e) Condición de nivel constante: empleada para simular el comportamiento de las lagunas del Hondo y Santa Pola (con un nivel en régimen estacionario igual a 3,5 y 0 m respectivamente) así como las salidas al mar (suponiendo un nivel de 0 m).

12.3.5. Recarga

La recarga se introduce en el código numérico sin diferenciar entre la recarga producida por infiltración del agua de lluvia y la producida por infiltración de retornos de riego. Por ello, la metodología adoptada ha consistido, dada la información y el tipo de estudios previos realizados, en evaluar ambos tipos de recarga por separado (apartado 11.2) para, posteriormente, considerarlas conjuntamente en el modelo.

El método utilizado para evaluar la infiltración por retorno de riego, parte de la determinación de las clases y superficies de cultivo mediante teledetección y aplicación de un Sistema de Información Geográfico referido a celdas de 1 km². Es decir, se obtienen volúmenes de agua aplicados sobre la superficie del terreno. Para la transformación de estos volúmenes de agua en recarga se ha realizado la zonificación presentada en el apartado 11.2.2 (Figuras 11.1 y 11.2). Dicha zonificación permite considerar una serie de criterios hidrogeológicos esenciales como, por ejemplo, la permeabilidad del suelo o de los materiales subyacentes, así como simplificar la entrada de datos y facilitar la calibración del modelo numérico.

Tal y como se comenta en el apartado 11.2.2.1, la metodología aplicada para la obtención de la recarga producida mediante retornos de riego se ha desarrollado siguiendo diferentes etapas o fases en coherencia con los datos disponibles y el grado de conocimiento previo. Del mismo modo, la forma de introducir la recarga en el modelo numérico ha ido evolucionando, mejorando y adaptándose a los datos y/o conocimiento en cada momento.

Inicialmente se estableció una zonificación preliminar, según los criterios comentados en el apartado 11.2.2.2, a partir de la cual se diferenciaron una serie de subzonas o clases en función del volumen de agua aplicado en superficie. Para ello, una vez calculada la recarga total (infiltración agua de lluvia más retornos de riego: Tabla 11.9 del apartado 11.2) se realizó un tratamiento estadístico simple de los datos con la finalidad de simplificar los valores de recarga obtenidos. Dicho tratamiento consistió en ordenar de menor a mayor los valores correspondientes a cada zona y representarlos, obteniendo poblaciones de datos con distintas pendientes o rectas de ajuste y definiendo tantas subzonas o clases como poblaciones de datos, asignándoles un valor promedio de recarga. Posteriormente, se comprobó que la suma de la recarga total real fuera igual a la obtenida mediante dicho procedimiento para cada zona. Esta metodología permitió diferenciar las clases o subzonas presentadas en la Tabla 12.3. Como se observa, se diferenciaron un total de 15 subzonas o clases. La distribución espacial de las mismas, una vez introducidas al modelo numérico, se presenta en la Figura 12.4.

Tabla 12.3. - Subzonas o clases de recarga introducidas inicialmente en el modelo numérico: Recarga (mm/a) y extensión superficial (km²)

	Zona	Subzona o clase	Recarga (mm/a)	Extensión superficial (km ²)	
VEGA BAJA	1	1a	15	12	
		1b	50	246	
		1c	70	19	
					277
	2	2a	0	27	
		2b	50	26	
		2c	115	150	
		2d	165	151	
		2e	185	29	
					383
	3	3a	50	22	
		3b	70	20	
3c		100	4		
				46	
VEGA MEDIA	4	4a	65	30	
		4b	101	66	
		4c	135	62	
		4d	163	45	
				203	



Figura 12.4 - Zonas y subzonas de recarga introducidas inicialmente en el modelo numérico.

Posteriormente y como consecuencia de los cambios introducidos en la zonificación inicial (apartado 11.2.2.3) se modificó la forma de introducir la recarga en el modelo, diferenciándose cuatro zonas principales de recarga cuyos valores y distribución se presentan en la Tabla 12.4 y Figura 12.5. Previamente a la calibración del modelo numérico, se realizó un estudio preliminar, suponiendo un mismo conjunto de parámetros y condiciones de contorno, con objeto de comparar los resultados obtenidos en función de la forma de introducirse la recarga. Dadas las escasas diferencias obtenidas, se decidió mantener las cuatro zonas de recarga finalmente comentadas por considerarse más coherentes con el modelo conceptual así como por simplificar y facilitar la posterior calibración del modelo numérico en régimen transitorio (ver apartado 12.4.1). La metodología empleada y los valores de recarga obtenidos para el periodo 1994-2001 se presentan en el apartado 11.2.2.4 y Anejo 6.2.

El código numérico utilizado permite tratar la recarga mediante dos opciones: 1) aplicándola únicamente sobre la capa 1 (acuífero superficial) ó 2) aplicándola a la celda activa más alta en la vertical. Como se tratará ampliamente en capítulos posteriores, en el modelo numérico realizado se han considerado simultáneamente ambas opciones con objeto de contrastar los resultados obtenidos y disponer de una visión lo más amplia posible con respecto al funcionamiento del acuífero. En la Vega Media y Baja, considerar una u otra opción de recarga, se encuentra directamente relacionado con la importancia o contribución relativa de la recarga producida a través tanto de los limos y arcillas aflorantes en el Campo de Elche (Zona C) como de los materiales triásicos (Zona D)

Tabla 12.4. - Zonas de recarga finalmente introducidas en el modelo numérico: Recarga (mm/año) y extensión superficial (km²)

Zona	Recarga (mm/a)	Extensión superficial (km ²)	Tipo de recarga
A	124	163	Lluvia + riego
B	140	345	Lluvia + riego
C	55	299	Lluvia + riego
D	46	43	Lluvia

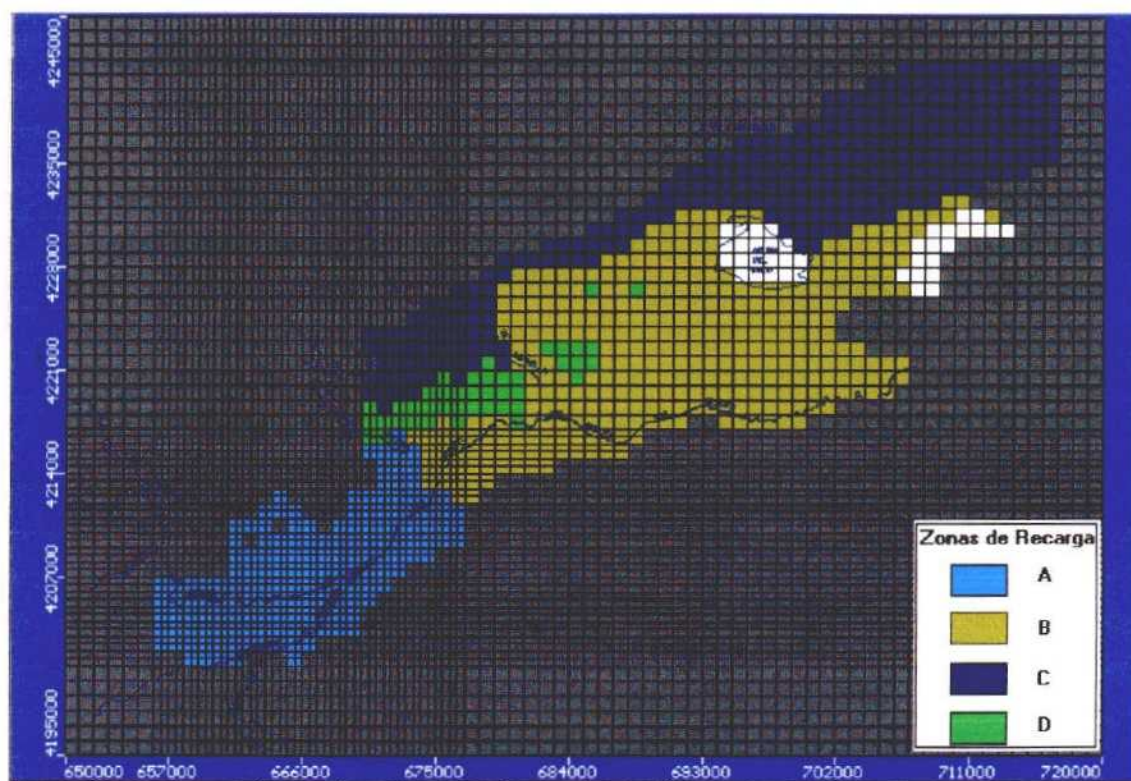


Figura 12.5 - Zonas de recarga definitivamente consideradas en el modelo numérico de la Vega Media y Baja del Segura.

12.3.6. Parámetros hidráulicos

Los parámetros hidráulicos inicialmente considerados en el modelo numérico (estimación previa) han sido los obtenidos a partir de la interpretación de ensayos de bombeo así como de diversos estudios previos realizados en la Vega Media (IGME-COPOT, 2001) y en la Vega Baja (ITGE-DPA, 1996; ITGE-DPA, 1997; ITGE-DPA, 2000). Se ha tenido especialmente en cuenta tanto la distribución espacial de litofacies a escala 1:100000 obtenida a partir de las columnas litológicas disponibles en estudios anteriores (ITGE-DPA, 1997) como la conductividad hidráulica obtenida en modelos numéricos previos realizados (ITGE-DPA, 1996; IGME-COPOT, 2001). A partir de dichos valores se ha realizado una zonificación inicial, tanto para la conductividad hidráulica como para el coeficiente de almacenamiento, la cual ha ido modificándose y mejorándose a lo largo del proceso de calibración.

Con respecto a la conductividad hidráulica, en una primera etapa y con objeto de establecer una aproximación inicial a partir de la estimación previa se ha considerado un medio isótropo, es decir, $K_x = K_y = K_z$. El rango inicial de valores de conductividad hidráulica considerado ha sido de entre 2,5 y 10 m/día (acuífero superficial ó Capa 1) y entre 100 y 300 m/día (acuífero profundo o Capa 3). Con respecto al semiconfinante (Capa 2) y en coherencia con el modelo hidrogeológico conceptual, en la Vega Media se ha considerado una conductividad hidráulica igual al acuífero superficial (10 m/día), mientras que en la Vega Baja se ha supuesto un valor constante de 2,5 m/día. En relación con la conductividad hidráulica de los niveles calizos y dolomíticos (materiales triásicos) aflorantes en la Sierra de Callosa y Sierra de Orihuela, se ha tenido en cuenta, como punto de partida, el espesor medio y la conductividad hidráulica media estimada correspondiente a las formaciones de las principales unidades tectónicas diferenciadas en estudios anteriores. La potencia media de los niveles permeables se encuentra comprendida entre los 20 y 120 m, mientras que la conductividad hidráulica media estimada oscila entre 1 y 100 m/día (ITGE-DPA, 1997). Ello supone un rango muy variable tanto de conductividad hidráulica como de transmisividad, oscilando esta última entre 20 y 12000 m²/día. Eliminando los valores extremos se obtiene una conductividad hidráulica y una transmisividad media de 12.6 m/día y 1154 m²/día respectivamente. Al asignar los valores de conductividad hidráulica iniciales se ha tenido en cuenta tanto el rango de transmisividades comentado como los espesores utilizados en el modelo numérico, para lo cual se han definido dos zonas principales: a) materiales triásicos aflorantes con un espesor superior a los 200 m y b) materiales triásicos aflorantes con un espesor inferior a los 200 m. En la Tabla 12.5 se presentan la estimación previa de la conductividad hidráulica para cada una de estas zonas teniendo en cuenta el espesor y los rangos de transmisividad anteriores.

Tabla 12.5. Estimación previa de la conductividad hidráulica en los afloramientos triásicos (Capa 3)

	K (m/día)	ESPESOR			TRANSMISIVIDAD		
		MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX
Trias aflorante (espesor med > 200)	2.5	206	322	478	515	805	1195
Trias aflorante (espesor med < 200)	10	65	117	199	650	1170	1990

La distribución espacial (zonificación) de la conductividad hidráulica inicialmente considerada se presenta en las Figuras 12.6 (Capa 1) y 12.7 (Capa 3). Como se observa, se han diferenciado 12 zonas iniciales (4 en la Capa 1, 2 en la Capa 2 y 6 en la Capa 3)

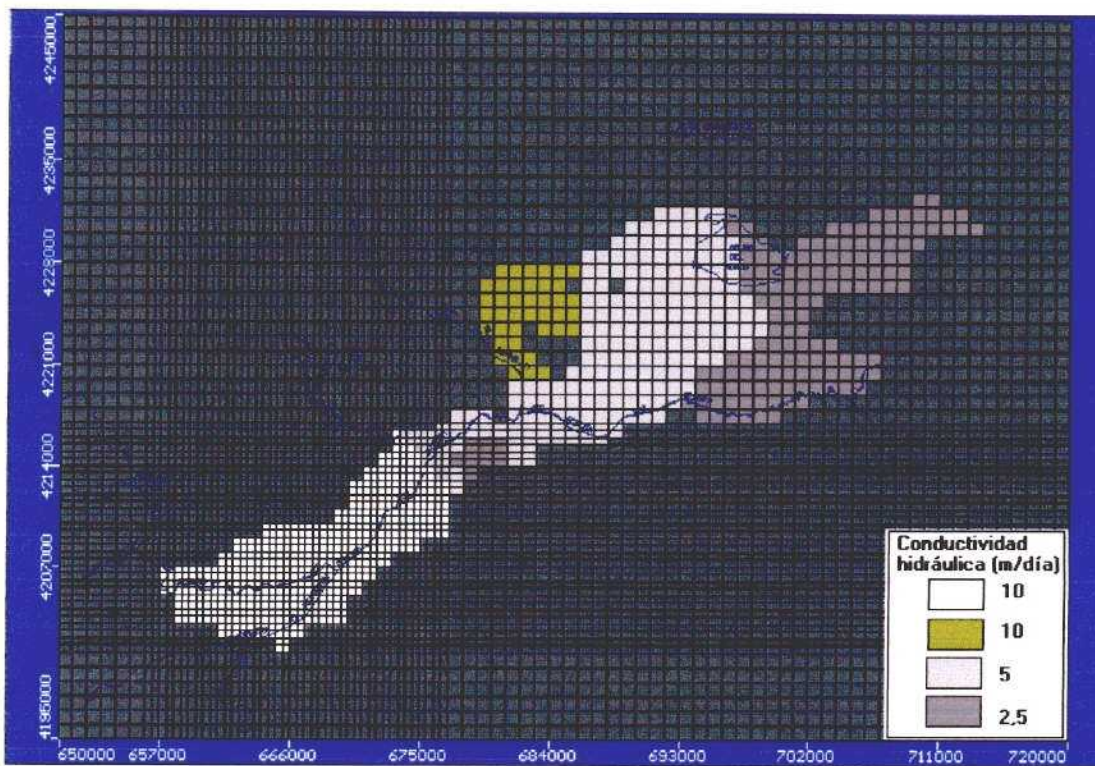


Figura 12.6. – Zonificación inicial de la conductividad hidráulica en el modelo numérico (Capa 1)

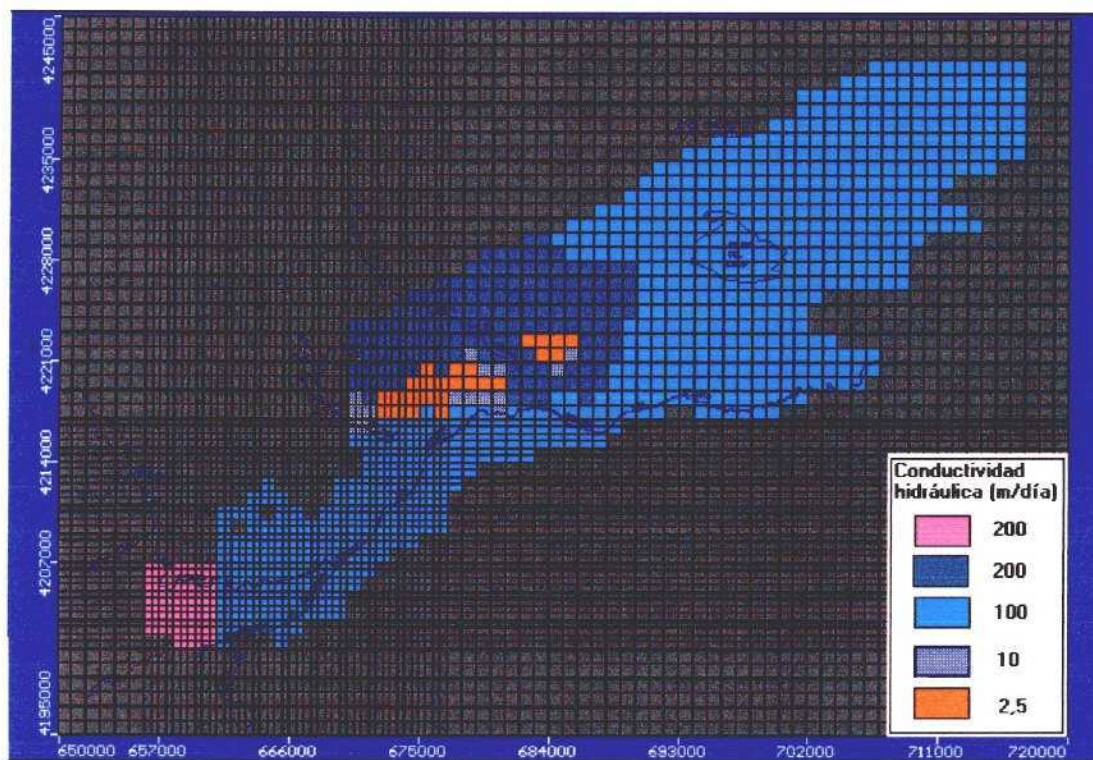


Figura 12.7. – Zonificación inicial de la conductividad hidráulica en el modelo numérico (Capa 3)

Tras la realización de un análisis preliminar detallado de los resultados (teniendo en cuenta tanto el balance de agua como el ajuste entre los niveles calculados y los observados) en una fase más avanzada de la calibración se decidió pasar a considerar un medio anisótropo, es decir, $K_x = K_y < K_z$ más coherente con el modelo conceptual. El motivo de dicha elección radica en la presencia de una alternancia de materiales permeables (arenas y gravas) con materiales poco permeables (arcillas y limos) lo que induce a pensar en la existencia de un flujo con una marcada componente horizontal. Ello resulta particularmente importante en el caso del acuífero profundo, dado su mayor espesor y teniendo en cuenta, además, que se encuentra constituido (sobre todo en la Vega Baja) por varios tramos permeables en muchos casos difícilmente identificables. Es por ello que, en general, se ha tratado de asignar una conductividad hidráulica vertical considerablemente inferior a la horizontal. Para tener un orden de magnitud inicial de la misma se han consultado los diferentes sondeos con columna litológica existentes observando la proporción entre tramos permeables y poco permeables.

Teniendo en cuenta dicha anisotropía y una vez dado por finalizada la fase de ajuste y calibración, las zonas y valores de conductividad hidráulica finalmente obtenidos se presentan en la Tabla 12.6, Figura 12.8 (Capa 1) y Figura 12.9 (Capa 3).

Tabla 12.6. Valores de conductividad hidráulica finalmente consideradas en el modelo numérico (m/día)

Capa	Zona	$K_x = K_y$	K_z
1	1	50	1.5
	7 8 9	10	10
2	2	50	1.5
	11	2.5	1
	5	0.001	0.001
3	14	400	5
	3	375	5
	4	375	5
	12	150	5
	13	0,5	0.5
	15	2,5	2.5

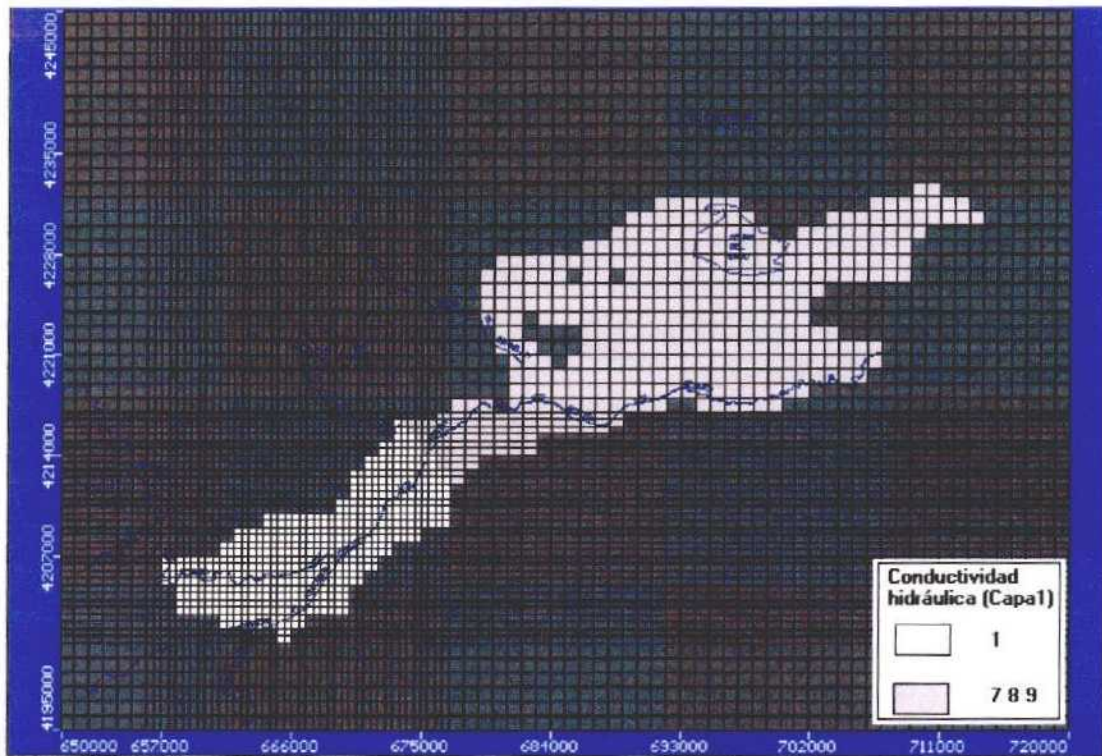


Figura 12.8. – Zonificación final de la conductividad hidráulica en el modelo numérico (Capa 1)

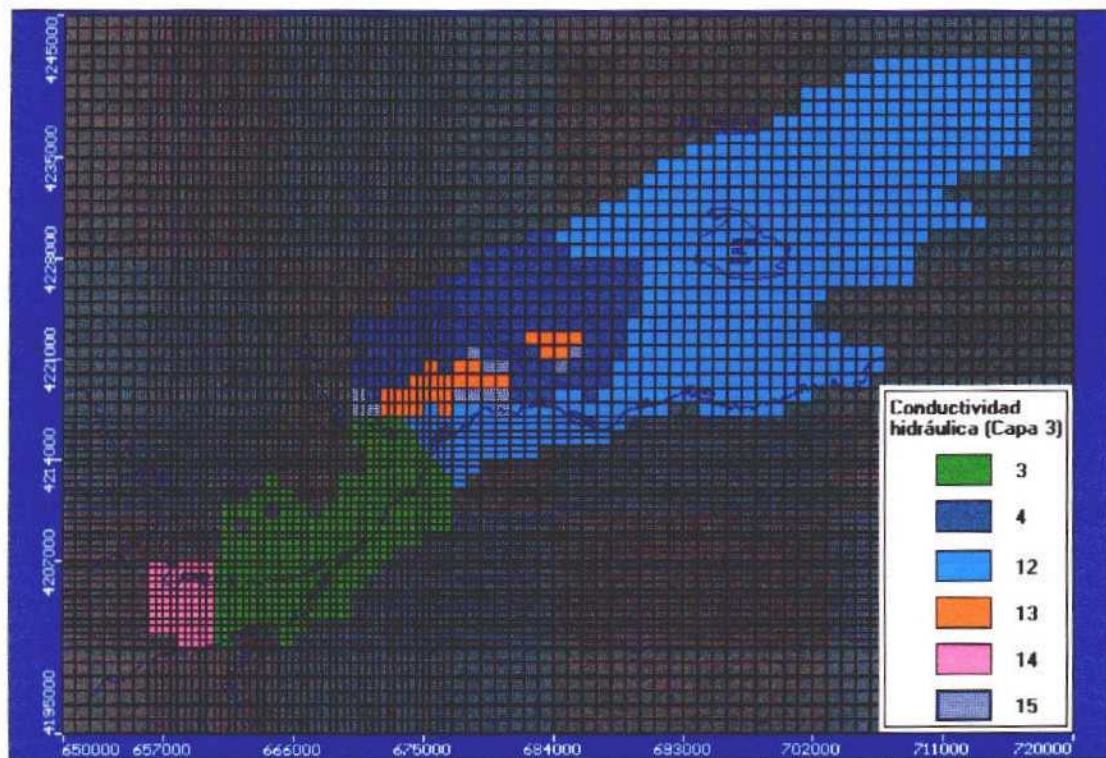


Figura 12.9. – Zonificación final de la conductividad hidráulica en el modelo numérico (Capa 3)

Con respecto a los parámetros relacionados con el almacenamiento, se han definido cinco zonas iniciales teniendo en cuenta la información previa disponible, espesores considerados en el modelo numérico y valores típicos de porosidad eficaz y total de los materiales afectados (Custodio y Llamas, 1983) (Tabla 12.7). Los principales parámetros asignados a cada una de estas zonas se presentan en la Tabla 12.8.

Tabla 12.7. Valores típicos de porosidad eficaz y total en función del tipo de material (Custodio y Llamas, 1983)

		Porosidad eficaz			Porosidad total
		min	med	max	
Superficial	Arena fina	0.1	0.21	0.28	0.3
Semiconfinante	Arcilla arenosa	0.03	0.07	0.12	0.4
Profundo	Arena con grava/ Grava fina	0.2	0.25	0.35	0.35

Tabla 12.8. Zonas y parámetros de almacenamiento inicialmente considerados en el modelo numérico

Capa	Zona	Almacenamiento específico (Ss)	Coefficiente almacenamiento (Sy)	Porosidad Efectiva	Porosidad Total
1	2	0.021	0.21	0.21	0.3
2 (*)	3	0.035	0.07	0.07	0.4
2	4	2×10^{-5}	3×10^{-4}	0.07	0.4
3 (*)	5	0.0125	0.25	0.25	0.35
3	1	3×10^{-6}	3×10^{-4}	0.25	0.35

(*)= Cabecera de la Vega Media

Se ha considerado un rango inicial en el coeficiente de almacenamiento comprendido entre 0,2 (acuífero superficial) y 3×10^{-4} (acuífero profundo). En relación con el resto de parámetros relacionados con el almacenamiento, se ha supuesto una porosidad eficaz o drenable igual al coeficiente de almacenamiento en el acuífero superficial (comportamiento libre) y de 0,25 en el acuífero profundo, de acuerdo con el valor medio indicado en la Tabla 12.7 Con respecto a la porosidad total se ha supuesto unos valores del 30% y 35% para los acuíferos superficial y profundo respectivamente.

Durante la fase de ajuste y calibración del modelo numérico en régimen transitorio se han ido modificando los valores anteriormente comentados, teniendo en cuenta: el

carácter libre o cautivo de cada capa, el espesor medio de cada capa y los resultados preliminares obtenidos. Las zonas y parámetros de almacenamiento finalmente considerados se presentan en la Tabla 12.9 y Figura 12.10.

Tabla 12.9. Zonas y parámetros de almacenamiento finalmente considerados (hipótesis E)

Capa	Zona	Almacenamiento específico (Ss)	Coefficiente almacenamiento (Sy)	Porosidad Efectiva	Porosidad Total
1	7	0,0015	0,03	0,03	0,3
1	2	0,045	0,09	0,09	0,3
2 (*)	3	0,015	0,03	0,03	0,4
2	4	0,0045	0,09	0,12	0,4
3	1 y 5	$2,5 \times 10^{-6}$	3×10^{-4}	0,25	0,35

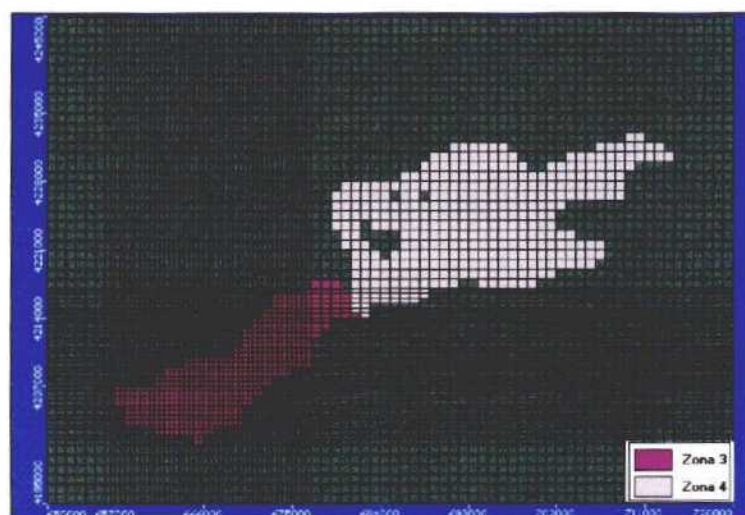
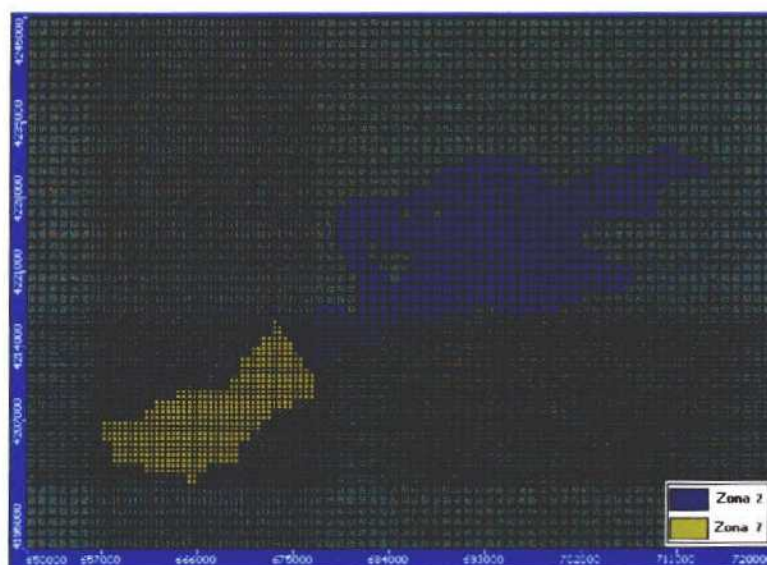


Figura 12.10 – Zonificación de los parámetros de almacenamiento (Capas 1 y 2).

12.3.7. Explotación por bombeo

Los estudios y la metodología aplicada para la obtención de los datos de bombeo relativos al periodo considerado para la simulación y calibración en régimen transitorio (1994/95-2000/01) se presentan en el apartado 11.3.5 y, más extensamente, en el Anejo 6-2. Los datos obtenidos se han trasladado al formato requerido por el código numérico empleado. Dentro de cada mes, 84 meses en total, el bombeo es estima que ha permanecido constante.

12.4. AJUSTE Y CALIBRACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO

12.4.1. Introducción

El ajuste y calibración del modelo numérico se ha realizado en régimen estacionario y transitorio. A partir de información previa y del modelo conceptual presentado en el apartado 11 (evaluación de la recarga, descarga y análisis detallado de la evolución piezométrica durante el periodo 1970-2000), se ha decidido elegir el periodo 1973-75 como el más representativo para simular y calibrar el funcionamiento de la Vega Media y Baja en condiciones poco influenciadas (régimen estacionario). La simulación del modelo numérico en régimen transitorio se ha realizado para el periodo comprendido entre octubre de 1994 y septiembre de 2001 (paso de tiempo mensual) teniendo en cuenta el aumento de la explotación de las aguas subterráneas y, por tanto, la mayor disponibilidad de datos de extracción como consecuencia del periodo de sequía comprendido entre 1992 y 1995.

El proceso de ajuste ha sido iterativo, tanteando los diferentes parámetros a partir de la información previa disponible y calibrando mediante la comparación de los niveles piezométricos medidos con los calculados así como mediante la comprobación de los balances resultantes. Durante la calibración se han considerado conjuntamente tanto los niveles medidos en el acuífero superficial (Capa 1) como los medidos en el acuífero profundo (Capa 3), es decir, se ha tenido en cuenta, además, la diferencia de nivel existente entre ambos acuíferos.

Los criterios utilizados durante la fase de ajuste y calibración del modelo numérico (régimen estacionario y transitorio) han sido fundamentalmente los siguientes:

- Funcionamiento hidrogeológico regional: esquema, dirección y sentido preferente del flujo.

- Comparación entre niveles medidos y calculados (acuífero superficial y profundo)
- Balance hídrico tanto en la Vega Media como en la Vega Media y Baja del Segura.
- Balance de agua en el río Segura (primer y segundo tramo; apartado 11.3.1)

Con respecto a los niveles piezométricos introducidos en el modelo numérico (puntos de observación) es preciso tener en cuenta la limitación relacionada con el hecho de considerar conjuntamente los niveles estáticos correspondientes a diversos pozos o sondeos situados en estratos permeables distintos. Esta simplificación puede llevar a errores en función de la diferencia de carga hidráulica existente entre los distintos estratos permeables.

El apartado comienza presentando los objetivos, metodología y principales resultados obtenidos de la calibración del modelo numérico en régimen estacionario. Para ello, se resumen las fases o etapas realizadas y se presentan los últimos resultados obtenidos, valorándolos y comparándolos con el modelo conceptual. A continuación se presenta un análisis de sensibilidad detallado con la finalidad de evaluar cuales son los principales parámetros que controlan el flujo de agua subterránea y realizan las principales conclusiones derivadas tanto de la calibración del régimen estacionario como de dicho análisis de sensibilidad. Finalmente, se presentan los principales resultados y conclusiones obtenidas de la calibración del modelo en régimen transitorio.

12.4.2. Régimen estacionario

12.4.2.1. Objetivo y metodología

El principal objetivo durante la fase de ajuste y calibración en régimen estacionario ha sido reproducir el funcionamiento del acuífero durante el periodo 1973-75, considerándolo como razonablemente representativo de unas condiciones poco influenciadas. Por lo tanto, la entrada de datos (recarga, condiciones de contorno...) así como los datos utilizados para la calibración (puntos de observación, balances de agua...) han sido coherentes con la información y/o grado de conocimiento correspondiente a dicho periodo.

