

62578



EXCELENTÍSIMA DIPUTACIÓN
PROVINCIAL DE ALICANTE
Departamento del Ciclo Hídrico

**MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO DEL
ACUÍFERO DE LA VEGA MEDIA Y BAJA
DEL SEGURA (MURCIA-ALICANTE)**

2002



MINISTERIO
DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA



Instituto Geológico
y Minero de España



INFORME	Identificación: H.G-002-2002
	Fecha: Diciembre de 2002
TÍTULO: Modelo de flujo subterráneo del acuífero de la Vega Media y Baja del Segura (Murcia-Alicante).	
PROYECTO: Estudio de los recursos subterráneos de agua salobre en la zona sur de la provincia de Alicante (3ª fase).	
RESUMEN: En Convenio con la Diputación Provincial de Alicante, este Estudio ha tenido como objetivo principal el desarrollo del correspondiente modelo hidrodinámico que permita dar coherencia a todos los datos, contribuya a la mejora del conocimiento del funcionamiento hidrogeológico y con el que se puedan evaluar adecuadamente los recursos hídricos subterráneos y analizar las respuestas del acuífero ante distintos escenarios de actuación. En primer lugar, se ha realizado una síntesis de toda la información previa disponible y se ha establecido un modelo hidrogeológico conceptual, indispensable para plantear adecuadamente un modelo numérico del flujo subterráneo que permita simular y calibrar diversas hipótesis de funcionamiento hidrodinámico. Para ello, se ha realizado 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 para los periodos temporales considerados, con objeto de calibrar el modelo numérico en régimen estacionario y transitorio. 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 por aportes laterales. Las salidas se producen a través de los azarbes, río Segura, lagunas, mar y bombeos. A partir del modelo conceptual 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 y la coherencia con el funcionamiento hidrogeológico conocido. Durante la calibración se han considerado conjuntamente tanto los niveles medidos en el acuífero superficial como en el acuífero profundo, es decir, se ha tenido en cuenta, además, la diferencia de nivel existente entre ambos acuíferos.	

CORREO

itge@itge.mma.es

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



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.

En diferentes etapas del proceso se han efectuado análisis de sensibilidad con objeto de evaluar el peso o grado de incidencia de los principales parámetros implicados en el funcionamiento de la unidad.

La calibración del modelo numérico en régimen transitorio ha permitido obtener unos primeros resultados considerados como razonables, un ajuste de niveles aceptable y un 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.

Se puede concluir que 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, disponiéndose, 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.

Revisión

Nombre: *JUAN A. LÓPEZ GERA*

Unidad: *MINEROLOGÍA J.A. SUBT*

Fecha: *10/3/2003*

Autores: Luis Javier Lambán Jiménez; José Luis García Aróstegui; Ramón Aragón Rueda; Jorge Enrique Hornero Díaz; Ana Isabel Fernández Grillo

Responsable: Ramón Aragón Rueda

ÍNDICE MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

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

2. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

- 2.1. INTRODUCCIÓN
- 2.2. EVALUACIÓN DE LA RECARGA
 - 2.2.1. Recarga por la infiltración de agua de lluvia
 - 2.2.2. Recarga por infiltración de retornos de riego
 - 2.2.2.1. Introducción y metodología
 - 2.2.2.2. Zonificación preliminar, volúmenes aplicados y recarga inicial obtenida
 - 2.2.2.3. Comparación entre los volúmenes obtenidos y los resultantes de PHCS. Zonificación definitiva y valores de recarga obtenidos
 - 2.2.2.4. Evolución de volúmenes aplicados y recarga durante 1994-2001
- 2.3. EVALUACIÓN DE LA DESCARGA
 - 2.3.1. Río Segura
 - 2.3.2. Azarbes
 - 2.3.3. Lagunas del Hondo y Santa Pola
 - 2.3.4. Salidas al mar
 - 2.3.5. Salidas por bombeo
- 2.4. EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA
- 2.5. BALANCE HÍDRICO

2.5.1. Balance en la Vega Media

2.5.2. Balance en la Vega Media y Baja

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

3.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

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

3.3. DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MODELO NUMÉRICO

3.3.1. Límites del modelo numérico

3.3.2. Definición geométrica

3.3.3. Discretización espacial y temporal

3.3.4. Condiciones de contorno

3.3.5. Recarga

3.3.6. Parámetros hidráulicos

3.3.7. Explotación por bombeo

3.4. AJUSTE Y CALIBRACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO

3.4.1. Introducción

3.4.2. Régimen estacionario

3.4.2.1. Objetivo y metodología

3.4.2.2. Presentación de resultados

3.4.2.3. Análisis de sensibilidad

3.4.2.4. Discusión y conclusiones

3.4.3. Régimen transitorio

3.4.3.1. Entrada de datos

3.4.3.2. Ajuste y calibración

3.4.3.3. Discusión y conclusiones

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

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 y que culmina la investigación hidrogeológica de la Vega Baja iniciada en 1995.

Por tanto, el presente Estudio tiene como objetivo principal el desarrollo del correspondiente modelo hidrodinámico que permita dar coherencia a todos los datos, contribuya a la mejora del conocimiento del funcionamiento hidrogeológico y con el que se puedan evaluar adecuadamente los recursos hídricos subterráneos y analizar las respuestas del acuífero ante distintos escenarios de actuación.

El trabajo realizado ha consistido, en síntesis, en la elaboración de dicho modelo numérico y en la integración de aquellas actuaciones investigadoras efectuadas paralelamente por el IGME en convenio con la Secretaría de Aguas y Costas del Ministerio de Medio Ambiente y con la Consejería de Turismo y Ordenación del Territorio de la CARM, referentes a las Vegas Media y Baja del Segura. Tales actuaciones han sido llevadas a cabo con motivo de la problemática surgida por el descenso del nivel freático a consecuencia del incremento de las extracciones de agua subterránea y han permitido actualizar y mejorar ampliamente el conocimiento infraestructural de la unidad.

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.).

En la figura 1.2. se muestran los puntos de control piezométrico que se han utilizado en el modelo numérico.

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 (Figura 1.3.). 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 pliocuaternario 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 (Figuras 1.4. a 1.7.).

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 (Figura 1.8.).

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.

El uso de las aguas subterráneas ha sido siempre relativamente escaso, sobre todo, si se compara con los volúmenes de agua aplicados para riego, procedentes de los embalses de cabecera de la cuenca (regadío tradicional) y, en menor medida, con los del Trasvase Tajo-Segura. No obstante, en la década de los noventa y debido a la escasez de recursos, el uso se ha incrementado notablemente para cubrir las demandas. En la Figura 1.9. se localizan los puntos principales de bombeo de agua subterránea durante el período de estudio.

1.3. EQUIPO DE TRABAJO

El presente Estudio se ha realizado en convenio entre el Instituto Geológico y Minero de España y la Diputación Provincial de Alicante, habiendo intervenido los siguientes Técnicos:

- Ramón Aragón Rueda (IGME). Director del Estudio.
- Luis Rodríguez Hernández (DPA). Director del Estudio.
- Luis Javier Lambán Jiménez (IGME).
- José Luis García Aróstegui (IGME).
- Jorge Enrique Hornero Díaz (IGME).
- Ana Isabel Fernández Grillo (IGME).
- Juan Antonio Hernández (DPA).

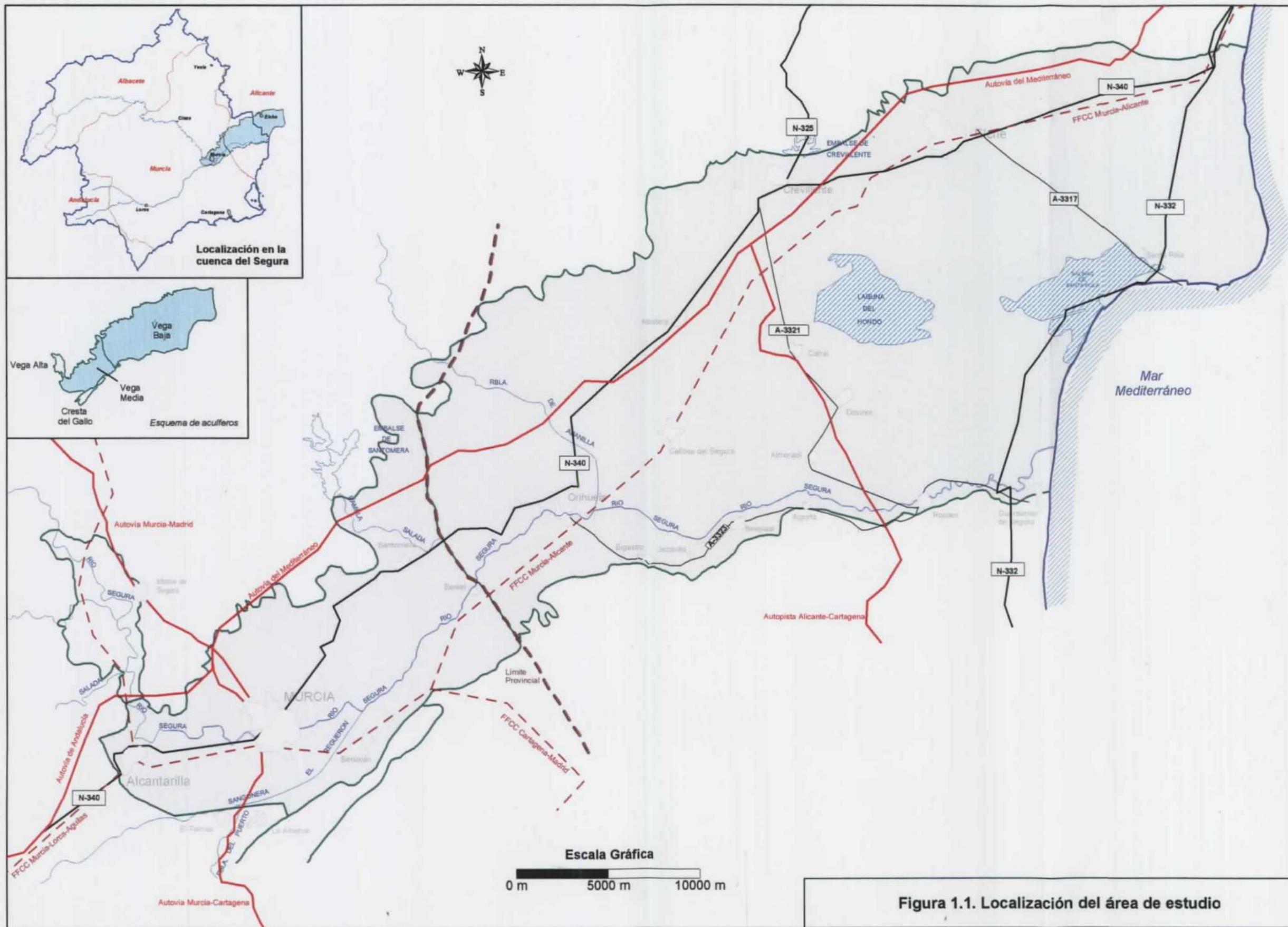
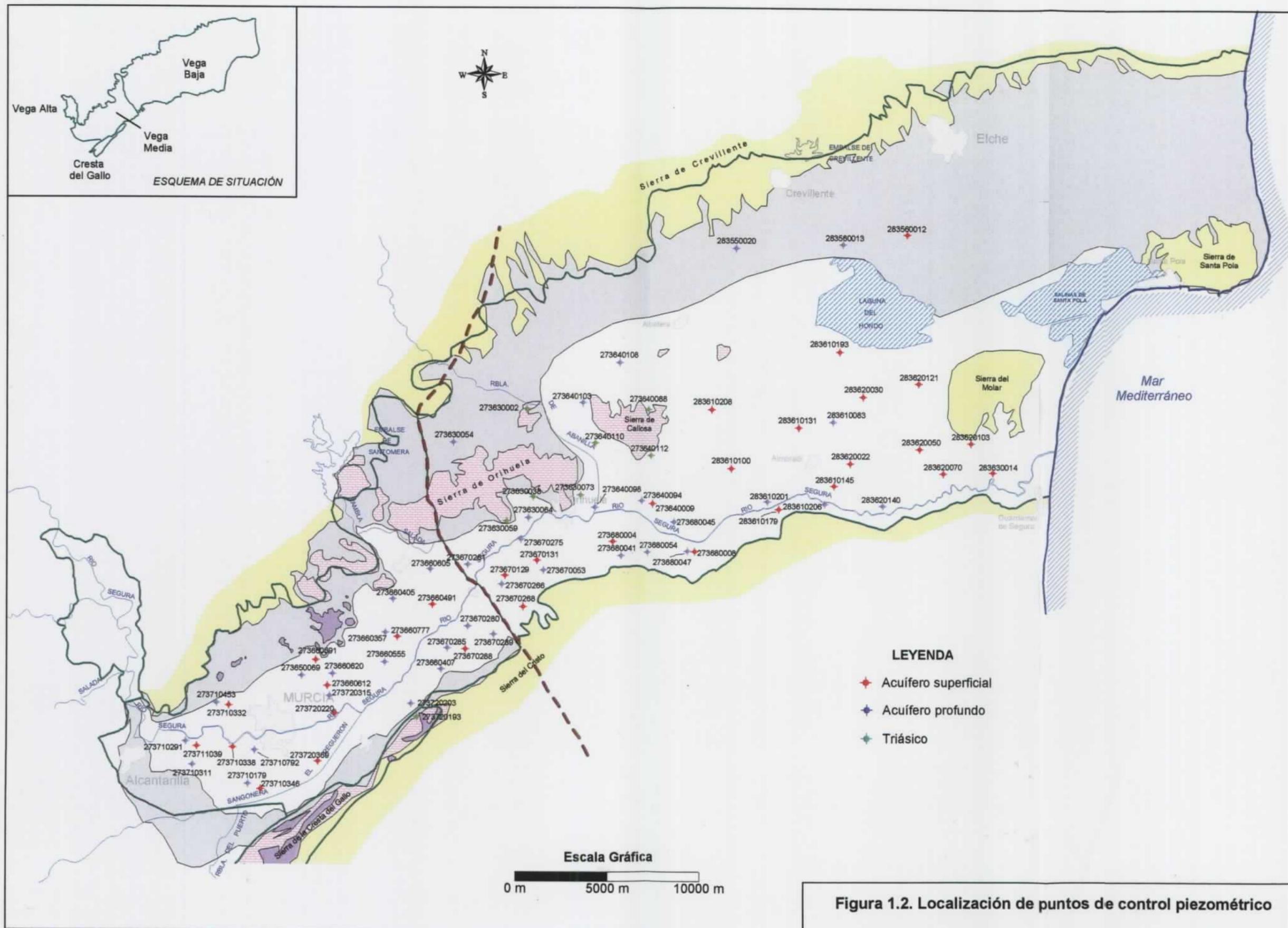
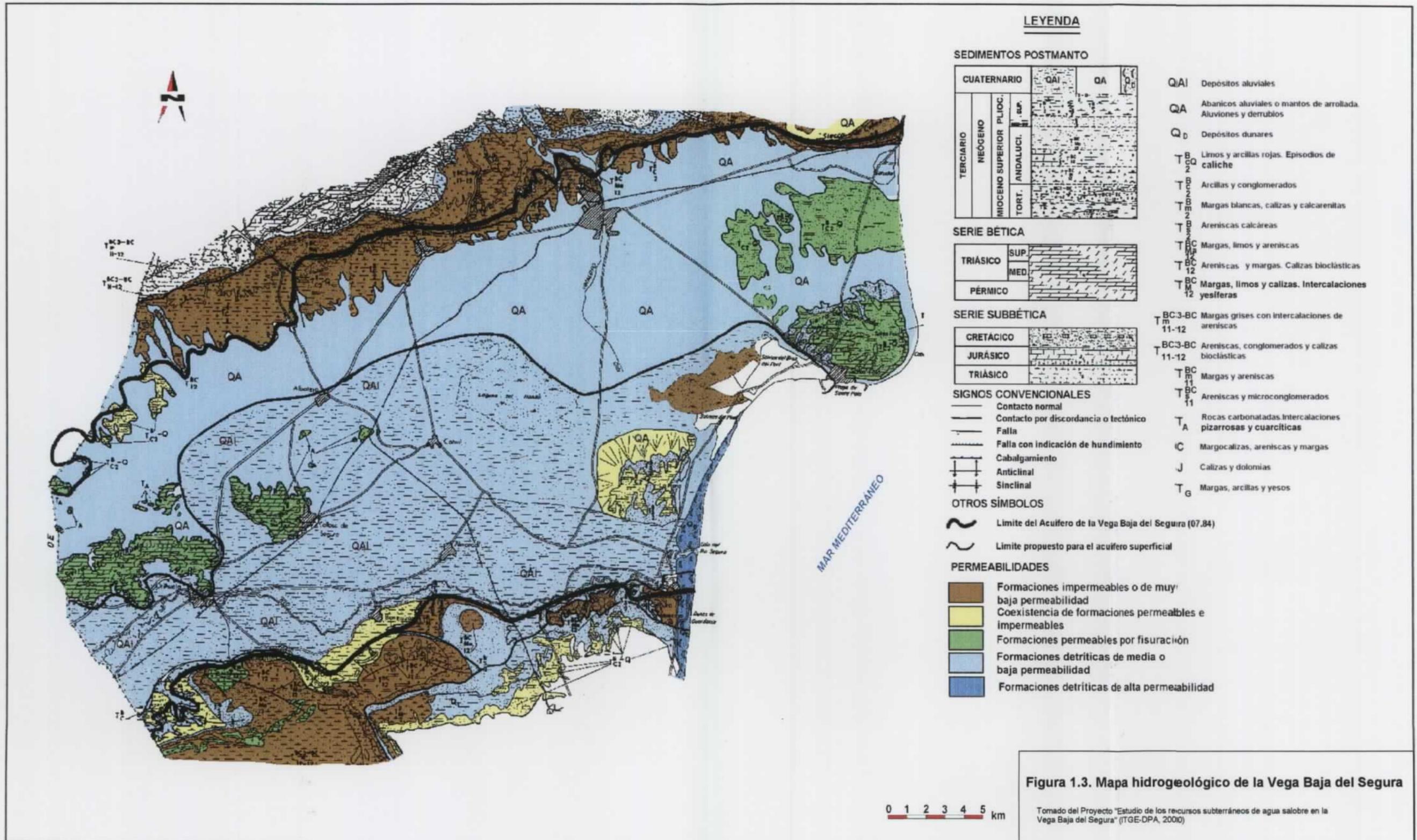