El elevado número de parámetros implicados en el funcionamiento de la Vega Media y Baja, su estrecha relación y la elevada incertidumbre asociada, ha llevado a plantear una metodología de trabajo en diferentes fases o etapas, partiendo de planteamientos o esquemas de funcionamiento sencillos y complicándolos progresivamente hasta alcanzar una aproximación lo más representativa posible de la situación real. Esta metodología se ha aplicado tanto en general, calibrando el modelo inicialmente en régimen estacionario (condiciones poco influenciadas) y posteriormente en transitorio (periodo 1994-2001), como en particular, a lo largo del proceso de calibración del modelo en régimen estacionario. La calibración del modelo en régimen estacionario se ha realizado en cuatro etapas principales:

- a) Simulaciones y análisis de sensibilidad preliminares: con objeto de obtener una primera aproximación al problema e identificar el peso o grado de incidencia de los principales parámetros implicados en el funcionamiento del acuífero.
- b) Planteamiento de hipótesis de funcionamiento iniciales: teniendo en cuenta la forma de introducir la recarga, ajuste de niveles, balance de agua en el río e importancia de las principales salidas de agua en la Vega Baja.
- c) Obtención, valoración y discusión de resultados iniciales: presentación de los mismos, limitaciones y planteamiento de los cambios o modificaciones necesarias
- d) Planteamiento de hipótesis de funcionamiento finales: teniendo en cuenta todo lo anteriormente comentado además de la realización de análisis de sensibilidad parciales relacionados tanto con la permeabilidad vertical como con la conductancia

Durante la fase de ajuste y calibración, con objeto de controlar el error obtenido al comparar los niveles observados con los calculados, los 142 puntos de observación se han agrupado en los siguientes sectores: Vega Media, Vega Baja, Triásico, cabecera de la Vega Media, norte de la Vega Baja, centro de la Vega Baja y sur de la Vega Baja (Figura 12.11). Para controlar el balance tanto en la Vega Media como en la Vega Media y Baja se han definido las zonas de balance presentadas en la Tabla 12.10 y Figuras 12.12 y 12.13. En los casos en los que se produce una superposición de zonas (zonas 1a, 6, 9 y 5b) el modelo numérico se ha ejecutado dos veces con objeto de evaluar el balance en cada una de ellas.

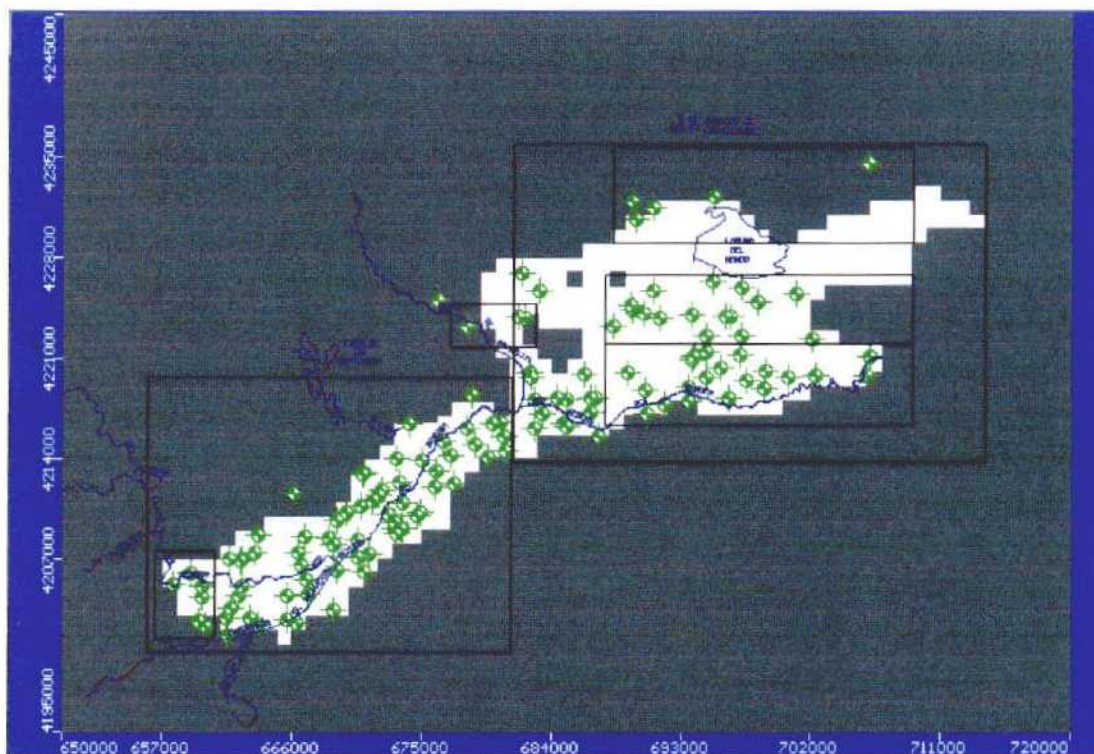


Figura 12.11. Principales sectores de puntos de observación diferenciados durante la fase de ajuste y calibración

Tabla 12.10. Principales zonas de balance diferenciadas durante la fase de ajuste y calibración

Zona	Descripción
1a	Acuífero superficial (Vega Media y Baja)
1b	Acuífero superficial (Vega Baja)
4a	Acuífero profundo (Vega Media y Baja)
4b	Acuífero profundo (Vega Baja)
2	Semiconfinante (Vega Baja)
5a	Semiconfinante (Vega Media)
5b	Vega Media
6	Tramo 1 del Río Segura
9	Tramo 2 del Río Segura
7	Tramo 3 del Río Segura
8	Tramo 4 del Río Segura
10	Laguna del Hondo
11	Laguna de Santa Pola
12	Salidas al mar

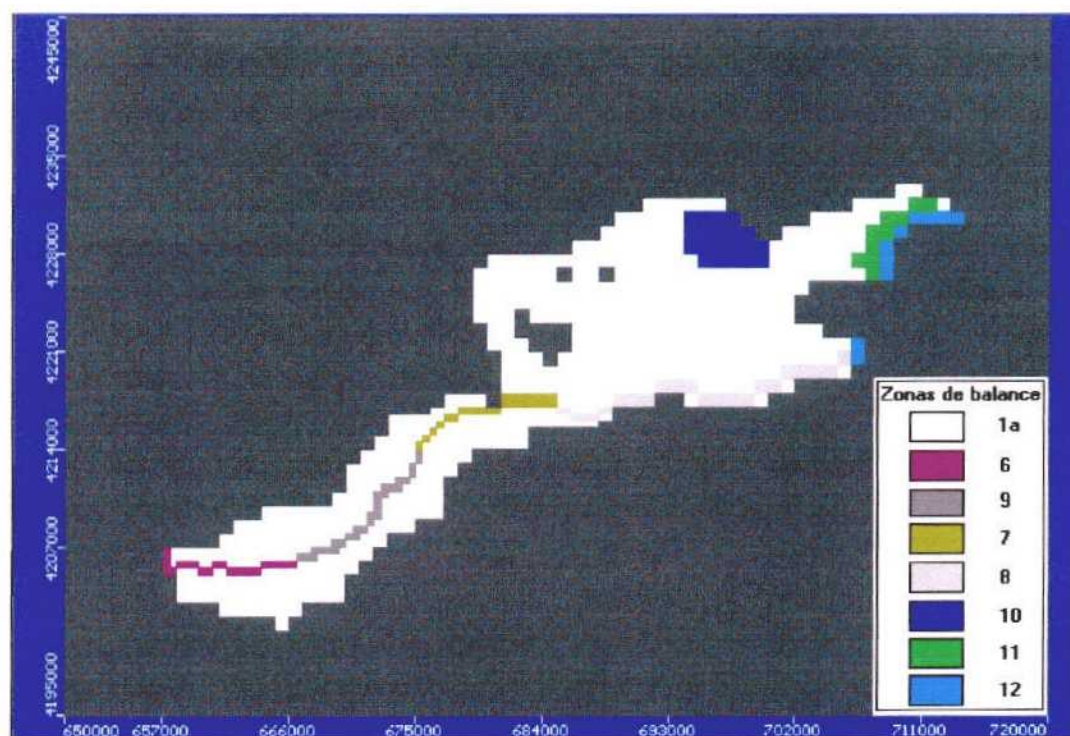


Figura 12.12. - Principales zonas de balance diferenciadas durante la fase de calibración en la Capa 1

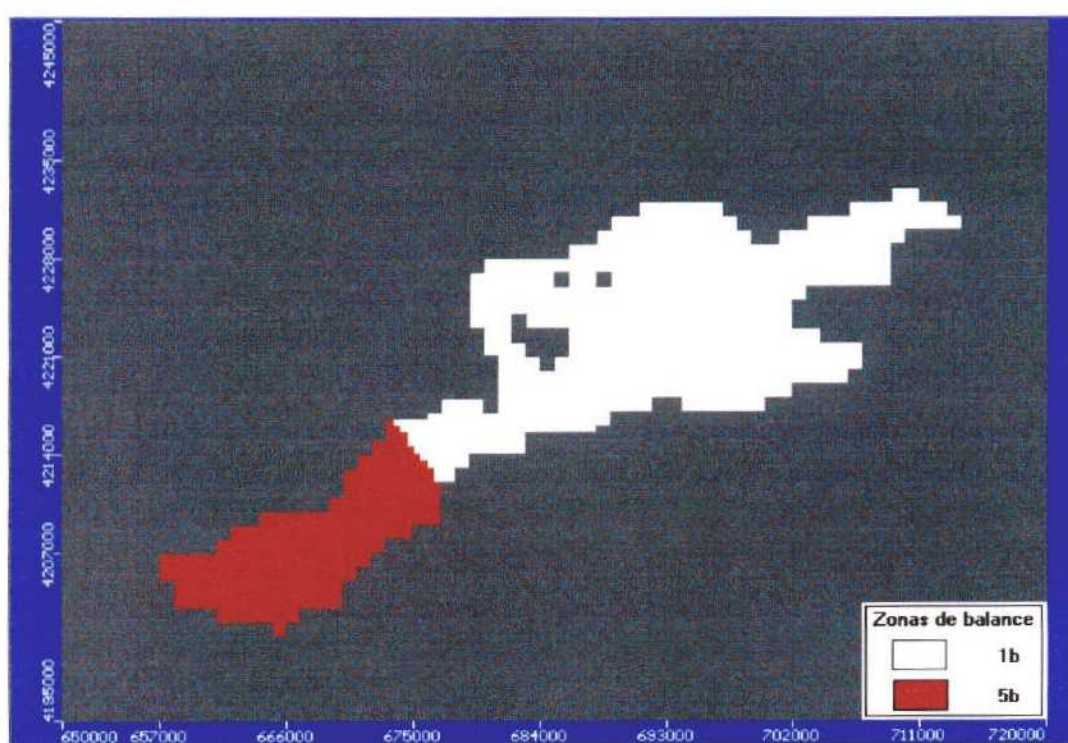


Figura 12.13. - Principales zonas de balance diferenciadas en las capas 1, 2 y 3

12.4.2.2. Presentación de resultados

A partir de todas las observaciones y resultados preliminares obtenidos hasta el momento, se han elegido aquellas hipótesis y conjunto de parámetros que siendo coherentes con el modelo conceptual, mejor reproducen el funcionamiento hidrogeológico de la Vega Media y Baja. De esta forma, se han seleccionado finalmente las hipótesis A y B, según se considere o no la presencia de las lagunas del Hondo y Santa Pola

Los valores y distribución de la recarga considerados en ambas hipótesis son los presentados en el apartado 12.3.5 (Tabla 12.4 y Figura 12.5), aunque suponiendo una recarga nula en la Zona C. Dicha elección se sustenta en la baja permeabilidad de los limos y arcillas aflorantes en dicha zona así como los resultados preliminares comentados en el apartado 12.4.2.2. No obstante, durante la realización del análisis de sensibilidad presentado en el apartado siguiente sí se evalúa la posible contribución a la recarga proveniente de esta zona. Con respecto a la forma de introducir la recarga, sobre la Capa 1 (opción 1) o en la celda activa más alta en la vertical (opción 2), se han considerado inicialmente ambos casos con objeto de contrastar los resultados y obtener una visión lo más amplia posible acerca del funcionamiento hidrogeológico del acuífero.

En la Tabla 12.11 se resumen los principales datos de entrada y salida correspondientes a las hipótesis A y B, incluyendo tanto el balance como el ajuste obtenido entre los niveles observados y calculados en distintas zonas de la Vega (según la opción de recarga considerada). Se compara, además, el balance obtenido en el modelo numérico con el del modelo conceptual (periodo 1973-75) tanto para la Vega Media (Tabla 12.12) como para la Vega Media y Baja (Tabla 12.13), nuevamente según la hipótesis y opción de recarga considerada.

Los resultados obtenidos son, independientemente de la hipótesis y opción de recarga considerada, razonablemente coherentes con el modelo conceptual, observándose, en general, cómo los niveles medidos presentan un buen ajuste con respecto a los calculados por el código MODFLOW. Es decir, la representación de los niveles medidos frente a los calculados tiende a ajustarse a la recta de 45°. Así mismo, los términos y balances de agua obtenidos son también, por lo general, coherentes con la información previa disponible.

Tabla 12.11. - Principales datos de entrada y salida correspondientes a las hipótesis A y B según la opción de recarga considerada (A1 y B1: sobre la Capa 1; A2 y B2: sobre la celda activa más alta en la vertical)

HIPÓTESIS	CONDUCTANCIA			DRENES VM y VB	PERMEABILIDAD															
	RIO				TRAMO 1 (VEGA MEDIA)			TRAMO 2 (VEGA MEDIA)			VEGA BAJA									
	C1	C2	C3		CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 3					CAPA 1			CAPA 2	
					Zona 1	Zona 2	Zona 14	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 10	Zona 12	Zona 13	Zona 15	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 11	Zona 5
A1	30000	1000000	2500	50 y 1000	50 (1,5)	50 (1,5)	400 (5)	50 (1,5)	50 (1,5)	375 (5)	375 (5)	150 (5)	150 (5)	0,5	2,5	10	10	10	2,5 (1)	0.001
A2	30000	1000000	2500	50 y 1000	50 (1,5)	50 (1,5)	400 (5)	50 (1,5)	50 (1,5)	375 (5)	375 (5)	150 (5)	150 (5)	0,5	2,5	10	10	10	2,5 (1)	0.001
B1	30000	1000000	2500	50 y 850	50 (1,5)	50 (1,5)	400 (5)	50 (1,5)	50 (1,5)	375 (5)	375 (5)	150 (5)	150 (5)	0,5	2,5	10	10	10	2,5 (1)	0.001
B2	30000	1000000	2500	50 y 850	50 (1,5)	50 (1,5)	400 (5)	50 (1,5)	50 (1,5)	375 (5)	375 (5)	150 (5)	150 (5)	0,5	2,5	10	10	10	2,5 (1)	0.001

HIPÓTESIS	BALANCE															
	RECARGA		APORTES	RIO (VEGA MEDIA)				RIO (VEGA BAJA)		DRENES						
	TOTAL	ZONA A (VM)	LATERALES	ENTRADA	SALIDA	%SUB	E-S	VM - VB	TRAMO 3	TRAMO 4	VM	VB	L. HONDO	MAR	E-S	
A1	62.44	15,4	3.99	128.35	108.8	47	19.55	39.8	29.32	3.98	2.27	31.15	18.17	1.71	-0.62	
A2	70.29	19.97	3.99	125.78	111.3	48	14.48	39.3	30.5	3.5	2.3	31.8	18.4	1.71	0.55	
B1	62.51	15.4	3.99	128.34	108.8	47	18.1	39.8	30.16	5.36	2.27	46.9	No	6.29	-4.94	
B2	70.29	19.97	3.99	125.78	111.4	48	14.38	39	31.39	5.77	2.3	47.68	No	6.31	-4.79	

HIPÓTESIS	NIVELES							
	TODOS	CABECERA VM	RESTO (VMB)	TRIAS	VB	VB (norte)	VB (centro)	VB (sur)
A1	1,91	3,41	1,80	4,3	1,89	-3,14	2,04	1,41
A2	1,93	3,51	1,81	4,6	1,89	-3,1	2,07	1,42
B1	1,98	3,41	1,87	4,83	2,03	-0,87	2,71	1,51
B2	2,01	3,51	1,89	5,25	2,04	-0,81	2,76	1,51

Tabla 12.12. – Comparación entre el balance correspondiente al periodo 1973-75 (modelo conceptual) y el obtenido por el modelo numérico según la opción de recarga considerada (Vega Media)

	BALANCE ESTACIONARIO 73-75:	BALANCE ESTACIONARIO 73-75:	
	MODELO CONCEPTUAL	MODELO NUMERICO	
	VEGA MEDIA (opción 1)	VEGA MEDIA (Hipótesis A1 y B1)	
Infiltración lluvia+riego (Zona A)	16.52	15.4	1.12
Guadalentin	2.5	2.5	
Vega Alta	1.1	1.1	
Cresta del Gallo	0.39	0.39	
Río Segura	124	128.3	-4.3
ENTRADAS	144.51	147.69	-3.18
Descarga río	109	108.8	0.2
Descarga azarbes	?	2.27	
Descarga Vega Baja	35.5	39.8	-4.3
SALIDAS	144.5	150.87	-6.37
BALANCE RIO	15	19.5	-4.5
BALANCE	0.01	-3.18	3.19
	VEGA MEDIA (opción 2)	VEGA MEDIA (Hipótesis A2 y B2)	
Infiltración lluvia+riego (Zona A)	20.16	19.97	0.19
Guadalentin	2.5	2.5	
Vega Alta	1.1	1.1	
Cresta del Gallo	0.39	0.39	
Río Segura	123	125.7	-2.7
ENTRADAS	147.15	149.66	-2.51
Descarga río	111.3	111.3	0
Descarga azarbes	?	2.3	
Descarga Vega Baja	35.5	39.3	-3.8
SALIDAS	146.8	152.9	-6.1
BALANCE RIO	11.7	14.4	-2.7
BALANCE	0.35	-3.24	3.59

Tabla 12.13. – Comparación entre el balance correspondiente al periodo 1973-75 (modelo conceptual) y el obtenido por el modelo numérico según la opción de recarga considerada (Vega Media y Baja)

	BALANCE ESTACIONARIO 73-75: MODELO CONCEPTUAL	BALANCE ESTACIONARIO 73-75: MODELO NUMERICO		BALANCE ESTACIONARIO 73-75: MODELO NUMERICO	
	VEGA MEDIA + BAJA (opción 1)	VEGA MEDIA + BAJA (Hipótesis A1)		VEGA MEDIA + BAJA (Hipótesis B1)	
		Con Lagunas		Sin Lagunas	
Infiltración lluvia+riego	68.51	62.44	6.07	62.51	6
Guadalentín	2.5	2.5		2.5	
Vega Alta	1.1	1.1		1.1	
Cresta del Gallo	0.39	0.39		0.39	
Río Segura	124	128.3	-4.3	128.3	-4.3
ENTRADAS	196.5	194.73	1.77	194.8	1.7
Descarga río VM	109	108.8	0.2	108.8	0.2
Descarga río VB (T3)	?	29.32		30.16	
Descarga río VB (T4)	?	3.98		5.36	
Descarga azarbes VM	?	2.27		2.27	
Descarga azarbes VB	45	31.15	13.85	46.9	-1.9
Lagunas	20.5	18.17	2.33	No	
Mar	2.8	1.71	1.09	6.29	-3.49
SALIDAS	177.3	195.4	-18.1	199.78	-22.48
BALANCE	19.2	-0.67		-4.98	
	VEGA MEDIA + BAJA (opción 2)	VEGA MEDIA + BAJA (Hipótesis A2)		VEGA MEDIA + BAJA (Hipótesis B2)	
		Con Lagunas		Sin Lagunas	
Infiltración lluvia+riego	70.58	70.29	0.29	70.29	0.29
Guadalentín	2.5	2.5		2.5	
Vega Alta	1.1	1.1		1.1	
Cresta del Gallo	0.39	0.39		0.39	
Río Segura	123	125.7	-2.7	125.7	-2.7
ENTRADAS	197.57	199.98	-2.41	199.98	-2.41
Descarga río VM	111.3	111.3	0	111.4	-0.1
Descarga río VB (T3)	?	30.5		31.39	
Descarga río VB (T4)	?	3.5		5.77	
Descarga azarbes VM	?	2.3		2.3	
Descarga azarbes VB	45	31.8	13.2	47.68	-2.68
Lagunas	20.5	18.4	2.1	No	
Mar	2.8	1.71	1.09	6.31	-3.51
SALIDAS	179.6	199.51	-19.9	204.85	-25.25
BALANCE	17.97	0.47		-4.87	

Las mayores diferencias entre los niveles observados y los calculados corresponden a los puntos situados sobre los materiales triásicos (próximos a la Sierra de Orihuela), cabecera de la Vega Media y sector norte de la Vega Baja. Con respecto al balance de agua, las mayores diferencias observadas corresponden a la descarga subterránea producida en la estación de aforos de Beniel. Según el apartado 11.3.1 dicha descarga se encontraría entre el 58 y el 70 % del caudal total aforado, mientras que según el modelo numérico dicho porcentaje sería del 44-47 % en función de la hipótesis adoptada. La discusión de estos resultados se trata más ampliamente en el apartado 12.4.2.4.

Si se compara el balance resultante de las hipótesis A y B, las principales diferencias afectan fundamentalmente al agua descargada por los azarbes (31-32 hm³/año al considerar las lagunas, y 46-47 hm³/año al no considerarlas). En este segundo caso, el orden de magnitud obtenido es muy similar al evaluado en estudios anteriores en condiciones naturales, unos 45 hm³/año ^(*) (ITGE-DPA, 1996), lo cual resulta coherente ya que en dicho estudio tan sólo se considera una evaporación en la Laguna del Hondo de unos 2 hm³/año.

Las escasas diferencias obtenidas en los resultados y la elevada incertidumbre asociada a algunos términos del balance (descarga a través de los azarbes) no permite discernir, por el momento, entre una u otra hipótesis. A pesar de ello, se obtienen unos ajustes ligeramente mejores considerando la presencia de lagunas (hipótesis A), independientemente de la opción de recarga utilizada, en coherencia con las observaciones y comentarios realizados en el apartado 11.3.3. Por otro lado, se observa también ajustes ligeramente mejores suponiendo que la recarga procede predominantemente de las zonas A y B (opción 1 de recarga). La discusión de estos resultados se trata más ampliamente en el apartado 12.4.2.4.

De acuerdo con todo lo anteriormente comentado y teniendo en cuenta las escasas diferencias existentes entre las cuatro hipótesis principales presentadas, a continuación se presentan los ajustes y mapas de isopiezas correspondientes a la hipótesis A1

En la Figura 12.14 se presentan los niveles observados frente a los niveles calculados, tanto en general, como considerando el acuífero superficial y profundo por separado. El error medio absoluto obtenido para los 142 puntos de observación es de 1,91

^(*) Resultante de la calibración de un modelo numérico en la Vega Baja mediante el código FLOWPATH 5.12 sin considerar las lagunas.

m (error medio 0,94 m). El error medio absoluto obtenido para el acuífero superficial (1,74 m) es inferior con respecto al acuífero profundo (2,09 m). Así mismo, dentro del acuífero profundo, el error medio absoluto es mayor en la Vega Baja que en la Vega Media.

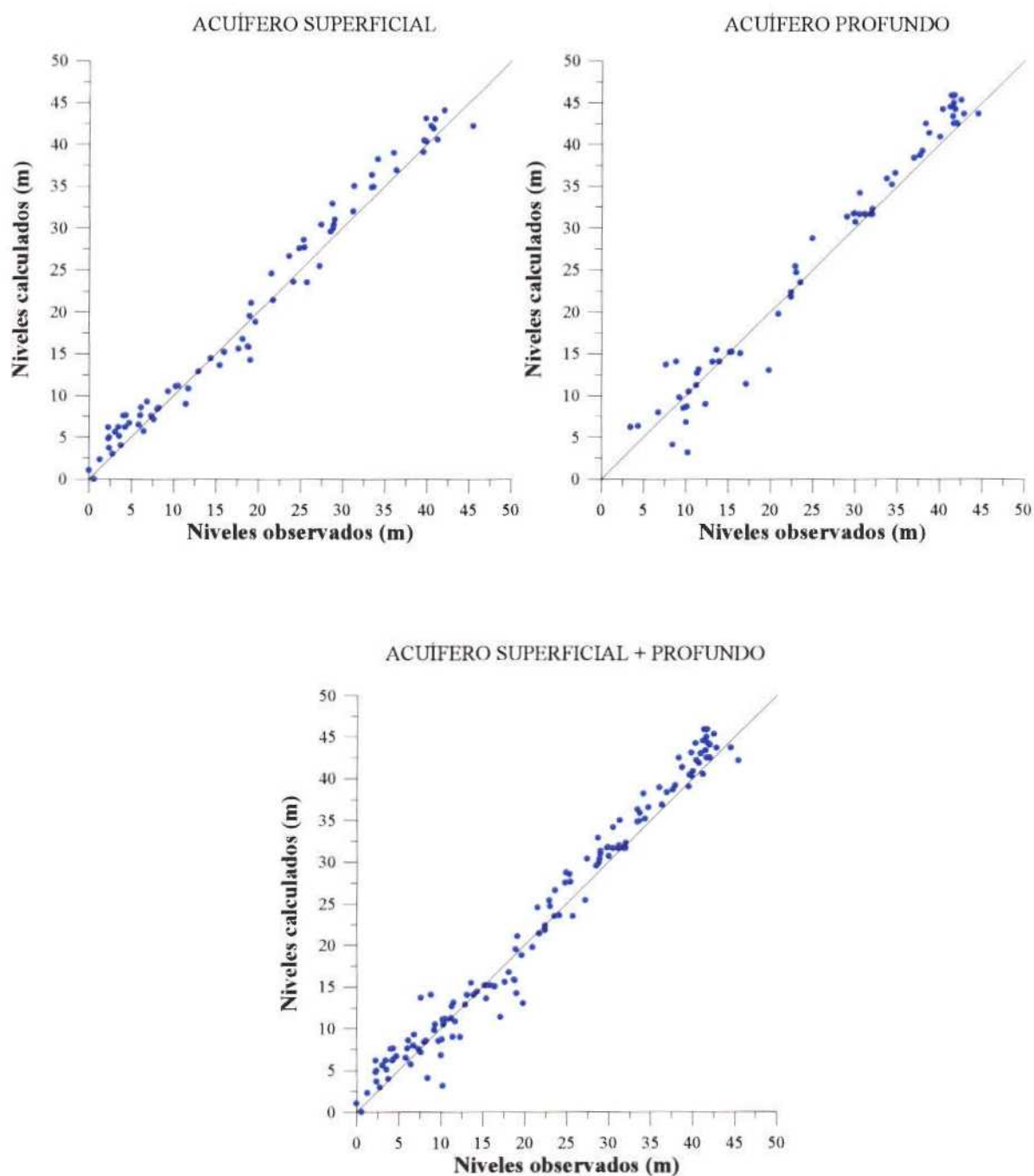


Figura 12.14. – Comparación entre niveles observados y calculados correspondientes a la hipótesis A1 diferenciando entre acuífero superficial y profundo.

Estos resultados son totalmente coherentes con el modelo conceptual, dada la mayor incertidumbre asociada al acuífero profundo debido a la presencia de un mayor número de niveles permeables hacia la Vega Baja. Si se tienen en cuenta las incertidumbres comentadas en el apartado 12.4.1 y que la cota piezométrica se encuentra comprendida aproximadamente entre los 0 y 44 m (modelo conceptual) el error medio absoluto obtenido se puede considerar como razonable. En la Tabla 12.14 se presentan los niveles observados y los calculados así como la diferencia existente para cada punto de observación considerado. En las Figuras 12.15 y 12.16 se presentan los mapas de isopiezas resultantes correspondientes a la Capa 1 (acuífero superficial) y Capa 3 (acuífero profundo y triásico).

Tabla 12.14. – Comparación entre los niveles observados y los calculados por el código numérico (hipótesis A1)

Punto de observación	Nivel observado (m)	Nivel calculado (m)	Error (observado-calculado)
1S-273640007	12.90	12.86	0.04
2S-273640008	15.40	13.60	1.80
3S-273640009	15.90	15.18	0.72
4S-273640011	18.70	15.85	2.85
5S-273650004	39.60	40.44	-0.84
6S-273660300	28.70	32.90	-4.20
8S-273660377	31.20	31.99	-0.79
9S-273660450	29.00	30.99	-1.99
10S-273660487	28.80	29.94	-1.14
11S-273660519	28.90	30.34	-1.44
12S-273660532	33.40	36.31	-2.91
13S-273660534	31.30	34.99	-3.69
14S-273660540	33.60	34.89	-1.29
15S-273660541	28.50	29.55	-1.05
16S-273660544	34.10	38.20	-4.10
18S-273670024	19.10	21.06	-1.96
19S-273670034	18.90	19.51	-0.61
20S-273670061	25.70	23.51	2.19
21S-273670070	21.70	21.39	0.31
22S-273670088	27.40	30.37	-2.97
23S-273670105	24.80	27.56	-2.76
24S-273670108	25.40	27.65	-2.25
25S-273670126	25.30	28.56	-3.26
26S-273670128	27.20	25.42	1.78
27S-273670129	23.60	26.62	-3.02
28S-273670130	24.10	23.59	0.51
29S-273670131	21.50	24.55	-3.05
30S-273680004	18.10	16.75	1.35

Punto de observación	Nivel observado (m)	Nivel calculado (m)	Error (observado-calculado)
31S-273680005	18.80	15.79	3.01
32S-273680006	17.60	15.59	2.01
33S-273680008	19.00	14.23	4.77
34S-273680010	14.30	14.44	-0.14
36S-273710004	40.90	43.01	-2.11
37S-273710009	45.40	42.17	3.23
38S-273710010	41.20	40.54	0.66
39S-273710011	36.00	38.94	-2.94
40S-273710012	39.80	40.32	-0.52
41S-273710013	40.70	41.87	-1.17
42S-273710015	40.40	42.19	-1.79
43S-273710172	42.00	44.06	-2.06
44S-273710175	39.80	43.09	-3.29
45S-273720001	39.50	39.04	0.46
46S-273720002	36.30	36.88	-0.58
47S-273720003	33.40	34.82	-1.42
48S-283610013	8.20	8.53	-0.33
49S-283610047	4.30	7.62	-3.32
50S-283610068	11.40	8.99	2.41
51S-283610100	10.50	11.15	-0.65
52S-283610113	10.20	11.09	-0.89
53S-283610144	8.00	8.36	-0.36
54S-283610179	11.70	10.83	0.87
55S-283610188	9.30	10.48	-1.18
56S-283610189	6.80	9.25	-2.45
57S-283610190	4.00	7.57	-3.57
58S-283610193	3.50	5.11	-1.61
59S-283610198	6.10	8.58	-2.48
60S-283620007	4.20	6.18	-1.98
61S-283620020	4.70	6.68	-1.98
62S-283620022	6.00	7.61	-1.61
63S-283620028	7.30	7.54	-0.24
64S-283620030	3.40	6.19	-2.79
65S-283620031	2.30	4.97	-2.67
66S-283620032	2.20	6.17	-3.97
67S-283620033	3.00	5.61	-2.61
68S-283620034	2.20	4.80	-2.60
69S-283620035	2.30	3.70	-1.40
70S-283620037	1.20	2.31	-1.11
71S-283620038	2.70	2.99	-0.29
72S-283620039	3.70	4.01	-0.31
73S-283620040	5.80	6.49	-0.69
75S-283630008	-0.10	1.03	-1.13
76S-283630011	0.50	0.00	0.50
78S-273640082	19.60	18.79	0.81
79S-283550002	7.60	7.14	0.46
80S-283550003	6.40	5.71	0.69
1P-263740022	42.50	45.33	-2.83
2P-263740027	41.50	45.90	-4.40
3P-263740028	41.70	45.90	-4.20
4P-263740029	41.30	45.90	-4.60
5T-273630002	8.80	14.04	-5.24
6T-273640002	11.50	13.11	-1.61
7T-273640003	7.60	13.68	-6.08
8P-273640010	13.90	14.05	-0.15
9P-273640080	13.60	15.48	-1.88

Punto de observación	Nivel observado (m)	Nivel calculado (m)	Error (observado-calculado)
10P-273640094	15.20	15.18	0.02
12P-273660204	31.80	31.65	0.15
14P-273660356	29.90	31.76	-1.86
15P-273660363	29.00	31.32	-2.32
16P-273660378	31.10	31.67	-0.57
17P-273660382	32.00	32.28	-0.28
18P-273660405	29.80	31.72	-1.92
19P-273660406	29.80	31.72	-1.92
20P-273660407	32.00	31.65	0.35
21P-273660424	30.50	31.64	-1.14
22P-273660545	30.50	34.16	-3.66
23P-273660589	34.70	36.55	-1.85
24P-273670004	24.90	28.75	-3.85
25P-273670026	20.90	19.75	1.15
26P-273670060	23.50	23.51	-0.01
27P-273670089	30.00	30.71	-0.71
28P-273670222	22.40	22.35	0.05
29P-273670250	22.90	25.41	-2.51
30P-273680007	16.40	15.04	1.36
31P-273710006	42.80	43.68	-0.88
32P-273710043	41.90	42.55	-0.65
33P-273710086	44.50	43.69	0.81
34P-273710169	41.20	44.52	-3.32
35P-273710170	41.50	44.52	-3.02
36P-273710171	41.50	43.38	-1.88
37P-273710174	38.30	42.49	-4.19
38P-273710176	38.70	41.35	-2.65
39P-273710177	40.30	44.23	-3.93
40P-273710178	41.80	44.23	-2.43
41P-273710179	41.60	42.50	-0.90
42P-273710180	42.00	42.50	-0.50
43P-273710266	40.00	40.88	-0.88
44P-273710291	41.60	44.99	-3.39
45P-273720016	36.90	38.35	-1.45
46P-273720141	33.70	35.88	-2.18
47P-273720144	34.30	35.18	-0.88
48P-273720170	37.60	38.67	-1.07
49P-273720178	37.90	39.19	-1.29
50P-273720179	37.90	39.19	-1.29
51P-283610002	10.10	8.68	1.42
52P-283610018	6.70	7.97	-1.27
53P-283610045	9.70	8.50	1.20
54P-283610075	12.30	8.96	3.34
55P-283610195	11.20	11.22	-0.02
56P-283610196	9.20	9.78	-0.58
57P-283610197	10.30	10.47	-0.17
58P-283620134	4.30	6.31	-2.01
59P-283620135	3.40	6.19	-2.79
60P-283650003	17.10	11.37	5.73
61P-273630038	22.40	21.81	0.59
62P-273640094	15.40	15.18	0.22
63P-273670250	23.00	24.68	-1.68
64P-273580005	19.80	13.02	6.78
65P-273630044	13.10	14.02	-0.92
66P-273640108	11.30	12.65	-1.35
69P-283550016	10.00	6.80	3.20
70P-283560013	8.40	4.09	4.31
71P-283570028	10.20	3.15	7.05

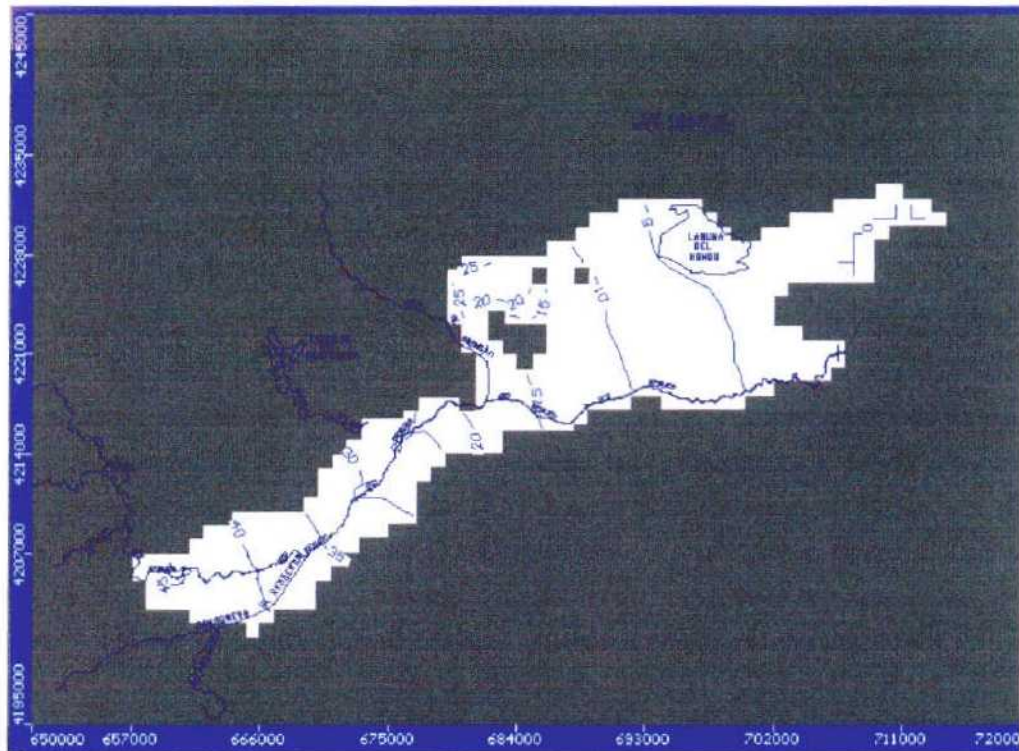


Figura 12.5. – Isopiezas resultante para la Capa 1 (acuífero superficial) correspondiente a la hipótesis A1

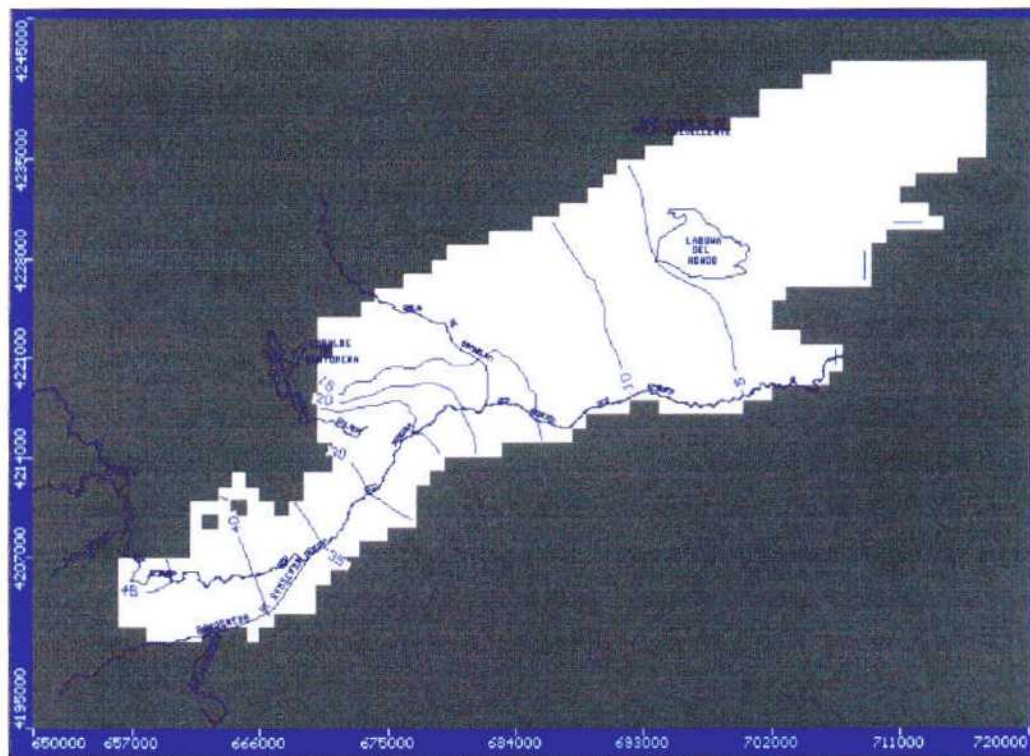


Figura 12.16. – Isopiezas resultante para la Capa 3 (acuífero profundo) correspondiente a la hipótesis A1

12.4.2.3. Análisis de sensibilidad

Tras la fase de ajuste y calibración se ha realizado un estudio sistemático con la finalidad de analizar la sensibilidad de cada uno de los parámetros del modelo. Para ello y para cada serie de simulación de dicho análisis, se varía solamente un parámetro dejando fijos los demás. El intervalo dentro del cual se varían los valores asignados es el mismo para cada parámetro, lo que se consigue aplicando a todos los parámetros el mismo factor de modificación. De esta forma, es posible comparar directamente la respuesta del modelo a los cambios de los diferentes parámetros determinando cuáles de dichos parámetros son los más sensibles.

Considerando las pequeñas diferencias en los resultados anteriormente comentadas, el análisis de sensibilidad se ha realizado a partir de la hipótesis A2. Se ha elegido dicha hipótesis con la finalidad de analizar el mayor número de parámetros que puedan tener relación con el funcionamiento del acuífero. De este modo, la elección de la hipótesis A permite analizar el comportamiento o la respuesta suponiendo la presencia de las lagunas, mientras que la opción 2 (hipótesis A2) permite analizar la influencia de las zonas de recarga C y D.

Los parámetros analizados han sido la recarga (zonas A, B, C y D), conductancia en cada tramo del río, conductancia en los azarbes y conductividad hidráulica en las 11 zonas definidas en el apartado 12.3.6. Los porcentajes de cambio han sido siempre los mismos para todos los parámetros oscilando entre -25% y $+100\%$ del valor inicial. La sensibilidad de los diferentes parámetros se ha establecido de forma cualitativa y cuantitativa, comparando las diferencias entre los resultados obtenidos para cada simulación del análisis de sensibilidad, con los obtenidos para la hipótesis A2.

Las componentes de salida consideradas han sido:

- Error medio absoluto entre los niveles piezométricos observados y los calculados en diferentes sectores: Vega Media y Baja, Vega Media, Vega Baja, Cabecera de la Vega Media, Triásico, Vega Baja (sector norte), Vega Baja (sector centro) y Vega Baja (sector sur)
- Principales términos del balance tanto en la Vega Media como en la Vega Media y Baja: recarga por infiltración del río en la Vega Media (Tramo 1), descarga subterránea al río en la Vega Media (Tramo 2), porcentaje de escorrentía subterránea en la estación de Beniel, balance de agua en el río en la Vega Media, caudal subterráneo de la Vega Media a la Vega Baja, descarga subterránea al río en la Vega Baja (Tramos 3 y 4), descarga a través de los azarbes (Vega Media y Vega Baja), descarga a través de la Laguna del Hondo y salidas al mar.

Tanto la entrada de datos como los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad se presentan en las Tablas 12.15 y 12.16; Figuras 12.16, 12.17 y 12.18.

Con respecto a los niveles piezométricos, el análisis de sensibilidad confirma los resultados anteriormente comentados, observándose claramente cómo la mayor incertidumbre corresponde a los puntos de observación situados en los materiales triásicos (rango de error medio absoluto obtenido ~2,75 y 7 m). A continuación, las zonas más sensibles corresponden a los sectores norte y centro de la Vega Baja (rango de error medio absoluto entre los 1,75 y 3.75 m) y la cabecera de la Vega Media (rango de error medio absoluto entre los 1,75 y 3.75 m) (Anejo 11). Con respecto al error total (Vega Media y Baja), el rango de variación se sitúa entre los 1,9 y 2,2 m (Figura 12.16). Estos resultados ponen de manifiesto que el modelo numérico es más sensible en la Vega Baja que en la Vega Media.

Centrando el análisis de los resultados por sectores, se observa como para la Vega Media y Baja (error total) los parámetros más sensibles, es decir, aquellos que condicionan preferentemente el flujo subterráneo son: conductividad hidráulica en el acuífero superficial de la Vega Media (zona 1), conductancia de los azarbes en la Vega Baja, recarga por infiltración de lluvia más retornos de riego en la Vega Baja (zona B) y conductividad hidráulica en el acuífero profundo de la Vega Baja (zona 12) (Figura 12.16).

En la Vega Media, el parámetro más sensible corresponde a la conductividad hidráulica en el acuífero superficial de la Vega Media (zona 1), seguido, en menor medida, por la recarga por infiltración de lluvia más retornos de riego en la Vega Media (zona A) y por la conductividad hidráulica tanto del semiconfinante como del acuífero profundo de la Vega Baja (zonas 11 y 12) (Figura 12.17). Si se tiene en cuenta únicamente la cabecera de la Vega Media, los parámetros más sensibles son la recarga por infiltración de lluvia más retornos de riego en la Vega Media (zona A) y la conductividad hidráulica del acuífero superficial (zona 1) (Anejo 11).

Tabla 12.15 . - Análisis de sensibilidad realizado en la Vega Media y Baja para la hipótesis A2 (Balance hídrico)

PARÁMETRO	INICIAL	FINAL	%CAMBIO	BALANCE												
				RECARGA		RIO (VEGA MEDIA)				RIO (VEGA BAJA)		DRENES				
				TOTAL	ZONA A (VM)	ENTRADA	SALIDA	%ESUB	E-S	VM - VB	TRAMO 3	TRAMO-4	VM	VB	LAGUNA	MAR
REC A	124	248	100	90.07	39.87	117.93	121.89	52.36	-3.96	39.88	30.5	3.5	2.40	31.8	18.4	1.71
REC A	124	186	50	80.18	30.04	121.85	116.61	50.09	5.24	39.63	30.5	3.5	2.35	31.8	18.4	1.71
REC A	124	62	-50	60.4	10.39	129.7	106.02	45.54	23.68	39.14	30.5	3.5	2.24	31.8	18.4	1.71
REC A	124	31	-75	55.46	5.47	131.67	103.37	44.40	28.3	39.01	30.5	3.5	2.22	31.8	18.4	1.71
REC B	140	280	100	118.85	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	37.53	37.97	12.15	2.30	51.52	26.66	2.16
REC B	140	210	50	94.58	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	38.46	34.32	7.82	2.30	41.58	22.56	1.94
REC B	140	70	-50	46	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	40.33	26.73	0.89	2.30	22.84	14.19	1.47
REC B	140	49	-65	38.71	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	40.63	25.57	2.36 (+)	2.30	22.75	13	1.39
REC C	55	110	100	100.76	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	38.89	32.61	4.79	2.30	38.89	33.31	1.8
REC C	55	82.5	50	93.14	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.08	32.11	4.49	2.30	37.09	29.57	1.78
REC C	55	27.5	-50	77.91	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.28	31.1	3.88	2.30	33.52	22.09	1.73
REC C	55	13.7	-75	74.1	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.33	30.85	3.73	2.30	32.66	22.09	1.72
REC D	46	92	100	72.22	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.04	31.34	3.79	2.30	32.24	18.57	1.71
REC D	46	69	50	71.26	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.21	30.96	3.7	2.30	32.01	18.48	1.71
REC D	46	23	-50	69.32	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.56	30.22	3.49	2.30	31.57	18.3	1.71
REC D	46	11.5	-75	68.84	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.64	30.04	3.43	2.30	31.46	18.25	1.71
C2	1000000	2000000	100	70.29	20.21	125.92	111.63	47.95	14.29	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
C2	1000000	1500000	50	70.29	20.21	125.83	111.49	47.89	14.34	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
C2	1000000	500000	-50	70.29	20.21	125.7	111.3	47.81	14.4	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
C2	1000000	250000	-75	70.29	20.21	125.4	110.87	47.62	14.53	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
C3	2500	5000	100	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	4.22	2.30	31.24	18.37	1.72
C3	2500	3750	50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	3.99	2.30	31.4	18.40	1.71
C3	2500	1250	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	2.73	2.30	32.6	18.52	1.7
C3	2500	625	-75	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	1.83	2.30	33.45	18.60	1.69
AVM	50	100	100	70.29	20.21	126.25	109.49	47.03	16.76	39.43	30.5	3.5	4.54	31.8	18.4	1.71
AVM	50	75	50	70.29	20.21	126.02	110.39	47.42	15.63	39.41	30.5	3.5	3.42	31.8	18.4	1.71
AVM	50	25	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.38	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
AVM	50	12.5	-75	70.29	20.21	125.42	112.69	48.41	12.73	39.35	30.5	3.5	0.58	31.8	18.4	1.71
AVB	1000	2000	100	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	0.44	2.30	38.95	15.59	1.64
AVB	1000	1500	50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	1.66	2.30	36.14	16.64	1.66
AVB	1000	500	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	7.3	2.30	23.6	21.97	1.82
AVB	1000	250	-75	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	10.92	2.30	15.75	25.31	1.94

PARÁMETRO	INICIAL	FINAL	%CAMBIO	BALANCE												
				RECARGA		RIO (VEGA MEDIA)				RIO (VEGA BAJA)		DRENES		LAGUNA	MAR	
				TOTAL	ZONA A (VM)	ENTRADA	SALIDA	%ESUB	E-S	VM - VB	TRAMO 3	TRAMO 4	VM			VB
KZ1	50	75	50	70.29	20.21	128.71	115.86	49.77	12.85	37.94	30.5	3.5	2.17	31.8	18.4	1.71
KZ1	50	25	-50	70.29	20.21	120.01	101.69	43.68	18.32	42.54	30.5	3.5	2.57	31.8	18.4	1.71
KZ1	50	12.5	-75	70.29	20.21	110.43	85.17	36.59	25.26	47.85	30.5	3.5	3.08	31.8	18.4	1.71
KZ14	400	800	100	70.29	20.21	129.29	114	48.97	15.29	39.4	30.5	3.5	2.33	31.8	18.4	1.71
KZ14	400	600	50	70.29	20.21	129.16	113.89	48.92	15.27	39.4	30.5	3.5	2.33	31.8	18.4	1.71
KZ14	400	200	-50	70.29	20.21	141.9	120.94	51.95	20.96	39.5	30.5	3.5	2.44	31.8	18.4	1.71
KZ14	400	100	-75	70.29	20.21	122.05	108.54	46.62	13.51	39.3	30.5	3.5	2.26	31.8	18.4	1.71
KZ789	10	20	100	70.29	20.21	125.63	109.77	47.15	15.86	40.31	32.12	3.5	2.30	31.76	18.57	1.74
KZ789	10	15	50	70.29	20.21	125.82	111.58	47.93	14.24	39.88	31.42	3.55	2.30	31.78	18.5	1.72
KZ789	10	5	-50	70.29	20.21	125.73	113.47	48.74	12.26	39.1	30.5	3.65	2.30	31.84	18.37	1.69
KZ789	10	2.5	-75	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	3.68	2.30	31.87	18.32	1.69
KZ11	2.5	5	100	70.29	20.21	125.88	109.14	46.88	16.74	41.44	32.84	3.34	2.30	31.43	19.1	1.71
KZ11	2.5	3.75	50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	40.64	31.98	3.44	2.30	31.57	18.84	1.71
KZ11	2.5	1.25	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	36.95	27.83	3.91	2.30	32.38	17.67	1.74
KZ11	2.5	0.6	-76	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	35.04	25.59	4.25	2.30	32.99	16.91	1.8
KZ5	0.001	0.002	100	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
KZ5	0.001	0.0015	50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
KZ5	0.001	0.0005	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
KZ5	0.001	0.00025	-75	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
KZ4	375	750	100	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	27.8	3.21	2.30	33.79	19.8	1.71
KZ4	375	560	49.3	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	29.05	3.4	2.30	32.9	19.2	1.71
KZ4	375	187	-50.1	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	32.7	3.8	2.30	30.4	17.23	1.71
KZ4	375	94	-74.9	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	32.7	3.8	2.30	30.4	17.23	1.71
KZ12	150	300	100	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	55.17	33.1	3.03	2.30	32.21	27.4	3.05
KZ12	150	225	50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	48.02	32.53	3.26	2.30	31.67	23.37	2.37
KZ12	150	75	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	28.18	26.35	4.2	2.30	33.08	11.75	1.02
KZ12	150	37.5	-75	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	20.84	22.75	4.69	2.30	34.38	7.32	0.62
KZ13	0.5	1	100	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.75	30.6	3.6	2.30	31.9	18.6	1.71
KZ13	0.5	0.75	50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.6	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
KZ13	0.5	0.25	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.3	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
KZ13	0.5	0.12	-76	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.2	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
KZ15	2.5	5	100	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	40.47	30.5	3.8	2.30	32.37	18.6	1.71
KZ15	2.5	3.75	50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.95	30.5	3.72	2.30	32.1	18.52	1.71
KZ15	2.5	1.25	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	38.77	30.5	3.43	2.30	31.46	18.25	1.71
KZ15	2.5	0.62	-75	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	38.44	30.5	3.34	2.30	31.28	18.17	1.71

Tabla 12.16. - Análisis de sensibilidad realizado en la Vega Media y Baja para la hipótesis A2 (Error medio absoluto entre niveles observados y calculados)

PARÁMETRO	INICIAL	FINAL	%CAMBIO	NIVELES								
				TODOS	CABECERA	VM	TRIAS	VB	VB (norte)	VB (centro)	VB (sur)	
REC A	124	248	100	1.98	3.71	2.02	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
REC A	124	186	50	1.96	3.61	1.97	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
REC A	124	62	-50	1.91	3.4	1.88	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
REC A	124	31	-75	1.9	3.36	1.86	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
REC B	140	280	100	2.13	3.51	1.95	6.69	2.25	2.41	2.89	1.62	
REC B	140	210	50	2.02	3.51	1.94	5.66	2.05	2.75	2.48	1.52	
REC B	140	70	-50	1.91	3.51	1.92	3.44	1.89	3.50	1.79	1.32	
REC B	140	49	-65	1.93	3.51	1.93	3.04	1.92	3.64	1.74	1.32	
REC C	55	110	100	1.97	3.51	1.93	6.43	1.90	1.71	2.32	1.43	
REC C	55	82.5	50	1.96	3.51	1.93	5.98	1.89	2.06	2.26	1.43	
REC C	55	27.5	-50	1.94	3.51	1.93	5.06	1.89	2.76	2.13	1.42	
REC C	55	13.7	-75	1.93	3.51	1.93	4.83	1.89	2.93	2.06	1.43	
REC D	46	92	100	1.95	3.51	1.94	4.83	1.90	3.08	2.1	1.42	
REC D	46	69	50	1.94	3.51	1.93	4.71	1.89	3.09	2.09	1.42	
REC D	46	23	-50	1.93	3.51	1.93	4.48	1.84	3.12	2.06	1.42	
REC D	46	11.5	-75	1.93	3.51	1.93	4.42	1.88	3.13	2.05	1.42	
C2	1000000	2000000	100	1.93	3.51	1.92	4.63	1.89	3.10	2.07	1.42	
C2	1000000	1500000	50	1.93	3.51	1.93	4.63	1.89	3.10	2.07	1.42	
C2	1000000	500000	-50	1.93	3.5	1.93	4.63	1.89	3.10	2.07	1.42	
C2	1000000	250000	-75	1.93	3.49	1.92	4.63	1.89	3.10	2.07	1.42	
C3	2500	5000	100	1.93	3.51	1.93	4.55	1.89	3.11	2.06	1.39	
C3	2500	3750	50	1.93	3.51	1.93	4.57	1.89	3.11	2.06	1.4	
C3	2500	1250	-50	1.93	3.51	1.92	4.66	1.90	3.09	2.1	1.45	
C3	2500	625	-75	1.94	3.51	1.92	4.71	1.91	3.09	2.12	1.47	
AVM	50	100	100	1.93	3.5	1.92	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
AVM	50	75	50	1.93	3.5	1.92	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
AVM	50	25	-50	1.93	3.51	1.93	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
AVM	50	12.5	-75	1.94	3.51	1.94	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
AVB	1000	2000	100	1.86	3.51	1.93	4.46	1.74	3.21	1.66	1.27	
AVB	1000	1500	50	1.89	3.51	1.93	4.51	1.79	3.16	1.82	1.31	
AVB	1000	500	-50	2.02	3.51	1.93	4.77	2.09	2.99	2.58	1.61	
AVB	1000	250	-75	2.11	3.51	1.93	4.95	2.28	2.88	3.08	1.8	
KZ1	50	75	50	1.89	3.53	1.85	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
KZ1	50	25	-50	2.04	3.45	2.12	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
KZ1	50	12.5	-75	2.24	3.43	2.49	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
KZ14	400	800	100	1.94	3.43	1.95	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
KZ14	400	600	50	1.96	3.56	1.97	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
KZ14	400	200	-50	2.22	6.53	2.46	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
KZ14	400	100	-75	2.06	5.6	2.16	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
KZ789	10	20	100	1.93	3.51	1.92	4.55	1.89	3.10	2.06	1.42	
KZ789	10	15	50	1.93	3.51	1.92	4.57	1.89	3.10	2.07	1.42	
KZ789	10	5	-50	1.93	3.51	1.93	4.62	1.88	3.10	2.08	1.42	
KZ789	10	2.5	-75	1.94	3.51	1.94	4.64	1.89	3.09	2.08	1.42	
KZ11	2.5	5	100	1.92	3.51	1.91	4.53	1.89	3.17	2.05	1.42	
KZ11	2.5	3.75	50	1.93	3.51	1.92	4.55	1.89	3.14	2.06	1.42	
KZ11	2.5	1.25	-50	1.95	3.51	1.95	4.69	1.89	3.00	2.11	1.42	
KZ11	2.5	0.6	-76	1.97	3.51	1.99	4.77	1.89	2.88	2.15	1.42	

PARAMETRO	INICIAL	FINAL	%CAMBIO	NIVELES							
				TODOS	CABECERA	VM	TRIAS	VB	VB (norte)	VB (centro)	VB (sur)
KZ5	0.001	0.002	100	1.94	3.51	1.93	4.6	1.91	3.10	2.07	1.42
KZ5	0.001	0.0015	50	1.94	3.51	1.93	4.6	1.90	3.10	2.07	1.42
KZ5	0.001	0.0005	-50	1.94	3.51	1.93	4.57	1.91	3.10	2.07	1.42
KZ5	0.001	0.00025	-75	1.97	3.51	1.93	4.52	1.98	3.10	2.08	1.42
KZ4	375	750	100	1.95	3.51	1.93	4.08	1.96	2.92	2.2	1.43
KZ4	375	560	49.3	1.94	3.51	1.93	4.27	1.92	3.00	2.14	1.42
KZ4	375	187	-50.1	1.94	3.51	1.93	5.45	1.87	3.27	1.98	1.41
KZ4	375	94	-74.9	1.99	3.51	1.93	6.84	1.92	3.41	1.94	1.4
KZ12	150	300	100	1.9	3.51	1.85	3.42	1.94	3.63	2.11	1.49
KZ12	150	225	50	1.91	3.51	1.89	3.92	1.91	3.42	2.06	1.46
KZ12	150	75	-50	1.99	3.51	1.98	5.65	1.93	2.55	2.29	1.36
KZ12	150	37.5	-75	2.05	3.51	2.01	6.56	2.00	2.00	2.48	1.34
KZ13	0.5	1	100	1.94	3.51	1.93	4.73	1.89	3.09	2.09	1.42
KZ13	0.5	0.75	50	1.93	3.51	1.93	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
KZ13	0.5	0.25	-50	1.93	3.51	1.93	4.51	1.89	3.10	2.07	1.42
KZ13	0.5	0.12	-76	1.93	3.51	1.93	4.47	1.89	3.13	2.06	1.42
KZ15	2.5	5	100	1.94	3.51	1.92	4.96	1.90	3.07	2.11	1.42
KZ15	2.5	3.75	50	1.94	3.51	1.92	4.79	1.90	3.09	2.09	1.42
KZ15	2.5	1.25	-50	1.93	3.51	1.94	4.39	1.88	3.13	2.05	1.42
KZ15	2.5	0.62	-75	1.93	3.51	1.94	4.27	1.88	3.14	2.04	1.42

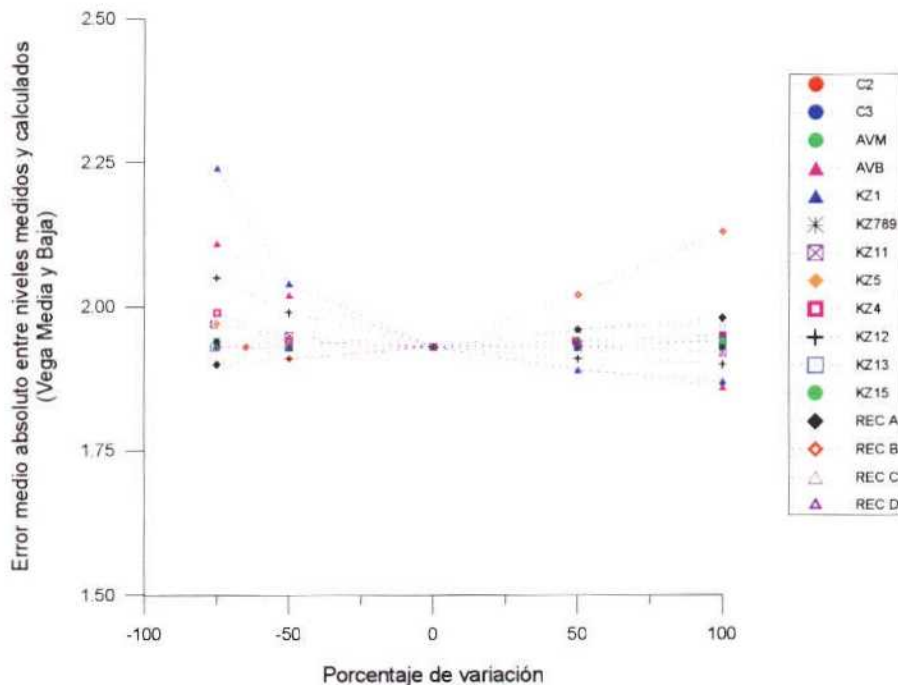


Figura 12.16 – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Media y Baja)

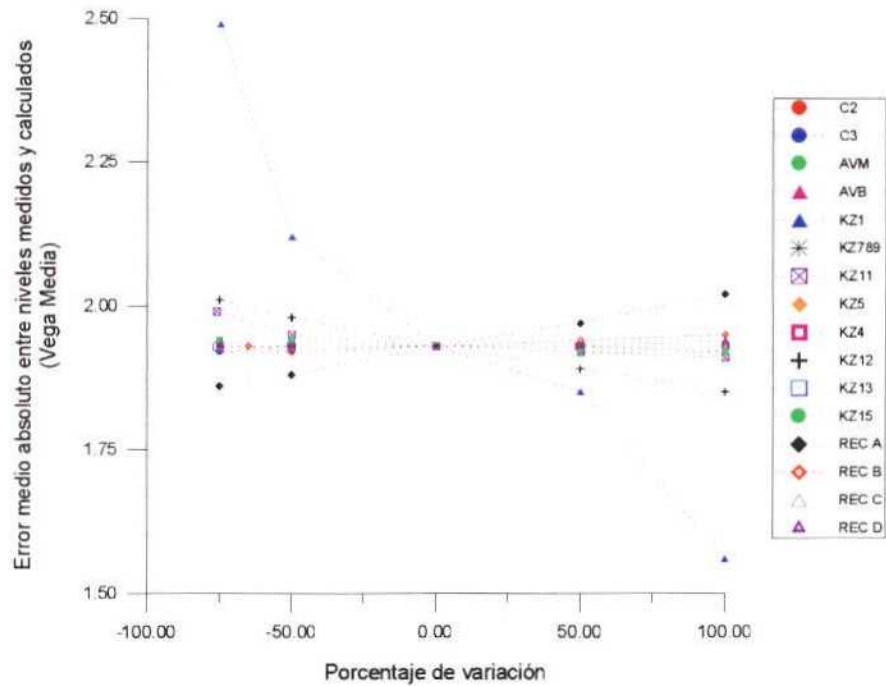


Figura 12.17. – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Media)

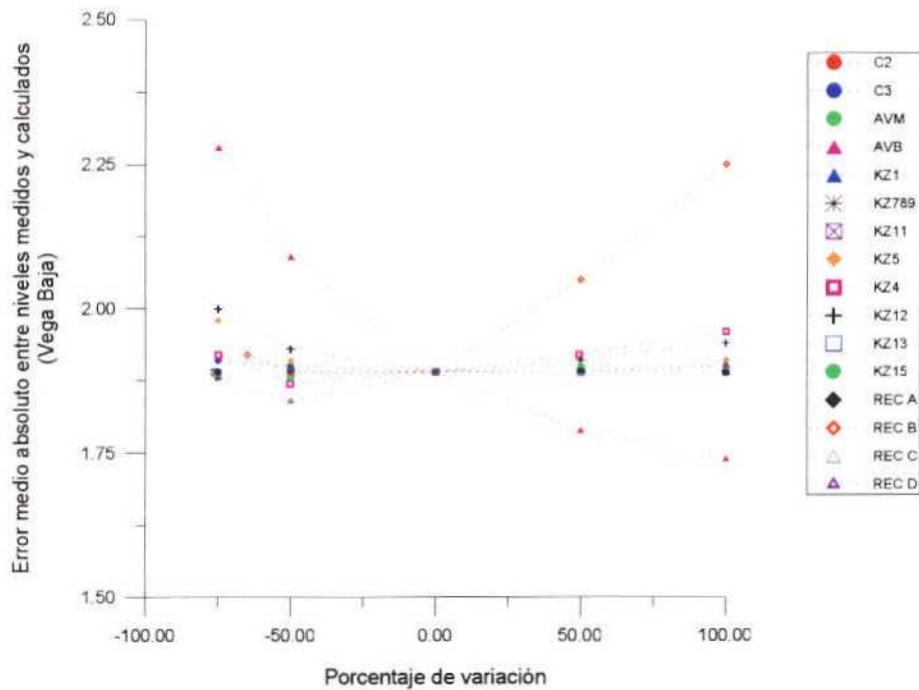


Figura 12.18 – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Baja)

En la Vega Baja, los parámetros que más influyen en los resultados del modelo numérico son la conductancia de los azarbes en la Vega Baja y la recarga por infiltración de lluvia más retornos de riego en la Vega Baja (zona B) (Figura 12.18). Si se realiza un análisis más detallado, por sectores, se observa cómo tanto en el sector relacionado con los materiales triásicos como en el norte y centro de la Vega Baja, los parámetros más influyentes son: la recarga por infiltración de lluvia y retornos de riego (zona B), la conductividad hidráulica del acuífero profundo (zonas 4 y 12) y la recarga por infiltración de lluvia y retornos de riego producida sobre los limos y arcillas (zona C). Así mismo, en el sector sur de la Vega Baja los parámetros más sensibles vienen dados por la conductancia de los azarbes en la Vega Baja, la recarga por infiltración de lluvia y retornos de riego (zona B), la conductividad hidráulica del acuífero profundo (zona 12) y la conductancia del último tramo del río Segura (Anejo 11).

Con respecto al balance, los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad indican que los términos que presentan una mayor variabilidad corresponden tanto a la descarga producida a través de los azarbes en la Vega Baja (~16 a 52 hm³/año) como al caudal de flujo subterráneo producido desde la Vega Media hacia la Vega Baja (~21 a 55 hm³/año) (Figuras 12.19 y 12.20). En el primer caso, dicha variabilidad se encuentra estrechamente relacionada con la conductancia de los drenes en la Vega Baja y con la recarga (zona B), mientras que en el segundo caso, el caudal desde la Vega Media hacia la Vega Baja viene controlado fundamentalmente por la conductividad hidráulica del acuífero profundo (zona 12).

A continuación, los términos en los que se observa una mayor variación son los relacionados con el río en la Vega Media: recarga por infiltración del río (~110 a 132 hm³/año), descarga subterránea al río (~85 a 122 hm³/año), porcentaje de descarga subterránea en la estación de Beniel (~36 a 52) y balance de agua en el río (~ -4 a 28 hm³/año). En todos los casos, los parámetros que más condicionan estos resultados son la conductividad hidráulica del acuífero superficial (zona 1) y la recarga producida por infiltración de lluvia más retornos de riego sobre la Vega Media (zona A) (Anejo 11).