Figura 1.1. Localización del área de estudio





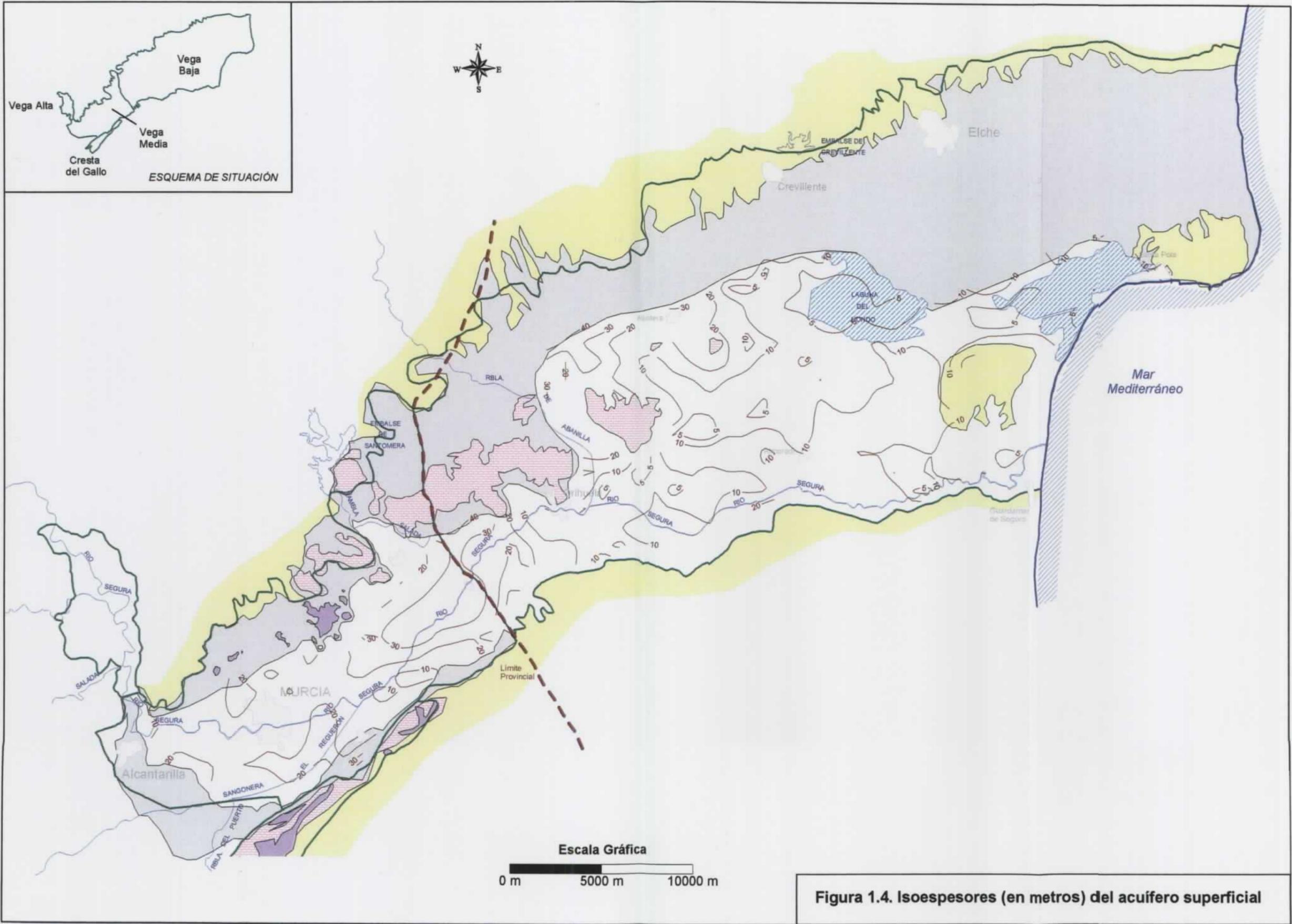


Figura 1.4. Isoespesores (en metros) del acuífero superficial

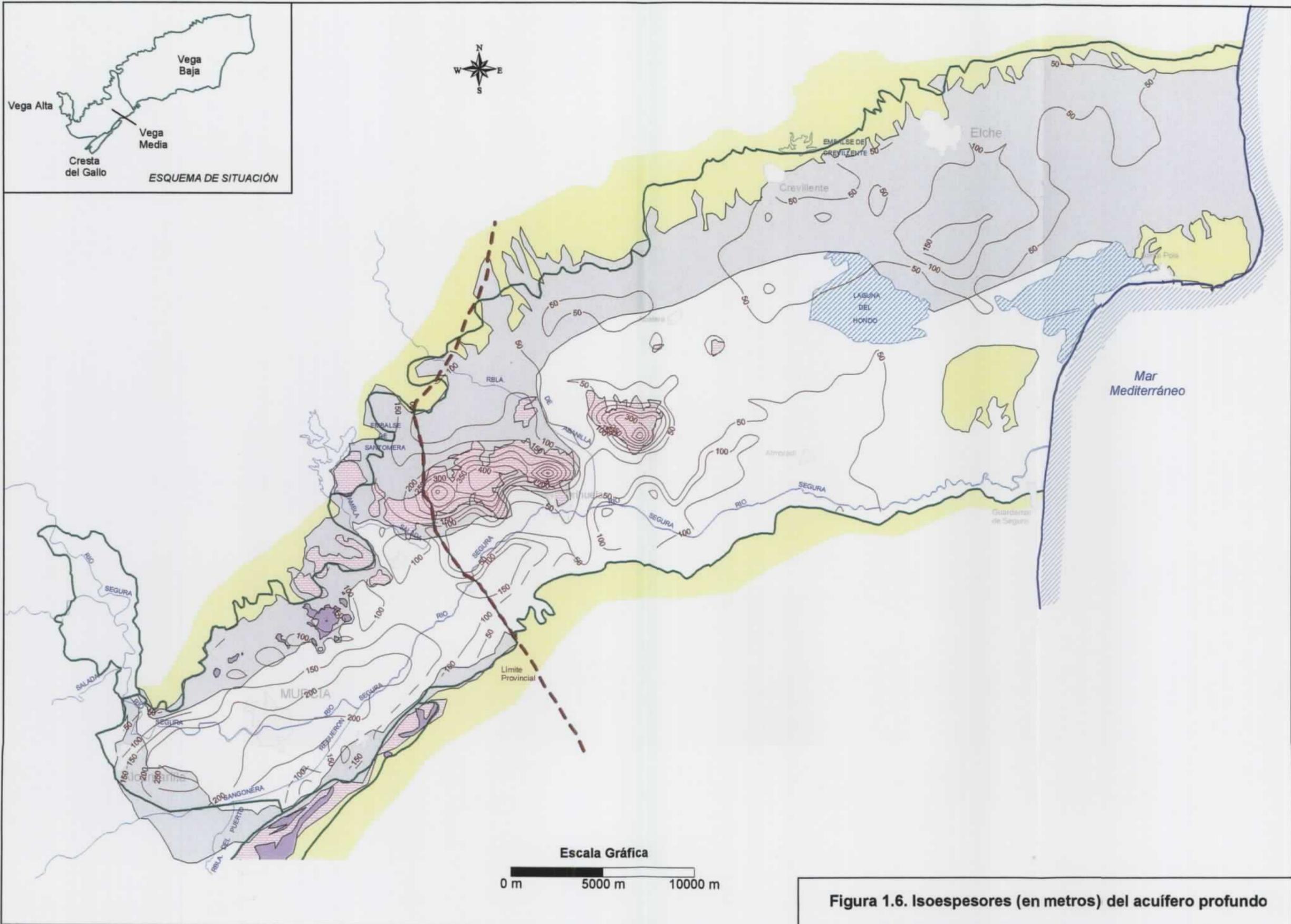


Figura 1.6. Isoespesores (en metros) del acuífero profundo

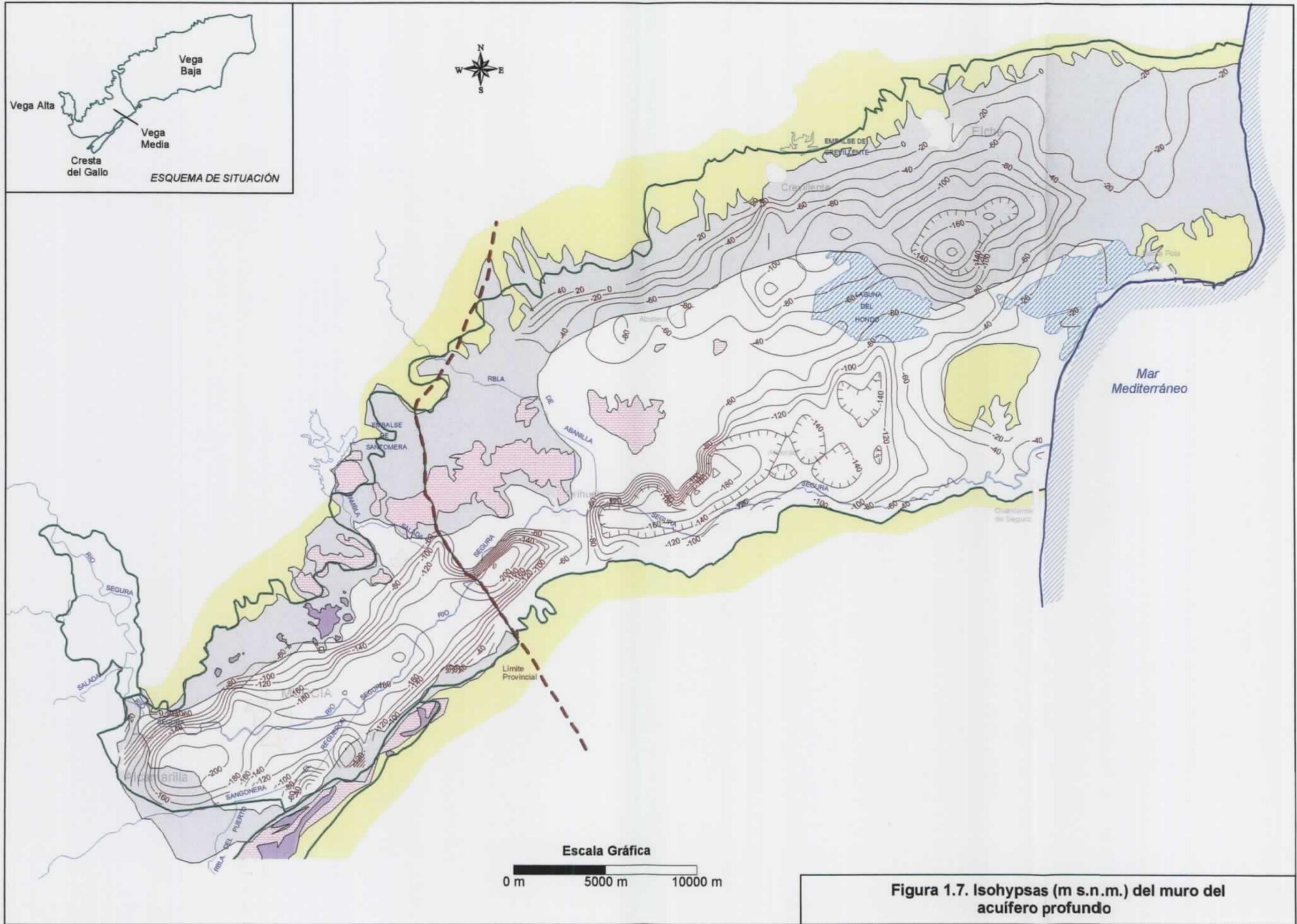


Figura 1.7. Isohypsas (m s.n.m.) del muro del acuífero profundo

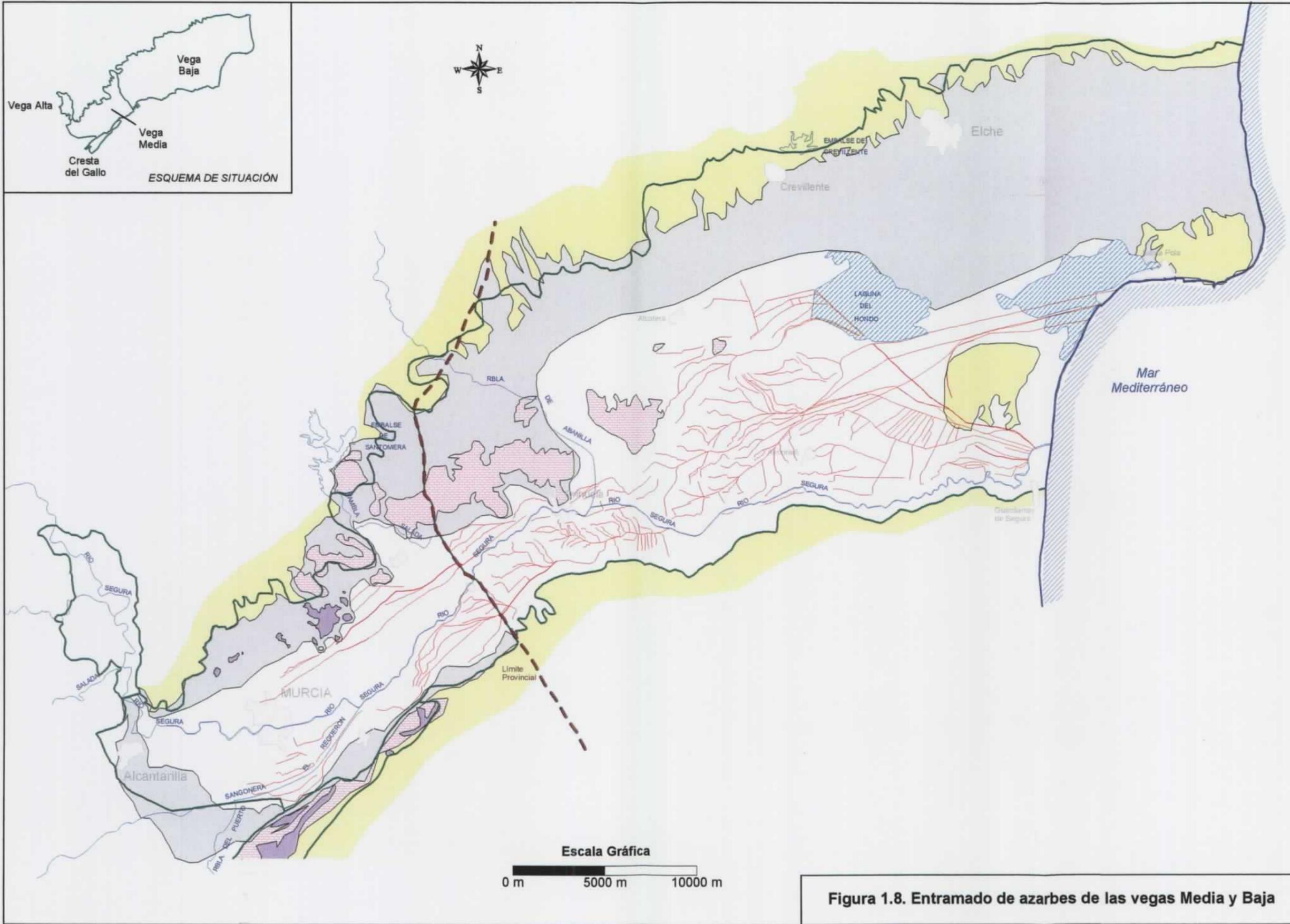
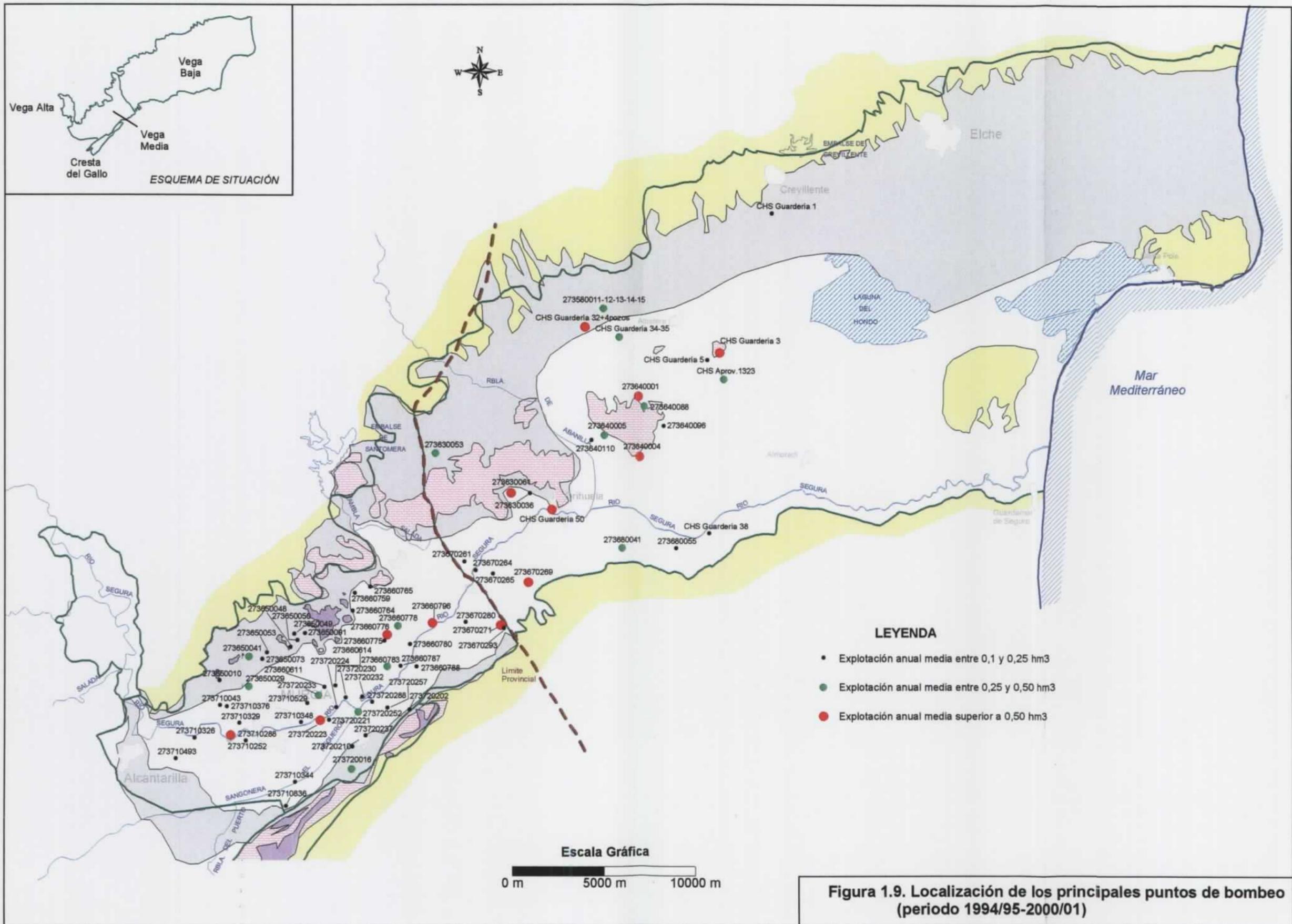


Figura 1.8. Entramado de azarbes de las vegas Media y Baja



2. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

2.1. 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.

2.2. 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 2.3.1).

2.2.1. 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).

2.2.2. Recarga por infiltración de retornos de riego

2.2.2.1. 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.

2.2.2.2. 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 2.1):

- 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 2.1 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 2.2 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

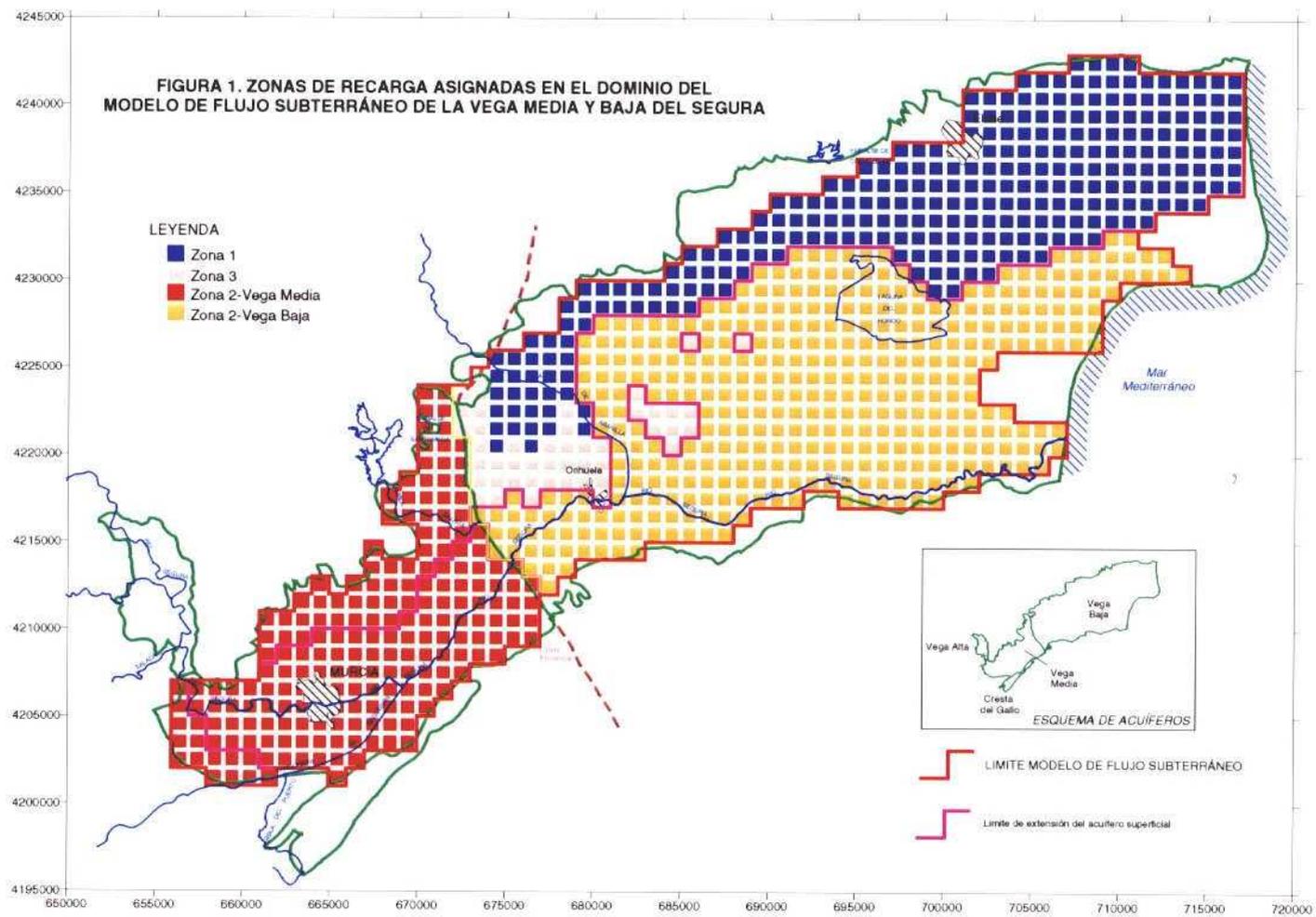


Figura 2.1. Zonificación preliminar realizada con objeto de evaluar la recarga en la Vega Media y Baja del Segura

Tabla 2.1. Clases y superficies de cultivo obtenidas para las Vegas Media y Baja del Segura, en el dominio del modelo de flujo.

Localización	Zona 1		Zona 2				Zona 3	
	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 2.2. 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 2.3 y 2.4): 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 2.3. 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 2.5). 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 2.6) con máximos en torno a 11 hm³/mes coincidentes, lógicamente, con los meses donde se produce riego de cítrico.

Tabla 2.4. 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. Regadíos 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 2.5. 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
Limónero	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 2.6. – 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 2.7. 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 2.7. – 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 2.5 (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 2.8 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 2.8. – 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. 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 2.8. 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 2.9 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 2.9. – 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.

2.2.2.3 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 2.9) 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 2.1) 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 2.2).

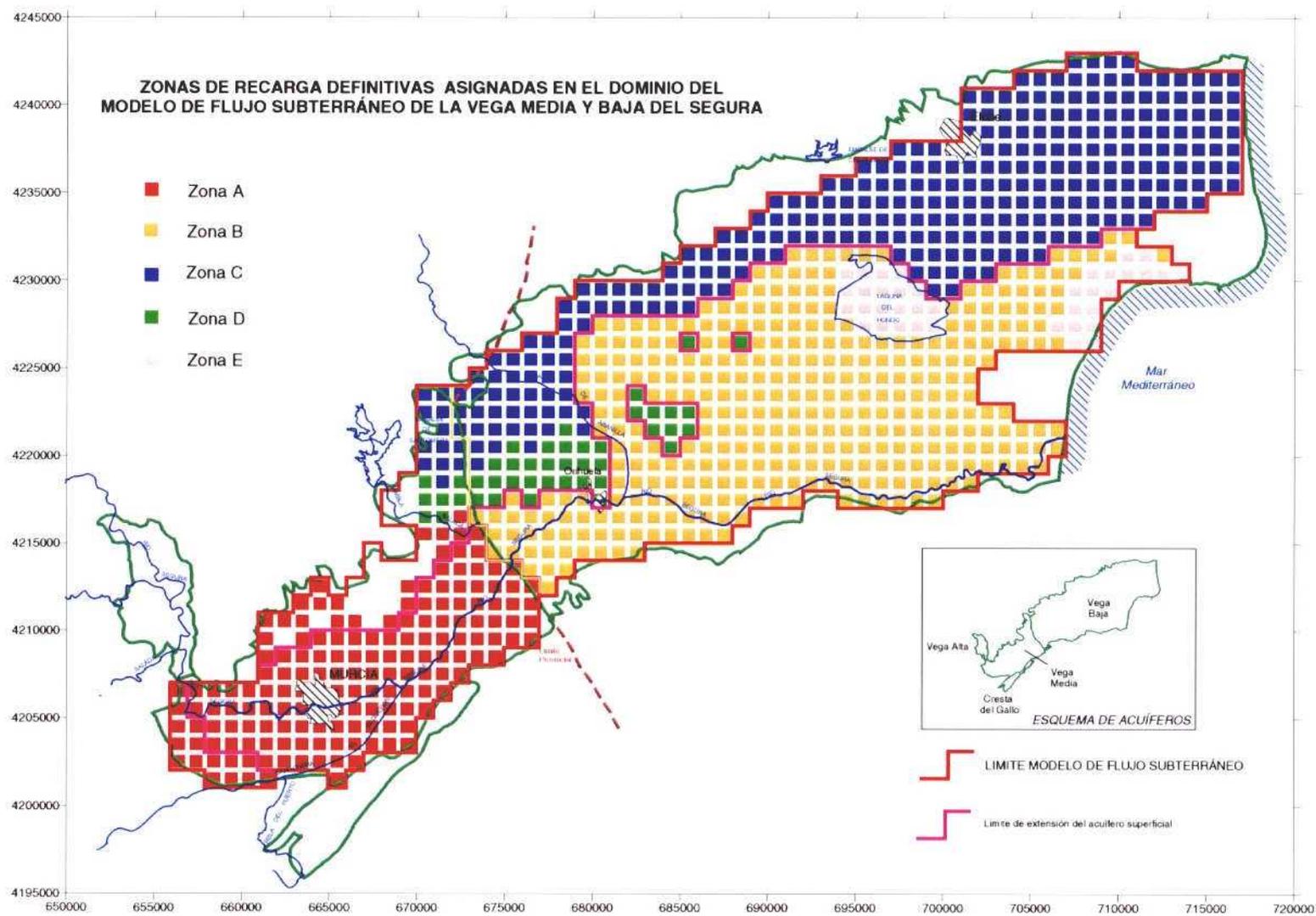


Figura 2.2. – Zonificación definitiva realizada con objeto de evaluar la recarga en la Vega Media y Baja del Segura.

En la Tabla 2.10 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 2.11)

Tabla 2.10. – 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 2.12. 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 2.11. – 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 2.12. – 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

2.2.2.4 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 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 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 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 2.13.

Tabla 2.13. 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 totales anuales (suma de los mensuales) correspondientes a la precipitación y retorno de riegos, evaluada para estas mismas zonas, queda reflejada en las Tablas 2.14, 2.15 y 2.16; Figuras 2.3 y 2.4. 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 2.14. 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 2.15. 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 2.16. 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

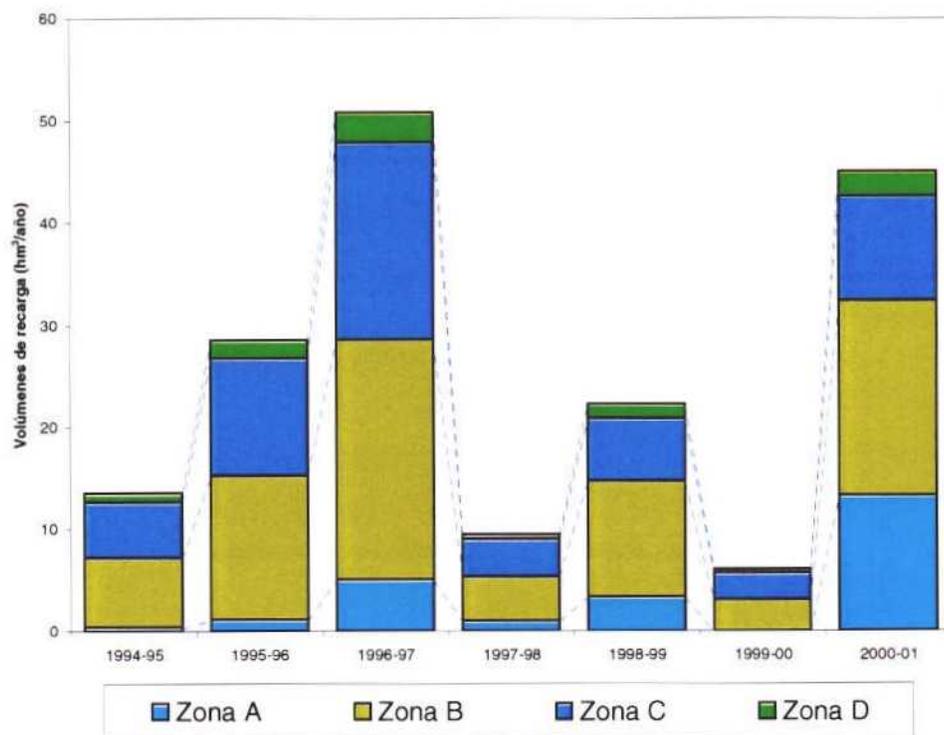


Figura 2.3. Recarga por infiltración de la precipitación en las zonas del modelo de flujo.

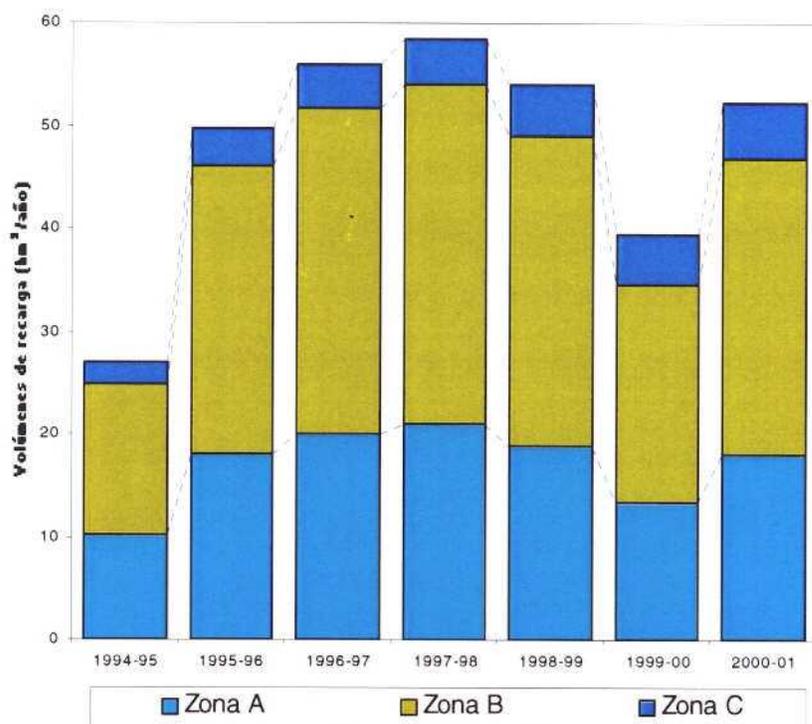


Figura 2.4. Recarga por retornos de riego en las zonas del modelo de flujo.

2.3. 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.

2.3.1. 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 2.4).
- 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, Rojales y Guardamar (periodo 1962-73) (PIAS, 1978) (Figura 2.5). 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 Rojales 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 2.17 (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 2.17. - 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 2.4) 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 2.6). 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

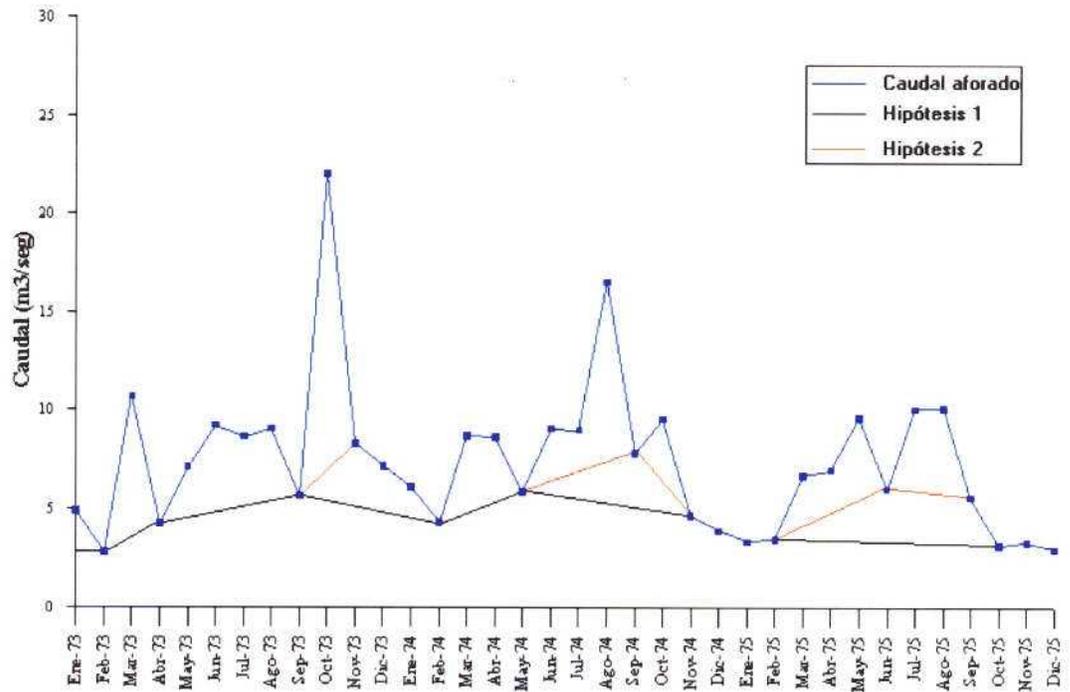


Figura 2.6. Descomposición del hidrograma correspondiente a la estación de aforos de Beniel

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 2.18). 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 2.18. – 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
Espesor 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)¹, 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 2.6). 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 %.

¹ 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

2.3.2. 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 2.4). 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).

2.3.3. 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 2.4), 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.

2.3.4. 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), donde 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 $2,8 \text{ hm}^3/\text{a}$ (coherentes con los $2,6 \text{ hm}^3/\text{a}$ obtenidos en ese mismo estudio mediante la aplicación de métodos hidrogeológicos)

2.3.5. 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 datos obtenidos se han trasladado al formato del modelo de flujo subterráneo utilizado, que requiere la información en $\text{m}^3/\text{día}$. 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 $12,3 \text{ hm}^3$ en el año 1997/98, el más húmedo del periodo, y $24,1 \text{ hm}^3$ en el año 1994/94, el más seco (Tabla 2.19; Figura 2.7).

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 $8,0 \text{ hm}^3$ en el año 1997/98 y $22,8 \text{ hm}^3$ en el año 1995/96 (Tabla 2.20; Figura 2.8).

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 2.19. 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%

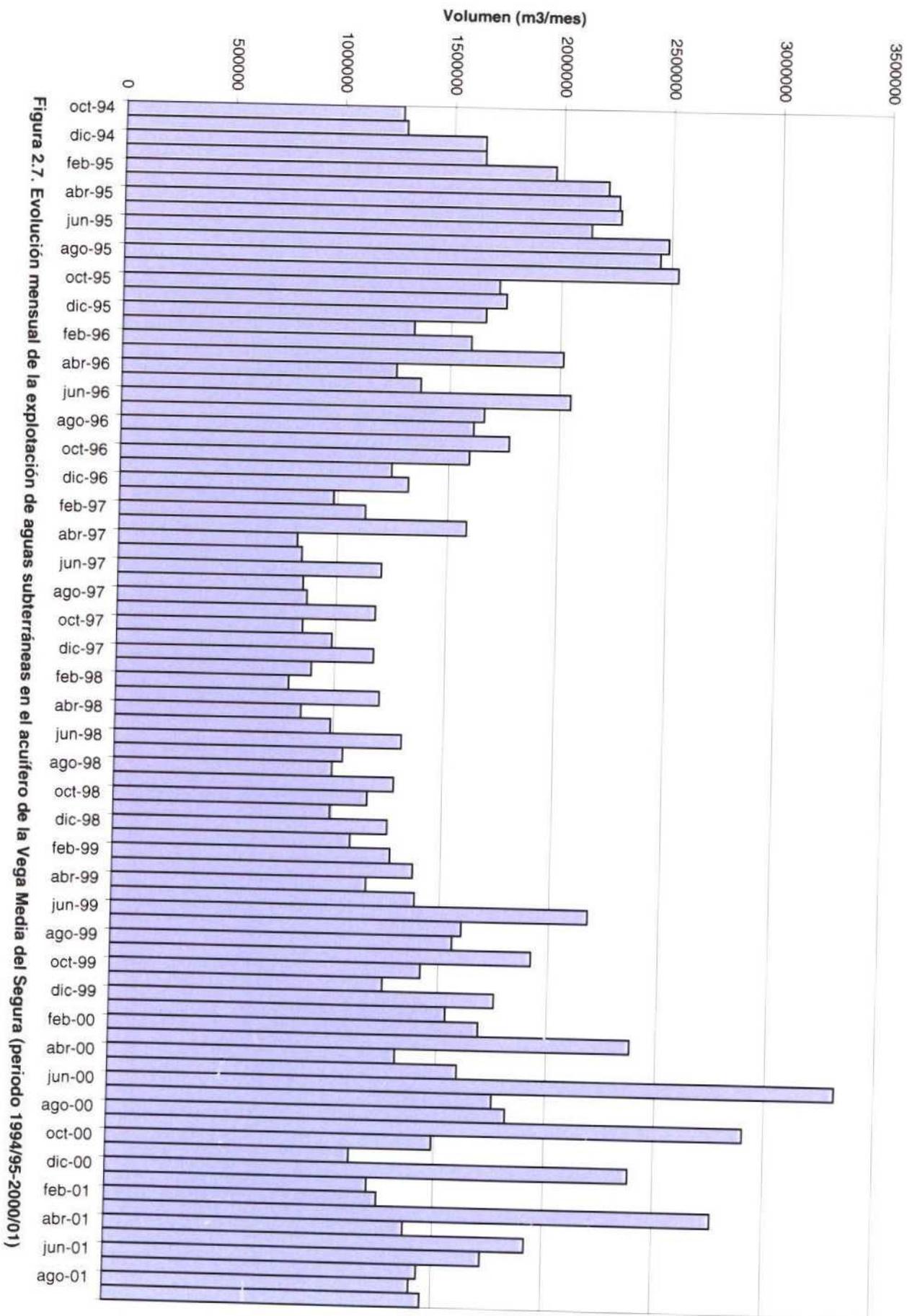
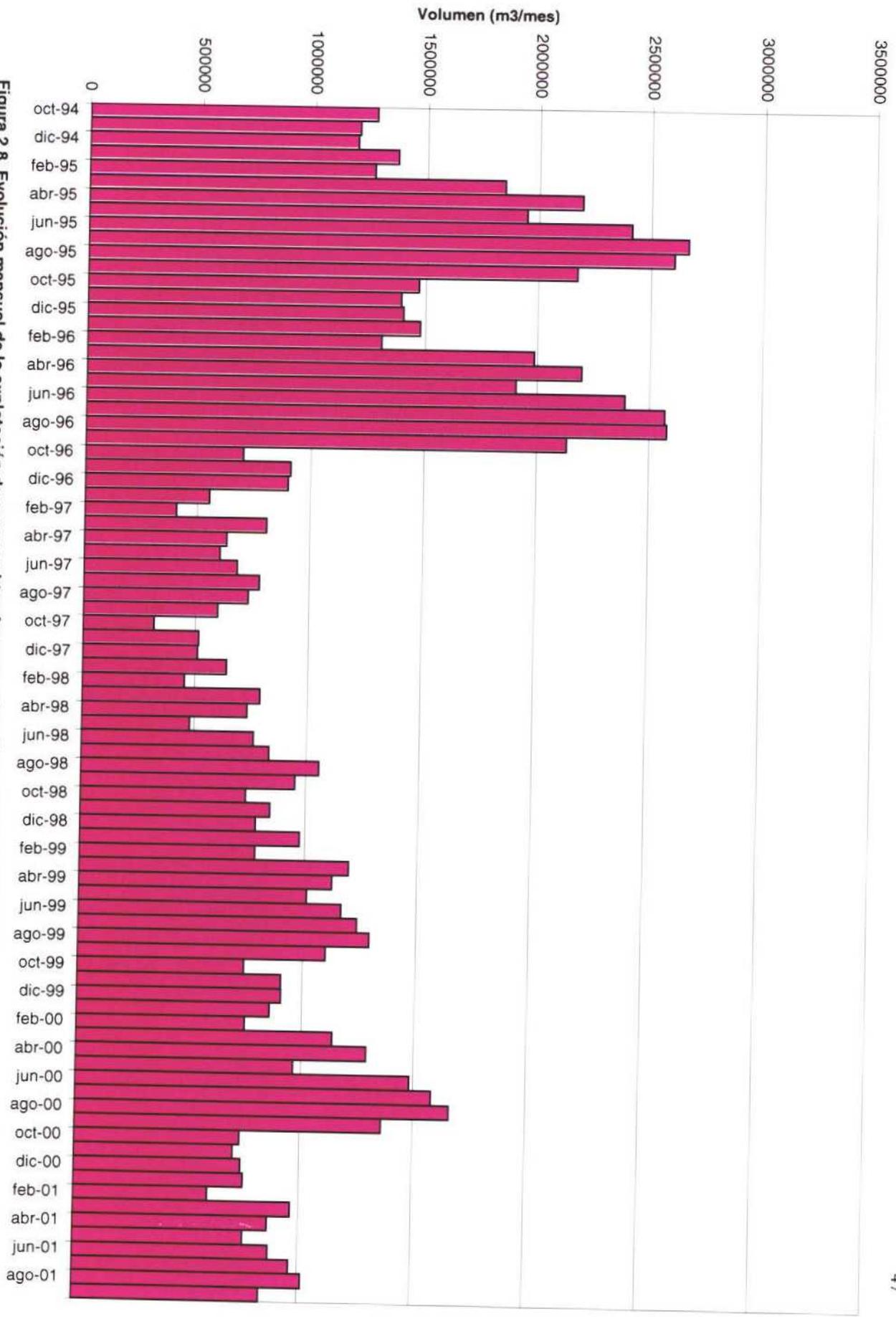


Figura 2.7. Evolución mensual de la explotación de aguas subterráneas en el acuífero de la Vega Media del Segura (período 1994/95-2000/01)

Figura 2.8. Evolución mensual de la explotación de aguas subterráneas en el acuífero de la Vega Baja del Segura (período 1994/95-2000/01)



2.4. 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 2.9) 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 2.10). 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 2.20. 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 2.11 y 2.12)

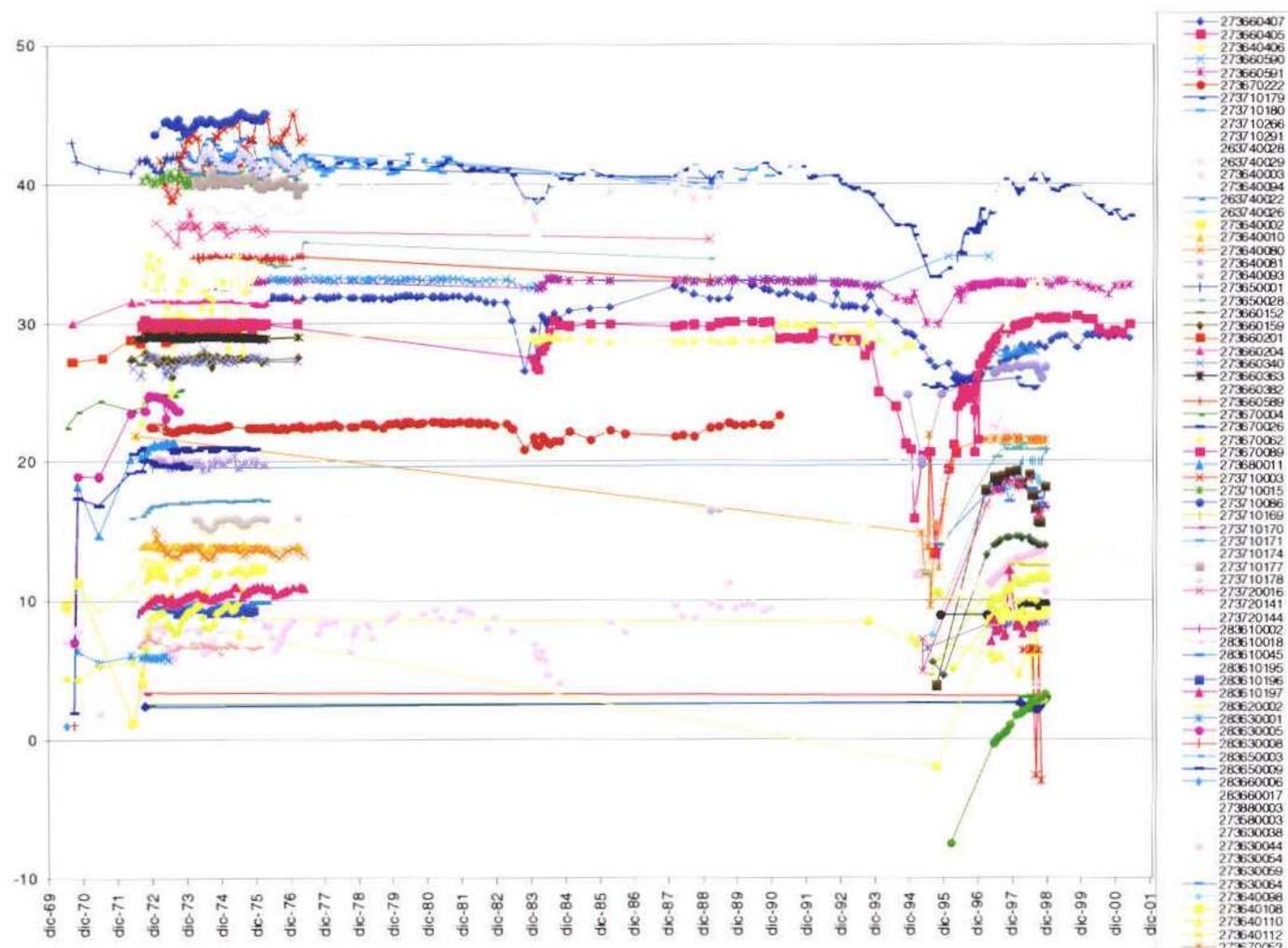


Figura 2.9. - Evolución de los niveles piezométricos existentes en la unidad hidrogeológica de la Vega Media y Baja del Segura durante 1970-2001

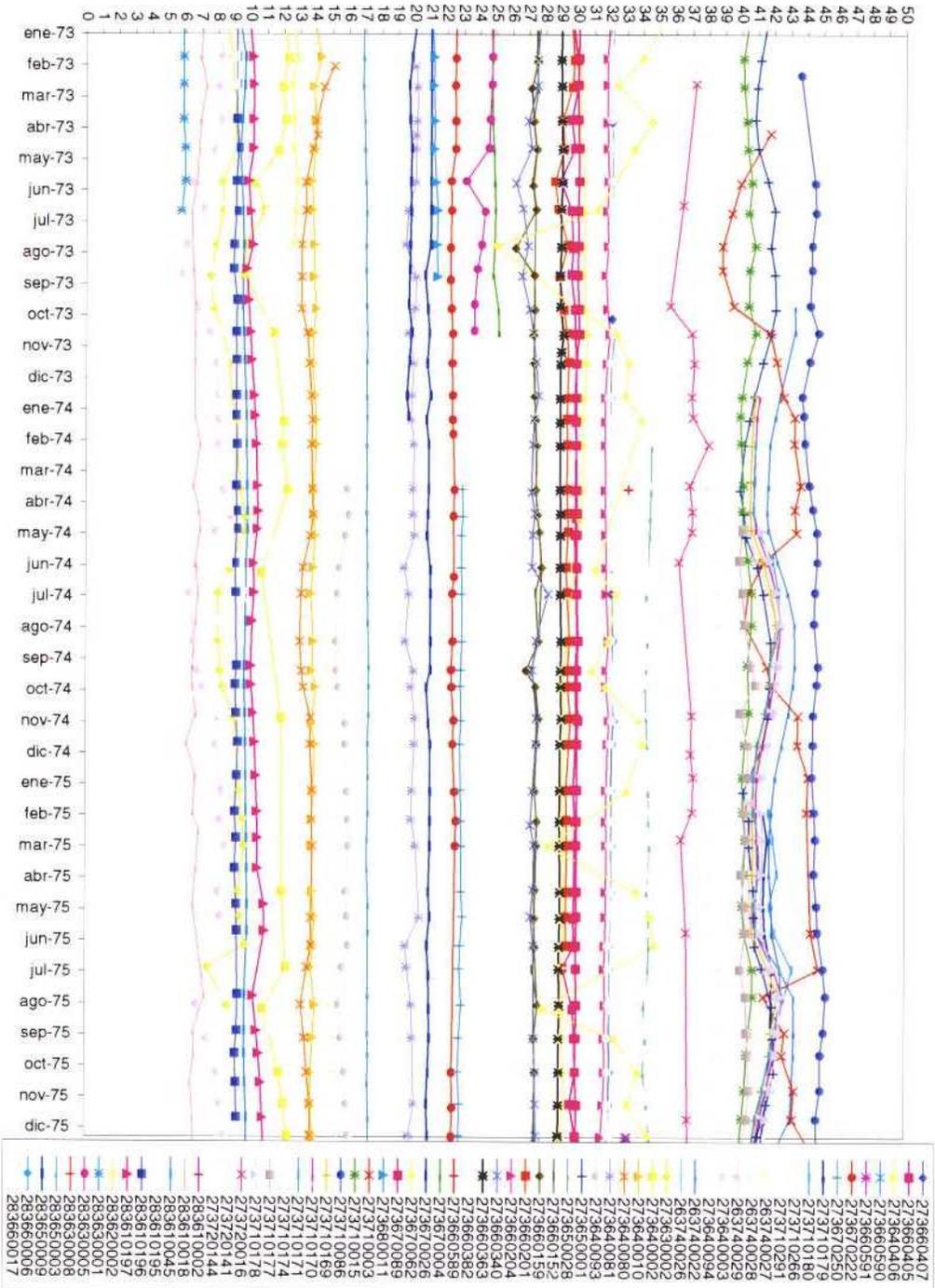
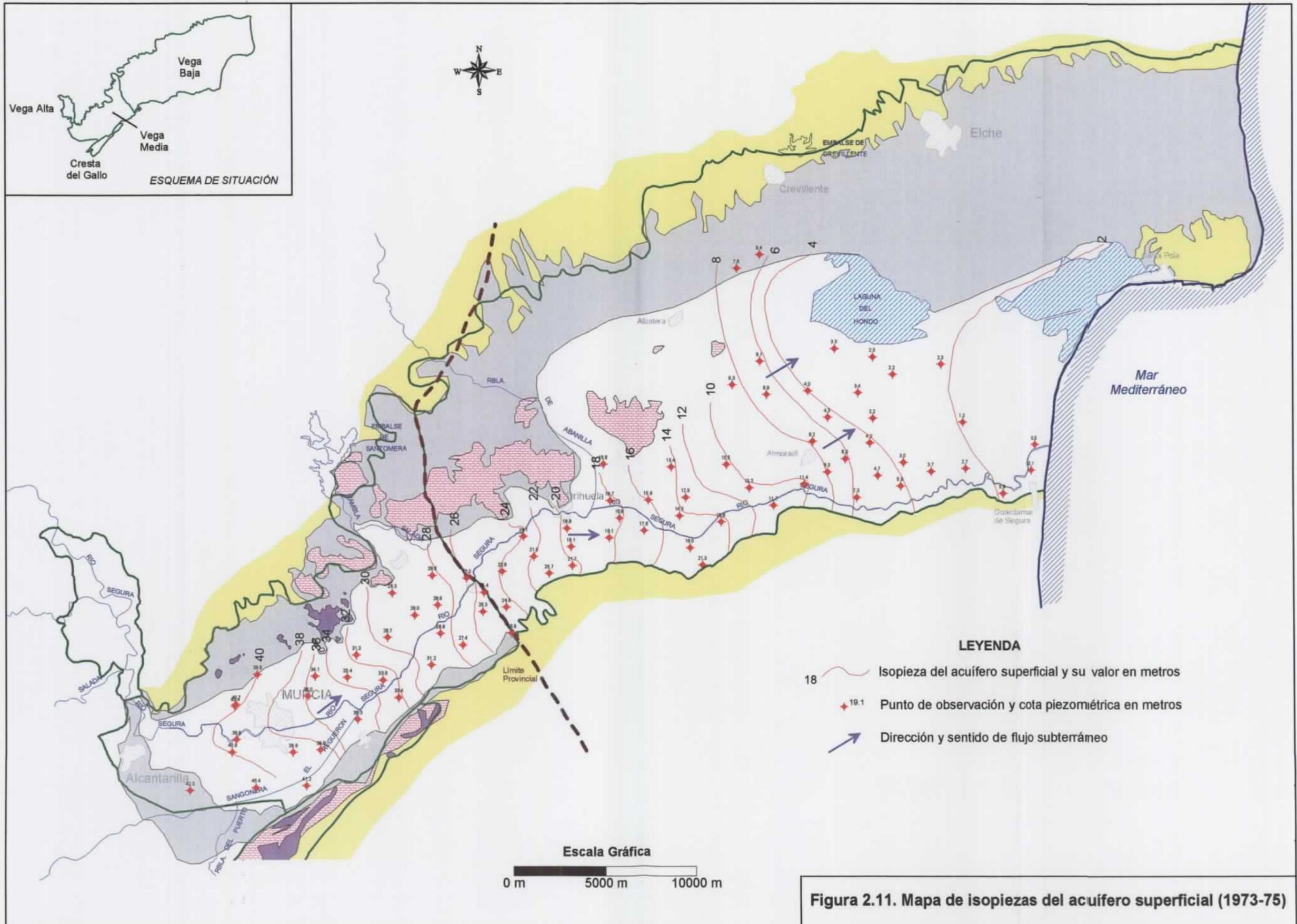


Figura 2.10. - Evolución de los niveles piezométricos existentes en la unidad hidrogeológica de la Vega Media y Baja del Segura durante 1973



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

Escala Gráfica

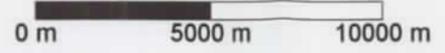


Figura 2.11. Mapa de isopiezas del acuífero superficial (1973-75)

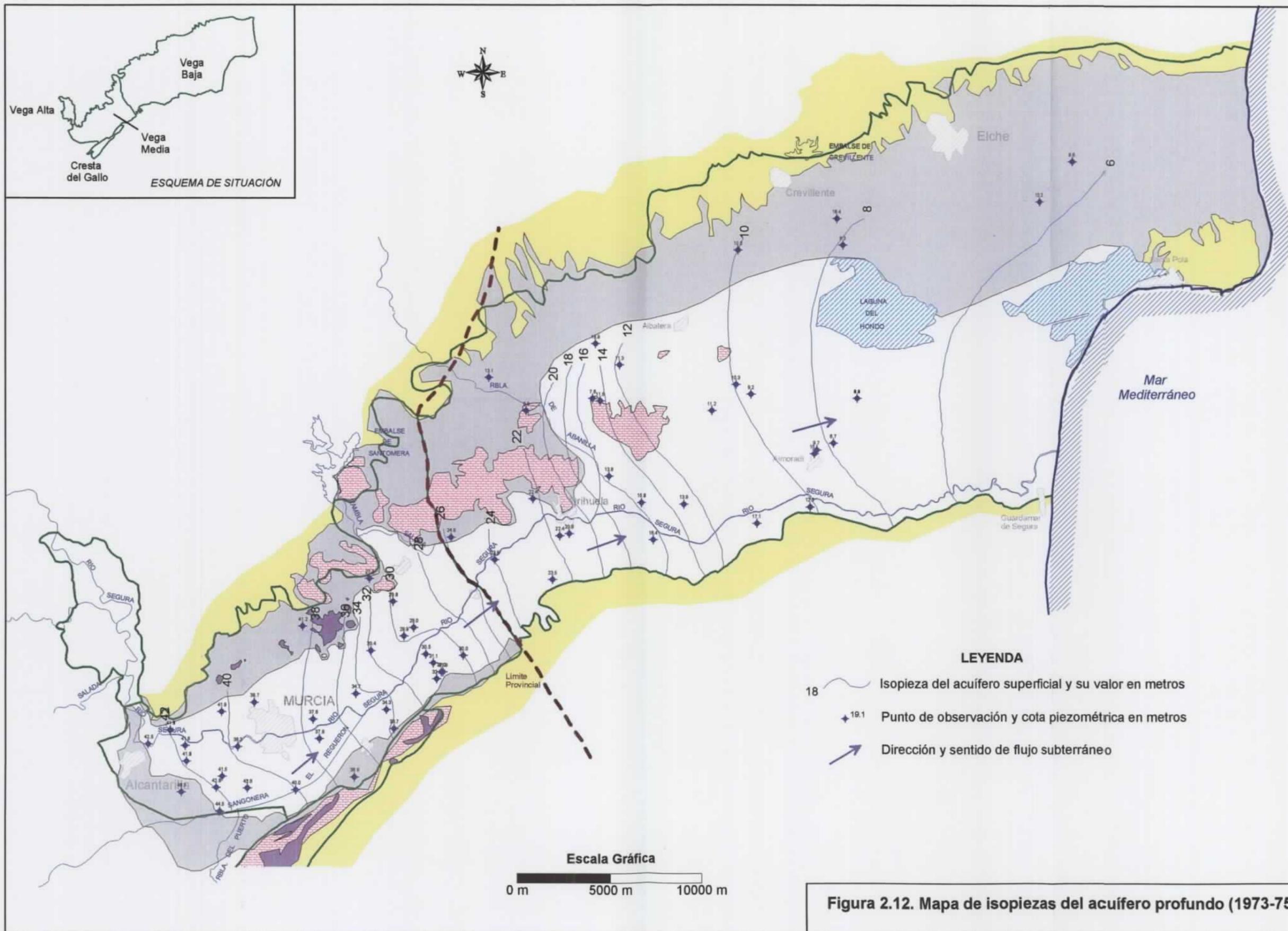


Tabla 2.20. Valores piezométricos promedios correspondientes al periodo 1973-75

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	4223228	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 2.3.1. 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 2.3.1) 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.

2.5. 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.

2.5.1. 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 2.2. 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 2.3.1 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 2.15 se resumen los valores correspondientes a los términos de balance considerados en la Vega Media.

Tabla 2.15. – 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

2.5.2 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 2.3.1. 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 2.16 se resumen los valores correspondientes a los términos de balance considerados en la Vega Media y Baja.

Tabla 2.16. – 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
Guadalestín	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

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

3.1 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 2) 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

3.2 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 Pliocuatnario 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.

3.3. 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.

3.3.1. 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, Rojas 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.

3.3.2. 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 presuponía 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 3.1 y 3.2 se presentan una corte longitudinal y otro transversal en los que se observa la geometría finalmente introducida en el modelo numérico.

3.3.3. 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 3.3 y 3.4; Tabla 3.1).

Tabla 3.1. 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.