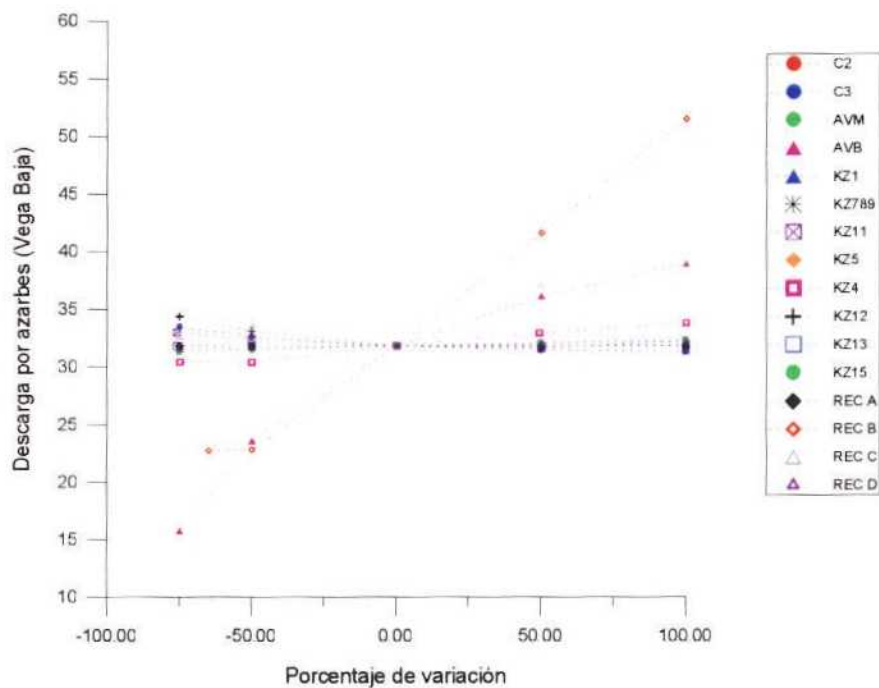


Figura 12.19. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto a la descarga producida por los azarbes en la Vega Baja

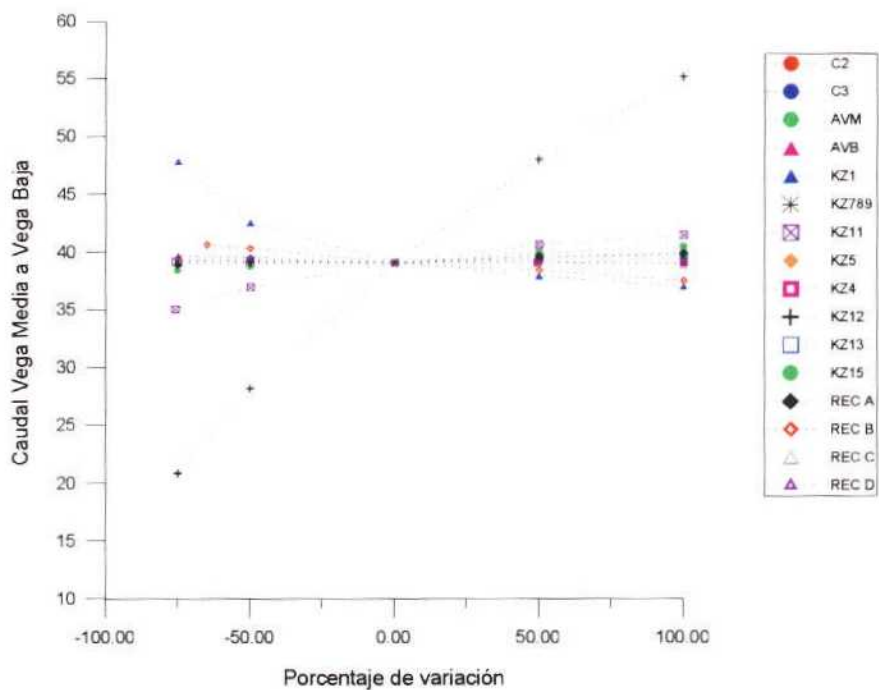


Figura 12.20 – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al caudal subterráneo de paso de la vega Media hacia la Vega Baja (acuífero profundo)

La descarga subterránea en la Laguna del Hondo oscila entre los 7 y 33 hm³/año, estando controlada fundamentalmente por los siguientes parámetros: conductividad hidráulica

del acuífero profundo (zona 12), recarga producida por infiltración de lluvia más retornos de riego sobre la Vega Baja (zonas B y C) y conductancia de los drenes en la Vega Baja. La descarga subterránea al río en la Vega Baja varía entre los 23-38 hm³/año (Tramo 3) y 0,5-12 hm³/año (Tramo 4) y se encuentra controlada por la recarga por infiltración de lluvia más retornos de riego en la Vega Baja (zona B) y por la conductancia de los drenes en la Vega Baja. Finalmente, los términos de balance menos sensibles corresponden tanto al agua descargada por los azarbes en la Vega Media (~0,6 a 4,5 hm³/año) como a las salidas al mar (~0,6 a 3 hm³/año) (Anejo 11).

Otro de los resultados obtenidos de la realización del análisis de sensibilidad es que el modelo numérico no converge al aplicar alguno de los factores de modificación a ciertos parámetros: conductancia en el primer tramo de río y conductividad hidráulica en parte del acuífero superficial y profundo de la Vega Media (zonas 2 y 3). Este hecho se interpreta como relacionado con la forma de definir la geometría en la cabecera de la Vega Media, ya que como consecuencia del reducido espesor de las capas 1 y 2 en esta zona (2 m), éstas tienden a secarse, impidiendo la recarga por infiltración del río (ver apartado 12.4.2.4). Dicha limitación es fácilmente subsanable disminuyendo la conductancia en las primeras celdas del río. Por tanto, con la finalidad de analizar la sensibilidad de estos parámetros y tras aplicar los cambios indicados se ha realizado un segundo análisis de sensibilidad teniendo en cuenta todos los parámetros relacionados con la Vega Media. Como puede observarse del análisis realizado (Anejo 11), la conductividad hidráulica del acuífero profundo (zona 3) condiciona claramente el flujo subterráneo en la Vega Media (afectando fundamentalmente al error medio absoluto obtenido en la cabecera de la Vega Media). Por otro lado, la conductancia en el primer tramo de río también condiciona, aunque en mucha menor medida, los resultados del modelo, sobre todo para valores menores al considerado en la hipótesis A2.

Finalmente, se ha realizado un análisis de sensibilidad considerando la hipótesis de carácter extremo de suponer únicamente la recarga producida mediante la infiltración de agua de lluvia en las zonas A, B y C (evaluada en el apartado 11).

Dicho análisis permite realizar las observaciones siguientes (Tabla 12.17):

- Si se considera la recarga por infiltración de agua de lluvia para las zonas A, B y C el modelo no converge. Ello se debe a que la conductancia utilizada para simular los azarbes en la Vega Baja es demasiado elevada (ya que se ha obtenido mediante calibración suponiendo una recarga mucho más alta). Por tanto, al no existir suficiente disponibilidad de agua, el modelo no converge. Sin embargo, si se eliminan los drenes o se reduce mucho su

conductancia, el modelo converge. En este caso se observa cómo, en general, el ajuste de niveles mejora en la Vega Media y empeora en la Vega Baja. La solución obtenida representaría la hipótesis extrema de considerar sólo recarga por infiltración de agua de lluvia y ausencia de azarbes.

Tabla 12.17 – Análisis de sensibilidad teniendo en cuenta la recarga producida solamente por la infiltración de agua de lluvia (Balance y error medio absoluto entre niveles observados y calculados)

	INICIAL LLUVIA %																
				70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71	
REC A	124	50	-60	58.49	8.49	130.46	105	45.10	25.46	39.09	30.5	3.5	2.23	31.8	18.4	1.71	
REC B	140	35	-75	33.86	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	40.23	29.25	17.4	No	No	No	9.55	
REC C	55	35	-36	79.99	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.26	31.24	3.97	2.30	34	23.11	1.74	
REC A B C				32.09	8.07	130.07	105.19	45.18	24.88	40.24	26.27	6.5	No	No	25.18	1.73	

	INICIAL LLUVIA %			NIVELES								
				TODOS	CABECERA	VM	TRIAS	VB	VB (norte)	VB (centro)	VB (sur)	
				1.93	3.51	1.93	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42	
REC A	124	50	-60	1.9	3.39	1.87	4.6	1.89	3.1	2.07	1.42	
REC B	140	35	-75	2.55	3.51	1.93	5.48	3.27	2.12	5.69	2.43	
REC C	55	35	-36	1.94	3.51	1.93	5.18	1.89	2.66	2.15	1.43	
REC A B C				2.07	3.39	1.88	3.8	2.29	3	2.83	1.78	

- En coherencia con lo anteriormente comentado, si se considera únicamente la recarga por infiltración de agua de lluvia en la zona B a partir de la hipótesis A2 (manteniendo la recarga en el resto de las zonas) el modelo tampoco converge. Siendo necesario, en este caso, eliminar tanto los azarbes como las lagunas, dada la menor disponibilidad de agua con respecto al caso anterior al considerar nula la recarga producida en la zona C.
- Si se considera únicamente la recarga por infiltración de agua de lluvia en la zona A, a partir de la hipótesis A2 (manteniendo la recarga en el resto de las zonas) aumenta la recarga producida por infiltración del río en el tramo 1 y disminuye ligeramente el error medio absoluto entre niveles observados y calculados (tanto el error total como el obtenido en la cabecera de la Vega Media)
- Al considerar la recarga por infiltración de agua de lluvia sobre la zona C (limos y arcillas cuaternarios) se observan resultados muy parecidos a los de la hipótesis A2, empeorando ligeramente los ajustes en el sector correspondiente a los afloramientos triásicos y en la

Vega Baja (sector centro y sur) y mejorando ligeramente los ajustes en el sector norte de la Vega Baja. Esto último resulta coherente con la posible existencia de un cierto flujo subterráneo procedente del Campo de Elche no considerado en el modelo.

12.4.2.4. Discusión y Conclusiones

- Los resultados de la calibración del modelo numérico en régimen estacionario se pueden considerar como razonables, obteniéndose un ajuste de niveles aceptable y un balance coherente con el conocimiento adquirido del acuífero.
- En el modelo numérico se identifican dos zonas principales en coherencia con el modelo conceptual: a) Vega Media y parte alta de la Vega Baja (aproximadamente hasta la localidad de Orihuela) y b) Vega Baja. Los parámetros que controlan el flujo subterráneo en la primera zona son: recarga, río Segura y conductividad hidráulica, mientras que en la Vega Baja dichos parámetros son: recarga, azarbes, lagunas y conductividad hidráulica.
- El modelo numérico contempla dos hipótesis de funcionamiento hidrogeológico según se considere o no la presencia de lagunas. Las escasas diferencias obtenidas en los resultados y la elevada incertidumbre asociada a algunos términos del balance no permite discernir, por el momento, entre una u otra hipótesis. A pesar de ello, se obtienen unos ajustes ligeramente mejores considerando la presencia de lagunas (hipótesis A), independientemente de la opción de recarga utilizada, en coherencia con las observaciones y comentarios realizados al presentar el modelo hidrogeológico conceptual.
- Al considerar la presencia de lagunas (hipótesis A), aumenta el error absoluto correspondiente al sector norte de la Vega Baja, encontrándose los niveles calculados ligeramente por debajo de los observados. Ello podría interpretarse como resultado de un cierto aunque pequeño flujo o aporte de agua subterránea procedente del Campo de Elche, no contemplado en el modelo numérico.
- Si no se considera la presencia de lagunas (hipótesis B), el error absoluto correspondiente al sector norte de la Vega Baja disminuye y la descarga por los azarbes aumenta hasta unos 47 hm³/año (en coherencia con los 45 hm³/año considerados en estudios anteriores en los que se consideraba prácticamente despreciable la evaporación por las lagunas). Sin embargo, las salidas al mar aumentan hasta unos 6 hm³/año.

- En general, se observan ajustes ligeramente mejores suponiendo que la recarga procede predominantemente de las zonas A y B (opción 1 de recarga), es decir, suponiendo una recarga nula en la zona C (coherente con la baja permeabilidad de los limos y arcillas aflorantes en dicha zona). Este hecho se encuentra relacionado con la escasa influencia que parece representar tanto el Campo de Elche como el resto de la unidad en el funcionamiento general del acuífero. No obstante, hay que tener en cuenta el escaso número de puntos de observación existentes fuera del dominio del acuífero superficial (Capa 1), lo que podría impedir una adecuada calibración mediante la opción 2 de recarga.
- Al considerar la presencia de lagunas y la opción 1 de recarga (hipótesis A1), el error medio absoluto obtenido entre los niveles calculados y los observados en 142 puntos de control es de 1,91 m (error medio 0,94 m). El error medio absoluto obtenido para el acuífero superficial (1,74 m) es inferior con respecto al acuífero profundo (2,09 m). Así mismo, dentro del acuífero profundo, el error medio absoluto es mayor en la Vega Baja que en la Vega Media, lo cual resulta coherente con el modelo conceptual, dada la mayor incertidumbre asociada al acuífero profundo debido a la presencia de un mayor número de niveles permeables hacia la Vega Baja e incertidumbre asociada a las sierras de Callosa y Orihuela.
- La recarga producida por la infiltración de agua de lluvia más retornos de riego oscila entre los 62 y 70 hm³/año en función de la hipótesis adoptada, mientras que la producida por la infiltración del río Segura en la Vega Media se encuentra entre los 126 y 128 hm³/año. Los aportes laterales procedentes del Bajo Guadalentín, Vega Alta y Cresta del Gallo son del orden de unos 4 hm³/año.
- La descarga subterránea al río Segura en la Vega Media oscila entre 109 y 111 hm³/año, lo que representa un porcentaje de escorrentía subterránea en la estación de aforos de Beniel del 47-48%, ligeramente inferior al 65% inicialmente estimado al definir el modelo conceptual. No obstante, si se tiene en cuenta el 54% obtenido de la hipótesis inferior comentada en dicho apartado y la incertidumbre o subjetividad del método de Barnes, las diferencias es menor.
- La descarga subterránea producida a través de los azarbes oscila entre los 31 y 47 hm³/año según de considere o no la presencia de lagunas. Si se consideran, la descarga evaluada en la Laguna del Hondo es de unos 18 hm³/año, equivalente a una evaporación de unos 800–900 mm/año, coherente con la evaluada por el método de Thornthwaite en

estudios previos así como la evaluada en otras zonas próximas al área del estudio como el Mar Menor.

- El rango de conductividad hidráulica horizontal obtenida oscila entre los 10 y 50 m/día para el acuífero superficial y entre los 150 y 400 m/día para el profundo (valores algo elevados con respecto a los inicialmente esperados). En ambos acuíferos, la conductividad hidráulica disminuye hacia la Vega Baja en coherencia con la menor granulometría y el aumento de la proporción de limos y arcillas descrita en el modelo conceptual. La conductividad hidráulica horizontal obtenida para el semiconfinante varía entre 0,001 y 2,5 m/día.
- Los resultados mejoran significativamente al considerar el medio anisótropo ($K_x = K_y < K_z$), asignando una conductividad hidráulica vertical considerablemente inferior a la horizontal. Ello resulta totalmente coherente con el modelo conceptual, debido a la alternancia de materiales permeables (arenas y gravas) con materiales poco permeables (arcillas y limos), lo que induce a pensar en la existencia de un flujo con una marcada componente horizontal.
- El modelo numérico presenta una mayor incertidumbre tanto en la cabecera de la Vega Media como en las Sierras de Callosa y Orihuela.
- En la cabecera de la Vega Media, los niveles calculados tienden a situarse sistemáticamente por encima de los observados, lo que se interpreta como debido a los siguientes motivos:
 - Incertidumbre asociada al balance de agua en el río: caudales estimados superiores a los reales. Ello podría estar relacionado con las simplificaciones adoptadas al estimar la recarga y descarga en los dos primeros tramos de río (incertidumbre asociada tanto al método de Barnes como al agua drenada por los azarbes) así como con la calidad de los datos de partida (incertidumbre asociada a las estaciones de aforo).
 - Limitaciones en el modelo numérico: relacionadas con la forma de definir la geometría en la cabecera de la Vega Media. Según el modelo conceptual, en condiciones poco influenciadas, en este sector sólo existe un acuífero libre (no pudiéndose diferenciar entre acuífero superficial y profundo). Esta situación no puede reflejarse en el modelo numérico, dada la necesidad de definir capas para todo el dominio del modelo, habiéndose elegido un espesor arbitrario constante de 2 m para las capas 1 y 2. Como consecuencia de este reducido espesor, dichas

capas tienden a secarse sistemáticamente impidiendo de esta forma la recarga procedente del río Segura.

- En las inmediaciones de las Sierras de Callosa y Orihuela, al igual que en el caso anterior, los niveles calculados tienden a situarse por encima de los observados, lo que se interpreta como debido a los siguientes motivos principales:
 - Incertidumbre relacionada con la ausencia de datos correspondientes a la cota de muro de los materiales triásicos (eligiendo una cota de corte de -50 m)
 - Simplificación relacionada con el hecho de representar al Cuaternario profundo y los materiales triásicos mediante una única capa.
 - Influencia de los espesores anómalos introducidos como consecuencia de los fuertes gradientes existentes entre las sierras y el aluvial de la Vega.
 - Disponibilidad de escasos puntos de observación, probablemente afectados por la presencia de niveles locales como consecuencia de la complejidad estructural y naturaleza carbonatada de los materiales.
 - Posibles problemas relacionados con la geometría de las capas 1 y 2 en la zona situada al norte de las sierras.
- El análisis de sensibilidad realizado para la Vega Media y Baja pone de manifiesto que los parámetros más sensibles en el modelo numérico son: conductividad hidráulica en el acuífero superficial de la Vega Media (zona 1), conductancia de los azarbes en la Vega Baja, recarga por infiltración de lluvia más retornos de riego en la Vega Baja (zona B) y conductividad hidráulica en el acuífero profundo de la Vega Baja (zona 12).
- En la Vega Media y teniendo en cuenta los dos análisis de sensibilidad realizados, los parámetros más sensibles son: la conductividad hidráulica del acuífero profundo (zona 3) y la conductividad hidráulica del acuífero superficial (zona 1), seguido, en menor medida, por la conductancia en el primer tramo del río (C1), recarga por infiltración de lluvia más retornos de riego en la Vega Media (zona A) y conductividad hidráulica del acuífero superficial y profundo en la cabecera de la Vega Media (zonas 2 y 14).
- En la Vega Baja, los parámetros más sensibles son la conductancia de los azarbes en la Vega Baja y la recarga por infiltración de lluvia más retornos de riego en la Vega Baja (zona B). Por sectores, se observa cómo tanto en el sector relacionado con los materiales triásicos

como en el norte y centro de la Vega Baja, los parámetros más influyentes son: la recarga por infiltración de lluvia y retornos de riego (zona B), la conductividad hidráulica del acuífero profundo (zonas 4 y 12) y la recarga por infiltración de lluvia y retornos de riego producida sobre los limos y arcillas (zona C). En el sector sur, los parámetros más sensibles son: la conductancia de los azarbes en la Vega Baja, la recarga por infiltración de lluvia y retornos de riego (zona B), la conductividad hidráulica del acuífero profundo (zona 12) y la conductancia del último tramo del río Segura (C3).

- El análisis de sensibilidad realizado para la Vega Media y Baja indica que los términos del balance que presentan una mayor variabilidad corresponden tanto a la descarga producida a través de los azarbes en la Vega Baja (~16 a 52 hm³/año) como al caudal de flujo subterráneo producido desde la Vega Media hacia la Vega Baja (~21 a 55 hm³/año). En el primer caso, dicha variabilidad se encuentra estrechamente relacionada con la conductancia de los drenes en la Vega Baja y la recarga, mientras el caudal desde la Vega Media hacia la Vega Baja viene controlado fundamentalmente por la conductividad hidráulica del acuífero profundo (zona 12).
- La variabilidad de los términos de balance relacionados con el río en la Vega Media se encuentra directamente relacionada con la conductividad hidráulica del acuífero superficial y, sobre todo, con la conductividad hidráulica del acuífero profundo. En menor medida, dichos términos se ven además influenciados por la recarga producida por infiltración de lluvia más retornos de riego sobre la Vega Media (zona A).
- La descarga subterránea en la Laguna del Hondo oscila entre los 7 y 33 hm³/año, estando controlada fundamentalmente por los siguientes parámetros: conductividad hidráulica del acuífero profundo (zona 12), recarga producida por infiltración de lluvia más retornos de riego sobre la Vega Baja (zonas B y C) y conductancia de los drenes en la Vega Baja.
- La descarga subterránea al río en la Vega Baja varía entre los 23-38 hm³/año (Tramo 3) y 0,5-12 hm³/año (Tramo 4) y se encuentra controlada por la recarga por infiltración de lluvia más retornos de riego en la Vega Baja (zona B) y por la conductancia de los drenes en la Vega Baja.
- Los términos de balance menos sensibles corresponden tanto al agua descargada por los azarbes en la Vega Media (~0,6 a 4,5 hm³/año) como a las salidas al mar (~0,6 a 3 hm³/año).
- El análisis de sensibilidad realizado suponiendo solamente la recarga producida por la infiltración de agua de lluvia pone de manifiesto la necesidad de disminuir la conductancia de

los drenes para simular adecuadamente esta hipótesis. La disminución de la recarga en la Vega Media (zona A) provoca un ajuste ligeramente mejor de los niveles en la cabecera y Vega Media así como un cierto aumento de la recarga por infiltración del río. El aumento de la recarga sobre los limos y arcillas (zona C) provoca un cierto desajuste generalizado de niveles en todos los sectores a excepción del sector norte de la Vega Baja (probablemente relacionado con un cierto flujo subterráneo procedente del Campo de Elche).

12.4.3. Régimen Transitorio

Una vez obtenido un ajuste razonablemente coherente en régimen estacionario y realizado un análisis de sensibilidad determinando los parámetros que más condicionan el flujo subterráneo, se ha procedido a la simulación y calibración del modelo numérico en régimen transitorio. Para ello, se ha seleccionado el periodo comprendido entre octubre de 1994 y septiembre de 2001. El inicio del periodo se ha elegido teniendo en cuenta el aumento de la explotación de las aguas subterráneas como consecuencia de la sequía ocurrida entre 1992 y 1995. El intervalo o paso de tiempo elegido para la simulación y calibración (discretización temporal) ha sido mensual, en coherencia con la información previa disponible.

En la entrada de datos se ha considerado la evolución temporal de la recarga, explotación por bombeo y lámina de agua en diferentes tramos del río. Las condiciones de contorno restantes (drenes y nivel impuesto) se ha decidido mantenerlas inicialmente constantes dada la ausencia de datos al respecto. No obstante, se ha realizado un análisis de sensibilidad inicial definiendo diversas hipótesis de funcionamiento con objeto de evaluar su influencia en los resultados. Los puntos y datos de observación utilizados durante la calibración corresponden a los controles realizados por el IGME a lo largo del periodo considerado (1994-2001).

El proceso de ajuste y calibración ha sido iterativo, de forma que a partir de la piezometría obtenida en régimen estacionario, se han tanteando los parámetros de almacenamiento y la conductividad hidráulica calibrando mediante la comparación de los niveles piezométricos medidos con los calculados. La comparación entre niveles se ha realizado analizando tanto la variabilidad espacial como la evolución temporal a lo largo del periodo de calibración. Al igual que en régimen estacionario, se ha tenido en cuenta,

además, el orden de magnitud y evolución de los principales términos de balance implicados.

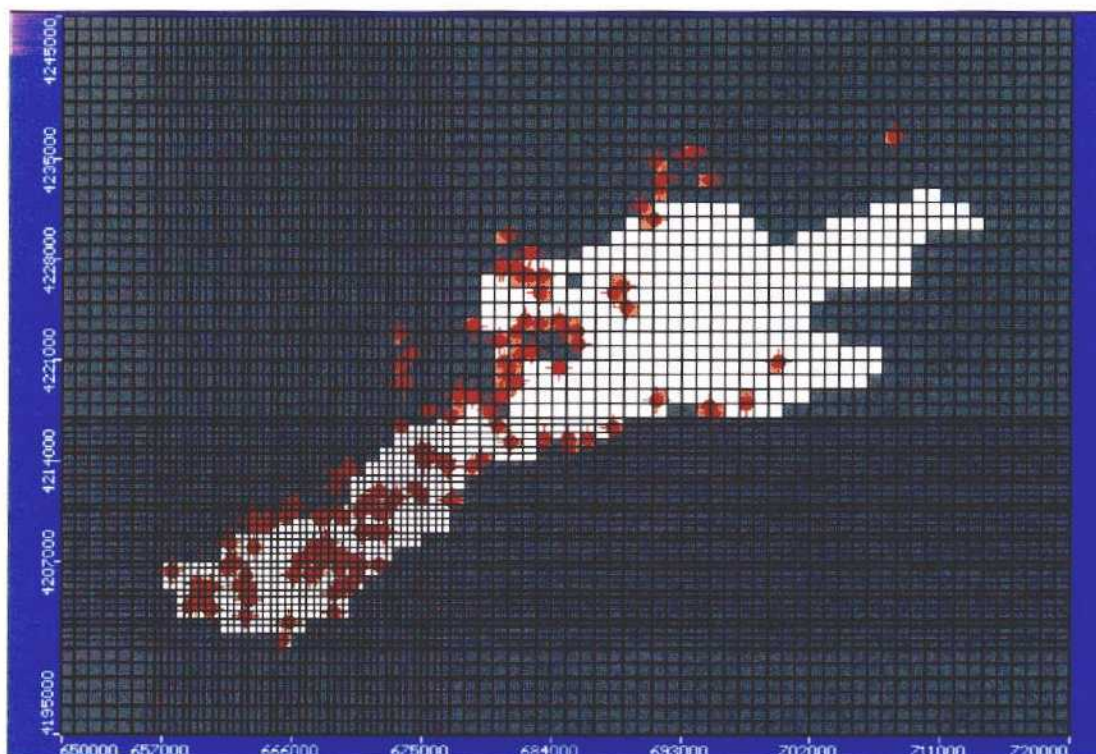
12.4.3.1. Entrada de datos

Se ha considerado la evolución temporal mensual tanto de la recarga como de la explotación por bombeo obtenida en los Anejos 6.2 y 6.3. En el caso de la recarga, los valores previamente calculados se han distribuido espacialmente teniendo en cuenta la zonificación final utilizada durante la calibración del régimen estacionario y presentada en la Figura 12.9 (zonas A, B, C y D). Con respecto a la explotación por bombeo, los datos se han introducido mediante pozos de extracción, considerando tanto la situación geográfica del pozo (coordenadas UTM) como el nivel acuífero implicado (superficial o profundo). Para ello, se ha definido un tramo de rejilla coherente con la geometría del modelo numérico. En la Figura 12.21 se presenta la distribución de los pozos de extracción introducidos en el modelo, indicando la forma de introducir su situación, tramo de rejilla y caudales mensuales de explotación.

La entrada de datos tanto de recarga como explotación se ha realizado para el periodo anteriormente comentado (1994-2001) con un paso de tiempo mensual. Sin embargo, la calibración se ha centrado fundamentalmente en el periodo comprendido entre diciembre 1996 y septiembre 2001. Ello se ha debido a dos motivos principales:

- Ausencia total de datos en las estaciones de aforo durante el periodo 1993-96 (lámina de agua y/o caudal circulante) como consecuencia de las obras de rectificación del cauce en el río Segura.
- Periodo de sequía experimentado entre 1992 y 1995, lo que se traduce en un descenso generalizado de niveles (Figura 11.9) poco recomendable para iniciar el calibrado en régimen transitorio.

Por tanto, aunque el periodo simulado en régimen transitorio corresponde a 1994-2001, el ajuste y la calibración se ha centrado, fundamentalmente, para 1996-2001. Es decir, desde el paso de tiempo 27 (diciembre de 1996) hasta el 84 (septiembre 2001). En los pasos de tiempo previos, el valor de la lámina de agua en los diferentes tramos de río se ha supuesto constante e igual a la definida en régimen estacionario.



Well Edit Window

Well name: B134-CHS Aprov 132

X Location: 689120.00 [m]

Y Location: 4224650.00 [m]

Add Screen Clear Screen

Clear all Screen all

Screen #: 1

Screen from: -35.00 [m]

To: -50.00 [m]

Apply Screen Changes Not

Reset

Well casing display as: Elevation

Use As Obs Well Radius: 0.00

Deactivate W

OK Cancel Help

Pumping Schedule Import

Start [day]	Stop [day]	Rate [m ³ /d]
0	30.00	-489.1666
30.00	60.00	-754.1666
60.00	90.00	-754.1666
90.00	120.00	-858.3333
120.00	150.00	-571.6666
150.00	180.00	-729.1666
180.00	210.00	-770.8333
210.00	240.00	-774.1666
240.00	270.00	-610.00
270.00	300.00	-653.3333
300.00	330.00	-625.00

Figura 12.21. Distribución de los pozos de extracción y ejemplo indicando la forma de introducir los datos.

La evolución de la lámina de agua en el río (tramo 2) se ha obtenido directamente a partir de las medidas realizadas en la estación de aforos de Beniel, mientras que las láminas correspondientes a los tramos 1 y 3 del río, se han estimado indirectamente aumentando y disminuyendo 1 y 0,5 m, respectivamente, la lámina anterior. En la Figura 12.22 se presenta la evolución de la lámina finalmente introducida en el modelo para cada tramo de río durante el periodo 1996-2001. A pesar de las limitaciones asociadas a la metodología utilizada, la aproximación realizada se considera suficientemente razonable como para proceder a la calibración del modelo, ya que:

- Reproduce la variabilidad temporal real de la lámina de agua (en coherencia con los valores previamente establecidos en régimen estacionario).
- Se conocen los caudales circulantes por las diferentes estaciones de aforo durante el periodo considerado, permitiendo calibrar inicialmente el balance de agua en los diferentes tramos de río.

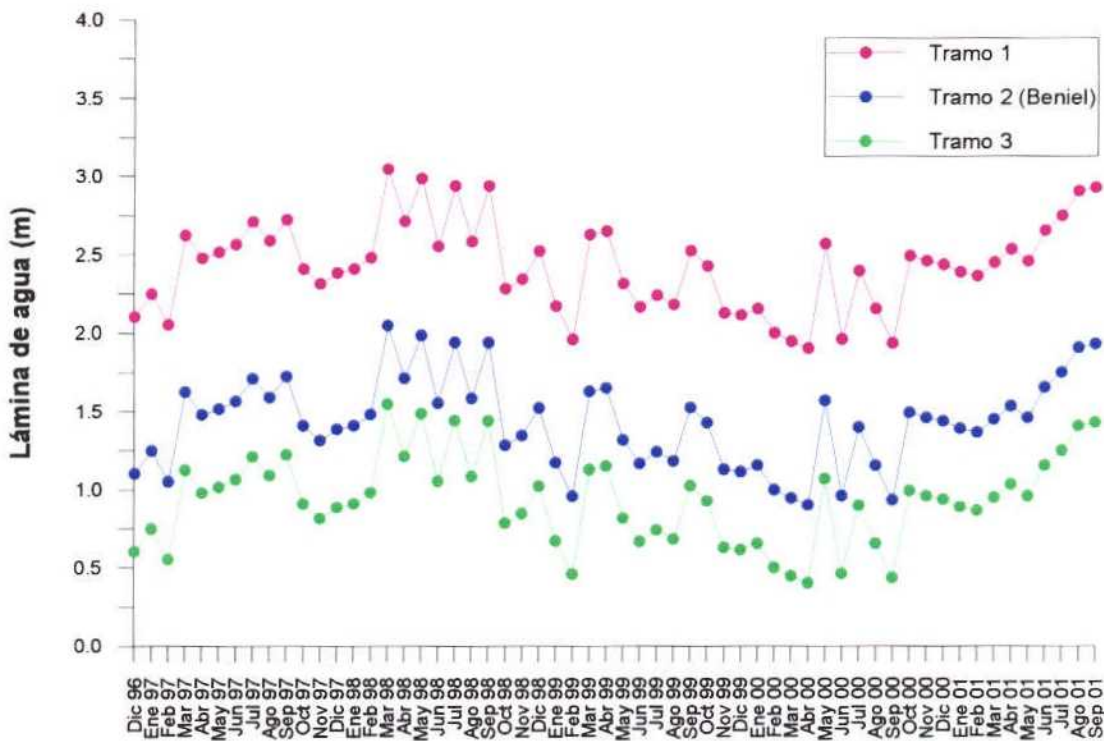


Figura 12.22. Evolución temporal de la lámina de agua durante 1996-2001 introducida en el modelo para cada tramo de río.

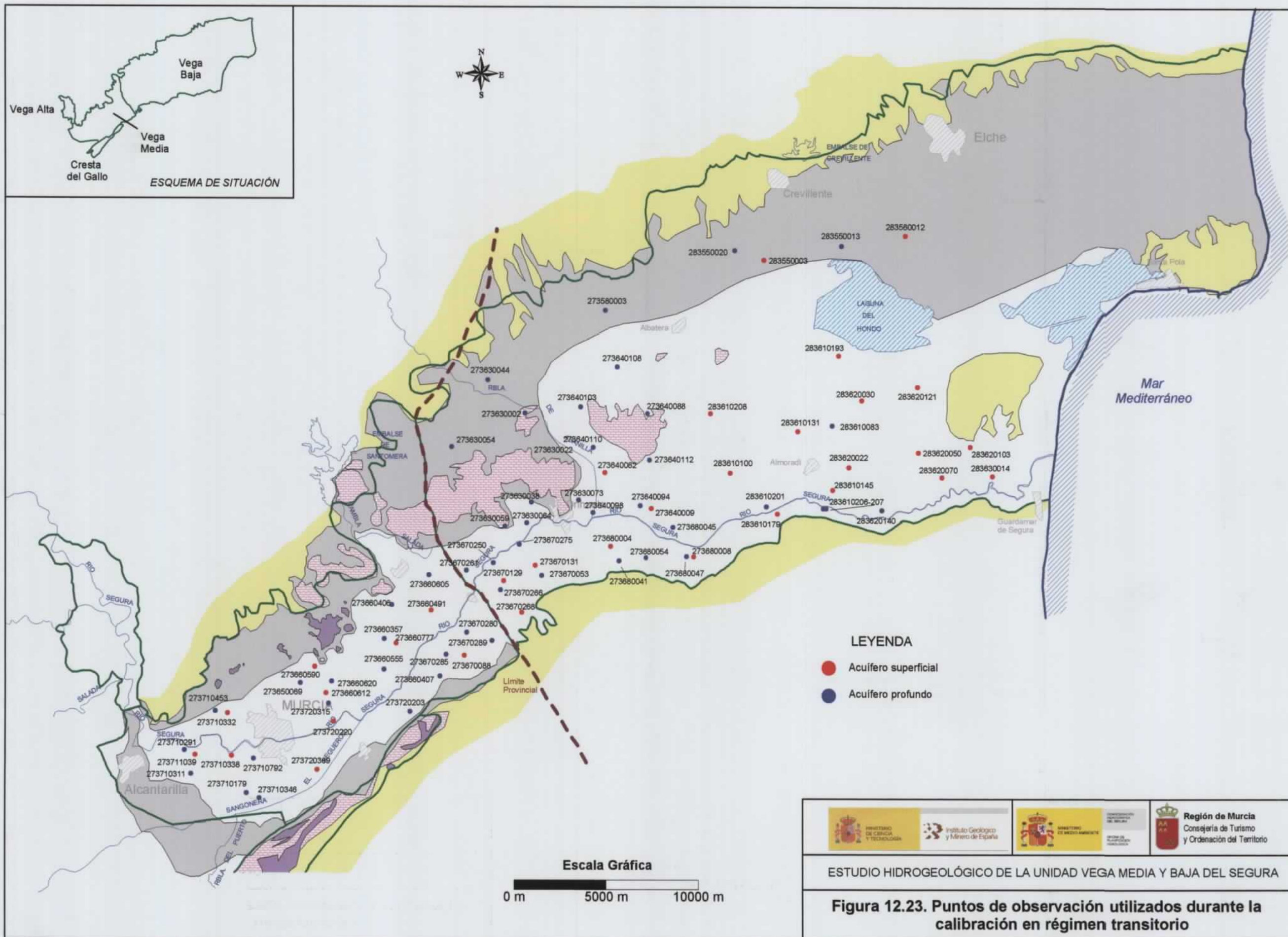
Con respecto a las condiciones de contorno restantes, drenes y nivel constante tanto en las lagunas como en las salidas al mar, la ausencia de datos ha llevado a mantener las condiciones impuestas en estacionario y/o eliminarlas con objeto de realizar un análisis de sensibilidad preliminar sobre el peso o la influencia que representan en los resultados. Este tipo de análisis resulta particularmente interesante en el caso de los drenes, condición no considerada "a priori" como adecuada para simular el comportamiento de los azarbes en régimen transitorio, debido a que éstos (a diferencia de lo que sucedía en régimen estacionario) pueden actuar como elementos de recarga. Por tanto, sería más razonable simularlos mediante una condición de tipo goteo o mixta (Cauchy) análoga a la utilizada para simular el comportamiento del río Segura. No obstante, ello supondría definir unos valores de lámina de agua y de su evolución a lo largo del periodo de calibración (1996-2001) para cada uno de los azarbes principales, lo cual resulta actualmente inviable dada la ausencia de datos suficientes al respecto. Por otro lado, la baja conductividad predominante en el acuífero superficial unido al hecho de que parte de los azarbes se encuentran revestidos en el fondo parece sugerir un comportamiento más coherente con la condición de dren.