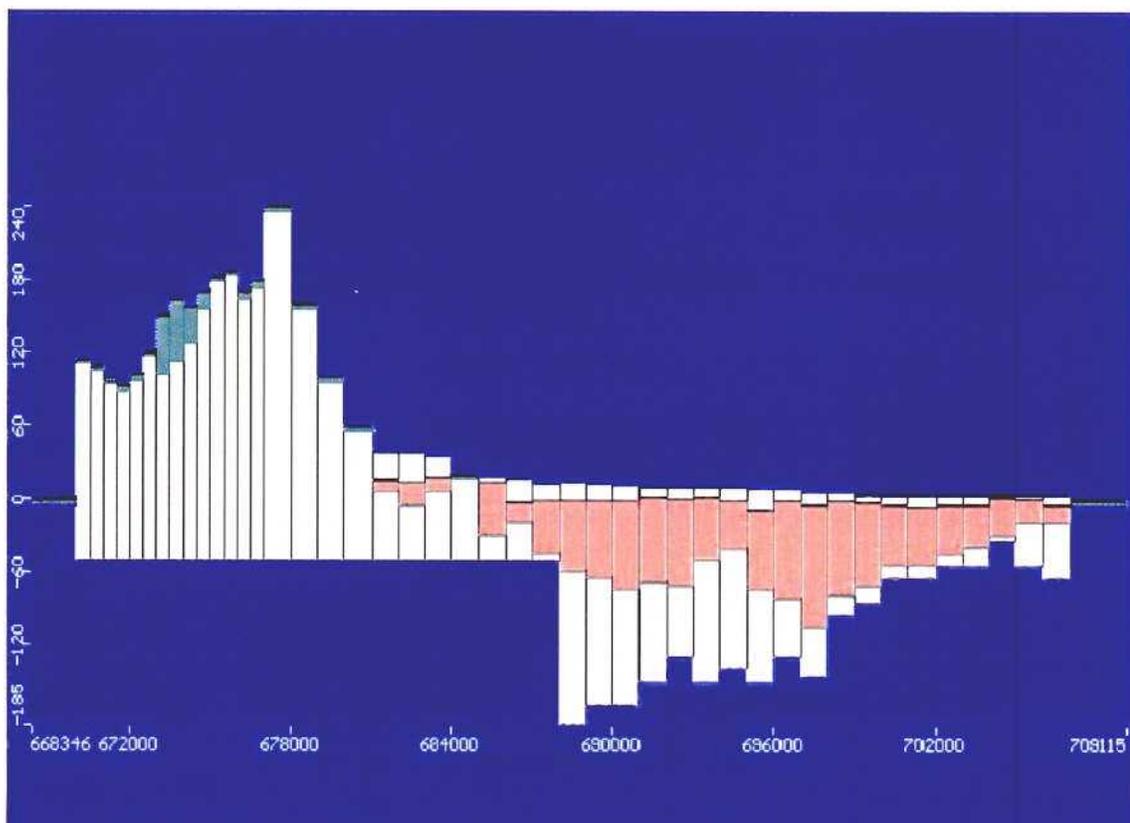
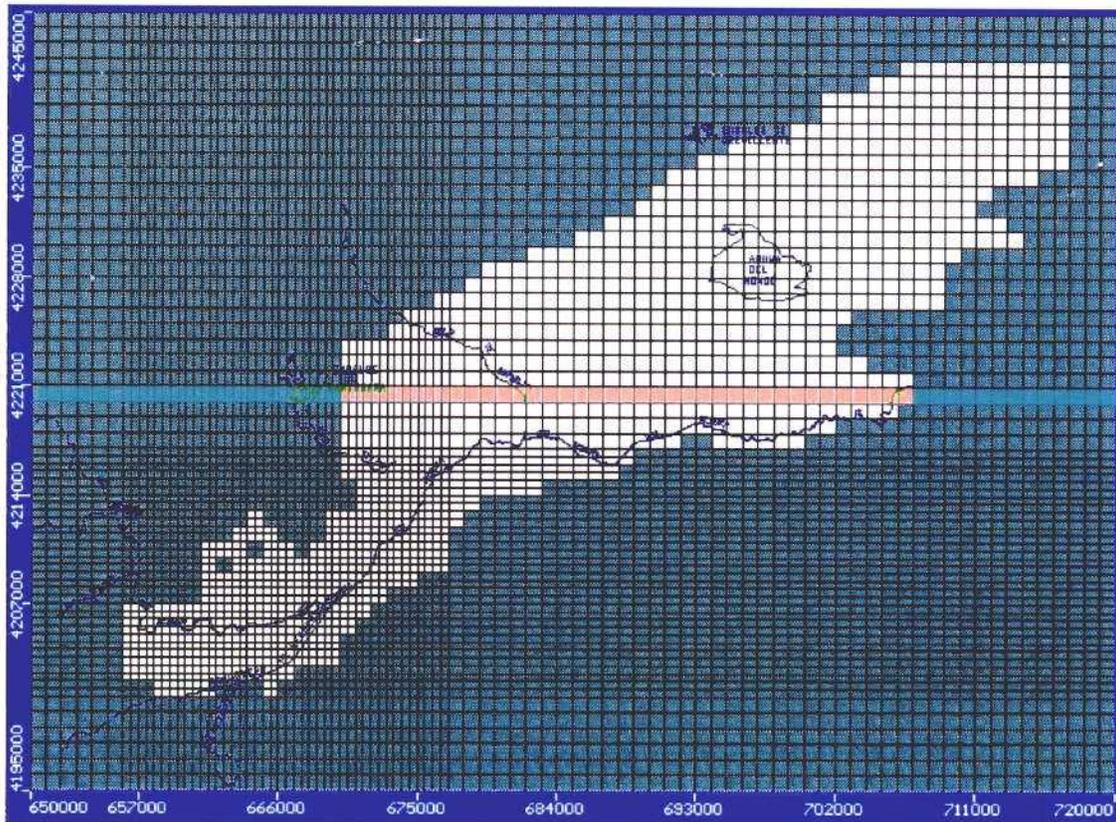


Figura 3.1. Corte longitudinal en el modelo numérico realizado para la Vega Media y Baja del Segura

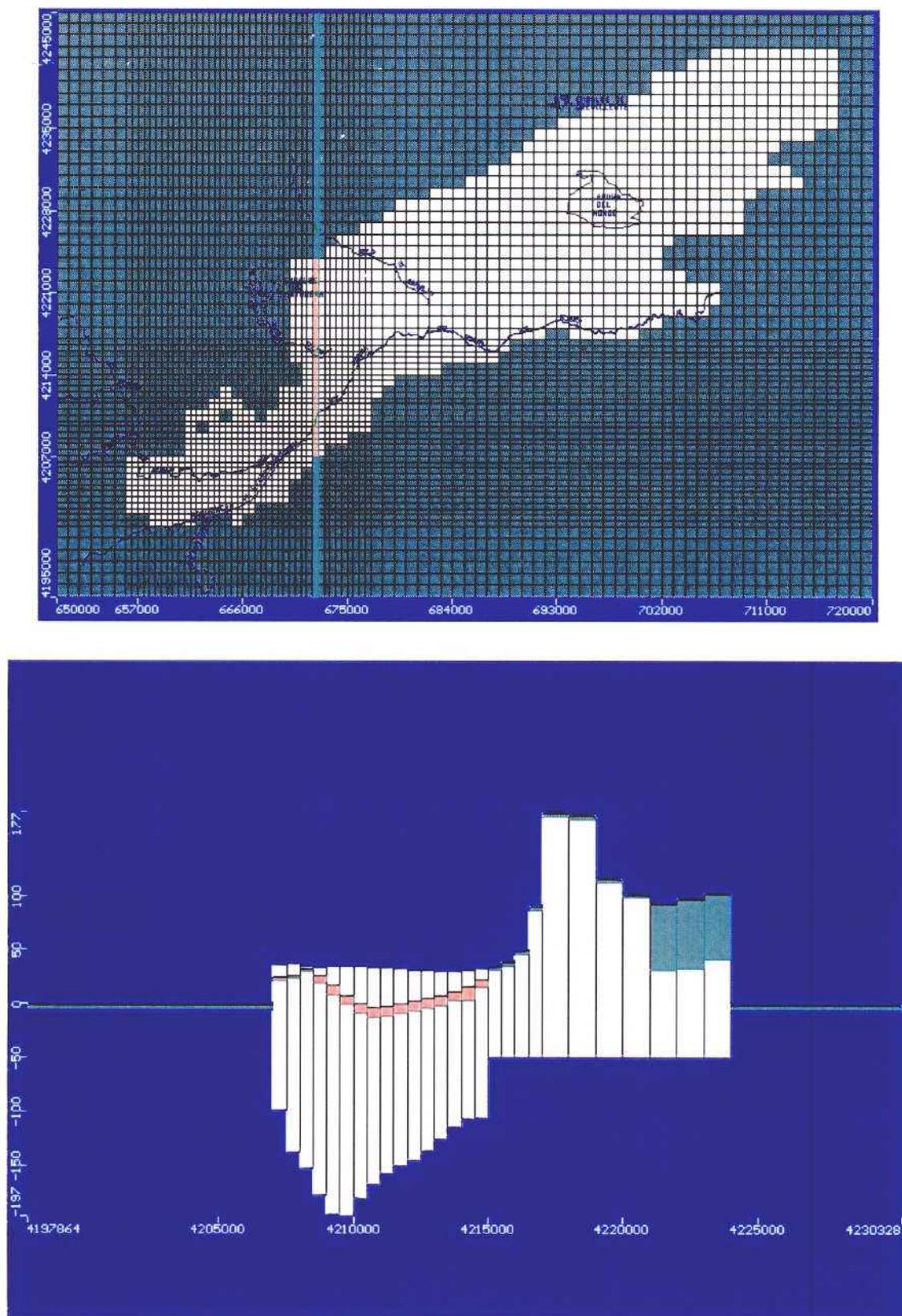


Figura 3.2 - Corte transversal en el modelo numérico realizado para la Vega Media y Baja del Segura

3.3.4. 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 3.3):

- 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 2.3.1) como el ajuste entre los niveles piezométricos calculados y observados próximos al río. En la Tabla 3.2 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 3.2. Estimación previa de la conductancia para cada tramo diferenciado en el río Segura

	Longitud Rio (L)	Anchura Rio (W)	Permeabilidad lecho (K)	Espesor capa rio (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

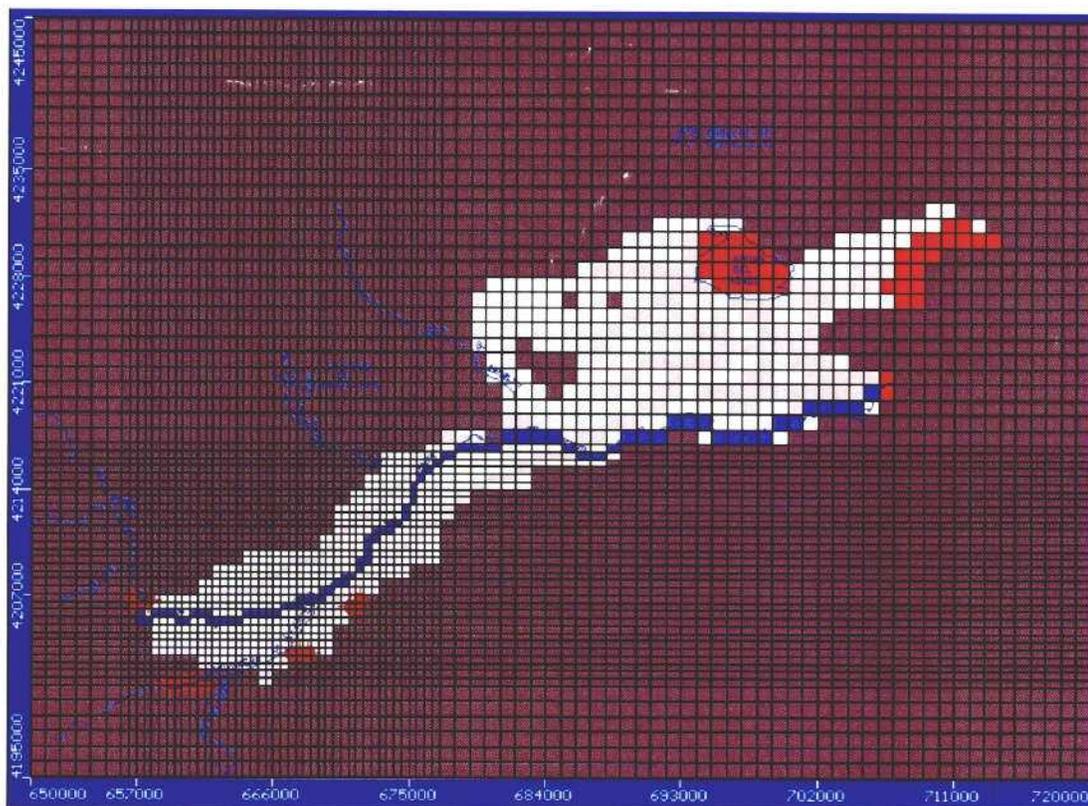


Figura 3.3 - Condiciones de contorno en el modelo numérico de la Vega del Segura.

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).

3.3.5. 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 2.2) 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 2.2.2 (Figuras 2.1 y 2.2). 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 2.2.2.1, 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 2.2.2.2, 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 2.9 del apartado 2.2) 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 3.3. 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 3.4.

Tabla 3.3. - 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	
		1b	50	
		1c	70	
				277
	2	2a	0	
		2b	50	
		2c	115	
		2d	165	
		2e	185	
				383
	3	3a	50	
		3b	70	
		3c	100	
			46	
VEGA MEDIA	4	4a	65	
		4b	101	
		4c	135	
		4d	163	
			203	



Figura 3.4 - Zonas y subzonas de recarga introducidas inicialmente en el modelo numérico.

Posteriormente y como consecuencia de los cambios introducidos en la zonificación inicial (apartado 2.2.2.3) 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 3.4 y Figura 3.5. 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 3.4.1). La metodología empleada y los valores de recarga obtenidos para el periodo 1994-2001 se presentan en el apartado 2.2.2.4.

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 3.4. - 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

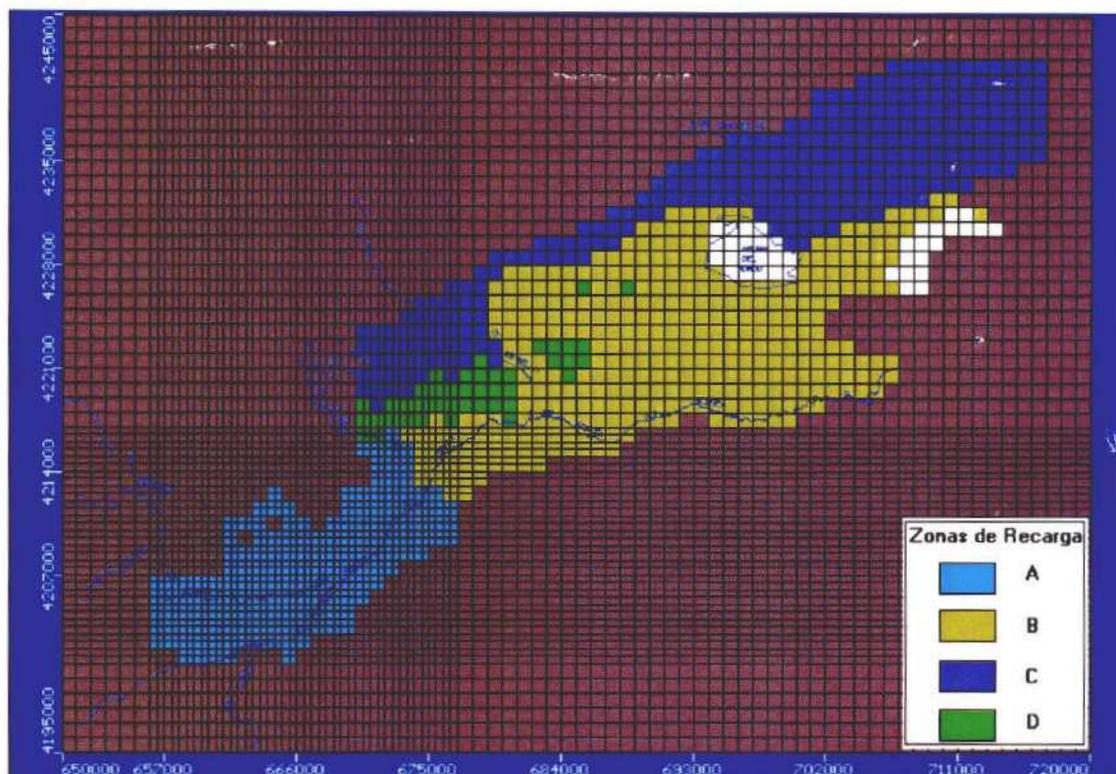


Figura 3.5 - Zonas de recarga definitivamente consideradas en el modelo numérico de la Vega Media y Baja del Segura.

3.3.6. 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 3.5 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 3.5. 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 3.6 (Capa 1) y 3.7 (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)

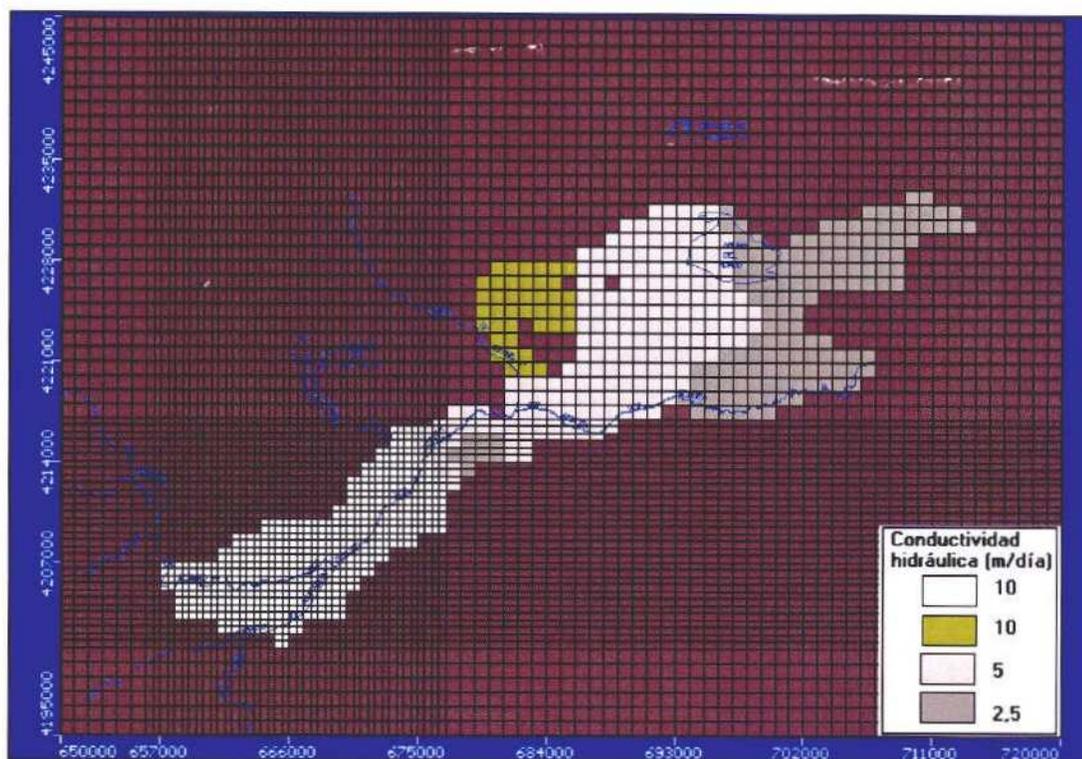


Figura 3.6. – Zonificación inicial de la conductividad hidráulica en el modelo numérico (Capa 1)



Figura 3.7. – 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 3.6, Figura 3.8 (Capa 1) y Figura 3.9 (Capa 3).

Tabla 3.6. 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

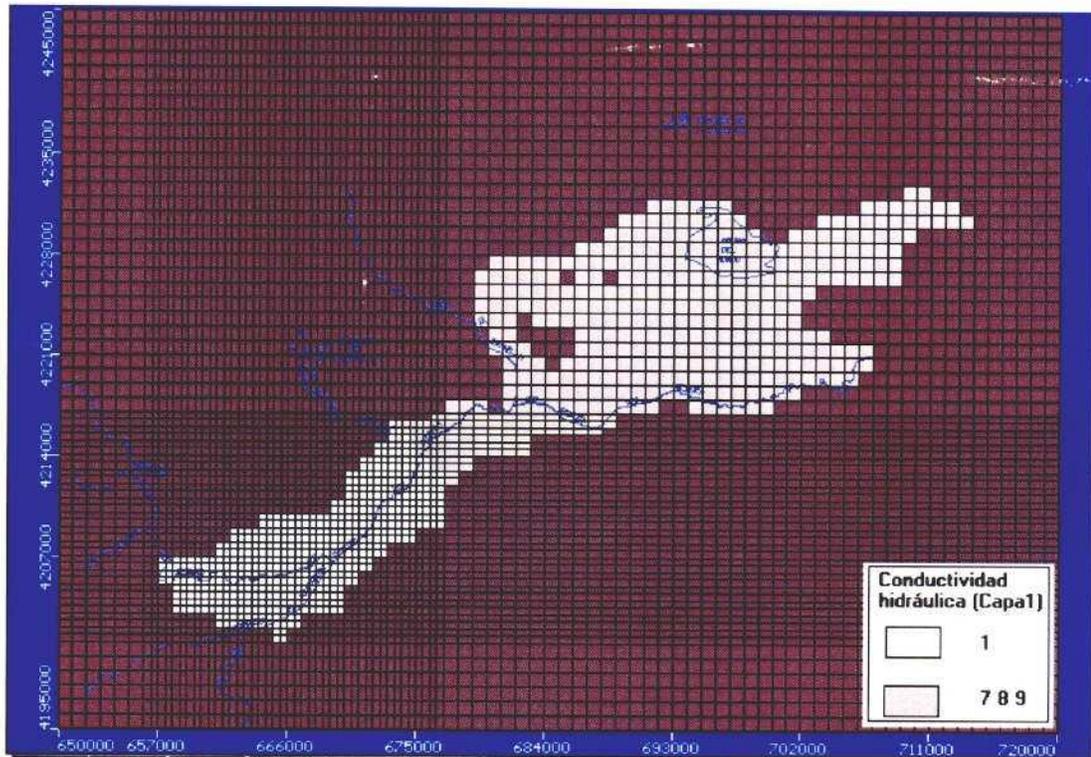


Figura 3.8. – Zonificación final de la conductividad hidráulica en el modelo numérico (Capa 1)



Figura 3.9. – 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 3.7). Los principales parámetros asignados a cada una de estas zonas se presentan en la Tabla 3.8.

Tabla 3.7. 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 3.8. 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 3.7 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 3.9 y Figura 3.10.

Tabla 3.9. 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

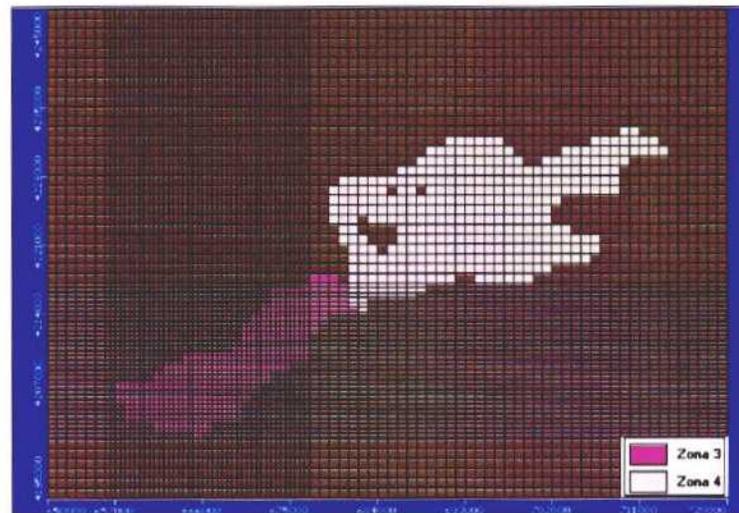
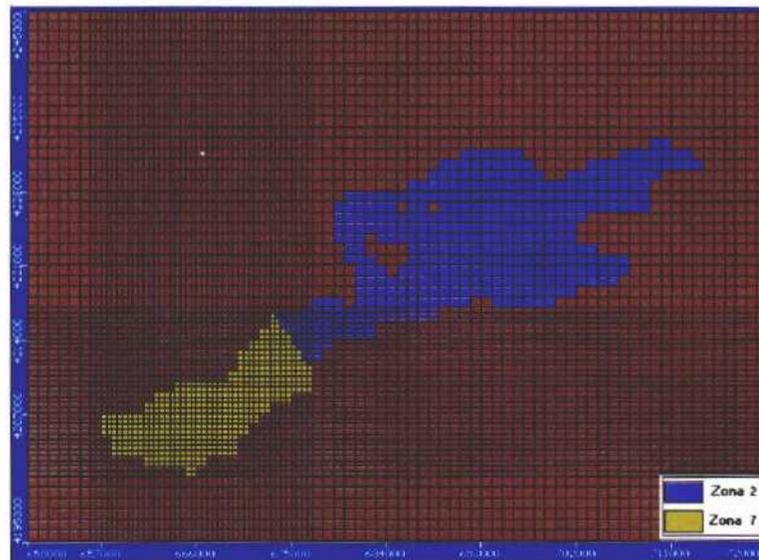


Figura 3.10 – Zonificación de los parámetros de almacenamiento (Capas 1 y 2).

3.3.7. 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 2.3.5. 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.

3.4. AJUSTE Y CALIBRACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO

3.4.1. 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 capítulo 2 (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 2.3.1)

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.

3.4.2. Régimen estacionario

3.4.2.1. 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 3.11). 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 3.10 y Figuras 3.12 y 3.13. 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.