La condición de caudal constante utilizada en régimen estacionario para simular los aportes laterales procedentes de la Vega Alta, Bajo Guadalentín y Cresta del Gallo, no ha sido inicialmente considerada como consecuencia del escaso peso que parecen representar en comparación con el resto de las componentes del balance. No obstante, su consideración podría mejorar y/o completar el modelo numérico realizado.

Finalmente, tanto los valores y distribución espacial de la conductividad hidráulica, como las condiciones iniciales se han obtenido, inicialmente, de los resultados de la calibración realizada previamente en régimen estacionario.

Durante la calibración se han tenido en cuenta, inicialmente, un total de 74 puntos de observación: 28 en el acuífero superficial (Capa 1) y 46 en el acuífero profundo y triásico (Capa 3) cuya distribución se presenta en las Figura 12.23. En la Tabla 1 del Anejo 11 se presentan las tablas indicando el código del punto, red a la que pertenece y nivel acuífero asignado. Los puntos de observación no siempre coinciden, evidentemente, con los utilizados en régimen estacionario, habiéndose elegido aquellos en los que se disponía de información previa suficiente durante el periodo de calibración. Con respecto a las zonas de balance, se han mantenido las definidas en el apartado 12.4.2.1 (Tabla 12.10; Figuras 12.12 y 12.13).

FIGURA 12.23



12.4.3.2 Ajuste y calibración

Al igual que en régimen estacionario, la metodología aplicada ha consistido en partir de planteamientos o esquemas de funcionamiento sencillos e ir complicándolos progresivamente hasta alcanzar una aproximación lo más representativa posible de la realidad. De esta forma, en una primera fase, se han considerado unos parámetros de almacenamiento constantes para cada capa y realizado unas primeras simulaciones teniendo en cuenta únicamente la variabilidad temporal de la recarga y de los bombeos. Así mismo, se ha realizado un análisis de sensibilidad preliminar con objeto de evaluar el peso o importancia relativa de las distintas condiciones de contorno. Posteriormente, en una segunda fase, se ha introducido la lámina de agua en el río (según lo comentado en el apartado 12.4.3.1) y considerado las condiciones de contorno restantes, obteniéndose un ajuste previo y calibración inicial mediante el tanteo de los parámetros de almacenamiento a partir de los valores de conductividad hidráulica obtenida en régimen estacionario. Finalmente, se ha realizado una última calibración tanteando y afinando tanto los parámetros de almacenamiento como los valores de conductividad hidráulica de acuerdo con los resultados obtenidos en las fases anteriores.

Fase 1: Simulaciones previas y análisis de sensibilidad preliminar

Durante esta fase se han considerado unos parámetros de almacenamiento constantes para cada capa, teniendo en cuenta únicamente la variabilidad temporal de la recarga y del bombeo, es decir, manteniendo constantes las restantes condiciones de contorno (río, drenes o azarbes, y nivel constante tanto en las lagunas como en la salida al mar). Se ha realizado un análisis de sensibilidad preliminar, activando y desactivando las distintas condiciones de contorno, con objeto de evaluar el peso o importancia relativa de las mismas en el modelo numérico.

Dicho análisis ha permitido observar cómo, por ejemplo, en ausencia de río y considerando solamente recarga y explotación por bombeo, los niveles calculados tienden a descender con el tiempo situándose muy por debajo de los observados, lo que permite deducir que el río parece seguir desempeñando un papel esencial en el funcionamiento hidrogeológico del acuífero, fundamentalmente en la Vega Media. Por otra parte, el análisis previo realizado ha permitido observar cómo la oscilación o variación del nivel piezométrico simulado depende, fundamentalmente, de:

- La presencia del río Segura, su conductancia y las limitaciones o simplificaciones adoptadas al estimar la lámina de agua en el mismo. A menor peso en el río (menor conductancia y/o lámina de agua) mayor oscilación en los niveles simulados.

- Los parámetros de almacenamiento empleados: a menor coeficiente de almacenamiento, mayor oscilación en los niveles simulados.

- Opción de recarga y conductividad hidráulica considerada. A mayor recarga y menor conductividad hidráulica horizontal, mayor oscilación o variación en los niveles simulados.

Fase 2: Calibración inicial mediante tanteo de los parámetros de almacenamiento a partir de la conductividad hidráulica obtenida en régimen estacionario.

Se amplía el número de zonas con diferentes parámetros de almacenamiento y se introduce la variabilidad en la lámina de río durante el periodo 1996-2001. Durante esta fase, la metodología adoptada ha consistido en tantee los diferentes parámetros de almacenamiento a partir de la piezometría y valores de conductividad hidráulica obtenida en régimen estacionario. Para ello se ha partido de los parámetros de almacenamiento iniciales presentados en la Tabla 12.8. Al igual que en la fase siguiente, la calibración se ha realizado teniendo en cuenta:

- La comparación entre niveles medidos y calculados o simulados: considerando tanto la variabilidad espacial como la evolución temporal durante el periodo de calibración. Para ello, se han representado los niveles a lo largo del tiempo (evaluando las tendencias y calidad global del ajuste) y analizado detalladamente los tiempos intermedios: 28, 37, 49, 61, 73 y 84, observando el error medio absoluto obtenido tanto para la Vega Media y Baja (error total) como para la Vega Media y Baja por separado.

- El orden de magnitud y evolución de los principales términos del balance implicados, principalmente los relacionados con el balance de agua en el río: entrada por infiltración del río Segura (tramo 1) y descarga subterránea en los tramos 2 (estación de Beniel) y 3 (estación de Orihuela). Para ello se han comparado los caudales obtenidos por el modelo con el caudal medio aforado durante el periodo de calibración (1996-2001). Los caudales considerados en Orihuela corresponden a una serie denominada "Orihuela ficticia"

resultante de sumar los caudales aforados en la nueva estación de aforos con los medidos en el Sifón de Orihuela, ya que la suma de ambos caudales puede considerarse como representativa del caudal de paso por la antigua estación de aforos de Orihuela.

Durante esta fase se han seleccionado tres hipótesis principales según los parámetros de almacenamiento y opción de recarga considerada. En las dos primeras hipótesis (A y B) se ha empleado un coeficiente de almacenamiento para el acuífero superficial en la Vega Media de 0,07, más coherente con la información previa disponible. En la tercera hipótesis (C) se utiliza un coeficiente de almacenamiento mayor para esta zona (0,28), de acuerdo con los resultados previos obtenidos durante la fase de ajuste y calibración. En ambos casos, los valores empleados resultan coherentes con los rangos de porosidad eficaz presentados en la Tabla 12.7. Las dos primeras hipótesis (A y B) sólo se diferencian en la opción de recarga empleada (opción 1 para la hipótesis A y opción 2 para la hipótesis B). En la tercera hipótesis (C) se ha considerado la opción 1 de recarga.

Las hipótesis A y B reproducen más adecuadamente las oscilaciones del nivel durante el periodo de calibración, sin embargo, los errores medios absolutos entre los niveles medidos y calculados durante los pasos de tiempo intermedio son mayores. En la hipótesis C se observa el efecto contrario.

El ajuste global obtenido entre los niveles medidos y los calculados durante el periodo de calibración (diciembre 1996 a septiembre 2001) tanto para la Vega Media como para la Vega Baja permite observar cómo el modelo reproduce "razonablemente" la tendencia general del acuífero. Sin embargo, también se observa cómo el modelo tiende a no reproducir satisfactoriamente (o lo hace de manera demasiado atenuada) las oscilaciones del nivel piezométrico.

En las Tablas 12.18 y 12.19 se resumen los principales datos de salida correspondientes a las hipótesis A, B y C para los pasos de tiempo intermedios 28, 37, 49, 61, 73 y 84, incluyendo tanto el balance como el error obtenido entre los niveles observados y calculados. Para cada una de las hipótesis se establece, además, una diferenciación según se considere o no la presencia de lagunas y azarbes.

Tabla 12.18. – Datos de balance en las hipótesis A, B y C para los pasos de tiempo 28, 49, 61 y 84 (hm³/año). (%ES = porcentaje de escorrentía subterránea).

BALANCE																								
RÍO																								
	TRAMOS 1 y 2												TRAMO 3				TRAMO 4							
	28			49			61			84			28		49		61		84					
	T1	T2	%ES	T1	T2	%ES	T1	T2	%ES	T1	T2	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	28	49	61	84				
A1	117.4	59.5	51.1	98.5	104.7	89.9	113.0	74.5	63.9	117.4	60.6	52.0	21527	7.86	26281	9.59	25139	9.18	20922	7.64	1.81	1.62	1.8	2.5
														10.2		12.5		11.9		9.9				
A2	117.1	61.2	52.5	98	107	91.8	112.6	76.6	65.8	117.0	62.9	54.0	21694	7.92	26567	9.70	25491	9.30	21391	7.81	-0.93	-3.36	-4.37	-5.71
														10.3		12.7		12.2		10.2				
B1	114.2	63	54.1	94.5	109.5	94.0	110.3	78.0	67.0	108.2	69.6	59.7	21834	7.97	26871	9.81	25787	9.41	21615	7.89	1.13	0.59	0.64	1.2
														10.4		12.9		12.4		10.5				
B2	113.8	64.7	55.5	93.9	112.0	96.1	109.8	80.3	68.9	107.7	72.1	61.9	22006	8.03	27166	9.92	26156	9.55	22112	8.07	-1.63	-4.49	-5.70	-7.46
														8.4		9.6		9.3		7.7				
C1	121.1	47.3	40.6	97.1	100.2	86.0	111.3	70.4	60.4	127.1	37.3	32.0	17788	6.49	20332	7.42	19681	7.18	16251	5.93	2.09	2.02	2.24	2.94
														8.5		9.7		9.4		7.8				
C2	120.8	48.7	41.8	96.7	102.0	87.6	110.8	72.3	62.1	126.7	39.2	33.6	17847	6.51	20447	7.46	19831	7.24	16474	6.01	-0.78	-3.15	-4.16	-5.5

BALANCE																								
	DRENES								LAGUNA DEL HONDO								MAR							
	28		49		61		84		28		49		61		84		28		49		61		84	
A1	78052	28.49	81217	29.64	80068	29.22	77419	28.26	41818	15.26	43227	15.78	43254	15.79	42015	15.34	4287	1.56	4506	1.64	4534	1.65	4496	1
A2	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	12844	4.69	16182	5.91	17567	6.41	19509	7
B1	81900	29.89	87000	31.76	85961	31.38	83805	30.59	59842	21.84	56420	20.59	59199	21.61	57089	20.84	4431	1.62	4597	1.68	4627	1.69	4602	1
B2	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	15906	5.81	20559	7.50	22214	8.11	24796	9
C1	77212	28.18	80287	29.30	79238	28.92	75984	27.73	41603	15.19	43111	15.74	43088	15.73	41813	15.26	4285	1.56	4505	1.64	4534	1.65	4499	1
C2	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	12922	4.72	16308	5.95	17714	6.47	19682	7

Tabla 12.19. – Datos de niveles correspondientes a las hipótesis A, B y C para los pasos de tiempo 28, 37, 49, 61, 73 y 84. (EMA = error medio absoluto; EM = error medio). Datos en metros.

		ERROR NIVELES																	
		VEGA MEDIA Y BAJA						VEGA MEDIA						VEGA BAJA+TRIAS					
		28	37	49	61	73	84	28	37	49	61	73	84	28	37	49	61	73	84
A1	EMA	2.91	2.75	2.87	2.97	3.4	2.86	2.79	2.60	2.47	2.48	2.77	2.24	2.98	2.85	3.14	3.28	3.8	3.26
A1	EM	1.78	1.61	1.83	1.98	2.39	1.69	1.63	1.78	1.68	1.55	1.9	1.21	1.88	1.51	1.93	2.26	2.71	2.00
A2	EMA	3.02	2.90	3.09	3.25	3.73	3.20	2.8	2.60	2.48	2.49	2.78	2.25	3.16	3.08	3.48	3.74	4.34	3.81
A2	EM	1.99	1.88	2.19	2.41	2.89	2.25	1.64	1.79	1.70	1.57	1.92	1.23	2.21	1.94	2.50	2.95	3.52	2.91
B1	EMA	2.94	2.80	2.90	3.05	3.56	2.92	2.82	2.62	2.50	2.50	2.82	2.33	3.03	2.92	3.16	3.41	4.03	3.30
B1	EM	1.9	1.76	1.96	2.14	2.62	1.88	1.69	1.85	1.76	1.61	1.97	1.38	2.03	1.71	2.10	2.48	3.03	2.21
B2	EMA	3.07	2.98	3.15	3.37	3.93	3.33	2.82	2.63	2.51	2.51	2.83	2.34	3.23	3.20	3.55	3.92	4.64	3.96
B2	EM	2.11	2.05	2.34	2.60	3.17	2.51	1.71	1.87	1.78	1.63	2.00	1.40	2.37	2.17	2.70	3.23	3.92	3.22
C1	EMA	2.85	2.65	2.78	2.88	3.3	2.75	2.76	2.52	2.46	2.49	2.73	2.13	2.91	2.73	2.99	3.14	3.67	3.14
C1	EM	1.67	1.42	1.69	1.87	2.26	1.49	1.52	1.54	1.62	1.55	1.81	0.95	1.77	1.35	1.74	2.08	2.55	1.83
C2	EMA	2.96	2.80	3.00	3.17	3.64	3.09	2.77	2.53	2.46	2.49	2.74	2.14	3.09	2.97	3.34	3.60	4.23	3.70
C2	EM	1.89	1.7	2.06	2.31	2.78	2.06	1.53	1.55	1.64	1.57	1.83	0.97	2.12	1.80	2.32	2.79	3.38	2.77

Los resultados obtenidos durante esta fase ponen de manifiesto que, en general y a pesar de las pequeñas diferencias obtenidas, los mejores resultados corresponden a la hipótesis C, es decir, considerando unos parámetros de almacenamiento ligeramente mayores a los inicialmente estimados. En la Figura 12.24 se presenta el error medio absoluto (Vega Media y Baja, Vega Media y Vega Baja) para cada paso de tiempo e hipótesis planteada. Como se observa, los mayores errores se obtienen para el paso de tiempo 73 (octubre 2000) independientemente de la hipótesis adoptada, lo que podría estar relacionado con las lluvias torrenciales atípicas acaecidas durante este mes. Así mismo, se observa claramente cómo, independientemente de la hipótesis considerada, el error obtenido es menor en la Vega Media que en la Vega Baja, lo que se interpreta como debido, fundamentalmente, a la incertidumbre y limitaciones asociadas con las Sierras de Callosa y Orihuela (comentadas en el apartado 12.4.2.4). Si se eliminan los puntos de observación relacionados con dichas sierras, el error en la Vega Baja disminuye considerablemente (Figura 12.25). Se observa, además, cómo exceptuando el paso de tiempo 73 (octubre 2000), el error medio en la Vega Media tiende a disminuir mientras que en la Vega Baja tiende a aumentar a lo largo del periodo de calibración, lo que podría estar relacionado con la incertidumbre asociada a los drenes (azarbes).

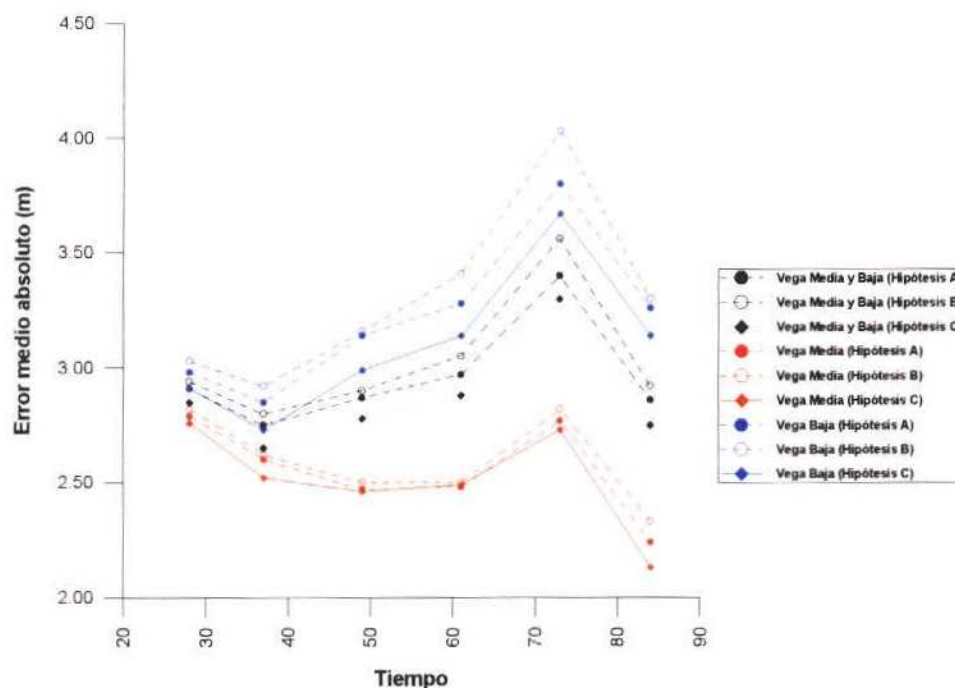


Figura 12.24. – Error medio absoluto obtenido en la Vega Media y Baja, Vega Media y Vega Baja para los pasos de tiempo intermedios 28, 37, 49, 61, 73 y 84 según la hipótesis considerada (Fase 2).

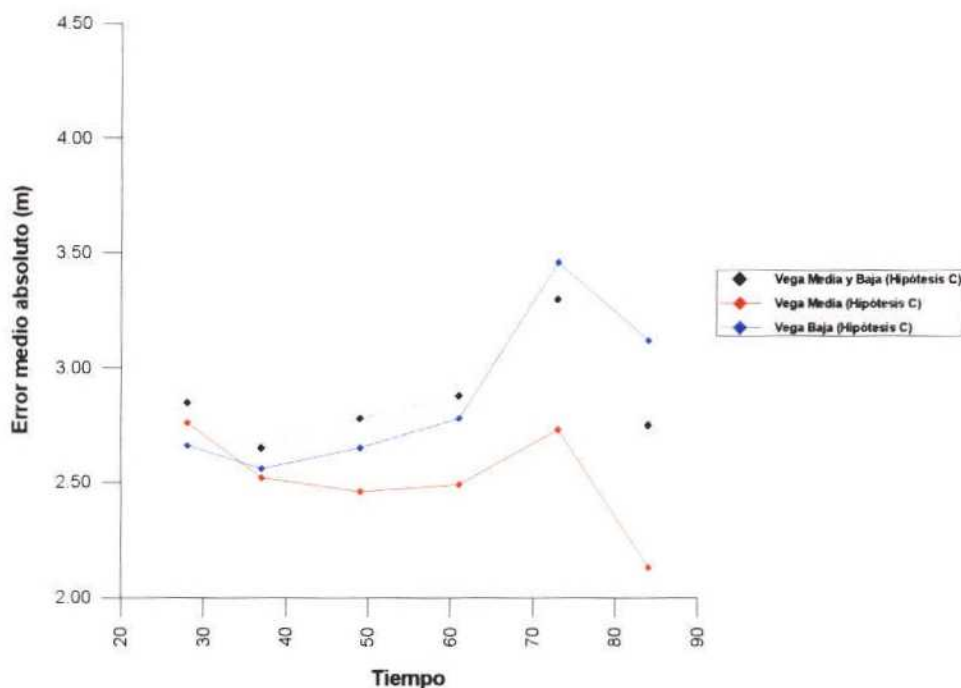


Figura 12.25. – Error medio absoluto obtenido en la Vega Media y Baja, Vega Media y Vega Baja para los pasos de tiempo intermedios 28, 37, 49, 61, 73 y 84 según la hipótesis C (eliminando puntos de observación relacionados con las sierras de Callosa y Orihuela) (Fase 2).

En la Figura 12.26 se presentan los niveles observados frente a los calculados para cada paso de tiempo analizado (hipótesis C1). El error medio absoluto obtenido oscila entre 2,65 (octubre 1997) y 3,3 m (octubre 2000). Los errores medios correspondientes son de 1,42 y 2,26 m respectivamente. El error medio absoluto obtenido para el acuífero superficial (entre 2,13 y 2,33 m) es inferior con respecto al acuífero profundo (entre 2,96 y 3,89 m).

Con respecto al balance, los porcentajes de escorrentía subterránea obtenidos para los tramos 2 y 3 son coherentes con los obtenidos en régimen estacionario (excepto para el paso de tiempo 49, donde estos porcentajes tienden a ser mucho más elevados). Se observa cómo, además, para la hipótesis C, dichos porcentajes tienden a ser algo menores (32-62 % para el tramo 2 y 7-10 % para el tramo 3) con respecto a las hipótesis A y B. Sin embargo, también se observa cómo, independientemente de la hipótesis adoptada, los caudales de infiltración en el tramo 1 del río son demasiado elevados (entre 94 y 127 hm³/año) con respecto al modelo conceptual. Por otro lado, si se considera la presencia de lagunas y azarbes, independientemente de la hipótesis adoptada, las salidas al mar tienden, lógicamente, a disminuir, mientras que el tramo 4 del río (entre Orihuela y Guardamar de Segura) pasa a comportarse como perdedor en lugar de ganador.

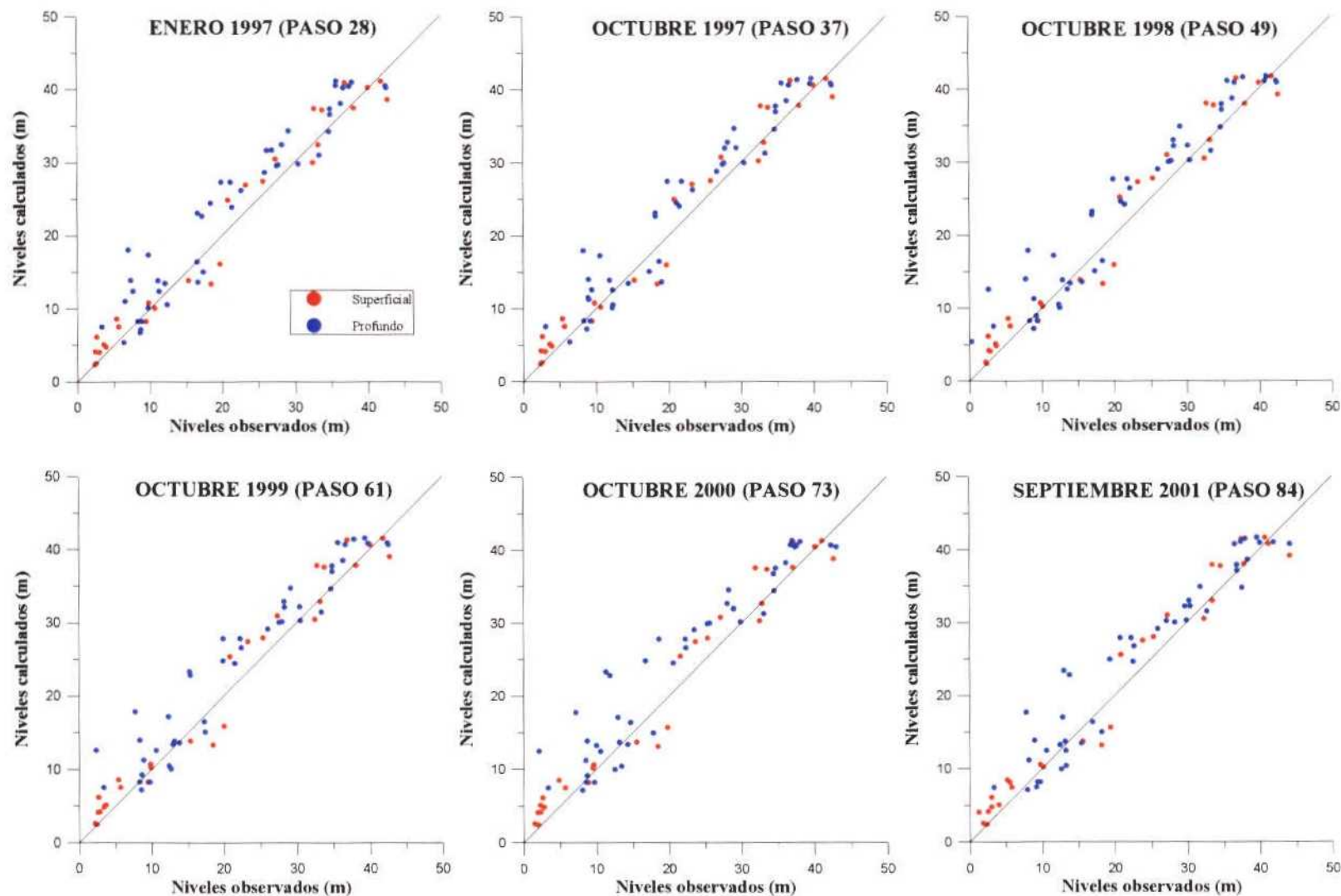


Figura 12.26- Comparación entre niveles observados y calculados (error medio absoluto) correspondientes a los pasos de tiempo intermedios (Fase2)

Los resultados obtenidos durante esta fase constituyen una primera aproximación manteniendo los valores de conductividad hidráulica y los porcentajes de escorrentía subterránea calibrados en régimen estacionario. Sin embargo, los caudales de infiltración obtenidos en el tramo 1 del río son demasiado elevados, de forma que el flujo subterráneo en la Vega Media se encuentra fuertemente condicionado por el río, lo cual no resulta coherente con el modelo conceptual. Este hecho hace que el modelo numérico tienda a no reproducir adecuadamente las oscilaciones del nivel piezométrico. Así mismo, los parámetros hidráulicos calibrados (conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento) parecen algo elevados con respecto a la información previa disponible.

Fase 3: Calibración final mediante tanteo de los parámetros de almacenamiento y conductividad hidráulica.

A partir de las observaciones y resultados obtenidos en las fases anteriores se ha realizado una calibración final con objeto de minimizar el peso del río en la Vega Media. Para ello se han realizado las siguientes modificaciones:

- Modificación de la conductancia y de las zonas de balance en el río de acuerdo con el perfil longitudinal del mismo.
- Aumento de la recarga considerando la opción 2, es decir, aplicándola en la celda activa más alta en la vertical.
- Disminución de la conductividad hidráulica en la Vega Media (acuífero superficial y profundo) en mayor coherencia con la información previa disponible.
- Disminución de la porosidad eficaz y/o coeficiente de almacenamiento (acuífero superficial y profundo) en mayor coherencia con la información previa disponible.

En la Figura 12.27 se muestra el perfil longitudinal del río introducido en el modelo numérico para la Vega Media, representando tanto la cota de fondo del lecho como la piezometría correspondiente al modelo conceptual en régimen estacionario.

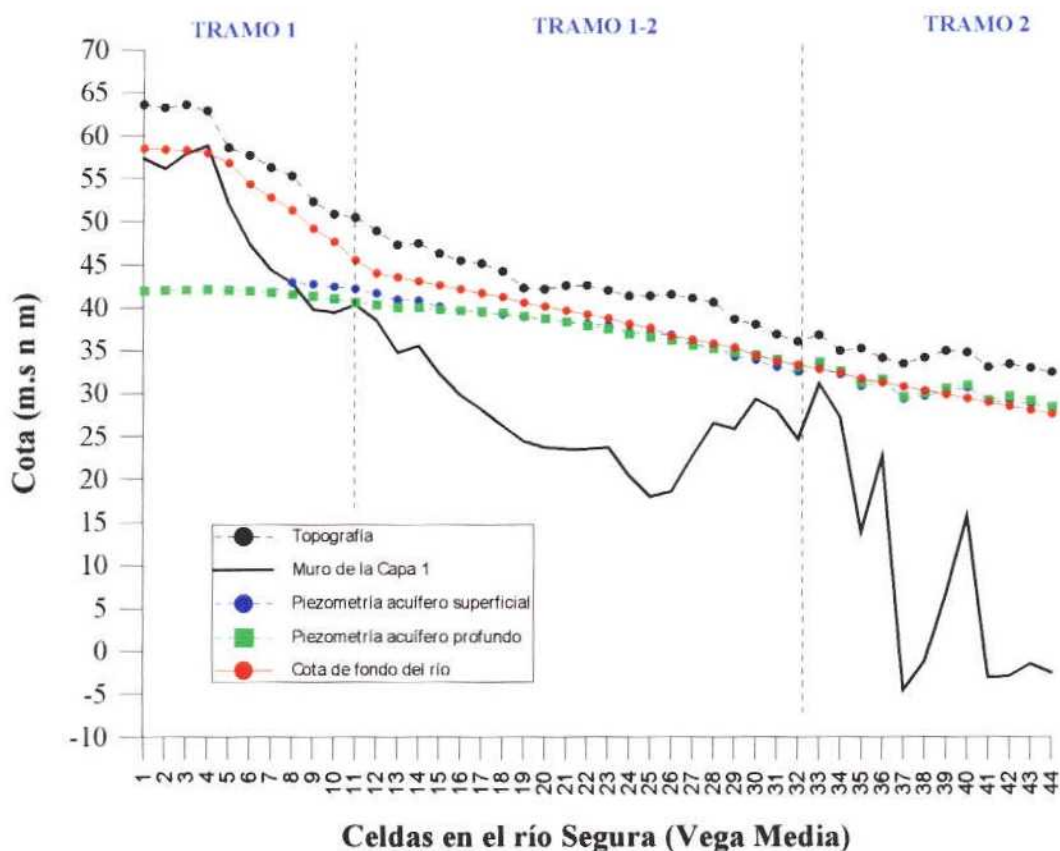


Figura 12.27. - Perfil longitudinal del río Segura introducido en el modelo numérico (Vega Media)

Tal y como puede observarse, en el tramo 1-2 la cota de fondo del río se encuentra ligeramente por encima de la piezometría, produciéndose una infiltración desde el río hacia el acuífero. Dicho tramo ha sido simulado hasta el momento considerando una conductancia igual a la utilizada para el tramo 2, donde el río se comporta como ganador. Sin embargo, la escasa diferencia existente entre ambas superficies supone una cierta incertidumbre en el carácter de dicha relación. Por tanto, y con objeto de minimizar esta incertidumbre se ha decidido reducir la conductancia en el tramo 1-2, con respecto a la fase 2.

En la Tabla 2 del Anejo 11 se presenta un resumen de las simulaciones realizadas durante esta fase, observando la influencia de la conductancia en el río, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento tanto en el balance de agua en el río como en el ajuste entre los niveles observados y los calculados (tendencia general y error medio absoluto). El objetivo de la calibración ha consistido en obtener un conjunto de parámetros (conductancia, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento) que minimicen la

infiltración producida en el tramo 1 del río y reproduzcan más adecuadamente la tendencia de los niveles piezométricos observados.

Durante el proceso de calibración se observa cómo, desde las primeras simulaciones, la infiltración desde el río hacia el acuífero en la Vega Media disminuye significativamente. Inicialmente, se ha reducido la conductancia tanto en el tramo 1 como en el tramo 1-2 del río, observándose que tanto la infiltración como la descarga subterránea se producían casi exclusivamente a lo largo del tramo 2, lo cual tampoco resulta coherente con el modelo conceptual. Posteriormente, se ha aumentado la conductancia únicamente en el tramo 1, es decir, donde la infiltración debe ser mayor, dado que la cota del fondo del río se encuentra claramente por encima del nivel piezométrico (Figura 12.29), mejorando mucho los resultados. Sin embargo, simultáneamente, también se observa el secado de un elevado número de celdas en el acuífero superficial (Vega Media). Por tanto, a partir de este momento la calibración se ha centrado en tantear tanto la conductancia del río en el tramo 1 como la conductividad hidráulica y los parámetros de almacenamiento en la Vega Media con la finalidad de llegar a un compromiso entre el balance de agua en el río, el ajuste entre niveles en la Vega Media y el secado de las celdas en el acuífero superficial. En general se observa que, lógicamente, a mayor conductancia en el tramo 1, menor conductividad hidráulica y mayor coeficiente de almacenamiento, se produce un menor secado de celdas en el acuífero superficial, aunque a consta de perder calidad en el ajuste entre niveles. Es importante tener en cuenta la limitación asociada al código utilizado, el cual no permite volver a saturar una determinada celda una vez que ésta ha quedado seca. Para ello, el código dispone de una opción específica denominada "rewetting", aunque las pruebas realizadas hasta el momento no han permitido mejorar los resultados en relación con este aspecto.