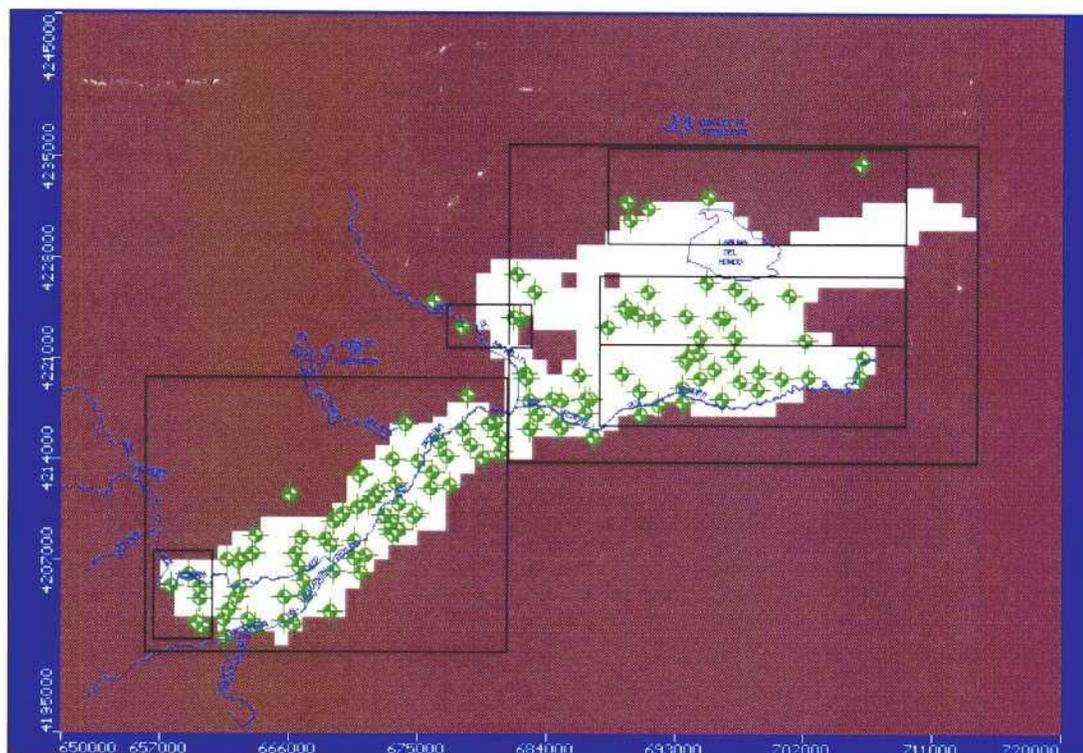


Figura 3.11. Principales sectores de puntos de observación diferenciados durante la fase de ajuste y calibración

Tabla 3.10. 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

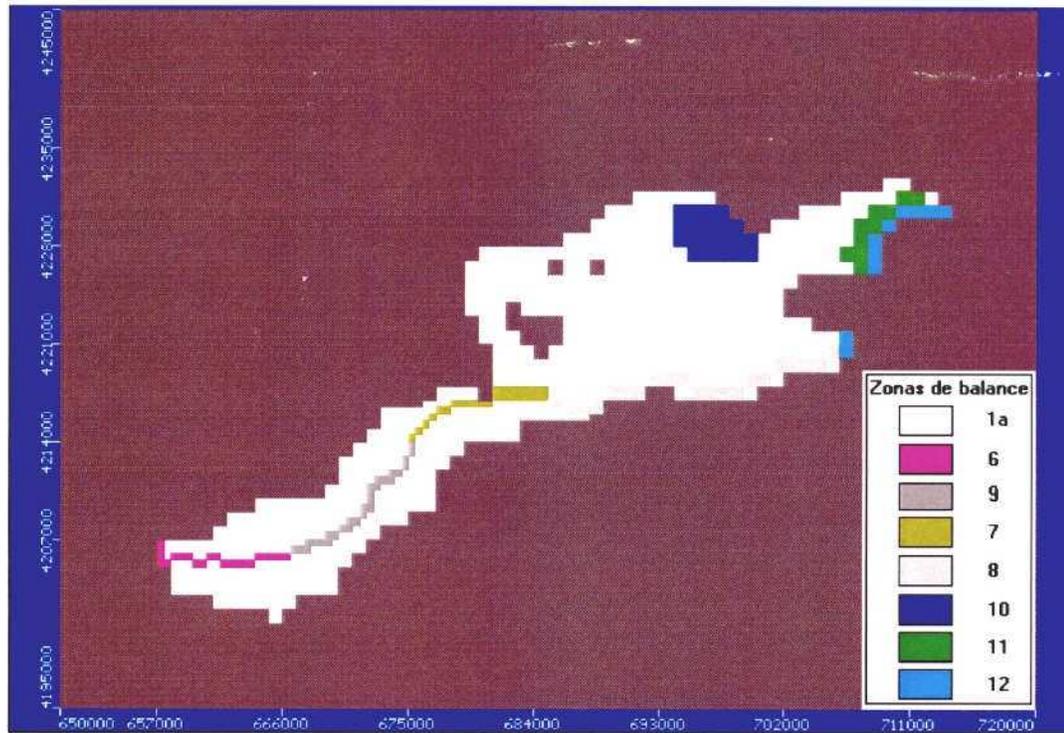


Figura 3.12. - Principales zonas de balance diferenciadas durante la fase de calibración en la Capa 1

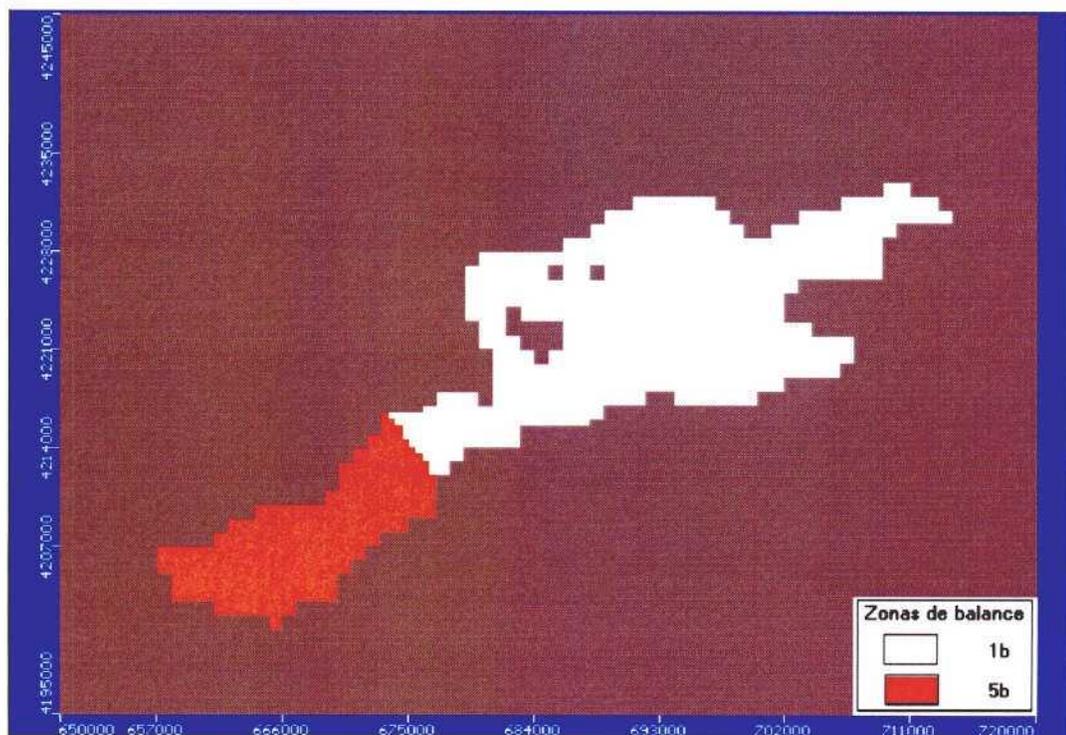


Figura 3.13. - Principales zonas de balance diferenciadas en las capas 1, 2 y 3

3.4.2.2. 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 3.3.5 (Tabla 3.4 y Figura 3.5), 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 3.4.2.2. 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 3.11 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 3.12) como para la Vega Media y Baja (Tabla 3.13), 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 3.11. - 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	%ESUB	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 3.12. – 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 3.13. – 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
Guadalentin	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
Guadalentin	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 3.3.1 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 3.4.2.4.

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 2.3.3. 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 3.4.2.4.

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 3.14 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 m (error medio 0,94 m). El error medio absoluto obtenido para el acuífero superficial (1,74

^(*) Resultante de la calibración de un modelo numérico en la Vega Baja mediante el código FLOWPATH 5.12 sin considerar las lagunas.

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.

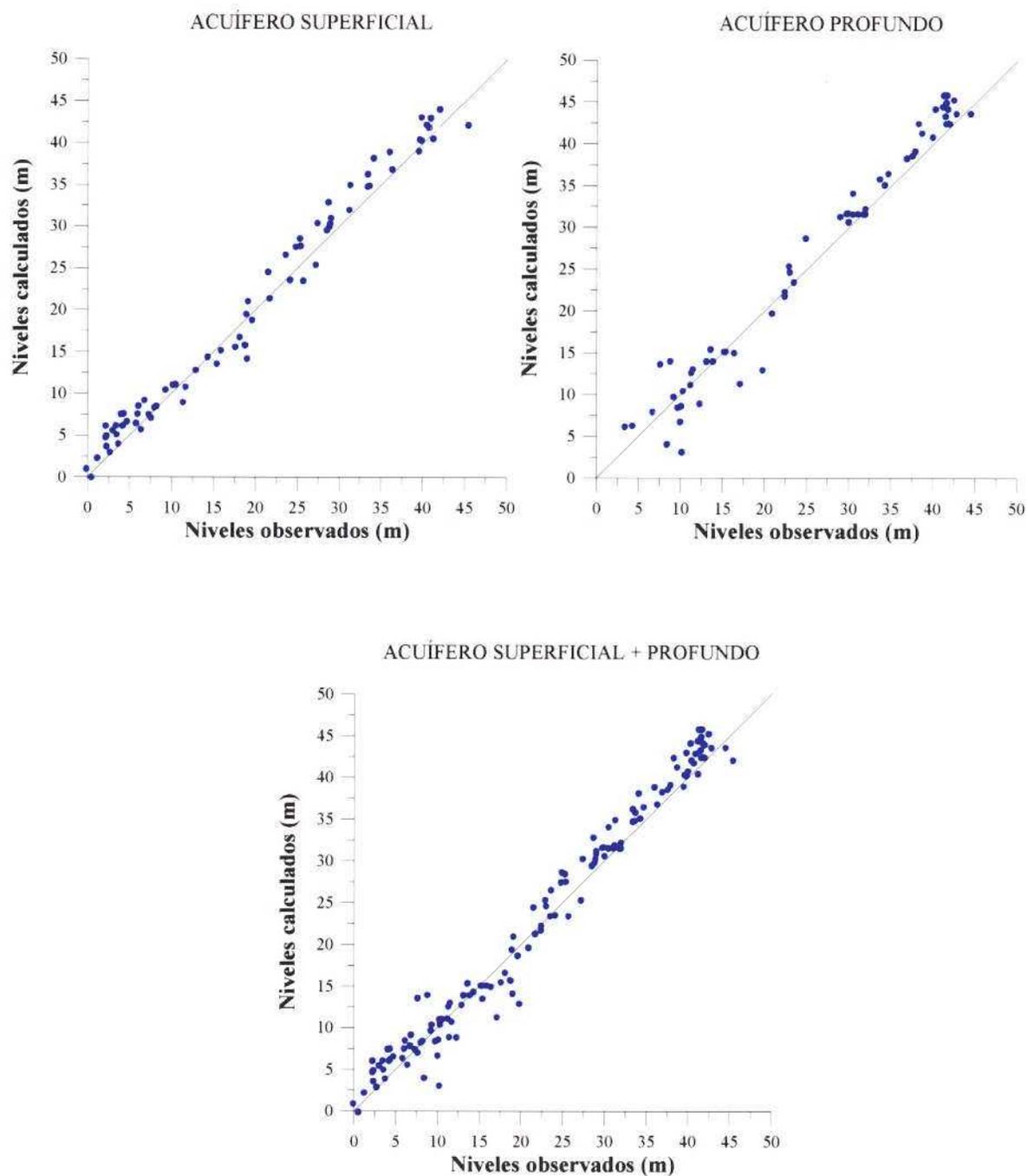


Figura 3.14. – Comparación entre niveles observados y calculados correspondientes a la hipótesis A1 diferenciando entre acuífero superficial y profundo.

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 3.4.1 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 3.14 se presentan los niveles observados y los calculados así como la diferencia existente para cada punto de observación considerado. En las Figuras 3.15 y 3.16 se presentan los mapas de isopiezas resultantes correspondientes a la Capa 1 (acuífero superficial) y Capa 3 (acuífero profundo y triásico).

Tabla 3.14. – 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

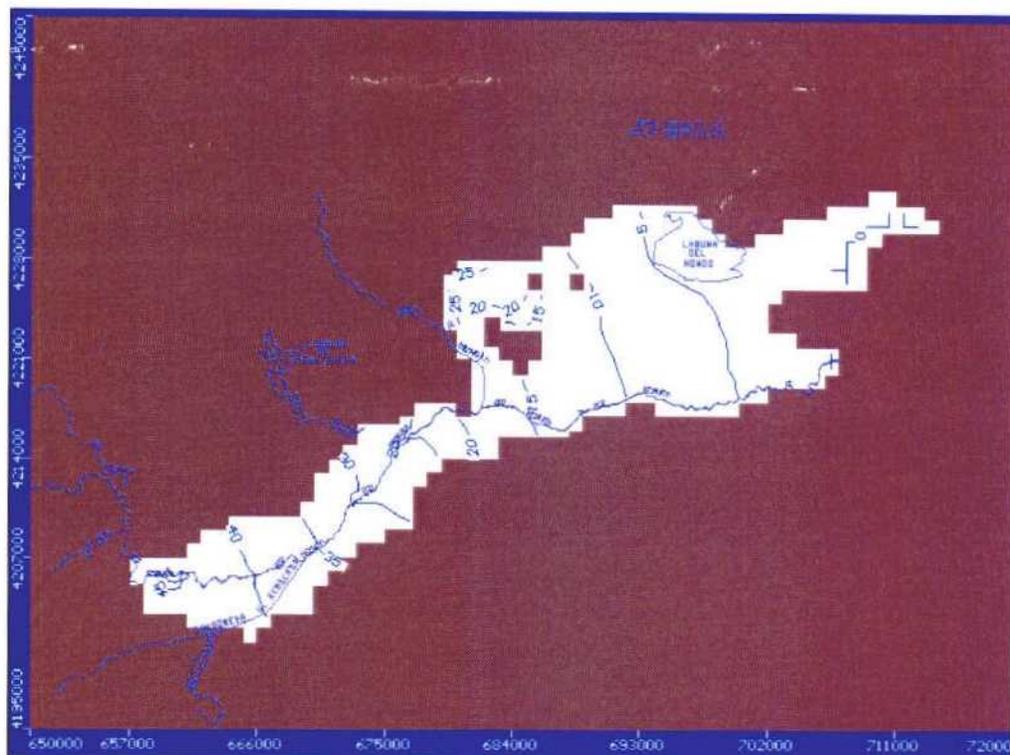


Figura 3.15. – Isopiezas resultante para la Capa 1 (acuífero superficial) correspondiente a la hipótesis A1

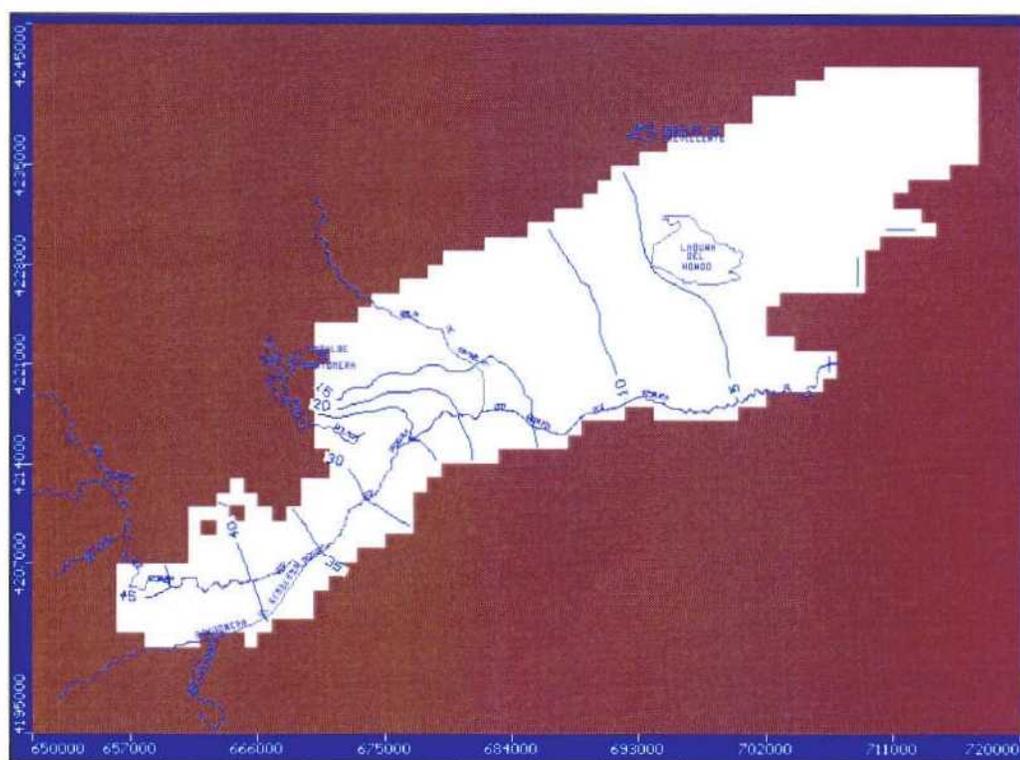


Figura 3.16. – Isopiezas resultante para la Capa 3 (acuífero profundo) correspondiente a la hipótesis A1

3.4.2.3. 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 3.3.6. 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 3.15 y 3.16; Figuras 3.16, 3.17 y 3.18.

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). Con respecto al error total (Vega Media y Baja), el rango de variación se sitúa entre los $1,9$ y $2,2$ m (Figura 3.16). 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 3.16).

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 3.17). 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).

Tabla 3.15 . - Análisis de sensibilidad realizado en la Vega Media y Baja para la hipótesis A2 (Balance hídrico)

PARAMETRO	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

PARAMETRO	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
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 3.16. - Análisis de sensibilidad realizado en la Vega Media y Baja para la hipótesis A2 (Error medio absoluto entre niveles observados y calculados)

PARAMETRO	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

PARÁMETRO	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

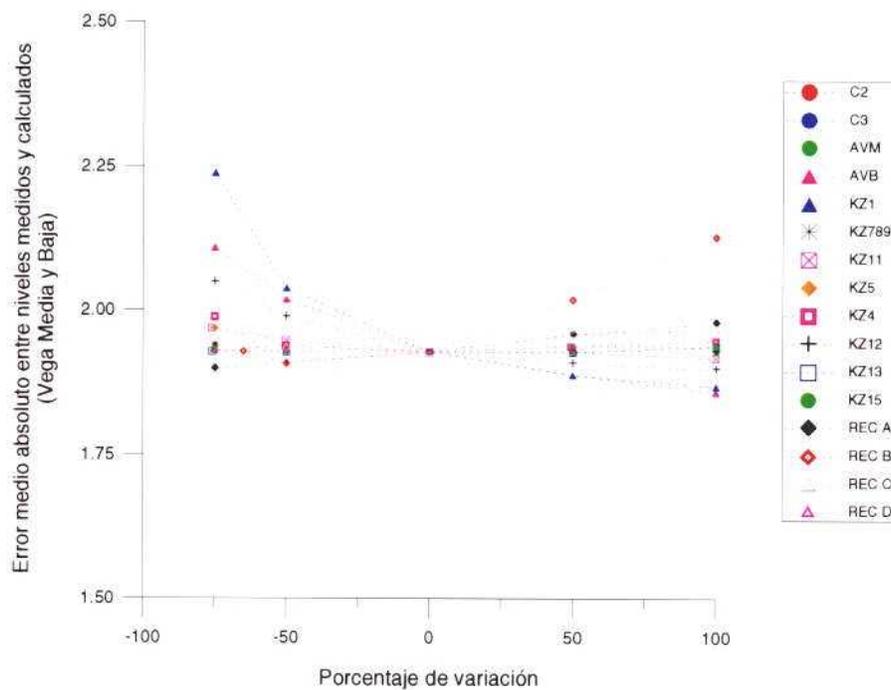


Figura 3.16 – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Media y Baja)

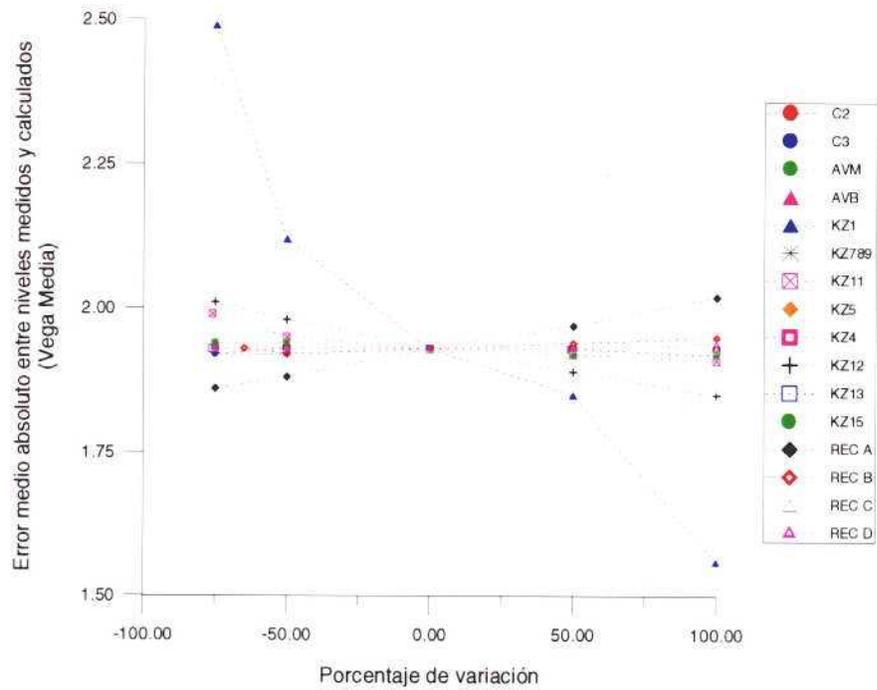


Figura 3.17. – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Media)

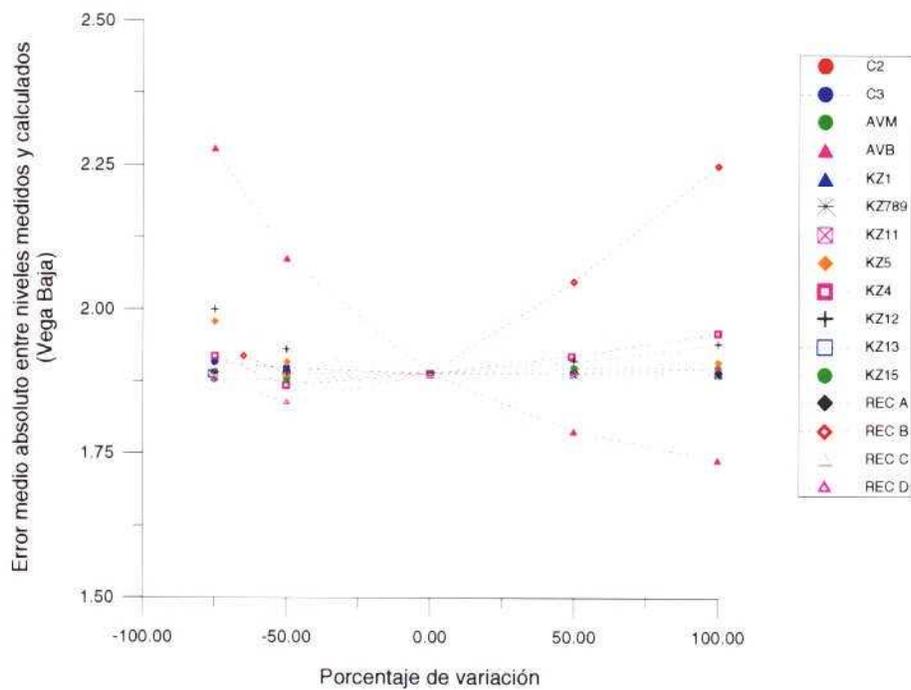


Figura 3.18 – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Baja)

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 3.18). 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).

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 3.19 y 3.20). 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).

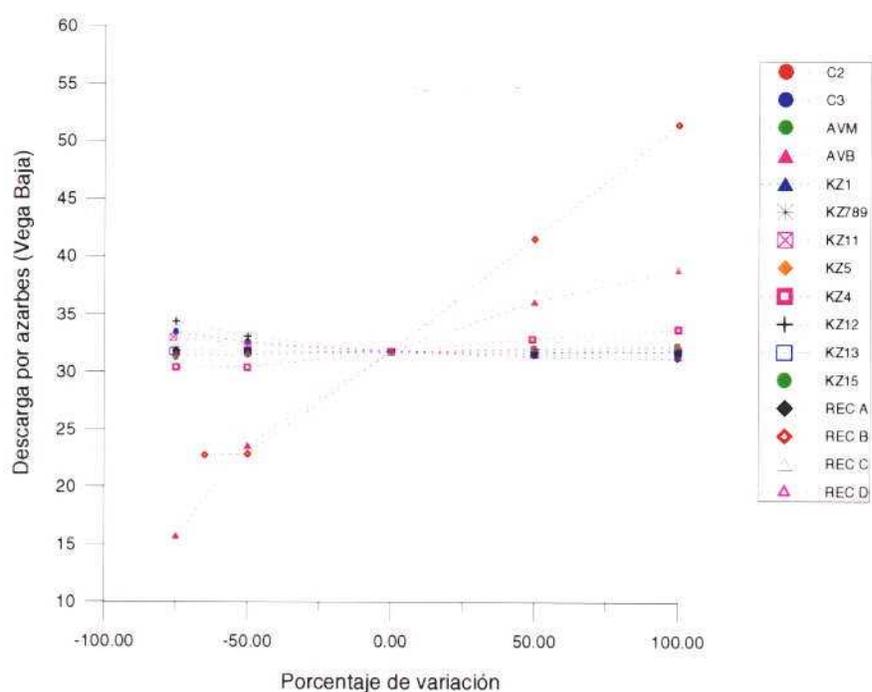


Figura 3.19. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto a la descarga producida por los azarbes en la Vega Baja

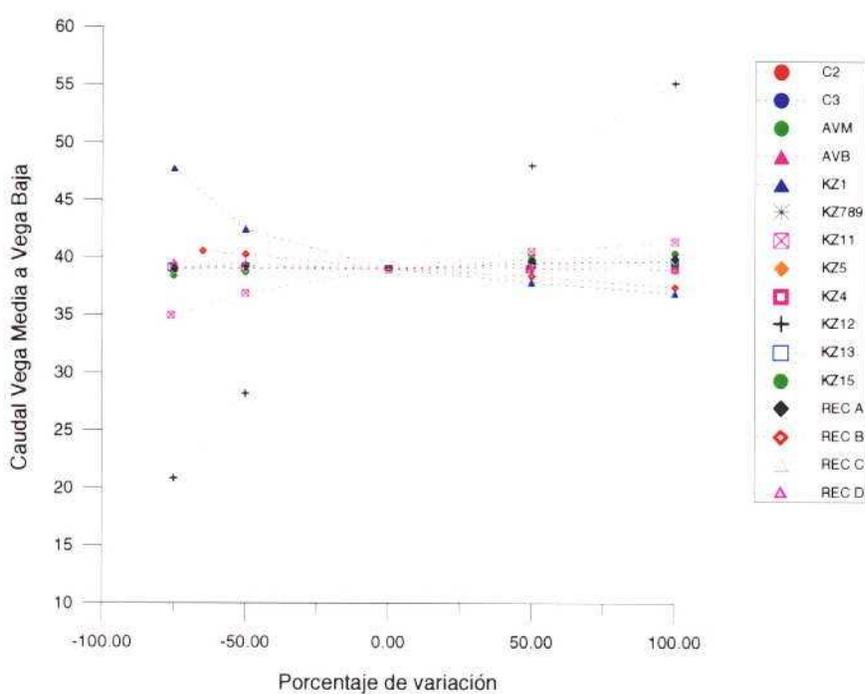


Figura 3.20 – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al caudal subterráneo de paso desde la vega Media hacia la Vega Baja (acuífero profundo)

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).