A partir de las simulaciones realizadas durante esta fase (Tabla 2 del Anejo 11) se han seleccionado dos hipótesis según los valores de conductividad hidráulica y parámetros de almacenamiento considerados. En la primera de las hipótesis (D) se ha mantenido la conductividad hidráulica obtenida en régimen estacionario, disminuyendo únicamente la permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento en la Vega Media. En la segunda hipótesis (E) se han afinado dichos valores con objeto de mejorar los resultados, disminuyendo la permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento tanto en la Vega Media como en la Vega Baja. En ambos casos se han considerado unos coeficientes de almacenamiento para la Vega Media menores con respecto a la fase 2 (0,03 para el acuífero superficial y 3×10^{-4} para el profundo) más coherentes con la información previa disponible.

La recarga se ha simulado en las dos hipótesis mediante la opción 2, es decir, aplicándola sobre la celda activa más alta en la vertical.

En las Figuras 12.28 y 12.29 se presenta el ajuste global obtenido entre los niveles medidos y los calculados durante el periodo de calibración (diciembre 1996 a septiembre 2001) tanto para la Vega Media como para la Vega Baja. En la Tabla 12.20 se resumen los datos de entrada para cada hipótesis comparando los valores de conductividad hidráulica considerados con los obtenidos en régimen estacionario. En la misma tabla se resumen los principales datos de salida (balance y ajuste de niveles) para los pasos de tiempo intermedios 28, 37, 49, 61, 73 y 84.

Con respecto a la evolución temporal de los niveles, se puede observar cómo el modelo reproduce "razonablemente" la tendencia general del acuífero, mejorando significativamente la forma de reproducir las oscilaciones del nivel piezométrico con respecto a los resultados obtenidos en la fase 2. En ambas hipótesis se observa además como, en general, el error medio absoluto entre niveles calculados y observados también disminuye con respecto a las hipótesis A, B y C (fase 2).

En la Figura 12.30 se presenta el error medio absoluto (Vega Media y Baja, Vega Media y Vega Baja) para cada paso de tiempo intermedio correspondiente a las hipótesis D y E. Los mayores errores se siguen obteniendo para el paso de tiempo 73 (octubre 2000) a excepción de en la Vega Media, donde el error para este paso de tiempo disminuye. Así mismo, se sigue observando claramente cómo, independientemente de la hipótesis considerada, el error obtenido es menor en la Vega Media que en la Vega Baja, lo que se interpreta como debido, fundamentalmente, a la incertidumbre y limitaciones asociadas con las Sierras de Callosa y Orihuela. Si se eliminan los puntos de observación relacionados con dichas sierras el error disminuye significativamente. Al establecer una comparación entre ambas hipótesis se observa claramente que los errores obtenidos en la hipótesis E son menores, sobre todo para el caso de la Vega Media cuyo error tiende a disminuir a lo largo del periodo de calibración.

En la Figura 12.31 se presentan los niveles observados frente a los calculados para cada paso de tiempo analizado (hipótesis E). El error medio absoluto obtenido oscila entre 2,49 (octubre 1997) y 3,06 m (octubre 2000). Los errores medios correspondientes son de 1,18 y 1,64 m respectivamente. El error medio absoluto obtenido para el acuífero superficial (entre 1,94 y 2,49 m) es inferior con respecto al acuífero profundo (entre 2,51 y 3,04 m).

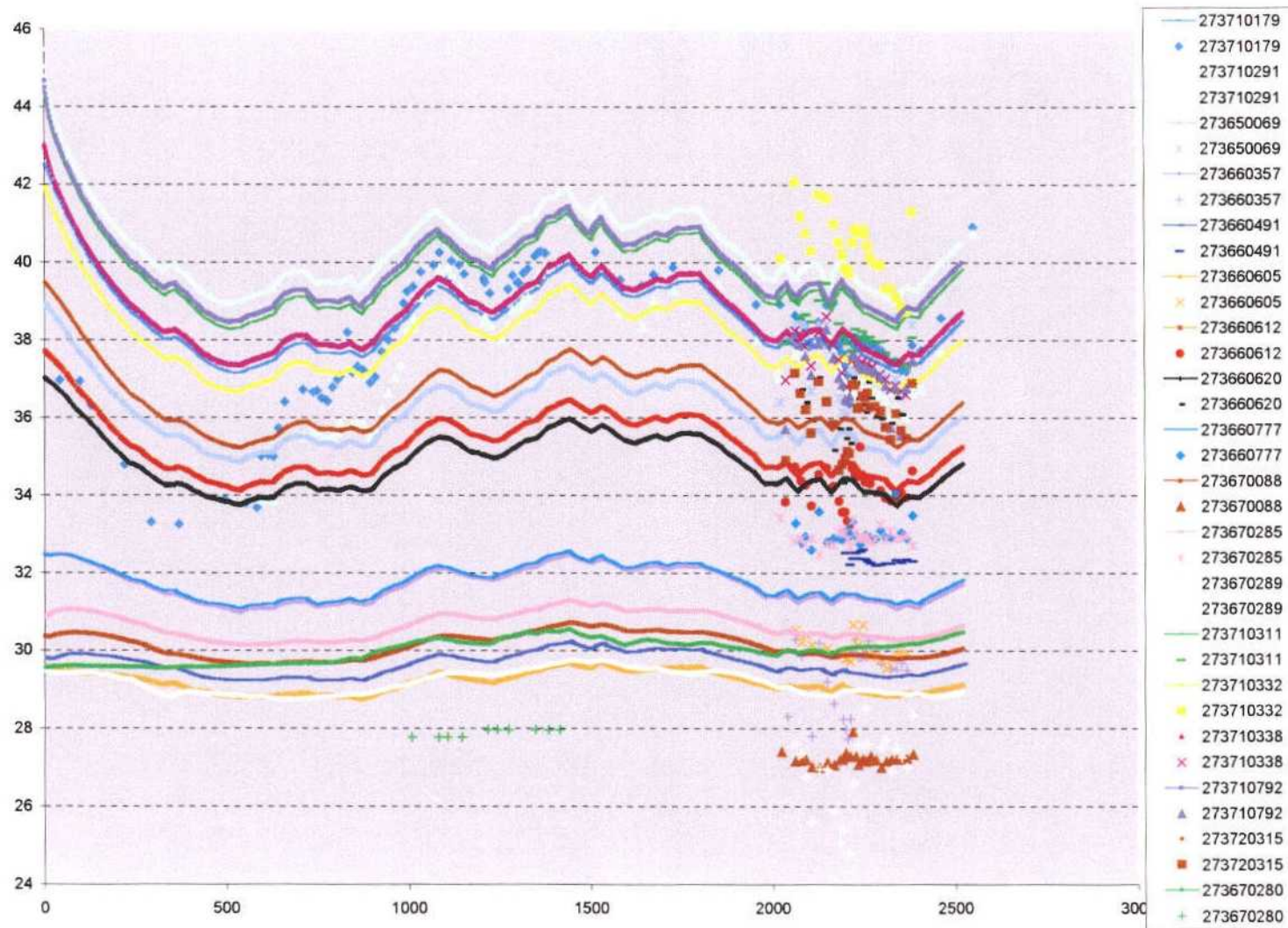


Figura 12.28. Ajuste global entre niveles durante 1996- 2001 en la Vega Media (puntos = niveles observados; líneas = niveles calculados).

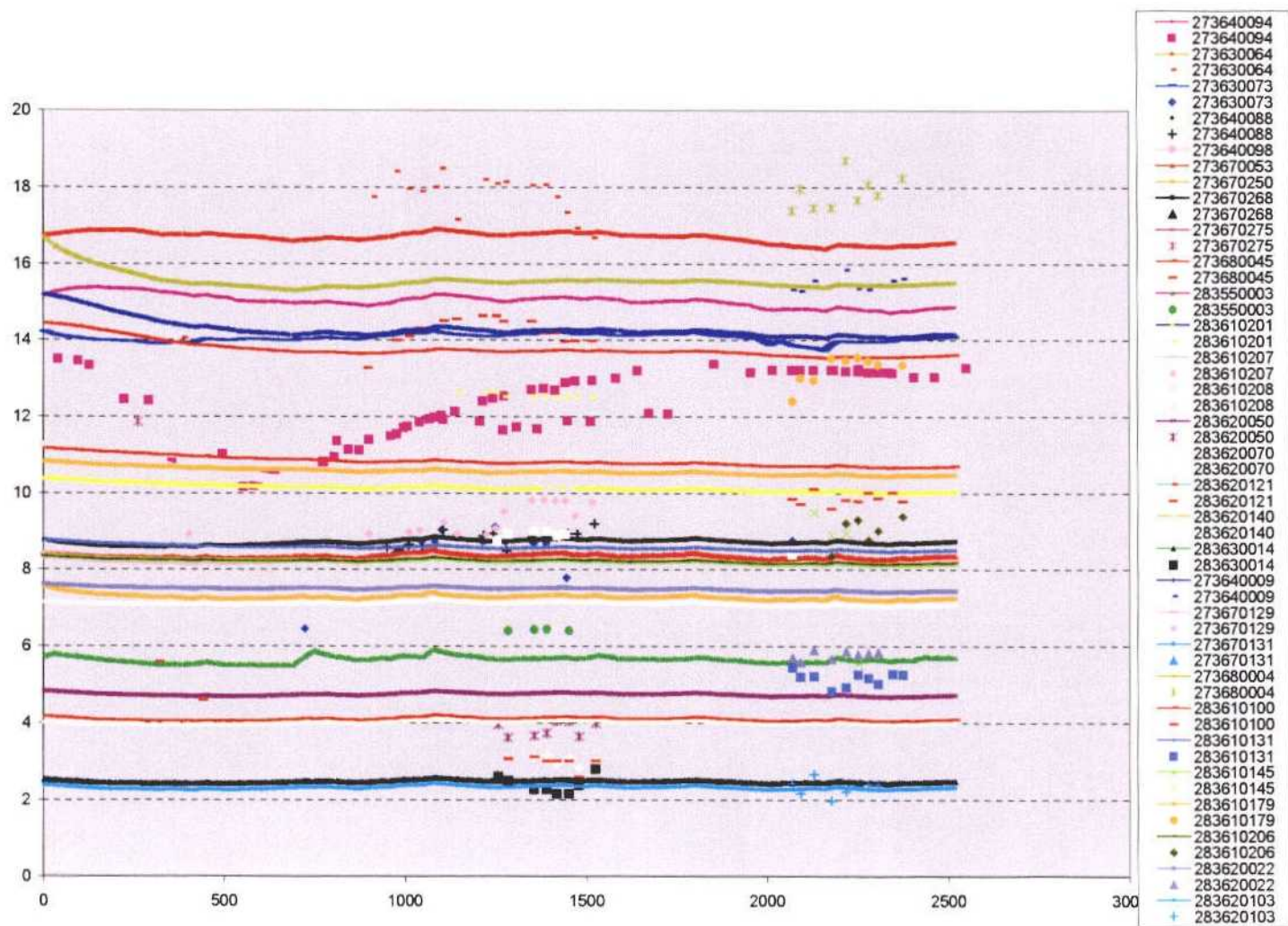


Figura 12.29. Ajuste global entre niveles durante 1996- 2001 en la Vega Baja (puntos = niveles observados; líneas = niveles calculados).

Tabla 12.20. – Resumen de los parámetros de entrada para las hipótesis D y E. Principales resultados (balance y error entre niveles) correspondientes a los pasos de tiempo intermedios. (*) = parámetros de entrada obtenidos en régimen estacionario)

DATOS DE ENTRADA																						
CONDUCTANCIA				PERMEABILIDAD																		
RÍO				VEGA MEDIA									VEGA BAJA									
C1	C2	C3	C4	CAPA 1			CAPA 2			CAPA 3			CAPA 1			CAPA 2			CAPA 3			
				Zona 1 (y 2)	Zona 16	Zona 2	Zona 18	Zona 17	Zona 14	Zona 19	Zona 3	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 11	Zona 5	Zona 4	Zona 10	Zona 12	Zona 13	Zona 15	
(*)	30000	1000000	1000000	2500	50 (1,5)	No	50 (1,5)	No	No	400 (5)	No	375 (5)	10	10	10	2,5 (1)	0.001	375 (5)	150 (5)	150 (5)	0,5	2,5
D	6000	80000	1250	1250	0,5 (0,1)	No	0,5 (0,1)	No	No	100 (5)	No	100 (5)	10	10	10	2,5 (1)	0.001	375 (5)	150 (5)	150 (5)	0,5	2,5
E	6000	80000	40000	1250	0,5 (0,03)	5 (0,1)	No	5 (0,3)	50 (1)	100 (60)	100 (60)	100 (60)	5 (0,1)	5 (0,1)	5 (0,1)	2,5 (1)	2,5 (0,1)	375 (5)	50 (5)	50 (5)	0,5	2,5

BALANCE																								
RÍO																								
TRAMOS 1 y 2										TRAMO 3						TRAMO 4								
28			49			61			84			28		49		61		84		28	49	61	84	
T1	T2	%ES	T1	T2	%ES	T1	T2	%ES	T1	T2	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES						
D	25.92	3.16	2.7	24.31	8.47	7.3	27.22	7.25	6.2	30.22	3.64	3.1	6907	2.52	9599	3.50	7197	2.63	3882	1.42	0.5	1.38	1.4	0.84
E	20.52	4.17	3.6	19.31	11.7	10.0	20.02	8.55	7.3	21.44	1.96	1.7	28024	10.23	36082	13.17	25683	9.37	10581	3.86	2.27	3.43	3.32	2.66

BALANCE																								
DRENES						LAGUNA DEL HONDO						MAR												
28		49		61		84		28		49		61		84		28		49		61		84		
D	81570	29.77	89919	32.82	89273	32.58	83431	30.45	59555	21.74	56098	20.48	59460	21.70	57264	20.90	4415	1.61	4576	1.67	4610	1.68	4586	1.67
E	80795	29.49	91790	33.50	90874	33.17	87235	31.84	35565	12.98	32218	11.76	34192	12.48	32750	11.95	2121	0.77	2216	0.81	2247	0.82	2263	0.83

		NIVELES (ERROR)																	
		VEGA MEDIA Y BAJA						VEGA MEDIA						VEGA BAJA+TRIAS					
		28	37	49	61	73	84	28	37	49	61	73	84	28	37	49	61	73	84
D	EMA	2.68	2.64	2.85	2.99	3.32	2.69	2.52	2.65	2.81	2.71	2.65	2.28	2.79	2.64	2.87	3.17	3.75	2.95
D	EM	1.34	1.60	2.05	2.19	2.32	1.55	0.4	1.62	2.16	1.90	1.38	0.78	1.94	1.59	1.98	2.37	2.92	2.05
E	EMA	2.61	2.49	2.64	2.76	3.06	2.58	2.46	2.28	2.29	2.23	2.28	2.16	2.71	2.63	2.86	3.10	3.55	2.85
E	EM	1.03	1.18	1.46	1.54	1.64	0.84	-0.3	0.47	0.67	0.4	-0	-0.84	1.9	1.64	1.97	2.28	2.7	1.92

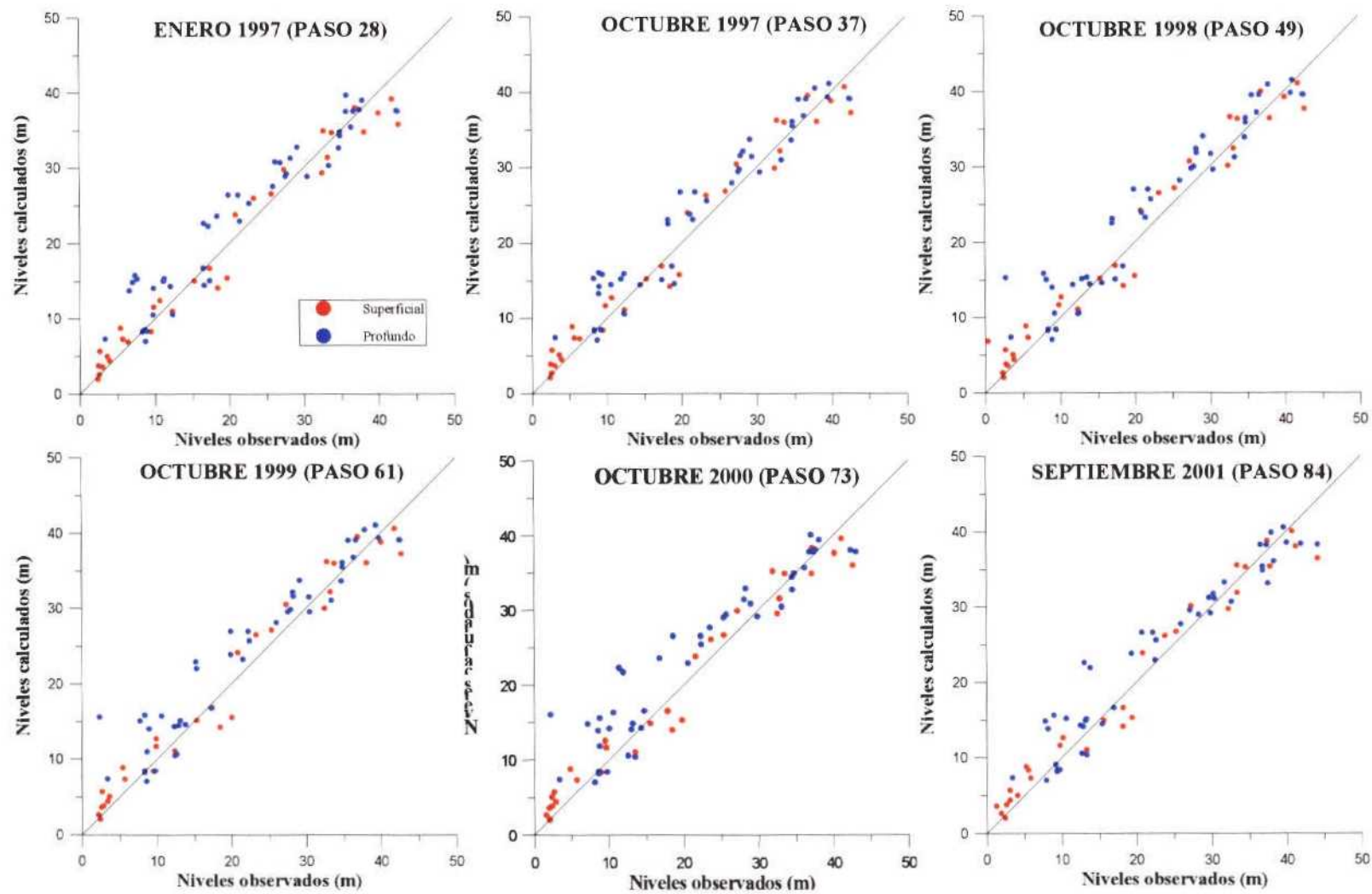


Figura 12.31- Comparación entre niveles observados y calculados (error medio absoluto) correspondientes a los pasos de tiempo intermedios (Fase 3)

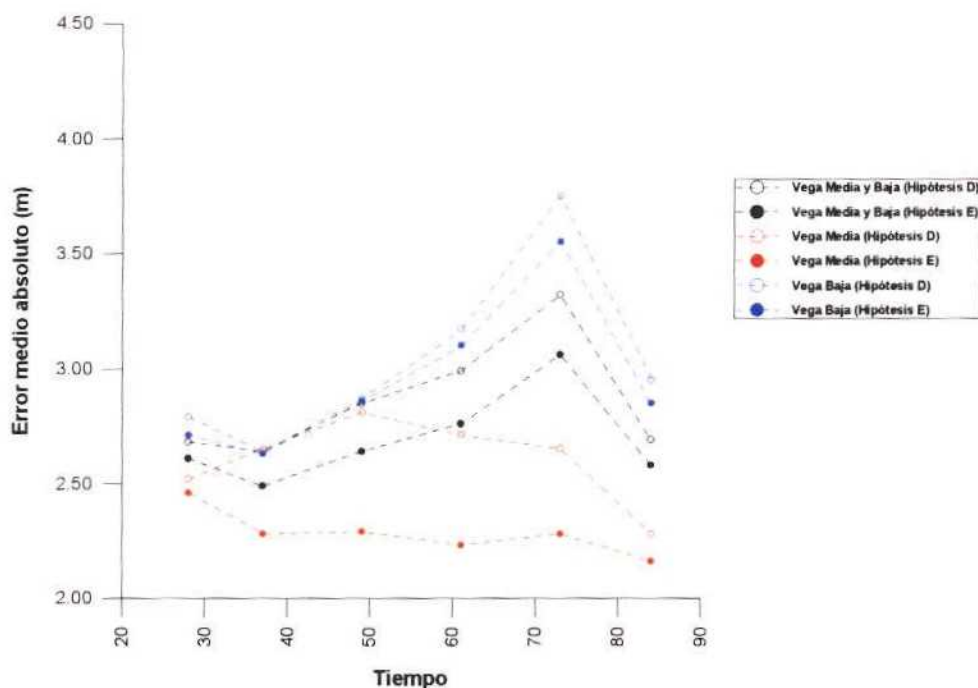


Figura 12.30. – Error medio absoluto obtenido en la Vega Media y Baja, Vega Media y Vega Baja para los pasos de tiempo intermedios 28, 37, 49, 61, 73 y 84 (hipótesis D y E).

Con respecto al balance de agua en el río, los caudales de infiltración obtenidos para el tramo 1 (de 24 a 30 hm³/año para la hipótesis D y de 19 a 21 hm³/año para la hipótesis E) resultan mucho más coherentes con el modelo conceptual. Sin embargo, los porcentajes de escorrentía subterránea obtenidos para el tramo 2 son menores con respecto a los deducidos para el periodo 1973-75 y obtenidos tanto en régimen estacionario como en transitorio en la fase 2 (hipótesis A, B y C). Ello podría estar relacionado con los siguientes aspectos:

- a) Cambio de la relación río-acuífero como consecuencia de las obras de rectificación del cauce del río Segura ocurrida entre 1993 y 1996. En la estación de aforos de Beniel se observa una diferencia significativa entre los caudales aforados durante 1973-75 (~ 230 hm³/año) y 1996-2001 (~116 hm³/año). Sería necesario realizar un estudio específico detallado con objeto de evaluar la posible incidencia de las obras en los caudales aforados, así como volver a aplicar el método de descomposición de Barnes u otro análogo con la finalidad de evaluar un posible cambio en la relación río-acuífero.

- b) Limitaciones relacionadas con el porcentaje de escorrentía subterránea deducido para el tramo 2 (estación de aforos de Beniel) y empleado durante la calibración. Hay que tener en cuenta que los $116 \text{ hm}^3/\text{año}$ utilizados como referencia para calcular el porcentaje de escorrentía subterránea durante la calibración corresponde al promedio de los caudales mensuales aforados durante el periodo 1996-2001, lo cual puede llevar a errores considerables al evaluar dicha escorrentía.
- c) Limitaciones relacionadas con la lámina de agua en los tramos 1 y 2 del río. Tal y como se comenta en el apartado 12.4.3.1, la evolución de la lámina de agua en el río (tramo 2) se ha obtenido directamente a partir de las medidas realizadas en la estación de aforos de Beniel, mientras que las láminas correspondientes a los tramos 1 y 3 del río, se han estimado indirectamente aumentando y disminuyendo 1 y 0,5 m, respectivamente, la lámina anterior. Sin embargo, se ha asignado el mismo valor de lámina a cada tramo del río sin tener en cuenta la existencia de gradientes en la horizontal. Por otra parte, no se tiene la certeza de que la lámina de agua vaya disminuyendo a lo largo del perfil del río. Sería aconsejable realizar un análisis de sensibilidad más detallado con objeto de conocer la influencia de la lámina de agua en los diversos tramos del río.
- d) Limitaciones asociadas con la forma de introducir la recarga en el modelo. La recarga producida sobre la Vega Media (Zona A) influye significativamente en el balance de agua en el río. La realización de un análisis de sensibilidad preliminar (Tabla 2 del Anejo 11) ha permitido observar cómo al aumentar la recarga en la Zona A manteniendo el resto de parámetros constantes, el balance de agua en el río mejora significativamente, manteniéndose el ajuste entre niveles en la parte inferior de la Vega Media y aumentando significativamente el agua descargada por el tramo 2. Ello parece indicar que, probablemente, la recarga producida en la parte baja de la Vega Media es superior a la que se produce en cabecera, no pudiendo simularse este comportamiento al disponerse de una sola zona de recarga. Sería aconsejable en el futuro diferenciar dos zonas de recarga en la Vega Media, con la finalidad de aumentar la recarga en la parte inferior y disminuirla en la zona de cabecera.

Con respecto a los porcentajes de escorrentía subterránea correspondientes al tramo 3, los resultados obtenidos (entre 5 y 17% para la hipótesis E) son relativamente coherentes con los considerados hasta el momento (12-13 %)

En las Figuras 12.32 a 12.37 se presenta la evolución de las principales entradas, salidas y variación en el almacenamiento a lo largo del periodo simulado (1994-2001) para la Vega Media y Vega Baja (hipótesis E). En las Tablas 3, 4 y 5 del Anejo 11 se presentan los datos mensuales correspondientes a la Vega Media, Vega Baja y Vega Media y Baja respectivamente. En la Vega Media, las entradas de agua vienen dadas por la recarga por infiltración de la precipitación y excedentes de riego, así como por la infiltración producida a partir del río. Las salidas vienen dadas fundamentalmente por el bombeo, seguido por la descarga subterránea por el río y los azarbes. Así mismo, se observa como, frecuentemente, la variación en el almacenamiento es negativa, es decir, se produce un predominio de las salidas frente a las entradas y, por tanto, un cierto consumo de reservas. Si se presentan estos mismos resultados por años hidrológicos (Tabla 12.21) se observa que durante los años 1996/97, 1997/98 y 2000/2001 parece producirse un mayor consumo de reservas.

Tabla 12.21. – Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Media (1994-2001)

	ENTRADAS		SALIDAS			VARIACIÓN
	RECARGA	RIO	DRENES	RIO	BOMBEO	ALMACENAMIENTO
1994/95	10.20	19.82	1.46	11.44	22.55	9.37
1995/96	18.56	22.27	0.90	7.41	18.53	-1.14
1996/97	24.43	23.43	1.10	6.27	13.18	-8.69
1997/98	21.22	22.73	1.47	7.70	12.06	-7.18
1998/99	21.47	20.86	1.57	10.66	16.37	5.25
1999/00	12.94	22.06	1.14	8.54	21.84	7.27
2000/01	20.72	25.43	0.99	5.10	18.64	-5.20

Con respecto a la Vega Baja, las entradas de agua se producen, principalmente, por la infiltración de la precipitación y excedentes de riego. Las salidas vienen dadas por la descarga producida a través de los azarbes, seguidas por el bombeo, la descarga subterránea al río, la descarga a través de las lagunas y, por último, por las salidas al mar. Así mismo, se observa cómo, la variación en el almacenamiento es negativa, es decir, se produce un mayor consumo de reservas durante 1996/97 y 2000/01. Como puede observarse en ambas tablas, la diferencia entre las entradas y las salidas no coinciden con la variación en el almacenamiento presentada en las Tablas 12.21 y 12.22. Ello se debe a que en los subalances realizados no se ha considerado la transferencia de agua entre la Vega Media y la Vega Baja. En la Tabla 12.23 se presentan los resultados obtenidos para la Vega Media y Baja conjuntamente observándose como, en este caso, sí se obtiene un cierre de balance más razonable.

Tabla 12.22. – Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Baja (1994-2001)

	ENTRADAS		SALIDAS				VARIACIÓN	
	RECARGA	RIO	DRENES	RIO	BOMBEO	LAGUNAS	MAR	ALMACENAMIENTO
1994/95	29.65	0.69	26.91	13.91	22.45	1.13	0.62	27.41
1995/96	58.30	0.72	26.87	12.19	23.09	7.03	0.73	0.51
1996/97	80.16	0.55	30.90	12.81	8.40	14.28	0.85	-25.60
1997/98	45.78	0.44	32.12	13.29	8.13	12.64	0.82	7.42
1998/99	53.50	0.48	31.42	15.11	12.41	12.08	0.80	4.92
1999/00	31.95	0.80	28.75	13.24	13.83	10.63	0.73	18.99
2000/01	57.91	1.21	28.93	9.15	9.93	11.97	0.77	-10.77

Tabla 12.23. – Entradas y salidas para la Vega Media y Baja indicando el cierre en el balance (1994-2001)

	ENTRADAS		SALIDAS				VARIACIÓN	CIERRE
	RECARGA	RIO	DRENES	RIO	BOMBEO	LAGUNAS Y MAR	ALMACENAMIENTO	BALANCE
1994/95	39.85	20.50	28.36	25.34	45.00	3.96	48.71	6.4
1995/96	76.85	22.99	27.77	19.60	41.62	10.55	1.90	2.2
1996/97	104.59	23.98	31.99	19.09	21.58	19.37	-36.48	0.1
1997/98	67.01	23.17	33.59	20.99	20.19	17.73	2.32	0.0
1998/99	74.98	21.35	32.99	25.77	28.78	16.83	8.06	0.0
1999/00	44.89	22.86	29.89	21.77	35.67	14.87	30.04	-4.4
2000/01	78.63	26.64	29.92	14.24	28.57	16.45	-15.63	0.5

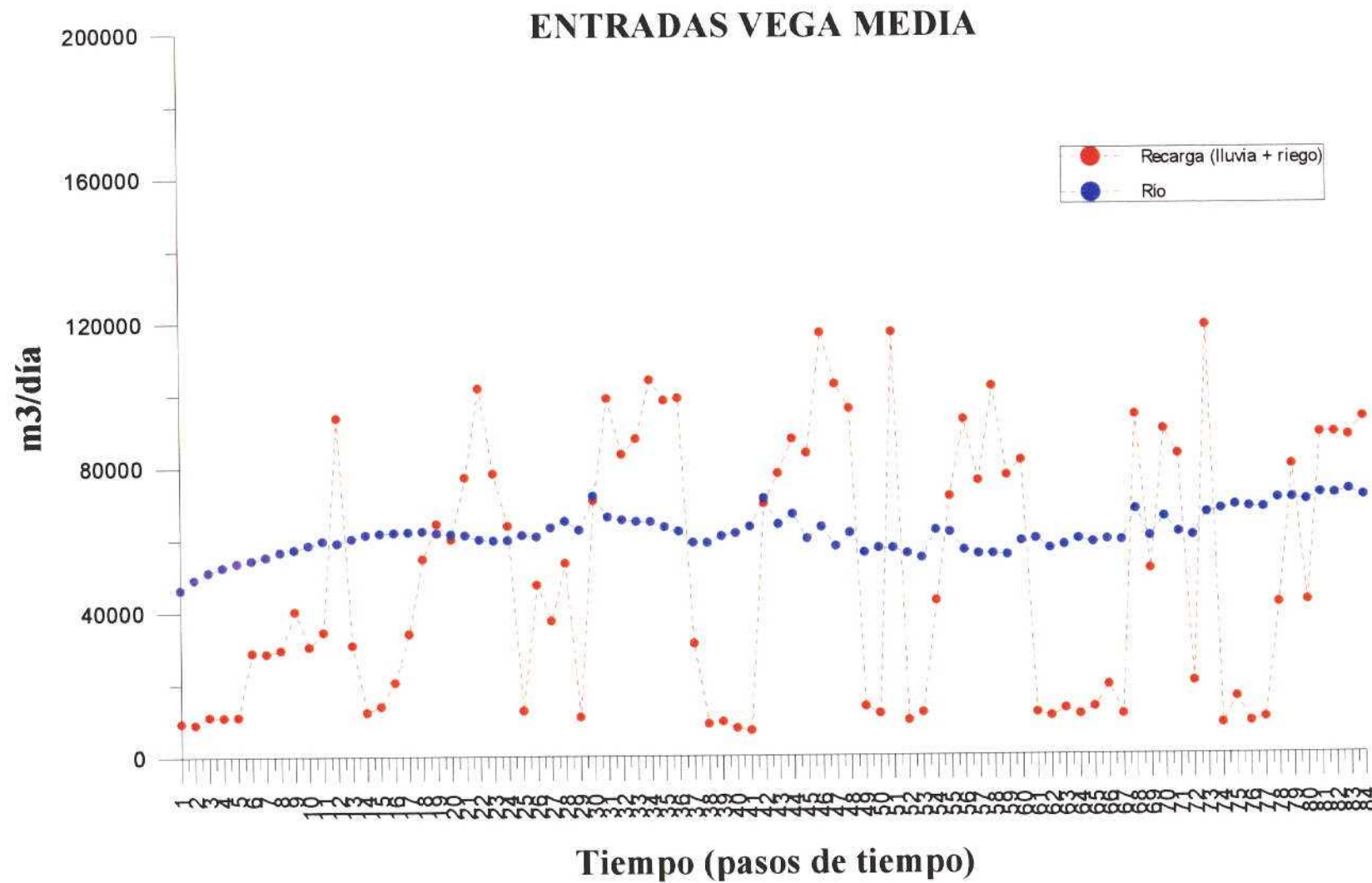


Figura 12.32. – Evolución temporal de las principales entradas simuladas en la Vega Media (1994-2001)

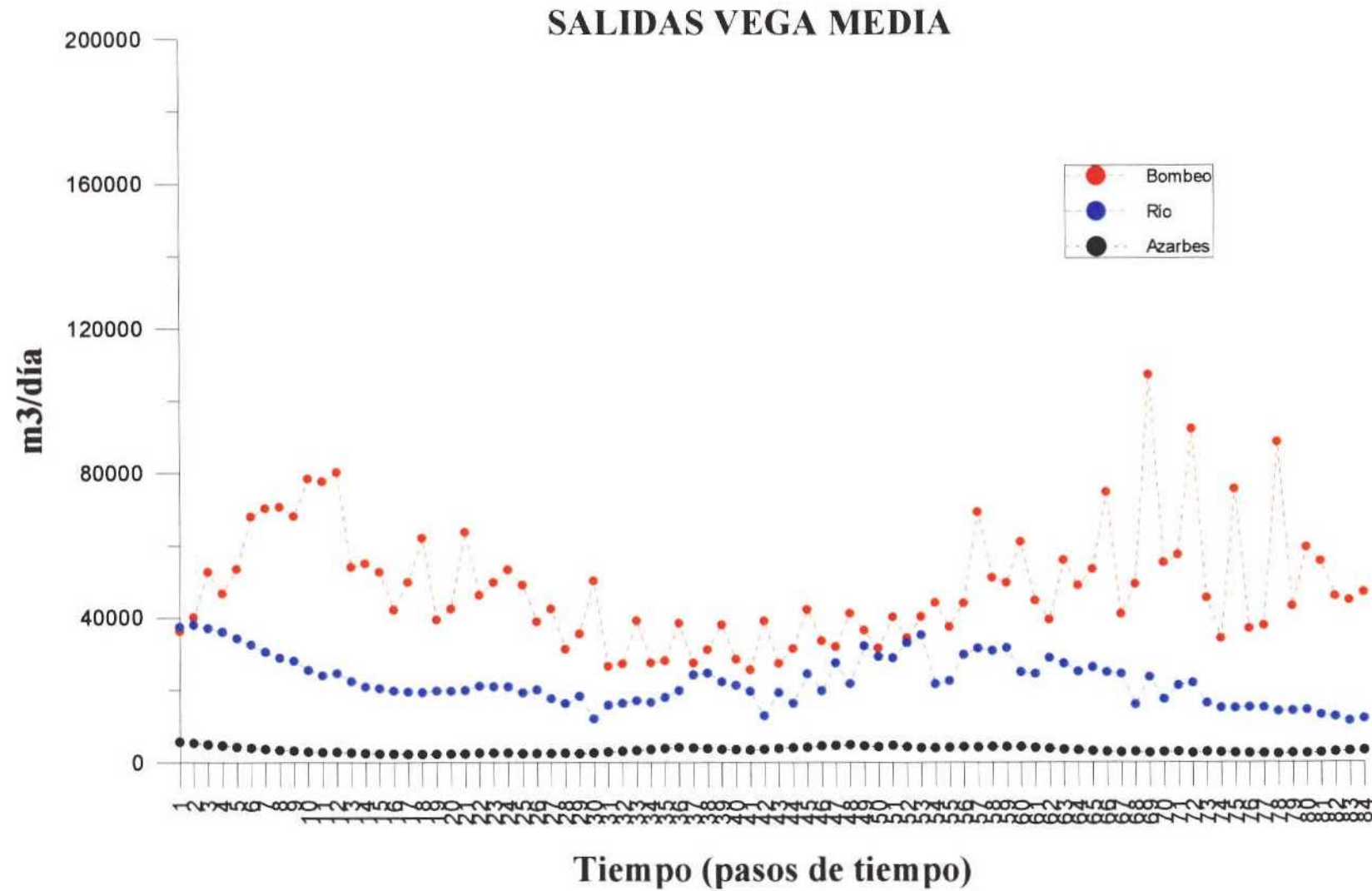


Tabla 12.33. – Evolución temporal de las principales salidas simuladas en la Vega Media (1994-2001)

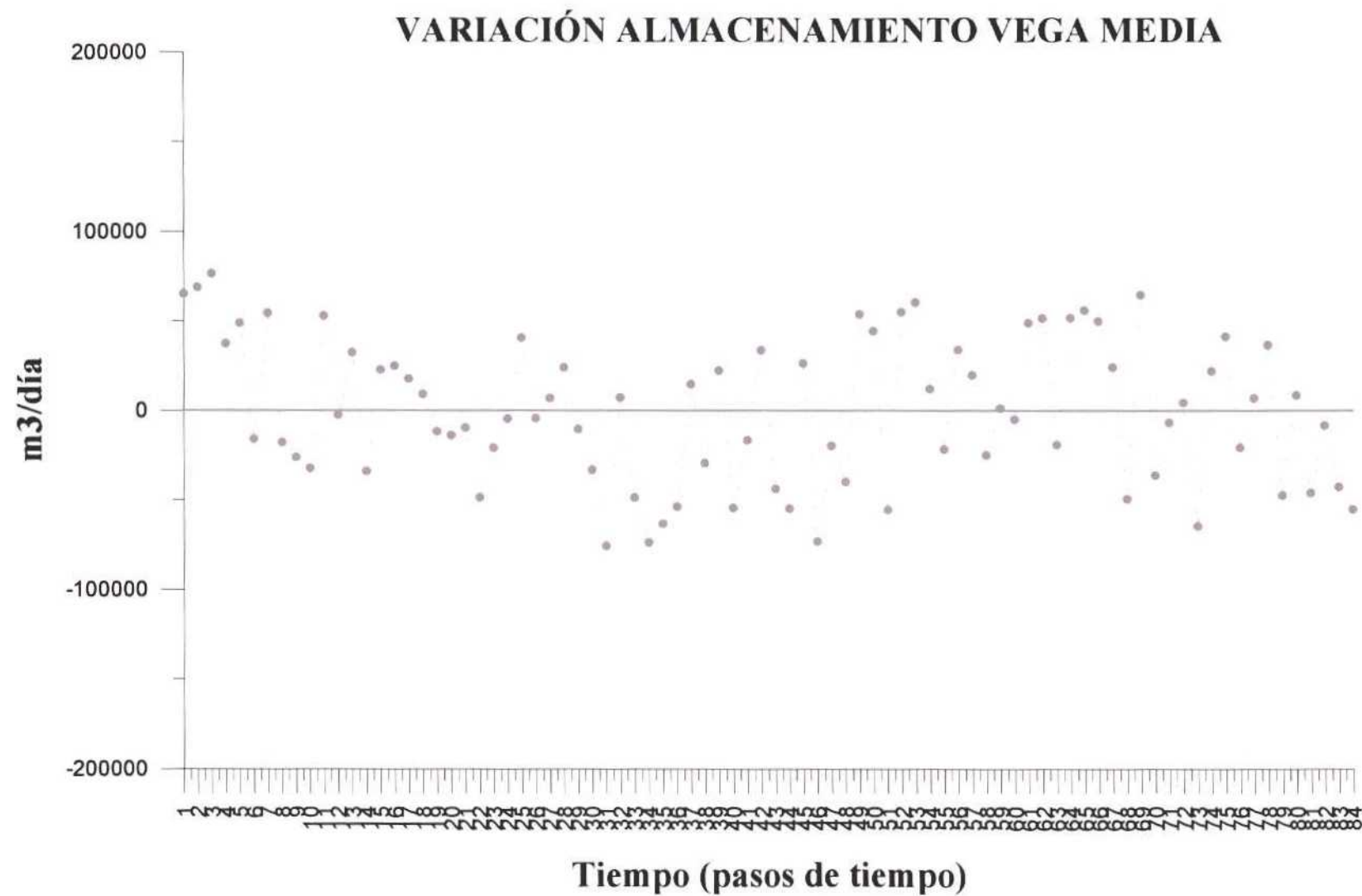


Tabla 12.34. – Evolución temporal de la variación en el almacenamiento simulada en la Vega Media (1994-2001)

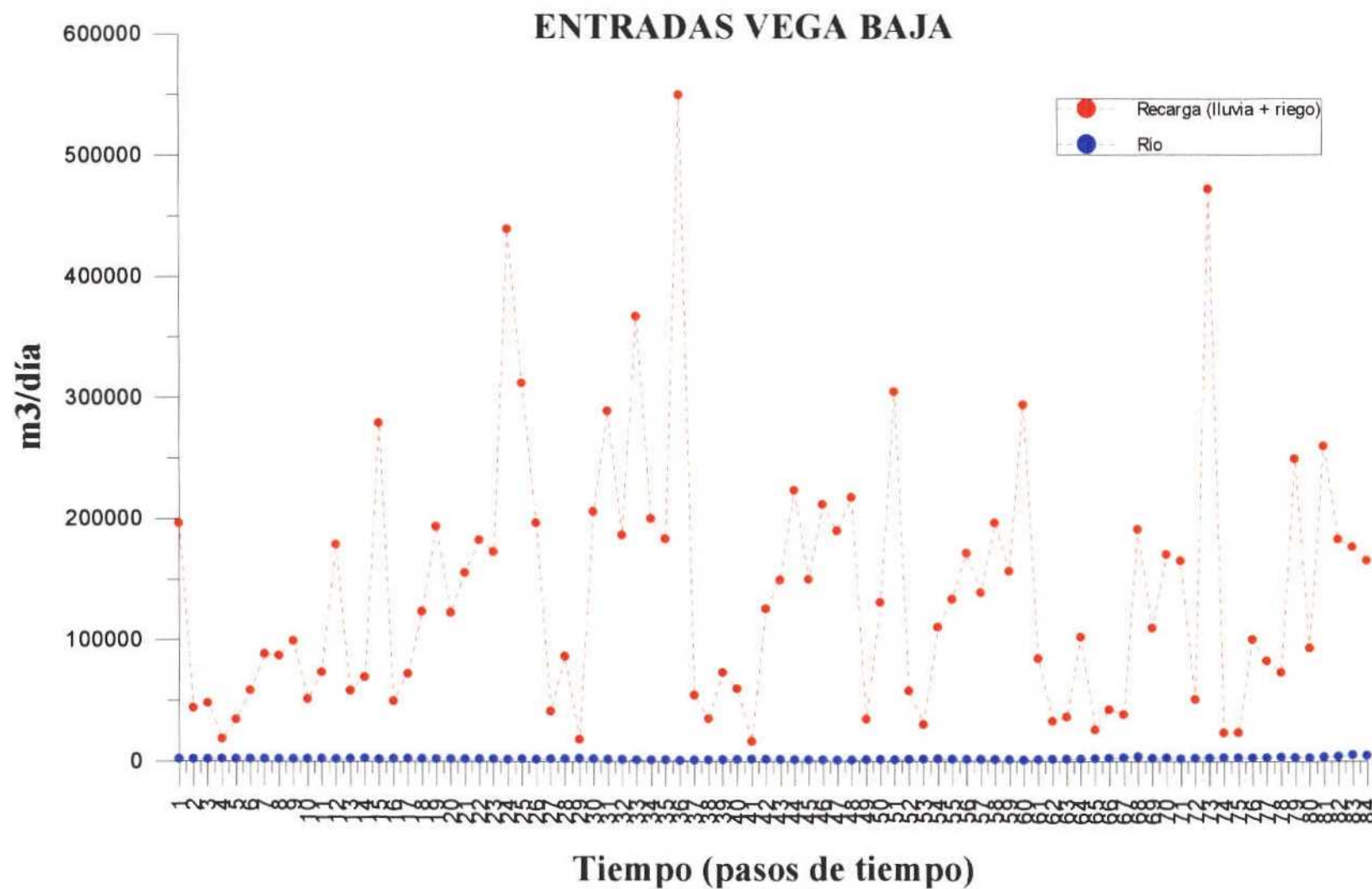


Tabla 12.35. – Evolución temporal de las principales entradas simuladas en la Vega Baja (1994-2001)

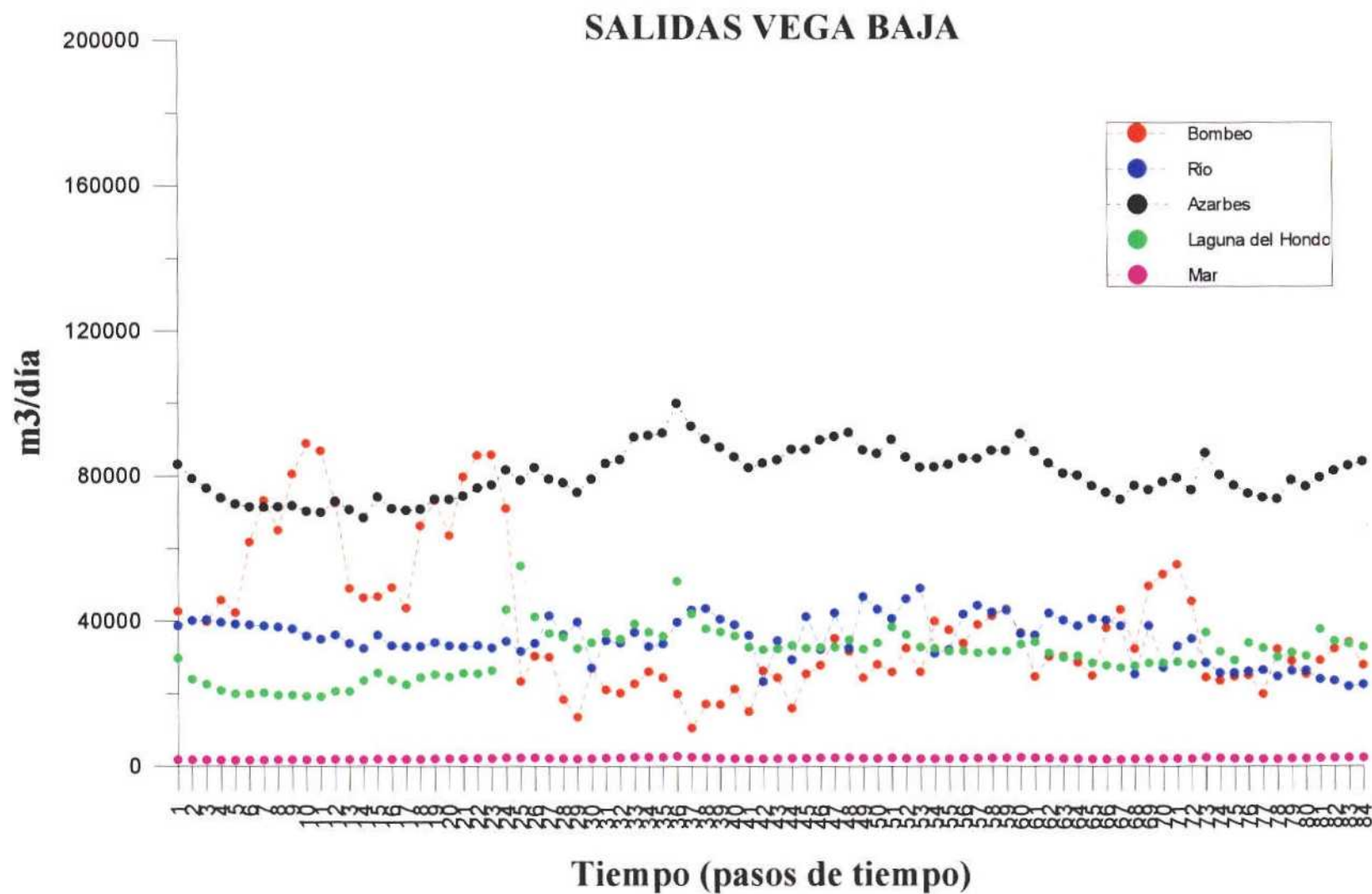


Tabla 12.36. – Evolución temporal de las principales salidas simuladas en la Vega Baja (1994-2001)

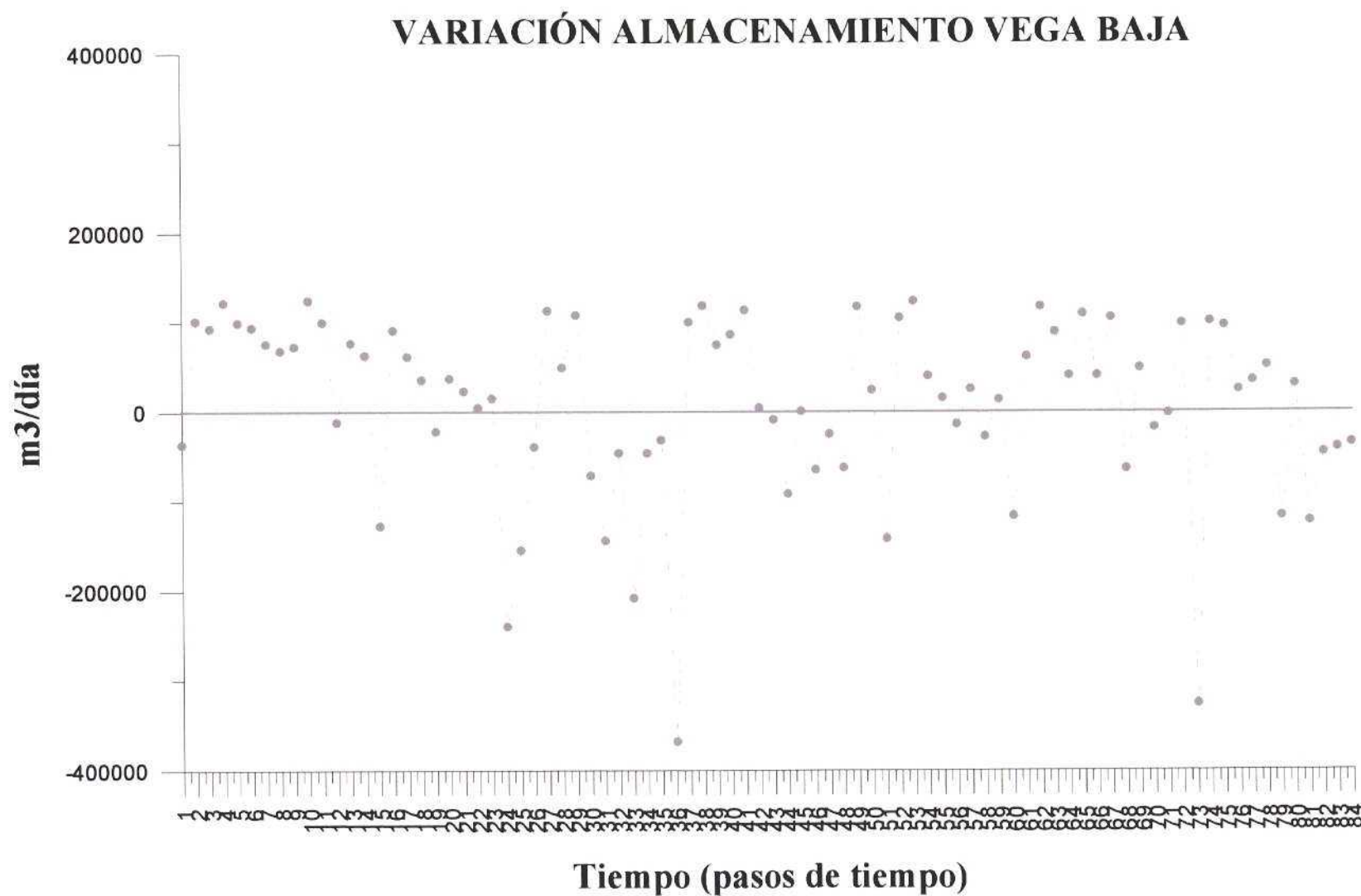


Tabla 12.37. – Evolución temporal de la variación en el almacenamiento simulada en la Vega Baja (1994-2001)

12.4.3.3 Discusión y conclusiones

- La calibración del modelo numérico en régimen transitorio permite obtener unos primeros resultados considerados como razonables, ajuste de niveles aceptable y balance coherente, aunque condicionados por un elevado número de simplificaciones e hipótesis adoptadas como consecuencia del elevado número de elementos y parámetros implicados en el funcionamiento del acuífero, por las importantes acciones y modificaciones realizadas con respecto a las condiciones naturales y por la escasa información previa o datos disponibles.
- Las oscilaciones del nivel piezométrico simuladas por el modelo numérico se encuentran estrechamente relacionadas con la presencia del río Segura (conductancia y lámina de agua), recarga, conductividad hidráulica y parámetros de almacenamiento. A menor conductancia y lámina de agua en el río, mayor recarga y menores parámetros hidráulicos (conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento o porosidad eficaz) mayores oscilaciones.
- Los resultados de la calibración realizada manteniendo los valores de conductividad hidráulica y los porcentajes de escorrentía subterránea obtenidos en régimen estacionario (hipótesis A, B y C) ponen de manifiesto una infiltración desde el río hacia el acuífero (tramo 1) demasiado elevada con respecto al modelo conceptual, no reproduciéndose adecuadamente las oscilaciones del nivel piezométrico.
- Los resultados de la calibración final realizada (hipótesis D y E) permiten obtener unos caudales de infiltración desde el río más razonables (de 24 a 30 hm³/año para la hipótesis D y de 19 a 21 hm³/año para la hipótesis E), reproducir más adecuadamente los niveles piezométricos observados y considerar unos parámetros hidráulicos (conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento o porosidad eficaz) más coherentes con la información previa disponible.
- El rango de conductividad hidráulica horizontal obtenido (hipótesis D y E) para el acuífero superficial en la Vega Media varía entre 0,5 y 5 m/día en función de la hipótesis y zona considerada. La conductividad hidráulica vertical varía entre 0,03 y 0,1 m/día. La conductividad hidráulica horizontal para el acuífero profundo se encuentra en torno a los 100 m/día, con una conductividad hidráulica vertical entre 5 y 60 m/día en función de la hipótesis adoptada.
- El rango de conductividad hidráulica horizontal obtenido (hipótesis D y E) para el acuífero superficial en la Vega Baja se encuentra, por lo general, entre 2,5 y 10 m/día, en función de la hipótesis y zona considerada. La conductividad hidráulica vertical varía entre 0,1 y 1 m/día. La

conductividad hidráulica horizontal obtenida para el acuífero profundo oscila normalmente entre 50 y 100 m/día mientras que la conductividad hidráulica vertical se encuentra en torno a los 5 m/día

- La porosidad eficaz o coeficiente de almacenamiento obtenido para el acuífero superficial (hipótesis E) se encuentra comprendido entre 0,03 (Vega Media) y 0,09 (Vega Baja). El coeficiente de almacenamiento para el acuífero profundo se encuentra en torno a 3×10^{-4} en ambas vegas.
- Independientemente de la hipótesis considerada, el error obtenido es menor en la Vega Media que en la Vega Baja, lo que se interpreta como debido, fundamentalmente, a la incertidumbre y limitaciones asociadas con las Sierras de Callosa y Orihuela (comentadas en el apartado 12.4.2.4). Si se eliminan los puntos de observación relacionados con dichas sierras, el error en la Vega Baja disminuye considerablemente.
- Para la hipótesis E, el error medio absoluto obtenido en los pasos de tiempo oscila entre 2,49 (octubre 1997) y 3,06 m (octubre 2000). Los errores medios correspondientes son de 1,18 y 1,64 m respectivamente. El error medio absoluto obtenido para el acuífero superficial (entre 1,94 y 2,49 m) es inferior con respecto al acuífero profundo (entre 2,51 y 3,04 m), lo cual resulta coherente con el modelo conceptual, dada la mayor incertidumbre asociada al acuífero profundo debido a la presencia de un mayor número de niveles permeables hacia la Vega Baja e incertidumbre asociada a las sierras de Callosa y Orihuela.
- Los bajos porcentajes de escorrentía subterránea obtenidos para el tramo 2 podrían estar relacionados con: a) cambio de la relación río-acuífero como consecuencia de las obras de rectificación del cauce entre 1993 y 1996, b) limitaciones relacionadas con la forma de obtener tanto el porcentaje de escorrentía subterránea empleado durante la calibración como la lámina de agua en el río durante 1996-2001 y c) limitaciones asociadas a la forma de introducir la recarga en el modelo numérico. Los porcentajes de escorrentía subterránea correspondientes al tramo 3 (entre 5 y 17% para la hipótesis E) son relativamente coherentes con los considerados hasta el momento (12-13 %).
- En la Vega Media, las entradas de agua vienen dadas por la recarga por infiltración de la precipitación y excedentes de riego, así como por la infiltración producida a partir del río Segura. Las salidas se producen fundamentalmente por el bombeo, seguido por la descarga subterránea por el río y los azarbes. La variación en el almacenamiento es negativa, es

decir, se produce un predominio de las salidas frente a las entradas y, por tanto, un cierto consumo de reservas durante los años 1996/97, 1997/98 y 2000/2001.

- En la Vega Baja, las entradas de agua se producen, principalmente, por la infiltración de la precipitación y excedentes de riego. Las salidas vienen dadas por la descarga producida a través de los azarbes, seguidas por el bombeo, descarga subterránea al río, descarga por las lagunas y, por último, por las salidas al mar. La variación en el almacenamiento es negativa y, por tanto, se deduce un cierto consumo de reservas durante los años 1996/97 y 2000/2001.

- El modelo numérico realizado supone un avance considerable que permite mejorar el conocimiento acerca del funcionamiento de la unidad Vegas Media y Baja del Segura. Se dispone, por tanto, de una herramienta que integra y sintetiza una elevada densidad de información así como los resultados de un gran número de estudios previos realizados. No obstante, su carácter debe ser dinámico con continuas revisiones y mejoras, probando nuevas líneas o alternativas de calibración e incorporando más datos e información con objeto de aproximarse progresivamente a la situación real para poder utilizarla eficazmente como una herramienta para la gestión de los recursos hídricos subterráneos.

13. DIRECTRICES GENERALES PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE SEQUÍA

13.1. RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS Y DISPONIBILIDADES HÍDRICAS

En la Tabla 13.1 se refleja la serie de valores anuales de los recursos hidrogeológicos –recarga por infiltración de lluvia– del conjunto acuífero de la Vega Media durante el periodo 1967/68-1999/00, calculados de acuerdo con la metodología que se detalla en el apartado 9.1 y en el Anejo 5. Su valor medio interanual –10,4 hm³/año–equivale al 15 % de la demanda neta de agua para riego durante dicho periodo, el más prolongado y continuo para el que se ha recabado información hidroagrometeorológica suficiente.

Como complemento a la serie de valores anuales reflejados en el Tabla 13.1, en las Figuras 13.1 y 13.2 se han representado los valores anuales y su desviación respecto de la media, respectivamente, de la precipitación registrada en Murcia durante el periodo 1863-2000. La evolución de las desviaciones –los tramos crecientes corresponden a periodos húmedos; los decrecientes, a periodos secos– pone de manifiesto la secuencia de periodos deficitarios a los que está sometida la Vega Media de forma prácticamente ininterrumpida desde principios del siglo XX, con breves episodios húmedos en 1945/5, 1971/77 y 1985/92.

Figura 13.1 PRECIPITACIONES ANUALES EN MURCIA EN EL PERIODO 1863-2000

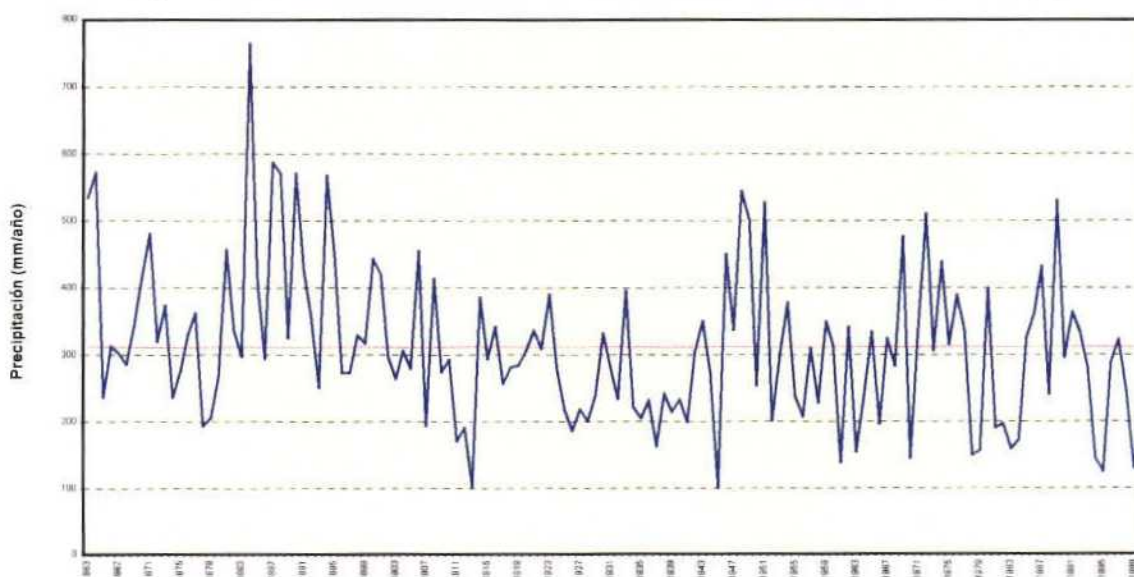


Figura 13.2 PRECIPITACIONES ANUALES EN MURCIA. PERIODO 1863-2000
DESVIACIONES ACUMULADAS RESPECTO A LA MEDIA



La recarga por infiltración de lluvia indicada supone, en rigor, el único recurso renovable con el que cuenta el **AVM**. Junto con él, cabe considerar otras disponibilidades hídricas locales como son las que suponen las aguas residuales depuradas y, en última instancia, las que cabe obtener ocasionalmente de la explotación controlada de las reservas hidrogeológicas de dicho acuífero, cuyo flexible funcionamiento hidrodinámico queda reflejado en la relativa rapidez de las recuperaciones piezométricas subsiguientes a los intensos bombeos efectuados para paliar las situaciones de sequía registradas en los años 1983/84 y, especialmente, entre 1992 y 2000.

En este sentido, es necesario señalar la falta de significación de los habituales cálculos de reservas "totales" –volumen de acuífero multiplicado por la porosidad eficaz o, incluso, por la total–. En efecto, las posibilidades de explotación controlada de una parte de las reservas hidrogeológicas del **AVM** sólo pueden ser determinadas mediante simulaciones de distintos programas de explotación, apoyadas en el modelo de flujo elaborado, introduciendo los condicionamientos oportunos: limitaciones generales al descenso piezométrico, limitaciones específicas en zonas urbanas, condicionantes hidroquímicos, necesidades de desalación, etc.

13.2. LAS SITUACIONES DE SEQUÍA EN LA VEGA MEDIA

El planteamiento de las medidas de actuación que cabría poner en práctica ante futuras situaciones de sequía en las Vegas Media y Baja del Segura, derivadas fundamentalmente de la insuficiencia de las disponibilidades de recursos superficiales regulados por los embalses de cabecera de la cuenca –Fuensanta y Cenajo, básicamente– y, en menor medida, de la escasez de precipitaciones en la propia zona de riego, se debe basar, primeramente, en un análisis de la situación registrada durante los últimos decenios. A tal fin, se ha adoptado como base del análisis el historial hidroagrometeorológico correspondiente al periodo de referencia 1967-2000, adoptado en el capítulo 9, por ser el de mayor duración ininterrumpida para el que se ha conseguido una aceptable cantidad de información: estimación de las demandas de agua para riego, datos hidrometeorológicos diarios, disponibilidades superficiales reguladas, etc.

Adoptados determinados criterios en cuanto a evolución de las demandas y sobre la definición y valoración de las situaciones de sequía registradas en el periodo mencionado, que han tenido un adecuado reflejo en el funcionamiento hidrodinámico del conjunto acuífero explotado para complementar la insuficiencia de las dotaciones de recursos hídricos superficiales, el análisis de la viabilidad de las medidas de carácter hidrogeológico que se puedan adoptar para paliar los efectos de las que se presenten en los próximos años deberá apoyarse en la simulación matemática de los necesarios programas de bombeo –de agua subterránea para utilización directa o previa desalación de la misma–, contando con distintos recursos alternativos complementarios, como son la utilización de aguas residuales, la racionalización-optimización en la distribución y conducción de las disponibilidades hídricas y en los sistemas y las dotaciones de riego, etc.

De todo lo anterior se trata seguidamente con el detalle que permite el de la información que ha podido ser recabada en las entidades consultadas: Confederación Hidrográfica del Segura, Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente, Instituto Nacional de Meteorología, etc.

13.2.1. Análisis del historial hidroagrometeorológico de la Vega Media

En la Tabla 13.1 se han reflejado los valores anuales durante el periodo 1967-2000 de las siguientes magnitudes, conocidos o estimados de acuerdo con los criterios que en cada caso se exponen:

- **Demanda anual de agua para riego en cada uno de los años naturales (enero-diciembre) del periodo de referencia.** Como criterio de estimación de la evolución registrada por dicha magnitud durante los últimos 33 años se ha partido de la estimación correspondiente al año 2000, establecida en el marco del presente Estudio –75,51 hm³/año–, y se ha supuesto que la misma representa el final de una disminución uniforme del 10 %, aproximadamente, desde el año 1980 hasta el presente, a razón de un 0,5 % anual; a partir de 1980, hacia atrás, se ha supuesto que la demanda se mantuvo estable. Dichas hipótesis de trabajo se basan, por un lado, en la evolución registrada por el volumen medio anual embalsado en los dos principales embalses de regulación para los riegos tradicionales de la cuenca – Fuensanta y Cenajo–, representada en la Figura 13.3, que refleja el brusco salto registrado en la cuantía de las disponibilidades hídricas superficiales reguladas, entre la década de los años 70 y las de los 80 y 90. Por otro lado, el porcentaje de reducción global estimado para la superficie de cultivo en la Vega Media entre los años 1980 y 2000 –el 10 %– refleja un cierto consenso entre las distintas fuentes consultadas, sobre la realidad de la evolución registrada en la zona⁵.

La cifra de demanda de agua para riego en el año 2 000 ha sido estimada partiendo de una superficie total de cultivos de regadío de 10 713 ha –8 592 ha de leñosos y 2121 ha de herbáceos–; las correspondientes dotaciones unitarias han sido estimadas mediante encuestas en 7 287 y 6 082 m³/ha/año, respectivamente.

La cuantía media de la demanda de agua para riego durante el periodo 1968-2000 asciende a **80,9 hm³/año**.