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 3.4.2.4). 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), 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 capítulo 2).

Dicho análisis permite realizar las observaciones siguientes (Tabla 3.17):

- 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 3.17 – 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.

3.4.2.4. 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).

3.4.3. 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.

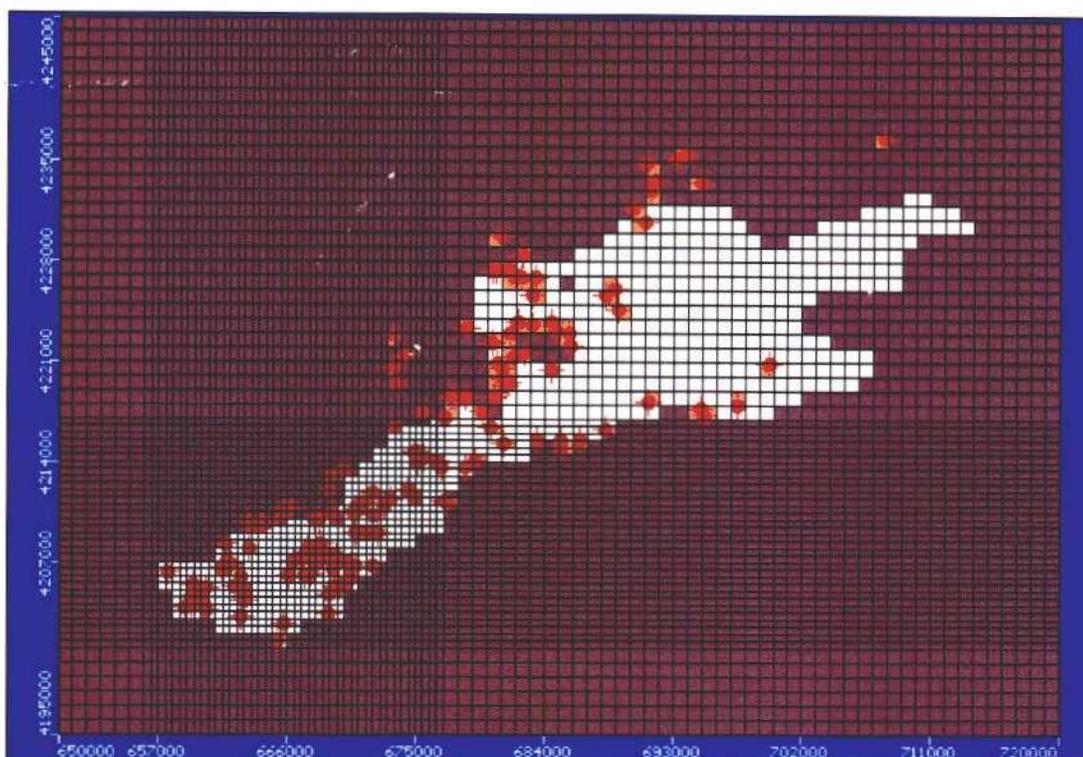
3.4.3.1. Entrada de datos

Se ha considerado la evolución temporal mensual tanto de la recarga como de la explotación por bombeo. 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 3.9 (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 3.21 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 2.9) 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 Now

Reset

Well casing display as: Elevation

Use As Obs | Well Radius: 0

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 3.21. 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 3.22 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.

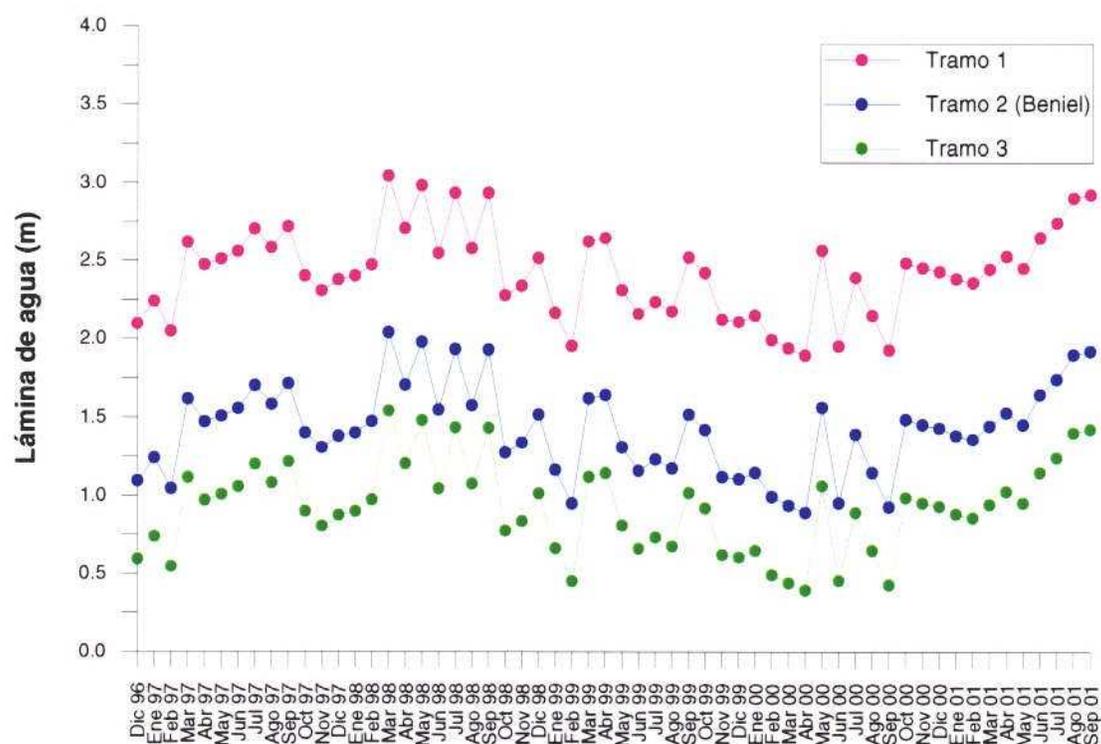


Figura 3.22. Evolución temporal de la lámina de agua durante 1996-2001 introducida en el modelo para cada tramo de río.

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 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 3.23. En la Tabla 1 del Anejo 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 3.4.2.1 (Tabla 3.10; Figuras 3.12 y 3.13).

FIGURA 3.23

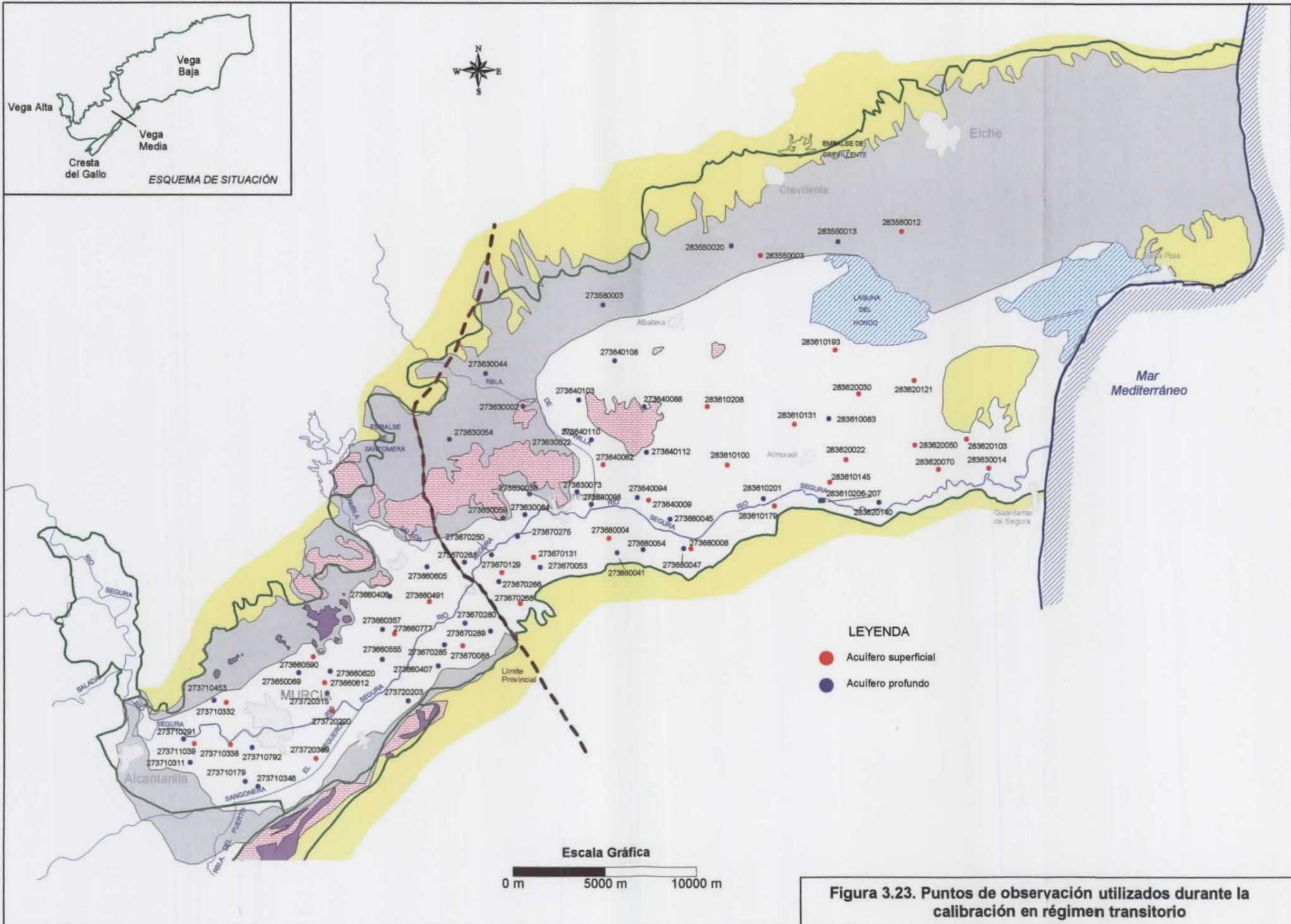


Figura 3.23. Puntos de observación utilizados durante la calibración en régimen transitorio

3.4.3.2 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 3.4.3.1) 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 tantear 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 3.8. 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 3.7. 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 3.18 y 3.19 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 3.18. – 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		28		49		61		84	
T1	T2	%ES	T1	T2	%ES	T1	T2	%ES	T1	T2	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES		
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		12.6		12.1		10.1								
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	1.64
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	7.12
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	1.68
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	9.05
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	1.64
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	7.18

Tabla 3.19. – 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 3.24 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 3.4.2.4). Si se eliminan los puntos de observación relacionados con dichas sierras, el error en la Vega Baja disminuye considerablemente (Figura 3.25). 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).

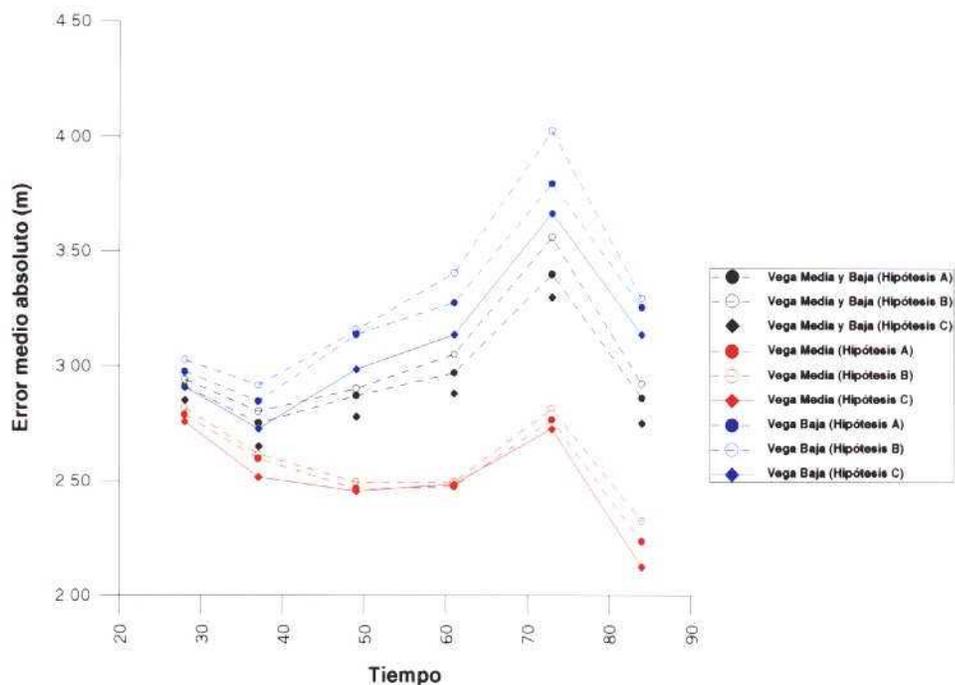


Figura 3.24. – Error medio absoluto obtenido en la Vega Media y Baja, Vega Media y Vega Baja para los pasos de tiempo intermedios 28, 37, 49, 61, 73 y 84 según la hipótesis considerada (Fase 2).

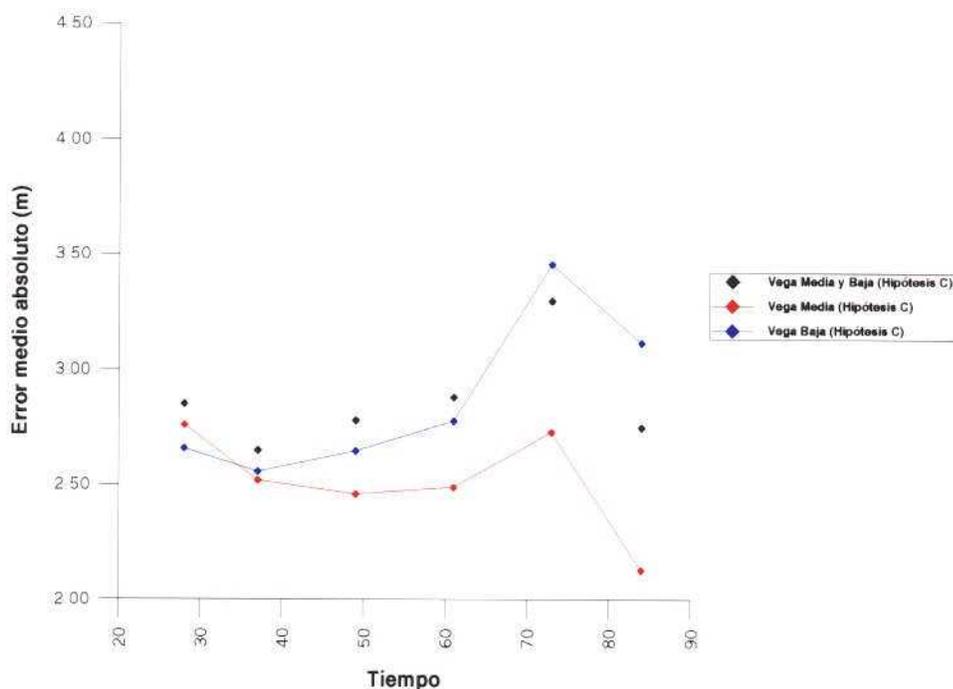


Figura 3.25. – Error medio absoluto obtenido en la Vega Media y Baja, Vega Media y Vega Baja para los pasos de tiempo intermedios 28, 37, 49, 61, 73 y 84 según la hipótesis C (eliminando puntos de observación relacionados con las sierras de Callosa y Orihuela) (Fase 2).

En la Figura 3.26 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, dónde 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.

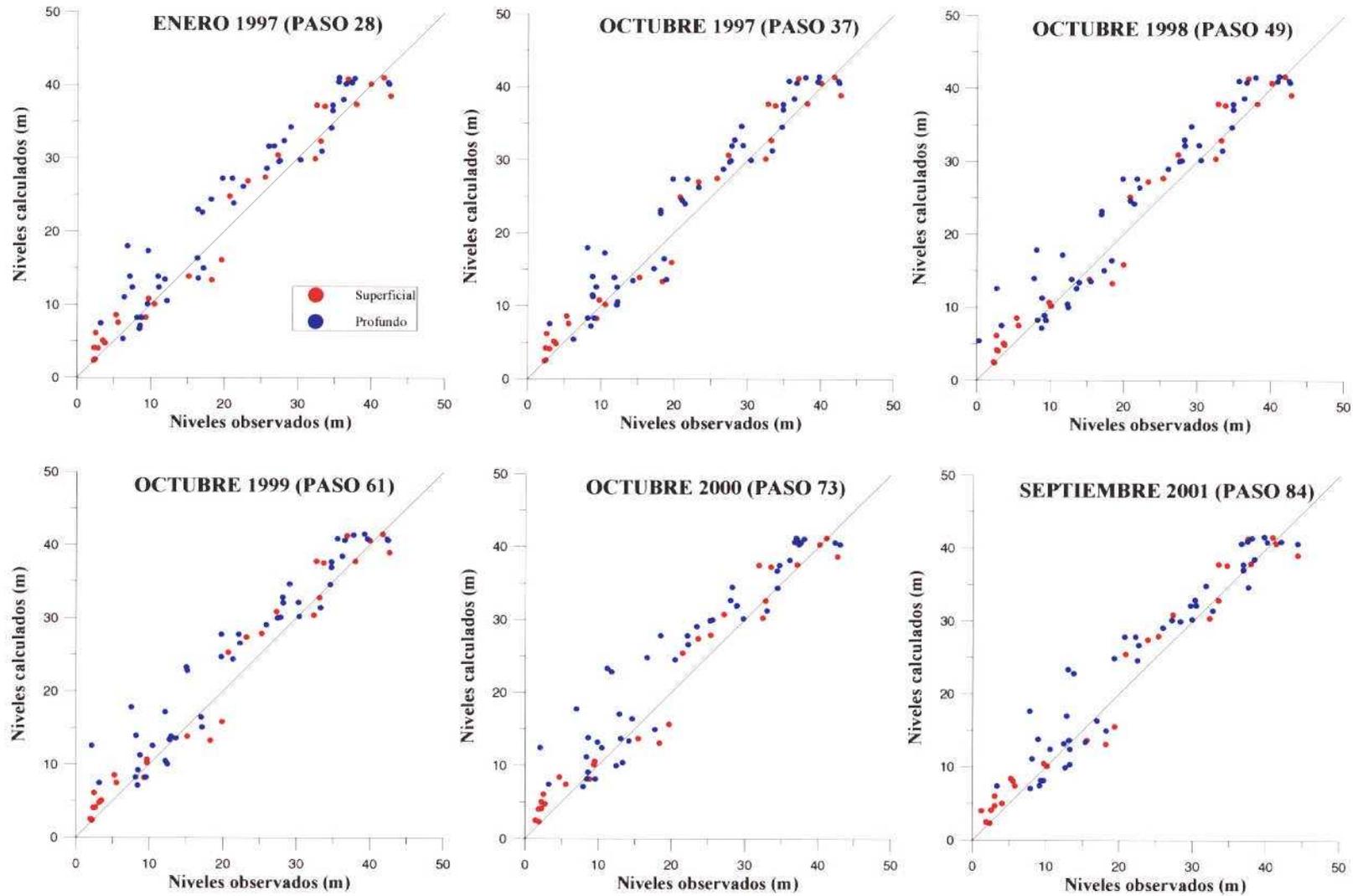


Figura 3.26- Comparación entre niveles observados y calculados (error medio absoluto) correspondientes a los pasos de tiempo intermedios (Fase2)

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 3.27 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.

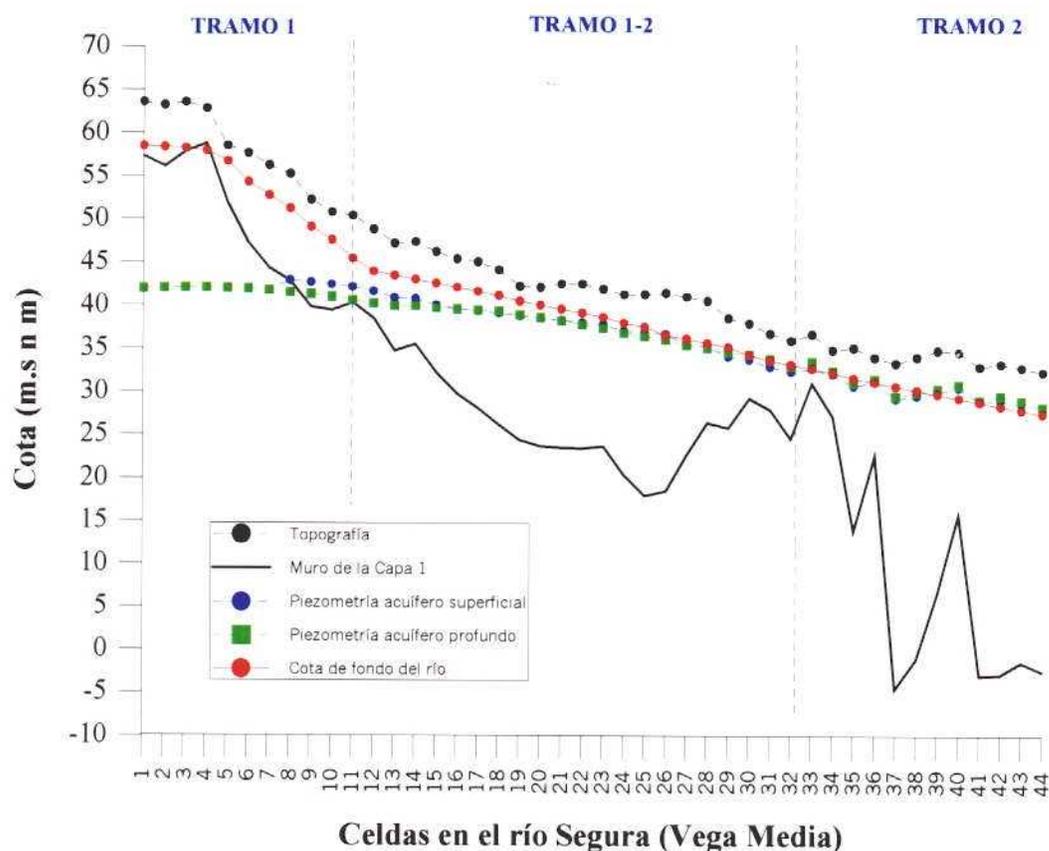


Figura 3.27. - Perfil longitudinal del río Segura introducido en el modelo numérico (Vega Media)

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 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 producen 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 3.29), 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 costa 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) 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 3.28 y 3.29 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 3.20 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 3.30 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 3.31 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).

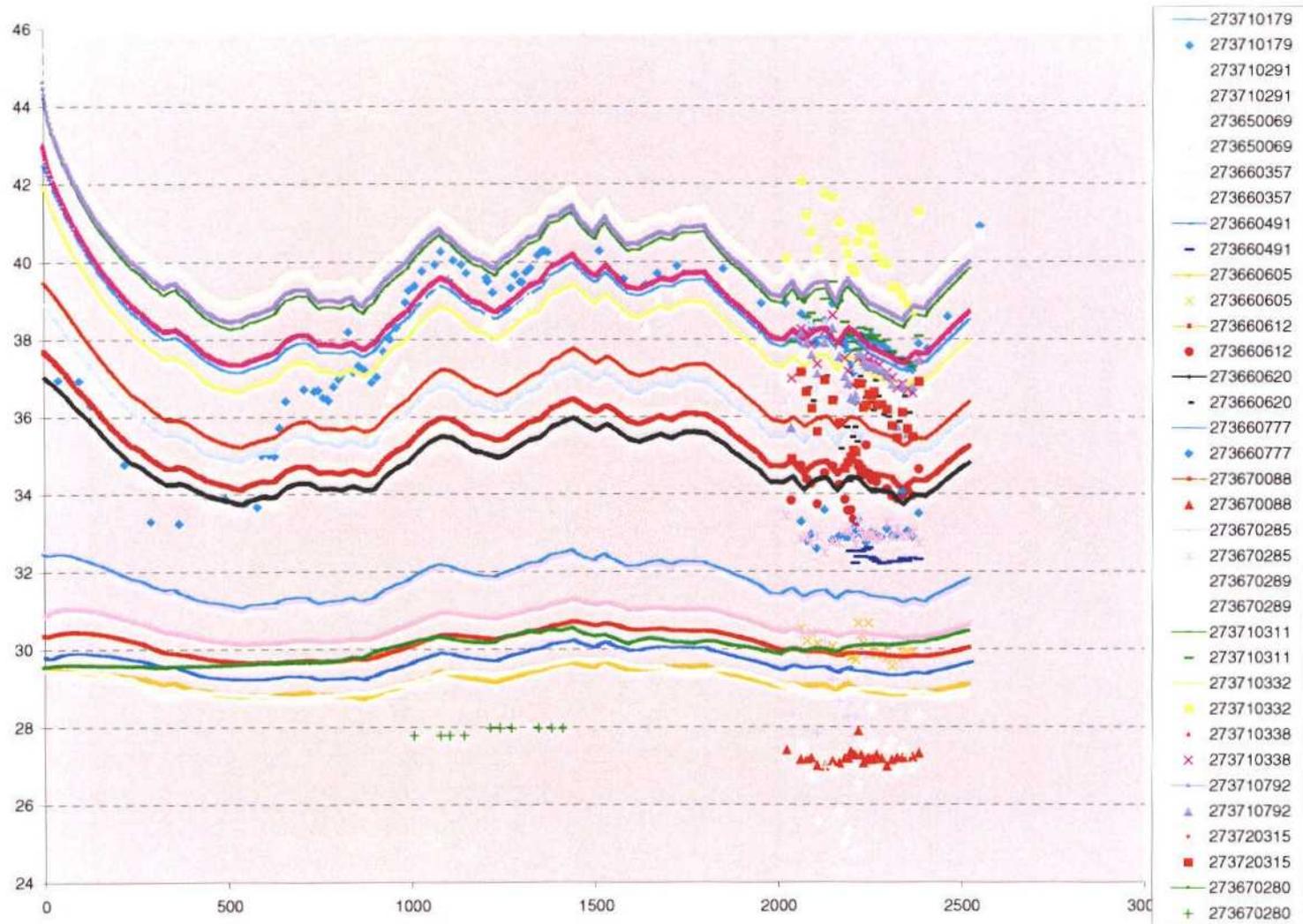


Figura 3.28. Ajuste global entre niveles durante 1996- 2001 en la Vega Media (puntos = niveles observados; líneas = niveles calculados).

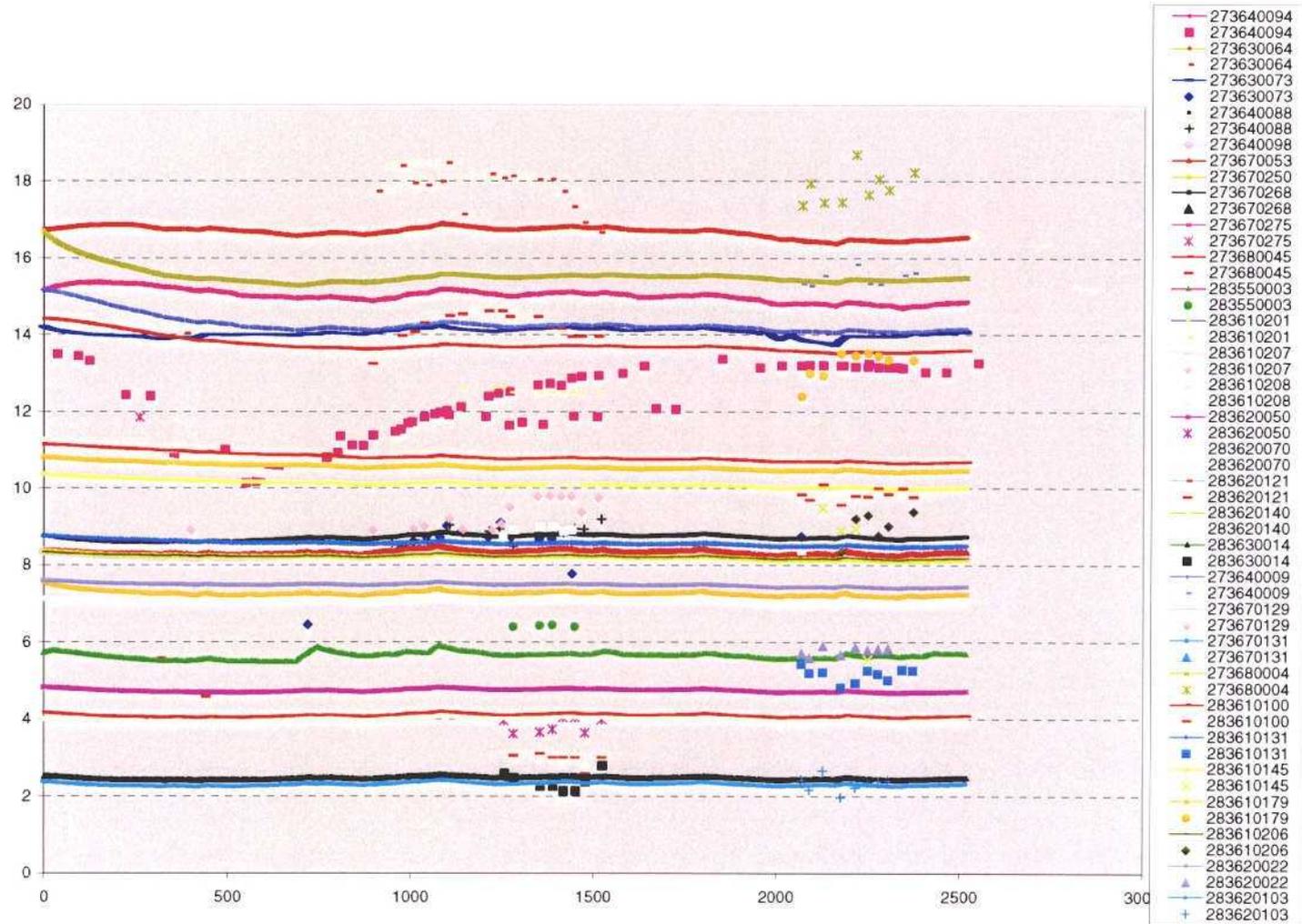


Figura 3.29. Ajuste global entre niveles durante 1996- 2001 en la Vega Baja (puntos = niveles observados; líneas = niveles calculados).

Tabla 3.20. – 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	%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

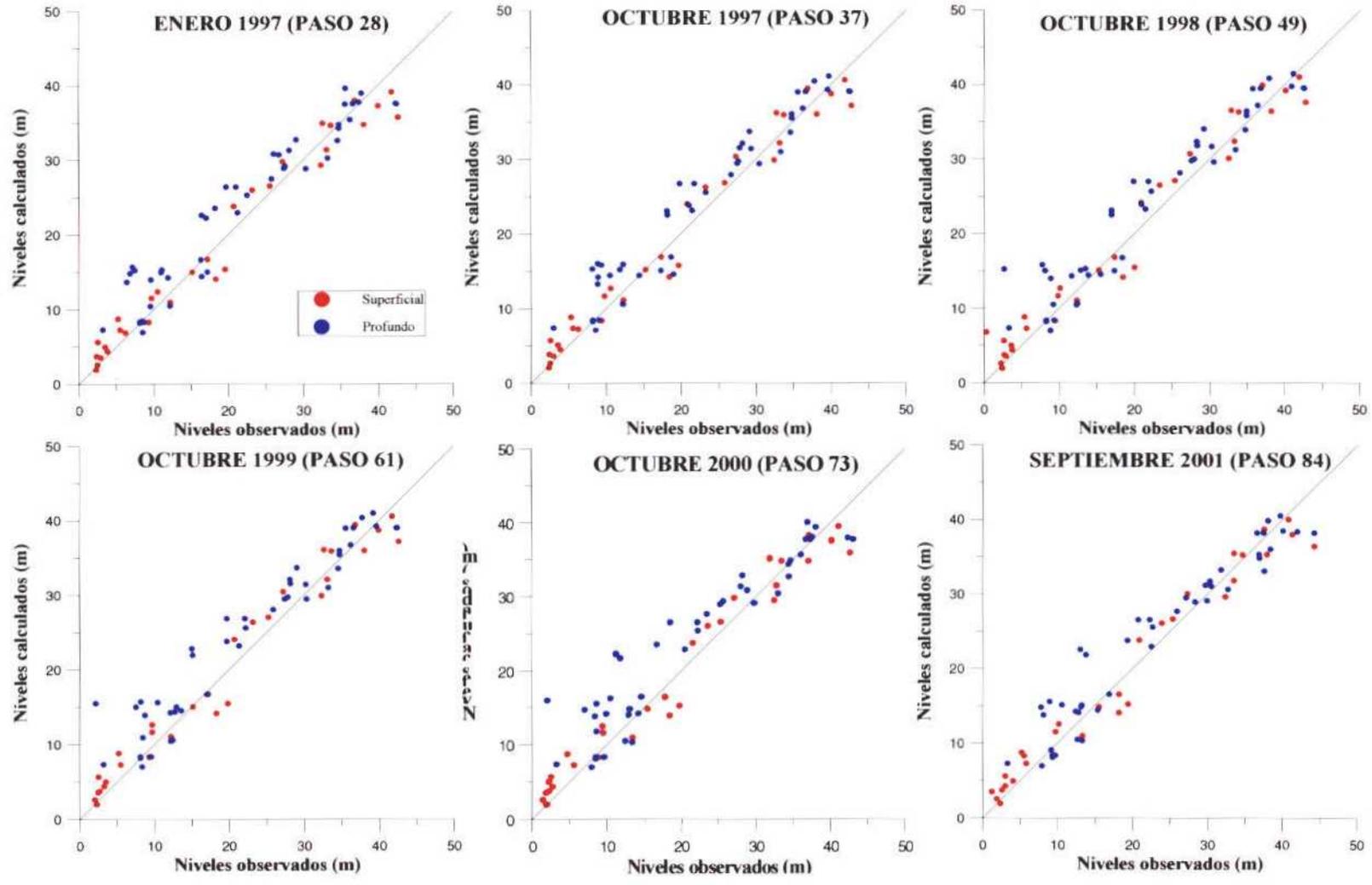


Figura 3.31- Comparación entre niveles observados y calculados (error medio absoluto) correspondientes a los pasos de tiempo intermedios (Fase 3)

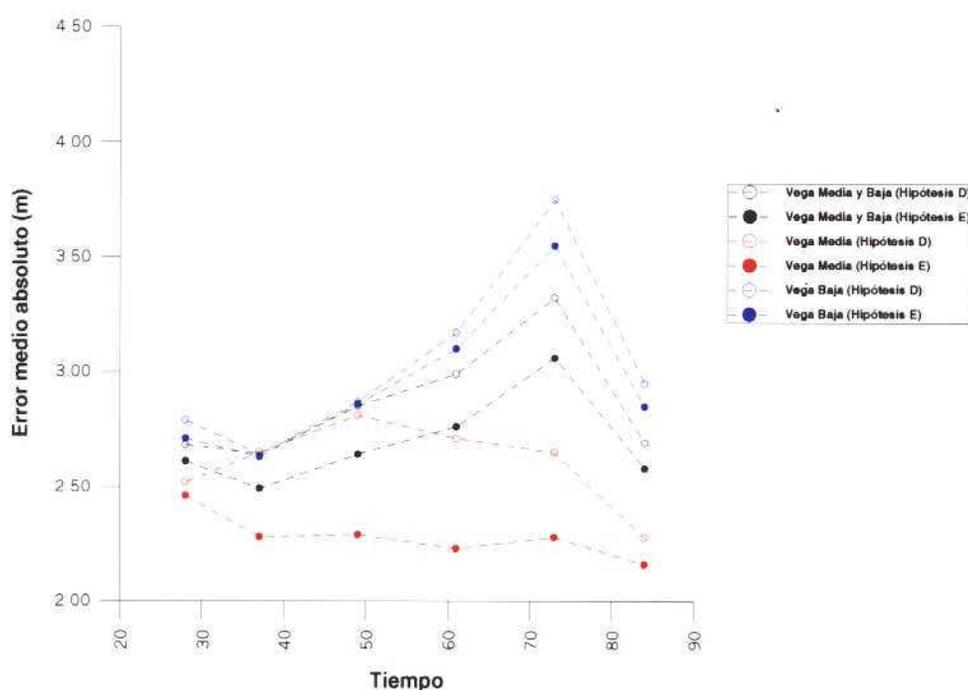


Figura 3.30. – Error medio absoluto obtenido en la Vega Media y Baja, Vega Media y Vega Baja para los pasos de tiempo intermedios 28, 37, 49, 61, 73 y 84 (hipótesis D y E).

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 hm³/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 3.4.3.1, 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) 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 3.32 a 3.37 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 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 3.21) se observa que durante los años 1996/97, 1997/98 y 2000/2001 parece producirse un mayor consumo de reservas.

Tabla 3.21. – 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 3.21 y 3.22. Ello se debe a que en los subbalances realizados no se ha considerado la transferencia de agua entre la Vega Media y la Vega Baja. En la Tabla 3.23 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 3.22. - 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 3.23. - 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

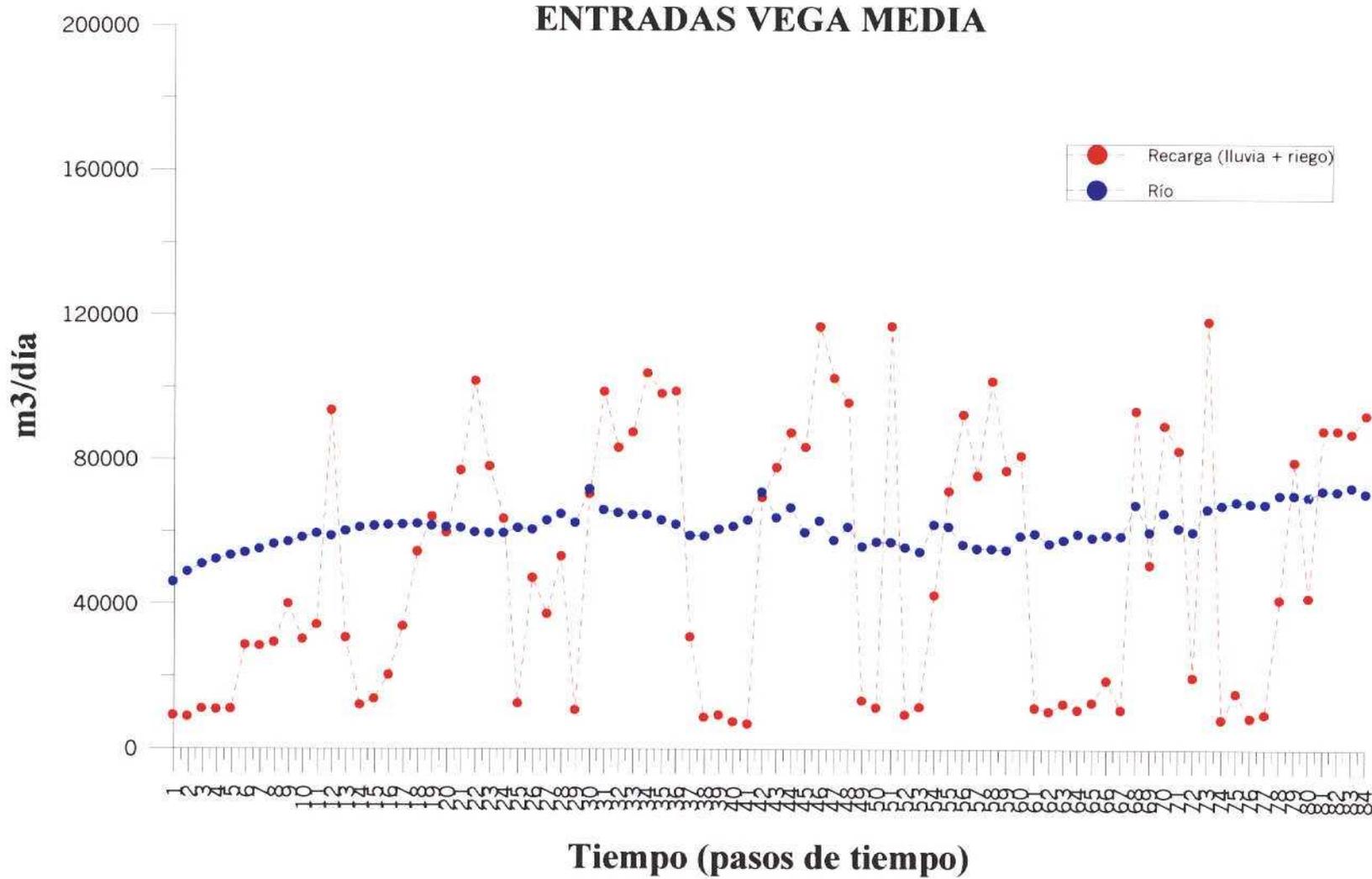


Figura 3.32. – Evolución temporal de las principales entradas simuladas en la Vega Media (1994-2001)

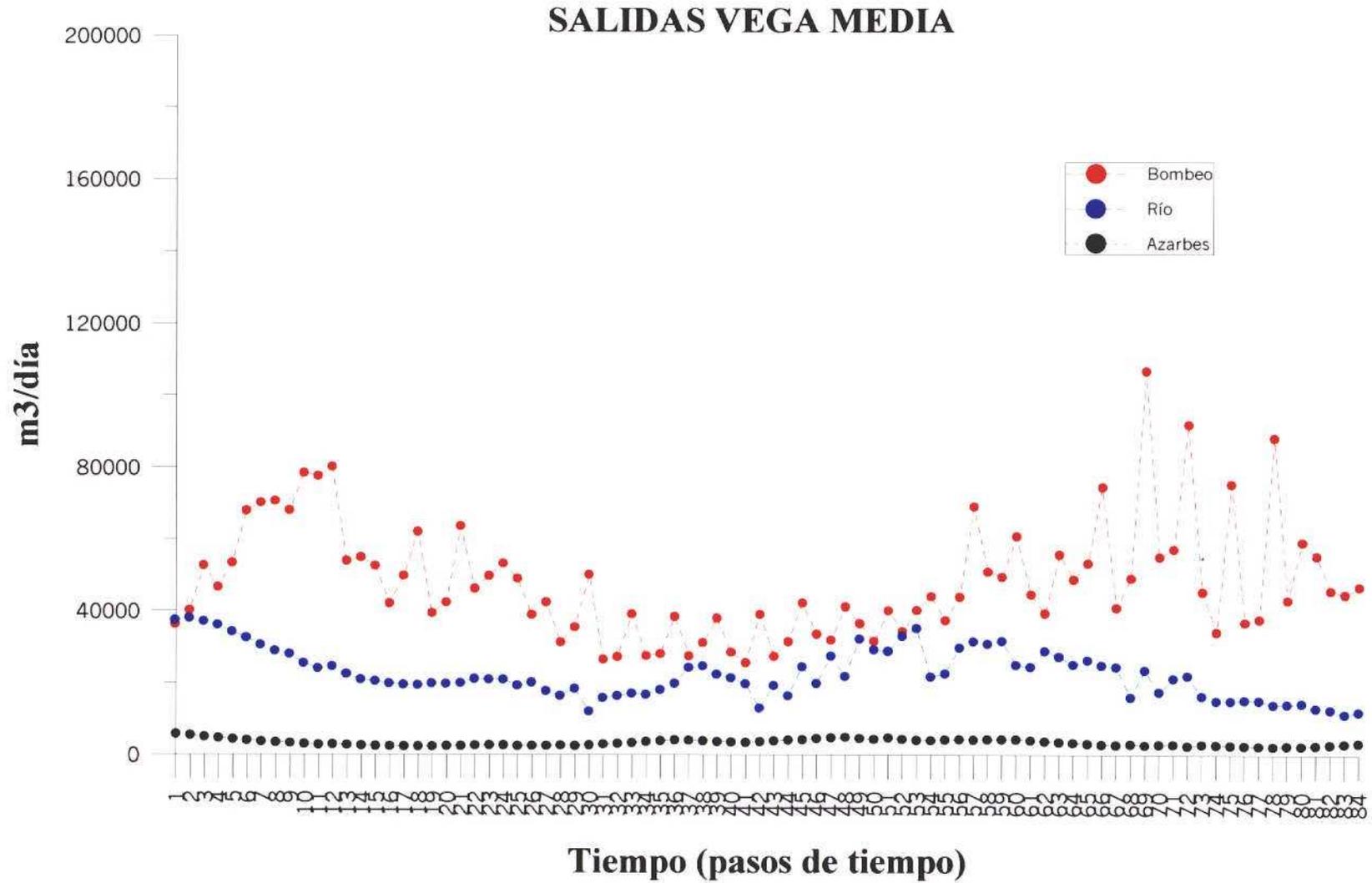


Tabla 3.33. – Evolución temporal de las principales salidas simuladas en la Vega Media (1994-2001)

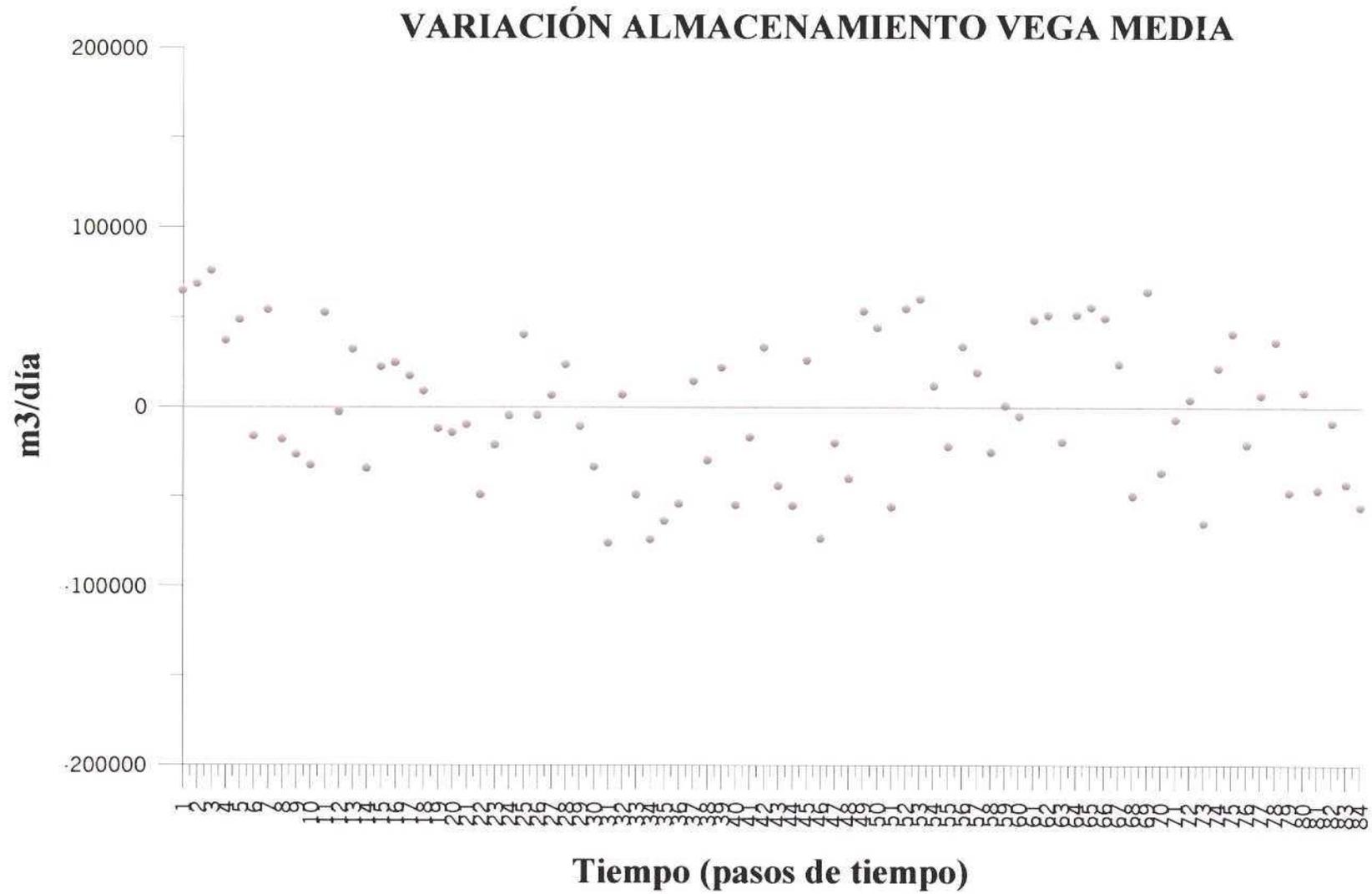


Tabla 3.34. – Evolución temporal de la variación en el almacenamiento simulada en la Vega Media (1994-2001)

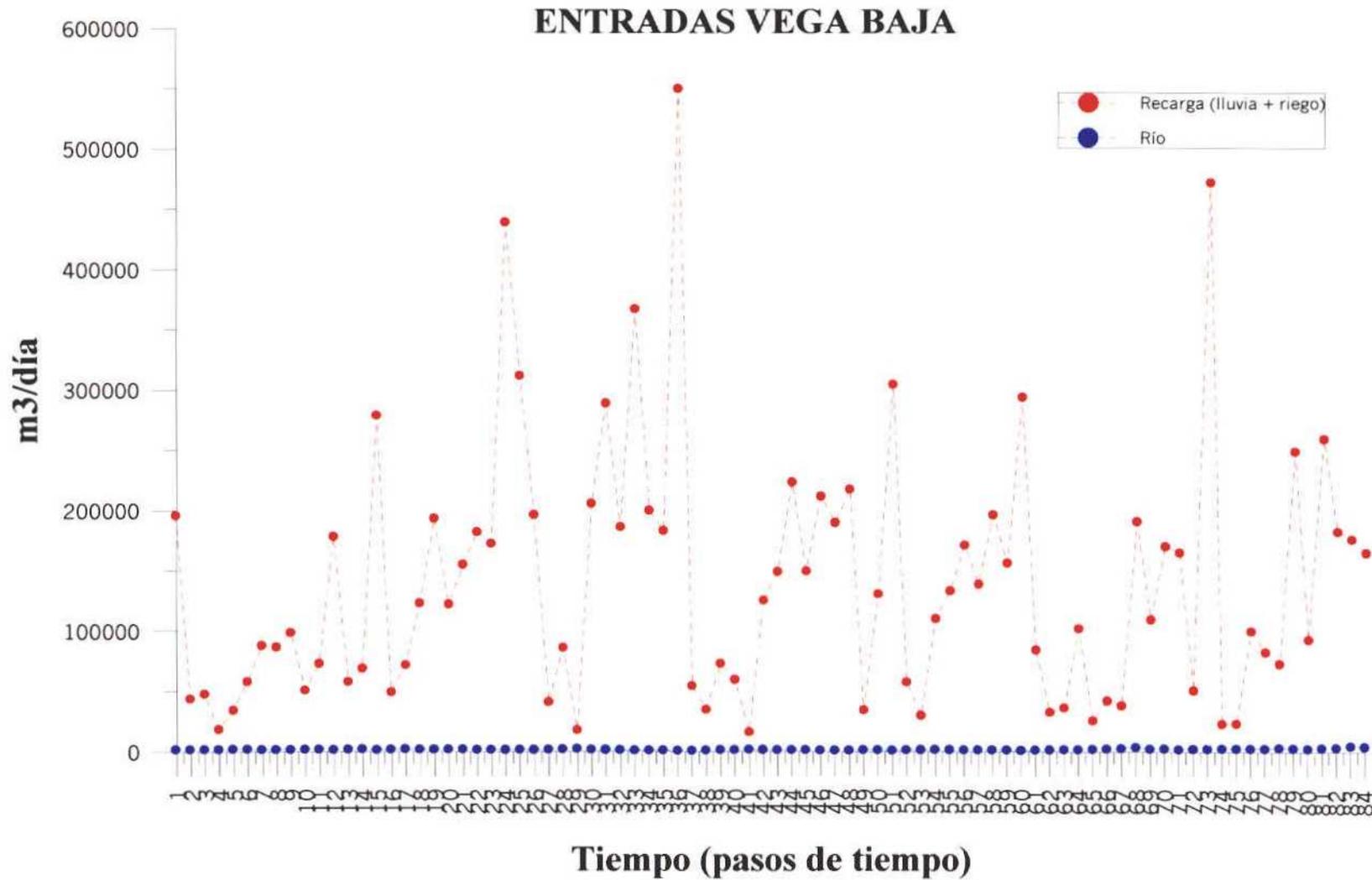


Tabla 3.35. – Evolución temporal de las principales entradas simuladas en la Vega Baja (1994-2001)