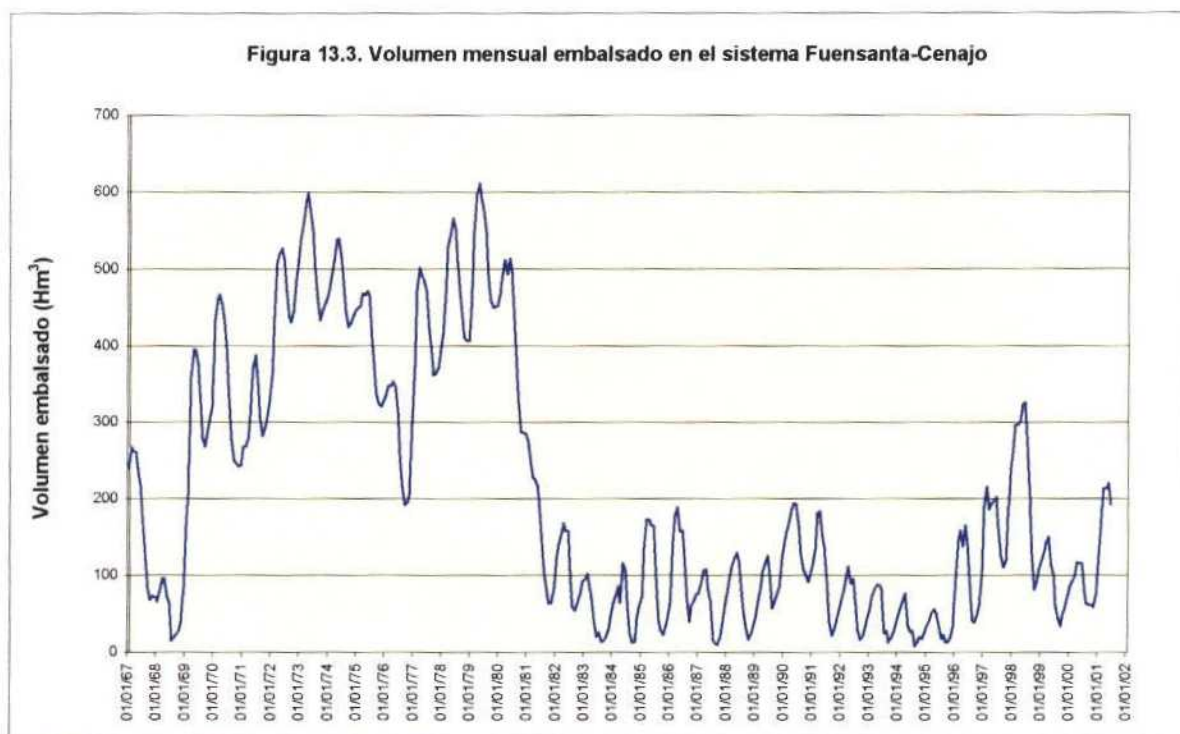
⁵ Sin embargo, la realidad es que no se ha podido conseguir una evaluación precisa de la reducción realmente registrada en la superficie de los cultivos de la Vega Media durante las dos últimas décadas, periodo en el que parece haber tenido lugar la mayor parte de la registrada en la segunda mitad del siglo XX.

Tabla 13.1. Historial hidroagrometeorológico de la Vega Meda. Período 1968-2000

AÑO	DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO (hm ³ /año) ¹	DOTACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL REGULADA POR LA CHS (hm ³ /año) ¹	DEMANDA DE RECURSOS COMPLEMENTARIOS (aguas subterráneas, residuales, etc.) (hm ³ /año) ¹	RECARGA HIDROGEOLÓGICA (INFILTRACIÓN DE LLUVIA) (hm ³ /año) ²	RECARGA AGRÍCOLA (RETORNO DE RIEGOS) (hm ³ /año) ¹	DÉFICIT HÍDRICO MÁXIMO (hm ³ /año)	VALOR RELATIVO DEL DÉFICIT (% DE LA DEMANDA)	INTENSIDAD DE LA SEQUÍA REGISTRADA
1968	83.43	83.43	0.00	12.60	17.00	0.00	0.0	--
1969	83.43	83.43	0.00	1.27	17.00	0.00	0.0	--
1970	83.43	83.43	0.00	14.60	17.00	0.00	0.0	--
1971	83.43	83.43	0.00	3.70	17.00	0.00	0.0	--
1972	83.43	83.43	0.00	9.71	17.00	0.00	0.0	--
1973	83.43	83.43	0.00	38.57	17.00	0.00	0.0	--
1974	83.43	83.43	0.00	12.79	17.00	0.00	0.0	--
1975	83.43	83.43	0.00	14.19	17.00	0.00	0.0	--
1976	83.43	83.43	0.00	10.80	17.00	0.00	0.0	--
1977	83.43	83.43	0.00	3.83	17.00	0.00	0.0	--
1978	83.43	83.43	0.00	3.16	17.00	0.00	0.0	--
1979	83.43	83.43	0.00	0.00	17.00	0.00	0.0	--
1980	83.43	83.43	0.00	26.94	16.83	0.00	0.0	--
1981	83.02	83.02	0.00	0.83	16.75	0.00	0.0	--
1982	82.60	97.65	0.00	0.25	16.67	0.00	0.0	--
1983	82.19	34.10	48.09	3.79	16.58	27.72	33.7	III
1984	81.78	34.10	47.68	1.46	16.50	29.72	36.3	III
1985	81.38	54.10	27.28	12.23	16.42	0.00	0.0	--
1986	80.97	60.00	20.97	8.42	16.34	0.00	0.0	--
1987	80.57	35.34	45.23	32.76	16.26	0.00	0.0	--
1988	80.17	82.46	0.00	29.43	16.18	0.00	0.0	--
1989	79.77	72.85	6.92	23.42	16.10	0.00	0.0	--
1990	79.37	60.00	19.37	11.07	16.02	0.00	0.0	--
1991	78.98	60.00	18.98	26.64	15.94	0.00	0.0	--
1992	78.58	35.34	43.24	12.52	15.86	14.87	18.9	III
1993	78.19	47.20	30.99	13.69	15.78	1.53	2.0	--
1994	77.80	33.60	44.20	0.15	15.70	28.36	36.4	III
1995	77.42	12.00	65.42	0.52	15.62	49.28	63.6	I
1996	77.03	30.54	46.50	1.50	15.54	29.46	38.2	III
1997	76.65	30.54	46.11	6.49	15.47	24.16	31.5	III
1998	76.27	40.76	35.51	1.31	15.39	18.81	24.7	III
1999	75.89	66.34	9.55	4.31	15.31	0.00	0.0	--
2000	75.51	39.68	35.83	0.00	15.24	20.59	27.3	III
Promedios	80.9	63.5	17.9	10.4	16.4	7.4	9.5	

1: Cantidades referidas a años naturales (enero-diciembre)

2: Cantidades referidas a años hidrológicos (octubre-septiembre)



- **Dotación anual de agua superficial regulada para el riego en la Vega Media.** Las cifras reflejadas en la Tabla 13.1 poseen un distinto carácter. Por un lado, se ha supuesto que hasta el año 1981 el volumen de agua embalsado en el sistema Fuensanta-Cenajo permitía dotar completamente las demandas de agua para riego.

Desde el año 1982 al año 2000 las magnitudes indicadas reflejan los resultados de la estimación efectuada en el marco del presente Estudio, a partir de una información muy diversa⁶ facilitada por la Confederación Hidrográfica del Segura.

En el conjunto del periodo de referencia, la dotación media anual de agua superficial regulada para riego habría ascendido a **65,9 hm³/año** –87 % de la demanda media–, aunque su distribución a lo largo de los 38 últimos años haya sido bastante irregular: desde el 100% en los primeros 15 años, hasta el 55 %, aproximadamente, en los últimos 18.

⁶ La información sobre la que se ha trabajado ha comprendido desde cifras anuales bastante precisas, hasta simples datos sobre el número de riegos efectuados, no siempre acompañados de alguna información sobre el volumen de agua aplicado en alguno de ellos. En algunos años, la carencia de cualquier información sobre el volumen de agua superficial regulada ha obligado a efectuar estimaciones comparativas basadas en la evolución del volumen embalsado en los distintos años del periodo.

- **Demanda de recursos complementarios (aguas subterráneas, residuales, etc.).**
La realidad hidrogeológica de la Vega Media –en la que se da una casi exacta superposición de área de regadío con importante acuífero aluvial– y la existencia en su interior de varias aglomeraciones urbanas de considerable importancia –Murcia, Alcantarilla, Santomera, etc.– proporciona claras posibilidades de disponibilidad local de recursos hídricos complementarios, como son los hidrogeológicos renovables del conjunto acuífero detrítico y dolomítico, que vienen siendo objeto de explotación flexible desde hace ya dos décadas, y los que suponen las aguas residuales depuradas en las EDAR's de la zona, cuya capacidad de depuración ascenderá pronto⁷ a unos 40 hm³/año.

Por lo que respecta a las disponibilidades reales –caudal global del bombeo– de explotación de aguas subterráneas, se ha podido evaluar en 25,3 hm³/año la cuantía de la explotación realizada para dotar demandas de riego durante el año 2000, única anualidad para la que se cuenta con una estimación global fiable, efectuada en el marco del Estudio. Ello significa que, al menos en dicho año, la explotación local de aguas subterráneas ha permitido dotar más del 70 % de la demanda de riego no cubierta con agua superficial regulada.

Por consiguiente, con independencia de los efectos que puedan tener medidas de tipo pasivo (mejoras en la distribución y conducción y en los sistemas y las dotaciones de riego), se puede considerar que, de cara al próximo futuro, la disponibilidad de recursos hídricos complementarios (aguas subterráneas y residuales de origen local) podría atender una parte mayoritaria, cuando no la totalidad, de las demandas no dotadas con recursos superficiales regulados. Sin embargo, la deficiente calidad que en ocasiones presentan las aguas subterráneas del acuífero aluvial hará necesaria su desalación mediante plantas permanentes.

Dando por supuesto que hasta 1982 las demandas de riego en la Vega Media estaban prácticamente cubiertas al 100 % mediante el sistema Fuensanta-Cenajo, el grado de dotación ha disminuido radicalmente a partir de dicho año: en los últimos 18 años se habría registrado una cobertura media global de la demanda ligeramente superior al 50 %.

⁷ Las depuradoras de Raal, Alcantarilla, Santomera, Zarandona y la de Murcia-Este, de próxima puesta en funcionamiento (sustituyendo a la de Zarandona).

- **Recarga hidrogeológica mediante infiltración de lluvia.** Tal como se ha señalado anteriormente y se describe con detalle en el Anejo 5, en el presente Estudio se ha podido establecer de forma contrastada y objetiva una ajustada metodología de cálculo para la recarga hidrogeológica del acuífero aluvial subyacente a la Vega Media por infiltración de lluvia útil, cuyos resultados anuales durante el periodo de referencia se incluyen en la Tabla 13.1. Aunque modesto, el recurso renovable indicado resulta apreciable en su cuantía media anual –presenta un valor media anual del 15 % de la demanda neta durante el periodo 1968-2000–, y es especialmente significativa en una utilización no sistemática –en 1 año de cada 3 ó 4, por ejemplo, ante situaciones de sequía acusada– de dicha reserva estratégica.

En promedio anual durante el periodo de referencia, la recarga media por infiltración de lluvia ha ascendido a **10,4 hm³/año**. Aunque la distribución interanual de dicha magnitud resulta bastante irregular (su coeficiente de variación asciende a casi el 100 %), la existencia de un “depósito regulador” de la magnitud del acuífero detrítico hace que dicha irregularidad carezca de importancia.

- **Recarga mediante retorno de riegos.** Las encuestas realizadas sobre dotaciones de riego y las experiencias de infiltración modelizadas en el marco del Estudio han permitido estimar de forma bastante ajustada en un 18 y un 29 % la cuantía del retorno de riegos en cultivos leñosos y herbáceos, respectivamente, tal como con todo detalle se expone en el Anejo 5.

Resulta así un valor medio de **16,4 hm³/año** para el retorno de los riegos que se han venido realizando en la Vega Media durante el periodo 1968-2000.

- El que se ha dado en denominar **déficit hídrico máximo⁸**, equivalente a la diferencia entre la recarga y la demanda de recursos hídricos complementarios (aguas subterráneas, residuales, etc.) –es decir, a la parte de la demanda de riego que no es cubierta por las aportaciones de recursos superficiales regulados–, representa el valor del déficit de recursos hídricos que debe ser compensado mediante distintas medidas correctoras o, al menos paliativas: de tipo directo –bombeo de aguas subterráneas por encima de la recarga anual o utilización de aguas residuales– y/o indirecto –ajuste en las dotaciones de riego–. Su valor anual estimado y la secuencia con que se

⁸ En el caso de tener que ser compensado exclusivamente mediante bombeo de agua subterránea, representaría el valor máximo del mismo; es decir, la máxima afección a las reservas hidrogeológicas del

presenta suponen una satisfactoria medida de las “sequías” que se registran en la zona, especialmente cuando está referido al valor de la correspondiente demanda anual de agua para riego.

13.2.2. Sequías registradas en la Vega Media

En la penúltima columna de la Tabla 13.1 se han reflejado los valores relativos del denominado “déficit hidrogeológico máximo”, referidos porcentualmente a los correspondientes de la demanda de agua para riego, que a falta de otra información de carácter más específicamente hidroagronómica, que no ha sido posible recabar, representan una satisfactoria cuantificación de las “sequías” hidrológicas registradas en la Vega Media durante los últimos 33 años.

La secuencia y la magnitud de los valores representados en el cuadro mencionado reflejan una satisfactoria coincidencia con otras manifestaciones cuantitativas –la evolución de niveles piezométricos en el conjunto acuífero de la Vega Media, representada en la Figura 5.2, por ejemplo– de ese fenómeno tan difícil de cuantificar como es el de las sequías en una zona como la que nos ocupa, que conceptualmente va más allá de la simple escasez de precipitaciones durante uno o unos cuantos años consecutivos sobre la zona en cuestión.

En efecto, es preciso tener en cuenta que la presentación de situaciones de “sequía” en la Vega Media no depende únicamente –ni siquiera fundamentalmente– de la mayor o menor cuantía de las precipitaciones registradas sobre ella, dentro del régimen histórico de pluviosidad que la caracteriza; interviene también de forma muy relevante el régimen y la magnitud de las precipitaciones registradas en la cabecera de la cuenca e, incluso, la política de desembalses regulados que se aplique. La simple comparación de la serie de valores anuales de la recarga hidrogeológica (infiltración de lluvia en la Vega Media) con la de déficits hídricos máximos pone de manifiesto la existencia de una muy pobre correlación entre ambas.

Con objeto de sistematizar la evaluación de las situaciones de sequía registradas en la Vega Media durante el periodo 1967-2000, prácticamente coincidente con el de funcionamiento del actual sistema de regulación Fuensanta-Cenajo para la dotación de los

acuífero de la Vega Media, cuya viabilidad medioambiental y geotécnica tendría que ser analizada mediante simulación con el modelo matemático de flujo elaborado.

riegos tradicionales de las vegas del Segura, se ha adoptado la siguiente clasificación de las “sequías” registradas en la Vega Media, en función de la magnitud relativa del déficit hídrico:

DÉFICIT RELATIVO (%)	INTENSIDAD DE LA SEQUÍA	VALORACIÓN
$DR \geq 60$	I	MUY ACUSADA
$60 > DR \geq 40$	II	ACUSADA
$40 > DR \geq 20$	III	MODERADA

Aunque, aisladamente consideradas, las sequías registradas en los años 1983 y 1984 habrían respondido a la calificación de “moderadas”, su localización en dos años consecutivos hace que dicho bienio deba ser casi considerado como de sequía “acusada”, si no “muy acusada”, en excelente coincidencia con el reflejo piezométrico representado en la Figura 5.2, en el que se reflejan los efectos de los bombeos de explotación de agua subterránea realizados para compensar los déficits registrados en dichos años.

Es evidente la valoración que merece –la de “muy acusada”, con el agravante de su notable duración– el periodo de sequía registrado en los años 90 –el quinquenio 1994/98, antecedido y prolongado en los años 1992 y 2000–, en buena coincidencia, también, con la evolución piezométrica registrada en el acuífero.

La evolución piezométrica reflejada en la Figura 5.2 pone también de manifiesto, además de una clara concordancia de las valoraciones adoptadas para las sequías registradas, con los efectos de los bombeos realizados para paliarla, la notable elasticidad con la que el acuífero de la Vega Media ha respondido ante los bombeos de explotación realizados en situaciones de déficit, con descensos piezométricos máximos de unos 20 m, recuperados al cabo de relativamente pocos meses después de finalizados los bombeos.

13.2.3. Medidas orientativas para paliar las sequías

A la vista de las consideraciones expuestas, parece clara la conveniencia de orientar en dos direcciones las medidas de carácter directo que se deben adoptar para paliar los efectos de situaciones de sequía como las registradas en el periodo 1968-2000 que, por su duración, resulta representativo de lo que cabe esperar durante los próximos años o decenios.

Desde un punto de vista exclusivamente hidrogeológico, todo indica que la realización de bombeos como los que ha sido necesario realizar en la década de los 90 sería hidrodinámicamente factible, sin perjuicio de que convenga efectuar una optimización de su localización y calendario⁹ (programa de bombeos y recuperaciones), tarea que se debe llevar a cabo apoyándose en los resultados de las oportunas simulaciones mediante el modelo matemático del flujo subterráneo elaborado. Además, se puede y debe contar con las posibilidades de modulación de los bombeos de explotación necesarios si se hace intervenir la utilización de aguas residuales que próximamente estarán disponibles.

Sin embargo, hay dos condicionantes de gran importancia, que deben ser introducidos en las tareas de simulación y optimización: la necesidad de limitar los descensos piezométricos en áreas urbanas hasta donde los criterios geotécnicos lo impongan, y la distribución espacial 3D de la calidad del agua subterránea. La incorporación de ambos condicionantes enlaza con la evidente necesidad de introducir aspectos económicos muy relevantes, como son los relativos a las necesidades de inversión en plantas desaladoras (si se quiere utilizar aguas de inadecuada calidad), y otros costes muy diversos de implantación y explotación.

⁹ Sería posible y conveniente llevar a cabo esta tarea de optimización aplicando las adecuadas técnicas matemáticas –programación lineal, por ejemplo–, que proporcionarían resultados tan rigurosos como los de la modelización del flujo subterráneo en la que se tendría que apoyar.

14. PROPUESTA DE REDES DE CONTROL

Con el fin de llevar a cabo un seguimiento efectivo de la evolución hidrodinámica e hidroquímica del acuífero de la Vega Media en los eventuales episodios de bombeo intenso, que permitiera en su caso tomar medias correctoras en tiempo real, se propone una red de control hidrogeológico compuesta por puntos que forman parte de las redes que han estado vigentes durante la realización del Estudio.

Se propone un total de 102 puntos para el control piezométrico, repartidos entre los tramos acuíferos somero y profundo de las vegas Media y Baja, y cuya distribución espacial queda reflejada en la Figura 14.1.

En la Vega Media, la propuesta se ha realizado tomando como sector de referencia la zona urbana de Murcia, por ser la más afectable por eventuales descensos del nivel de la superficie libre del TAS (Tabla 14.1 y Figura 14.2). La red piezométrica propuesta incluye cuatro de los cinco piezómetros que constituyen la Red Oficial del IGME (se elimina el sondeo 2736/6/0407, por estar cegado) y 18 puntos más, de los cuales nueve tiene como objetivo el seguimiento de los eventuales procesos de desaturación que puede experimentar el TAS en los periodos de bombeo intenso en el TAP, y 6 controlarán la evolución piezométrica en el TAP.

Para el control de la calidad de la Vega Media se propone una red compuesta por 7 puntos, los cuatro que componen la red actual del IGME y tres puntos más que también forman parte de la red piezométrica propuesta.

En la Vega Baja, la red de control piezométrica estaría constituida por 51 puntos con los que se controlaría el acuífero superficial y profundo (incluyendo el Triásico carbonatado). La red calidad estaría constituida por 34 de los que 9 puntos coinciden con los de piezometría. En la Tabla 10.2 se indica la situación y principales características de los puntos que se proponen para las redes de control hidrogeológico.

Tabla 14.1. Propuesta de redes para el control hidrogeológico de la Vega Media.

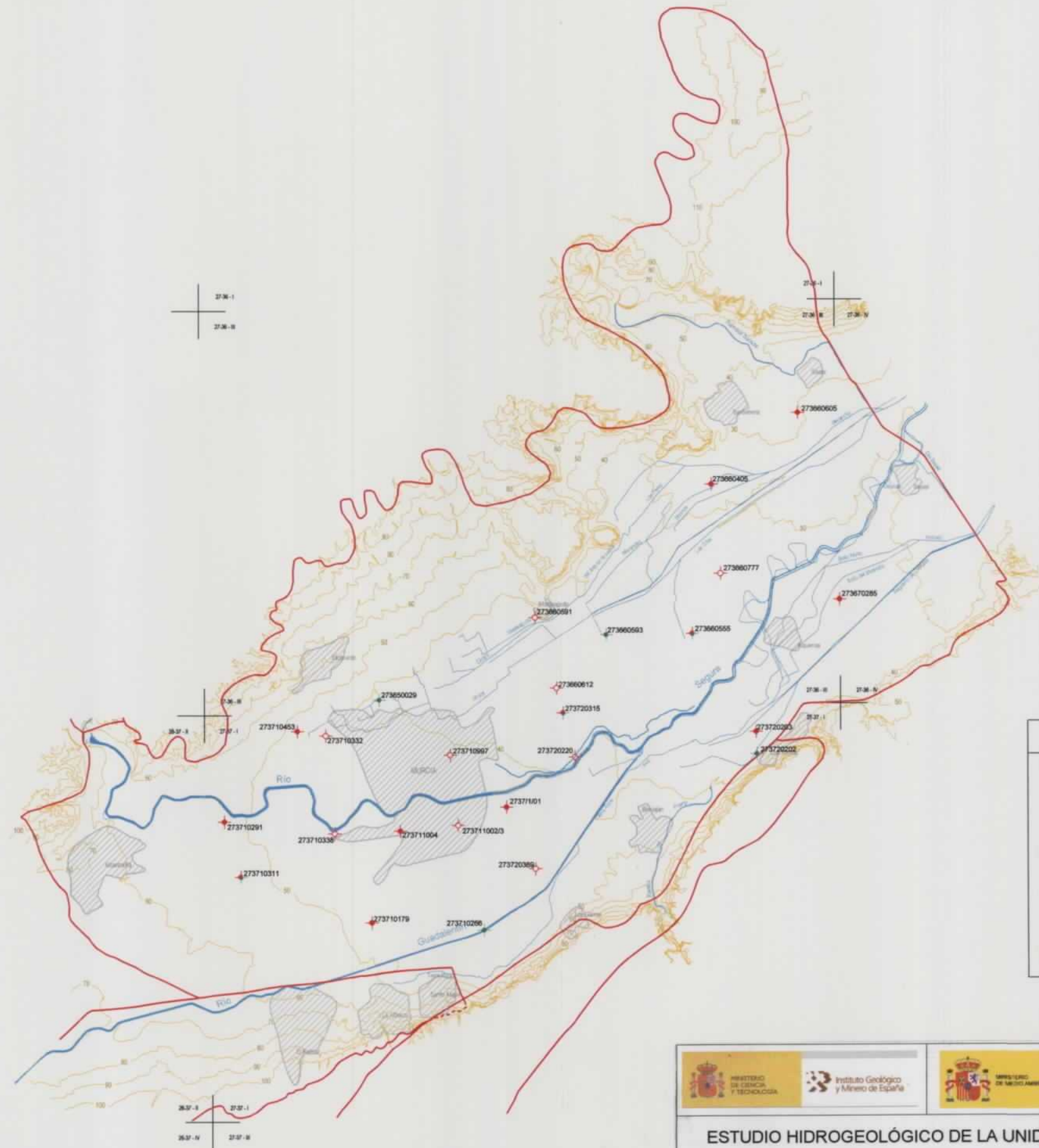
Cód. IGME	XUTM	YUTM	Prof. (m)	Cota RM	Tramo de filtro	Plazamiento	Calidad
273650029	663270	4207950	54.00	34.17	Profundo		x
273660405	670912	4212886	261.00	30.79	Profundo	x	
273660555	670487	4209463	58.00	38.40	Gravas	x	x
273660591	666850	4209840	14.00	37.55	Superficial	x	
273660593	668490	4209440	56.00	33.00	Profundo		x
273660605	672930	4214510	25.00	32.90	Gravas	x	
273660612	667355	4208190	16.00	36.43	Superficial	x	
273660777	671150	4210850	4.00	35.45	Superficial	x	
273670285	673866	4210254	60.00	35.67	Gravas	x	
273710179	663076	4202822	236.00	46.66	Profundo	x	
273710198	666211	4205477	39.00	40.25	Gravas	x	
273710266	665677	4202725	145.00	47.25	Profundo		x
273710291	659719	4205127	163.00	50.92	Profundo	x	
273710311	660080	4203850	45.00	55.67	Gravas	x	x
273710332	662040	4207105	10.00	45.79	Superficial	x	
273710338	662252	4204820	12.00	46.56	Superficial	x	
273710453	661380	4207215	32.00	46.59	Gravas	x	
273710997	664917	4206667	10.90	40.00	Superficial	x	
273711002	665115	4205039	9.50	44.21	Superficial	x	
273711003	665115	4205037	19.33	44.32	Superficial	x	
273711004	663757	4204923	28.83	44.78	Gravas	x	
273720202	672000	4206700	60.00	24.99	Profundo		x
273720203	671899	4207199	50.00	37.49	Gravas	x	
273720220	667770	4206670	13.00	42.35	Superficial	x	
273720315	667490	4207625	50.00	39.42	Gravas	x	x
273720369	666875	4204065	10.00	45.62	Superficial	x	

Tabla 14.2. Propuesta de redes para el control hidrogeológico de la Vega Baja.

Cód. IGME	XUTM	YUTM	Prof. (m)	Cód. RM	Tipo de pozo	Permeable	Cantidad
273440082	682456	4220036	4.90	21.80	Superficial	x	
273570004	679384	4229024	150.00	114.30	Profundo		x
273570013	680856	4229781	80.00	112.70	Profundo		x
273580003	682497	4228767	170.00	67.84	Profundo	x	
273580005	681878	4226838	100.00	50.64	Profundo		x
273580010	681274	4230683	104.00	127.00	Profundo		x
273610095	681292	4219336	50.00	24.15	Profundo		x
273620004	673616	4219479	100.00	189.80	Profundo		x
273630002	678135	4223217	115.00	56.33	Triásico	x	
273630038	678486	4218456	33.90	44.93	Triásico	x	
273630044	679129	4225010	-	79.44	Profundo	x	
273630050	678544	4223395	146.00	63.74	Profundo		x
273630054	674170	4221408	125.00	100.09	Profundo	x	x
273630059	677044	4217139	40.00	23.55	Triásico	x	x
273630063	678106	4218297	36.00	26.56	Profundo		x
273630064	678229	4217327	30.00	22.54	Profundo	x	
273630073	681034	4218566	30.00	35.83	Triásico	x	x
273640009	684991	4218103	2.90	18.00	Superficial	x	
273640009	684991	4218103	2.90	18.00	Superficial	x	
273640088	684769	4223205	77.00	58.05	Triásico	x	x
273640094	684367	4218258	56.00	16.98	Profundo	x	
273640098	681810	4217899	113.00	20.90	Profundo	x	
273640103	681160	4223559	-	40.64	Profundo	x	
273640108	683139	4225704	90.00	22.55	Profundo	x	
273640110	681828	4221386	30.00	31.22	Triásico	x	
273640112	684900	4220715	26.00	24.30	Triásico	x	
273670047	681072	4215307	45.00	20.49	Profundo		x
273670053	679046	4214482	61.63	23.50	Profundo	x	x
273670129	676972	4214200	4.15	25.30	Superficial	x	
273670131	678690	4215025	4.00	23.60	Superficial	x	
273670250	676650	4215267	55.50	27.09	Profundo		x
273670261	674964	4214763	156.00	27.55	Profundo	x	x
273670263	675132	4214034	101.00	28.85	Profundo		x
273670264	675800	4214389	105.00	28.04	Profundo		x
273670265	676729	4214209	130.00	25.34	Profundo		x
273670266	676798	4213701	217.00	22.28	Profundo	x	x
273670267	675654	4211752	70.00	27.50	Profundo		x
273670268	677952	4212503	9.60	26.97	Superficial	x	
273670272	677102	4211215	100.00	26.37	Profundo		x
273670275	677825	4216161	150.00	21.88	Profundo	x	
273670280	674967	4211437	-	28.12	Profundo	x	x
273680004	682772	4216051	3.92	20.50	Superficial	x	
273680008	687280	4215501	4.92	21.70	Superficial	x	
273680041	683226	4215286	115.00	21.98	Profundo	x	
273680045	686157	4217098	113.00	17.28	Profundo	x	
273680047	686895	4215513	100.00	22.62	Profundo	x	
273680054	684700	4215460	158.00	19.50	Profundo	x	
283530014	707762	4236700	225.00	47.46	Profundo		x
283550012	693206	4235160	83.00	78.09	Profundo		x
283550013	691136	4234871	200.00	93.31	Profundo		x
283550014	691438	4232972	139.00	49.06	Profundo		x
283550015	693915	4235580	92.00	89.02	Profundo		x
283550016	689648	4231907	194.00	50.74	Profundo		x
283550020	689517	4231960	110.00	51.52	Profundo	x	

Tabla 14.2 (cont.). Propuesta de redes para el control hidrogeológico de la Vega Baja.

Cód. IGME	XUTM	YUTM	Prof. (m)	Cota RM	Tramo acuífero	Piezometría	Calidad
283550021	690185	4231813		46.21	Profundo		x
283560012	698750	4232750		38.00	Superficial	x	
283560013	695290	4232200	151.00	13.00	Profundo	x	
283570028	705901	4234538	52.00	43.00	Profundo		x
283570028	705914	4234549	52.00	31.80	Profundo	x	
283610083	694766	4222567	56.00	5.10	Profundo	x	x
283610100	689261	4220018	5.22	12.00	Superficial	x	
283610131	692903	4222248	4.00	8.00	Superficial	x	
283610145	694807	4219109	2.60	11.00	Superficial	x	
283610179	691814	4217814	10.00	17.00	Superficial	x	
283610193	695120	4226332	3.85	6.00	Superficial	x	
283610203	694958	4217728	78.00	18.95	Profundo		x
283610206	694296	4218104	36.00	13.19	Profundo	x	
283610208	688208	4223209	-	12.00	Superficial	x	
283620050	699428	4221120	3.58	5.00	Superficial	x	
283620121	699389	4224648	-	4.00	Superficial	x	
283620138	699743	4220862	82.00	3.17	Profundo		x
283620138	699743	4220861	82.00	3.17	Profundo	x	
283620140	697450	4218020	-	10.00	Profundo	x	
283630014	703450	4219874	3.75	4.00	Superficial	x	
IPA-CHS 4-5	688200	4225700			Profundo	x	
IPA-CHS1	691700	4233700	139.00		Profundo	x	



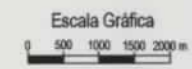
LEYENDA	
	273660405
	273660591
Puntos de la red piezométrica	
	273660555
Puntos de la red de calidad	
Puntos del tramo acuífero profundo	
Puntos del tramo acuífero somero	
Limite del acuífero de la Vega Media	

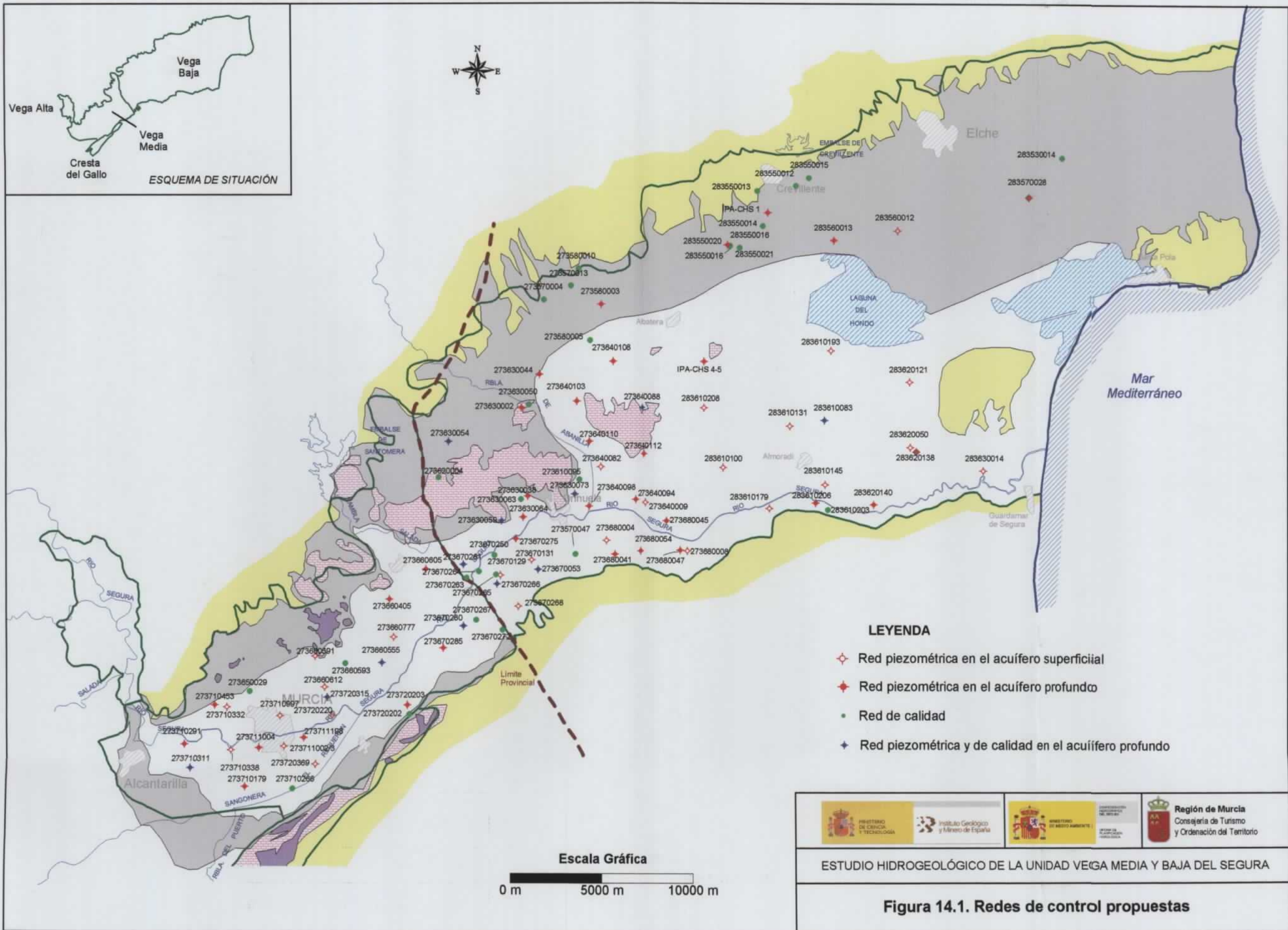
--	--	--	--

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 14.2. Redes de control propuestas en la Vega Media

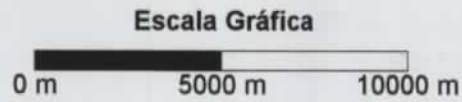
Base cartográfica: Mapa topográfico nacional a escala 1: 25 000 del Instituto Geográfico Nacional





LEYENDA

- ◆ Red piezométrica en el acuífero superficial
- ◆ Red piezométrica en el acuífero profundo
- Red de calidad
- ◆ Red piezométrica y de calidad en el acuífero profundo



--	--	--	--

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA UNIDAD VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 14.1. Redes de control propuestas