SALIDAS VEGA BAJA

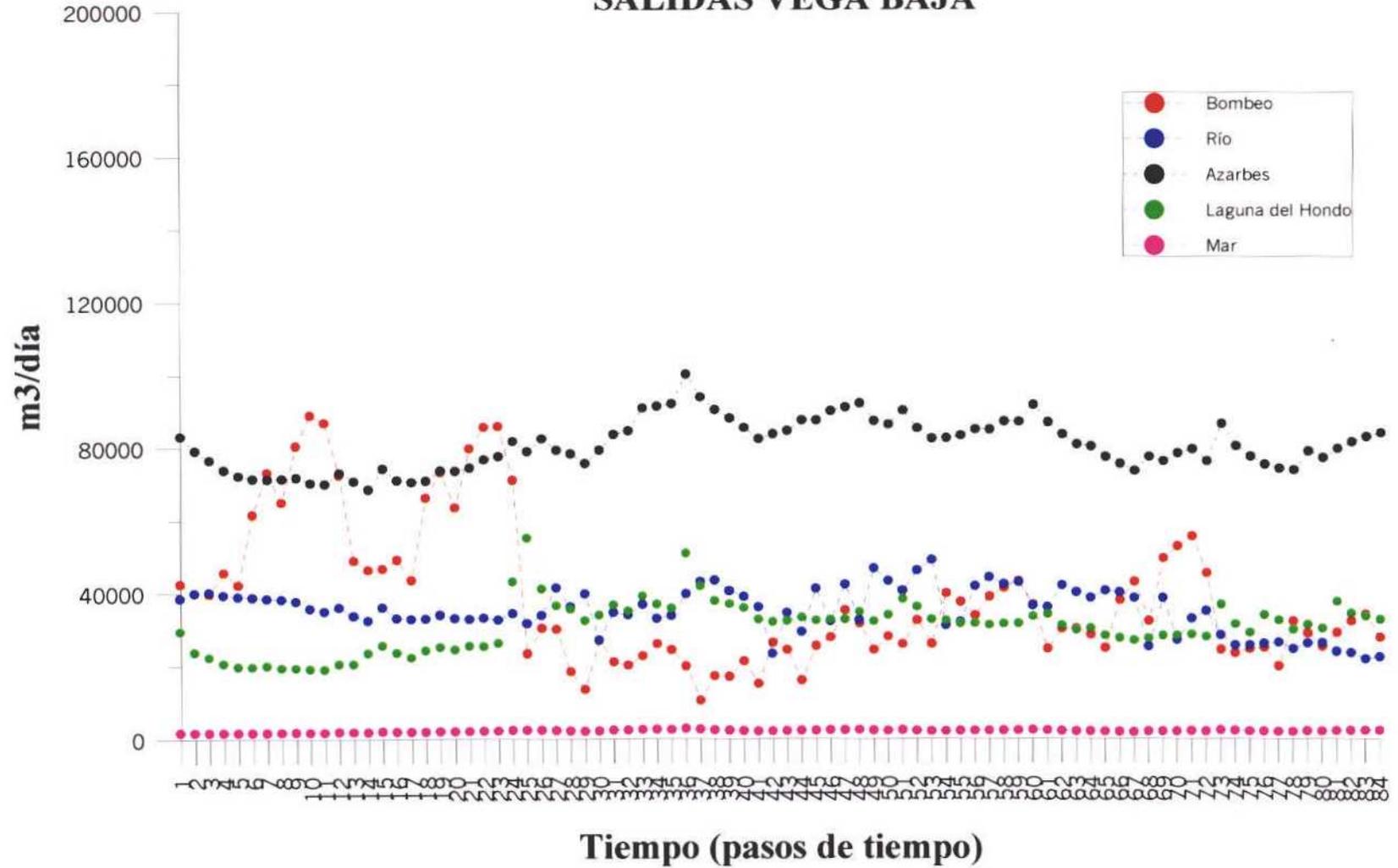


Tabla 3.36. – Evolución temporal de las principales salidas simuladas en la Vega Baja (1994-2001)

VARIACIÓN ALMACENAMIENTO VEGA BAJA

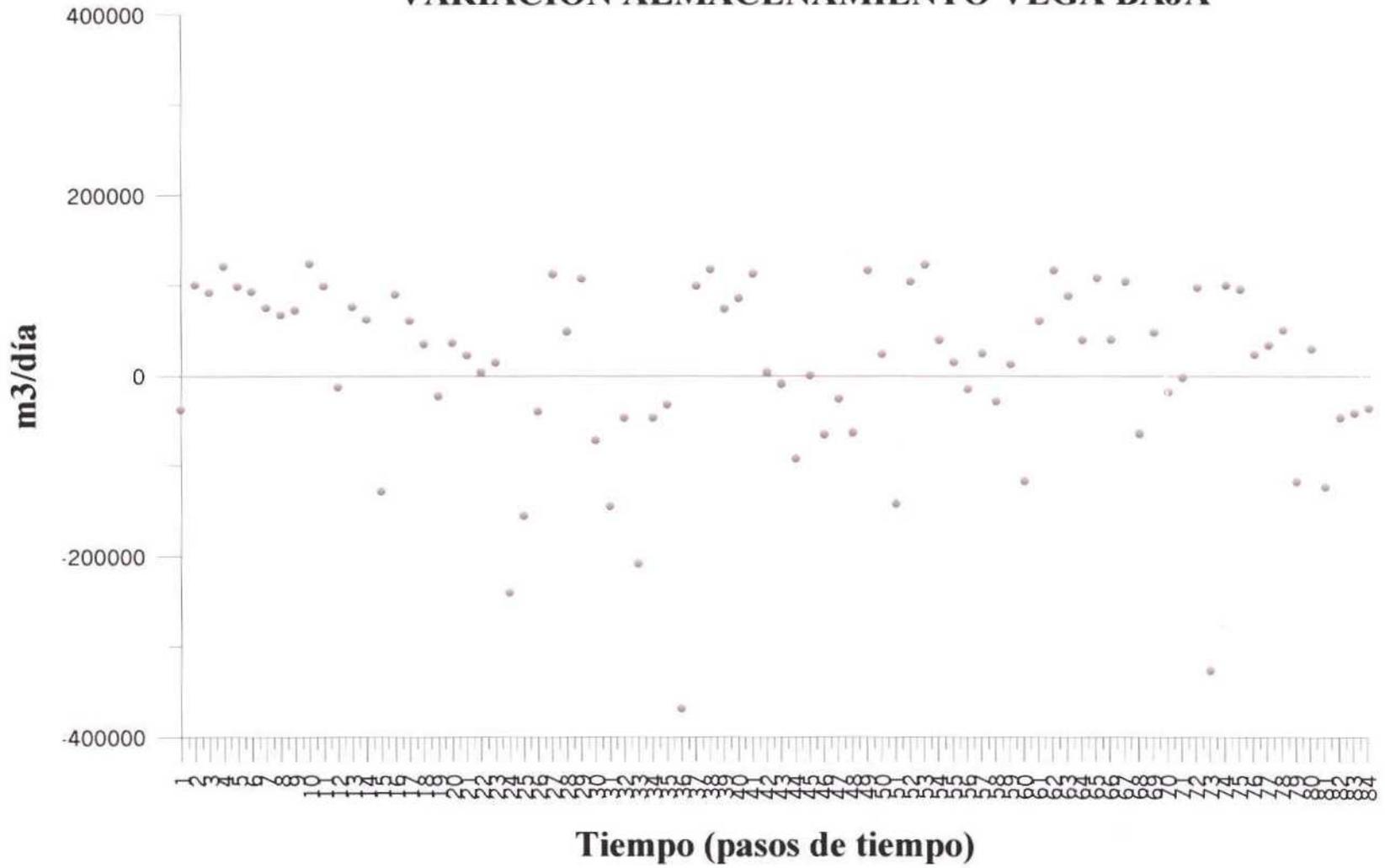


Tabla 3.37. – Evolución temporal de la variación en el almacenamiento simulada en la Vega Baja (1994-2001)

3.4.3.3 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 3.4.2.4). 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 mejorías, 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.

ANEJOS

ÍNDICE ANEJOS

A.1. SIMULACIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO EN RÉGIMEN ESTACIONARIO EN LA VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

- ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 1: Vega Media y Baja (Fig. 1-18)
- ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 2: Vega Media (Fig. 19-25)
- LISTADO DE FICHEROS ADJUNTOS

A.2. SIMULACIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO EN RÉGIMEN TRANSITORIO EN LA VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

- ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. – Puntos de observación considerados durante la calibración en régimen transitorio (1994-2001): código del punto, coordenadas UTM, fecha, día, cota piezométrica, tramo acuífero y procedencia de la información (Tabla 1.xls).

Tabla 1b. – Puntos de observación simulados en régimen transitorio (1994-2001): (Tabla 1b.xls).

Tabla 2. – Resumen de las simulaciones realizadas durante la fase 3, observando la influencia de la conductancia en el río, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento en el balance de agua en el río.

Tabla 3. – Principales entradas, salidas y variación de almacenamiento a lo largo del periodo simulado (1994-2001) para la Vega Media (hipótesis E) ($m^3/día$).

Tabla 4. – Principales entradas, salidas y variación de almacenamiento a lo largo del periodo simulado (1994-2001) para la Vega Baja (hipótesis E) ($m^3/día$).

Tabla 5. – Entradas, salidas y variación en el almacenamiento a lo largo del periodo simulado (1994-2001) para la Vega Media y Baja (hipótesis E)

- LISTADO DE FICHEROS ADJUNTOS

A.3. FICHEROS DE DATOS UTILIZADOS POR VISUALMODFLOW (APÉNDICE A)

A.1. SIMULACIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO EN RÉGIMEN ESTACIONARIO EN LA VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

- **ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 1 (Vega Media y Baja)**
- **ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 2 (Vega Media)**

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 1

(Vega Media y Baja)

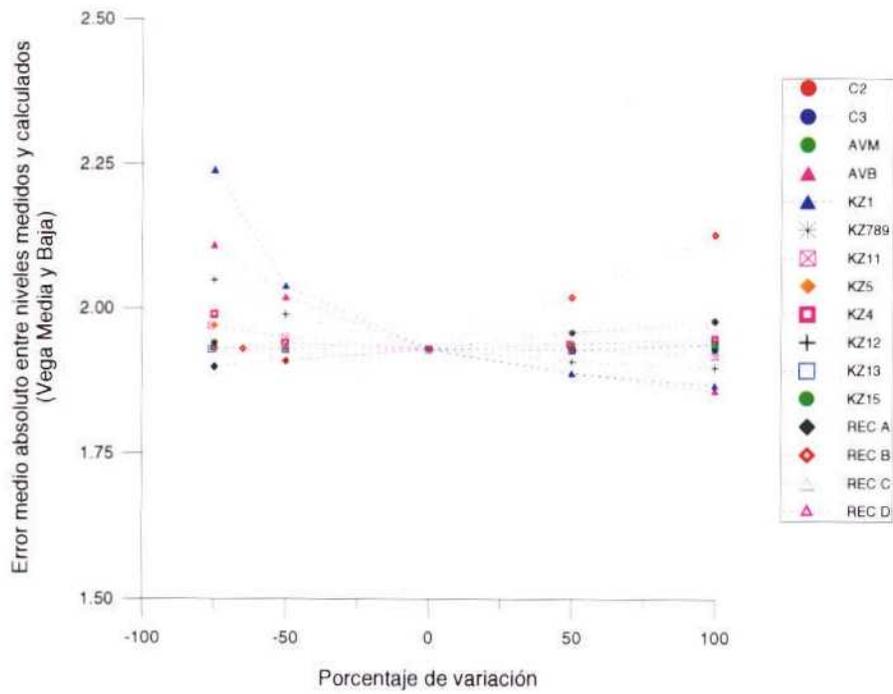


Figura 1. – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Media y Baja)

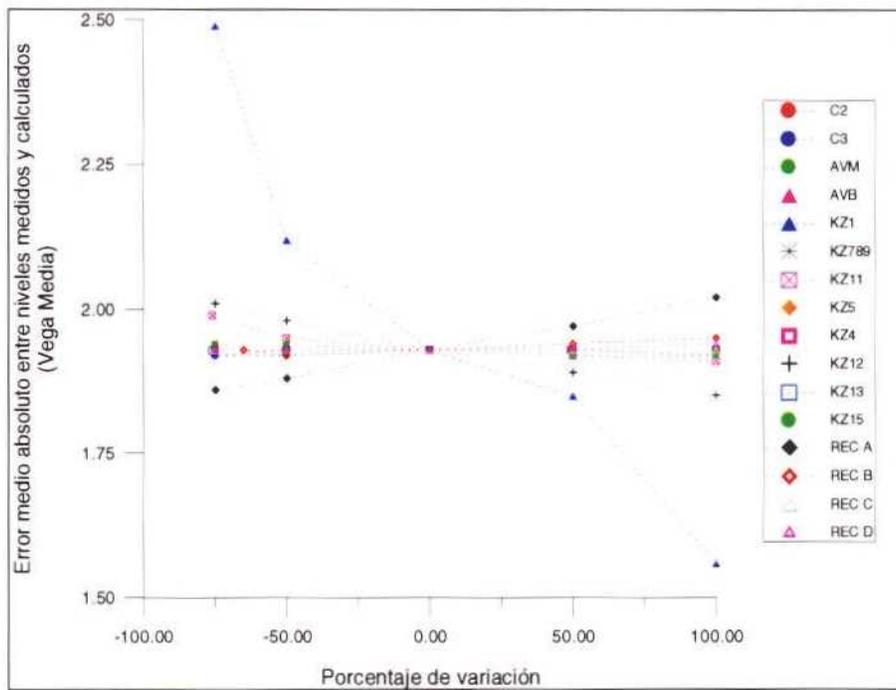


Figura 2. – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Media)

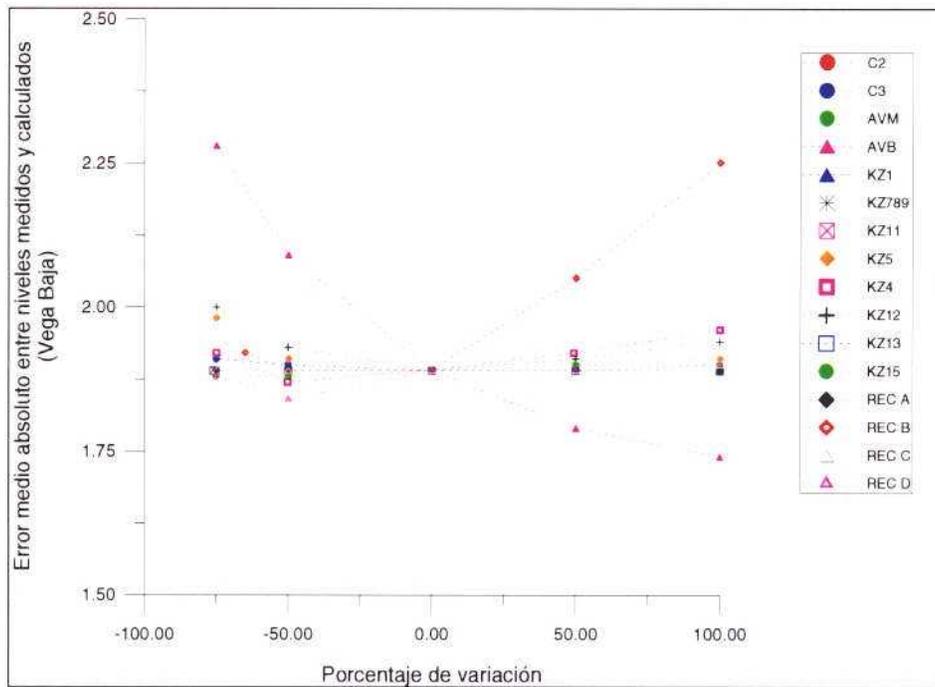


Figura 3. – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Baja)

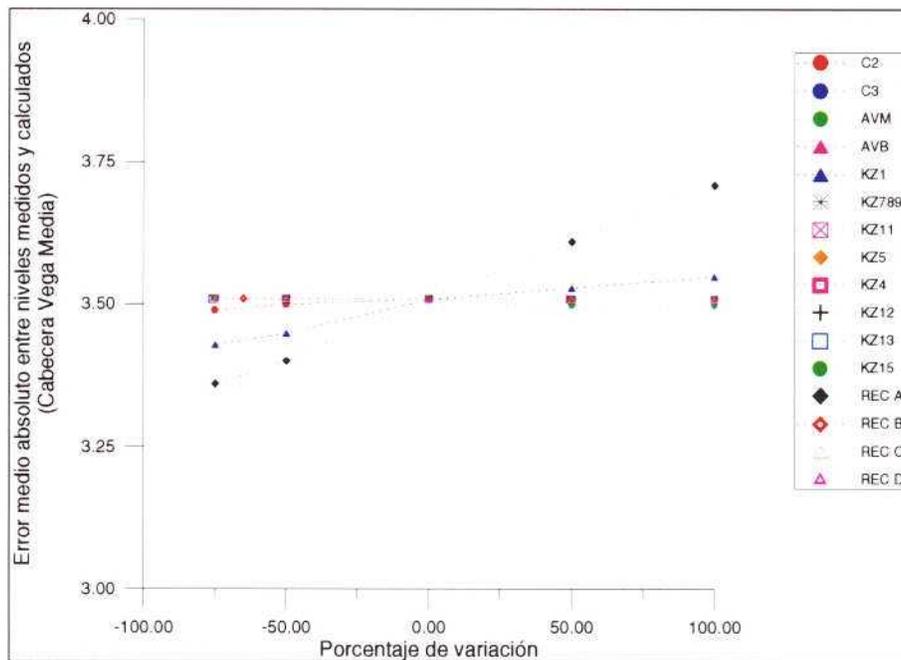


Figura 4. – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Cabecera Vega Media)

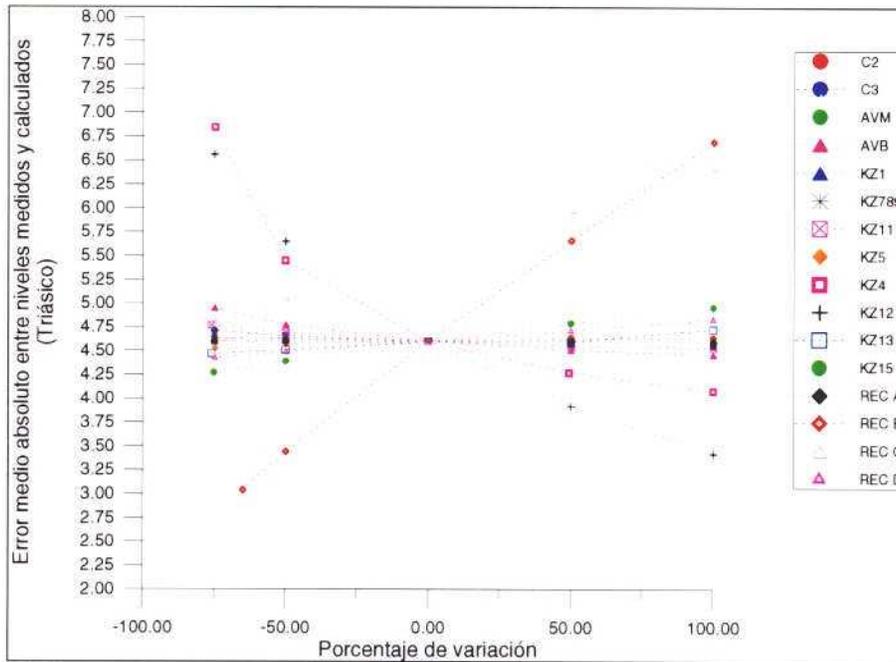


Figura 5. – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Triásico)

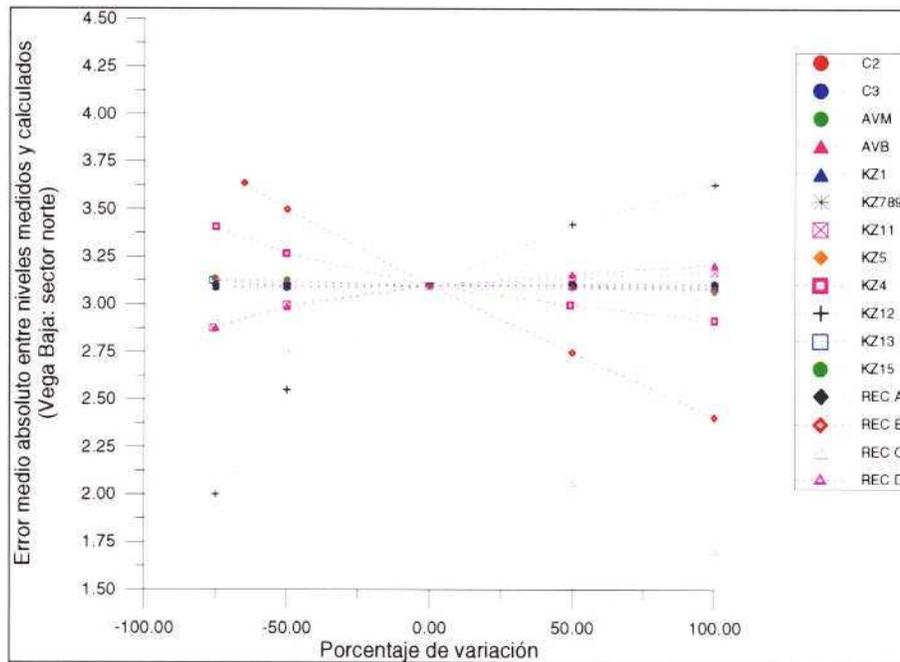


Figura 6. – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Baja: sector norte)

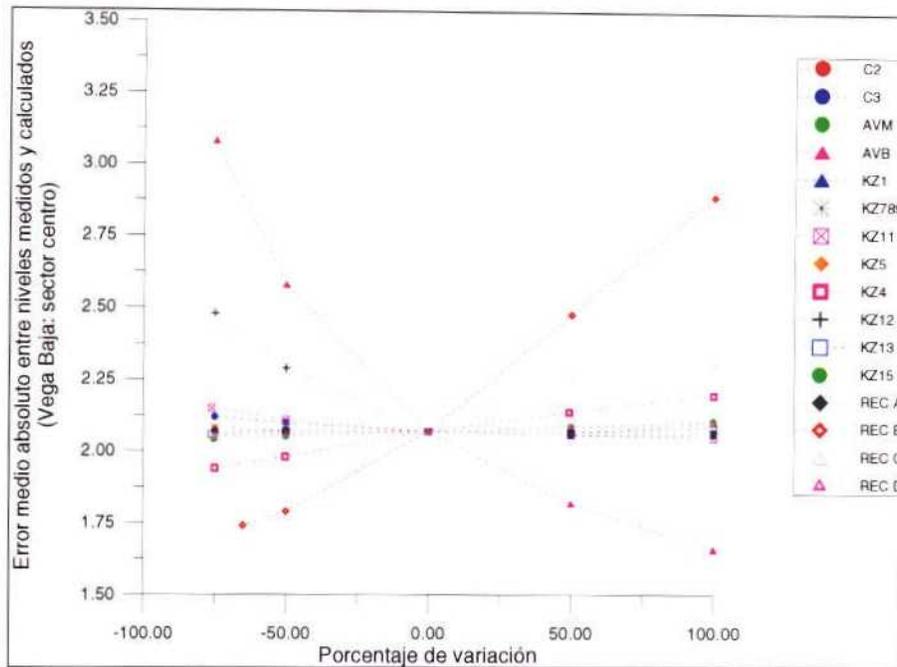


Figura 7. – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Baja: sector centro)

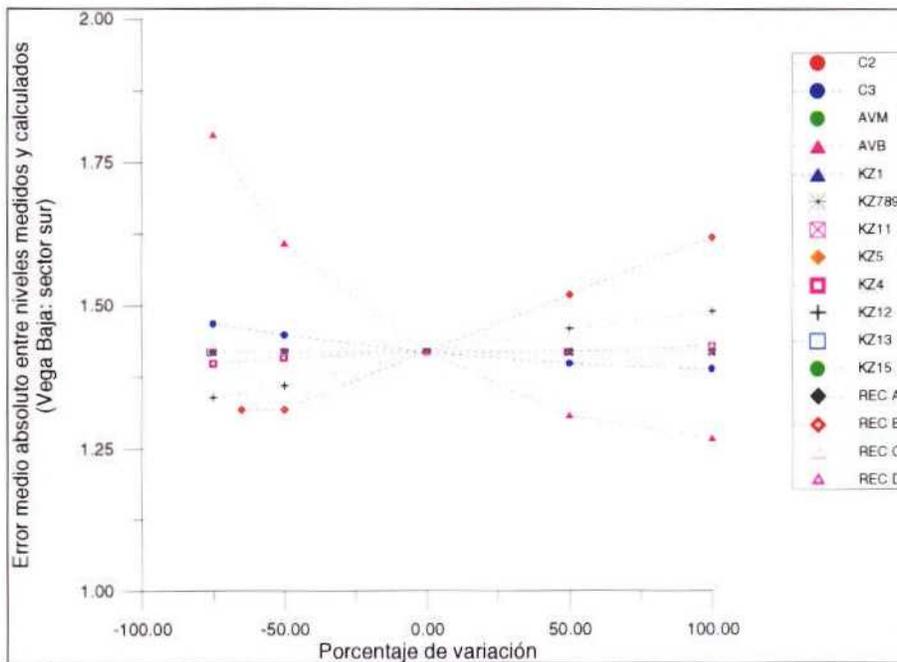


Figura 8. – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Baja: sector sur)

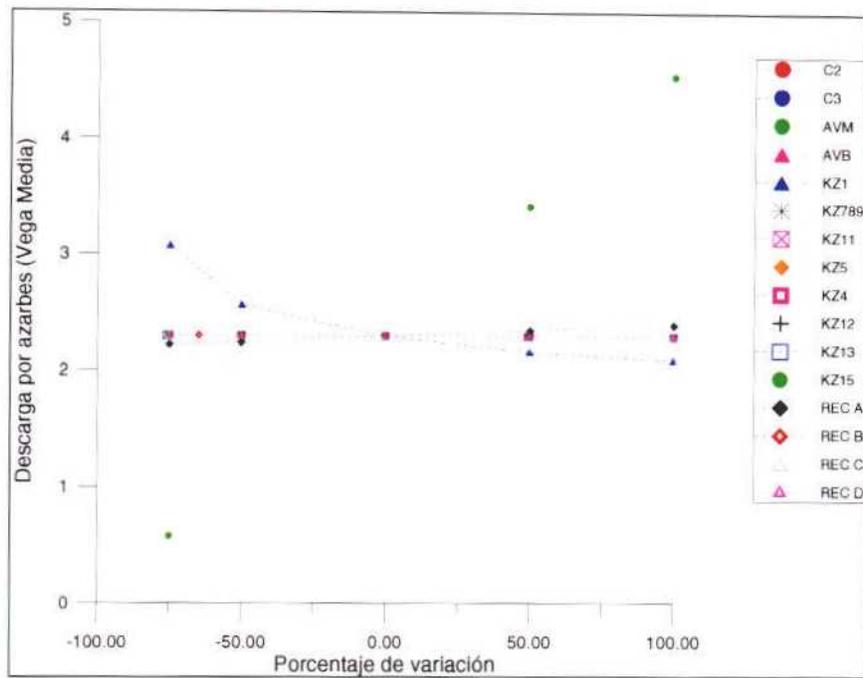


Figura 9. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto a la descarga producida por los azarbes en la Vega Media

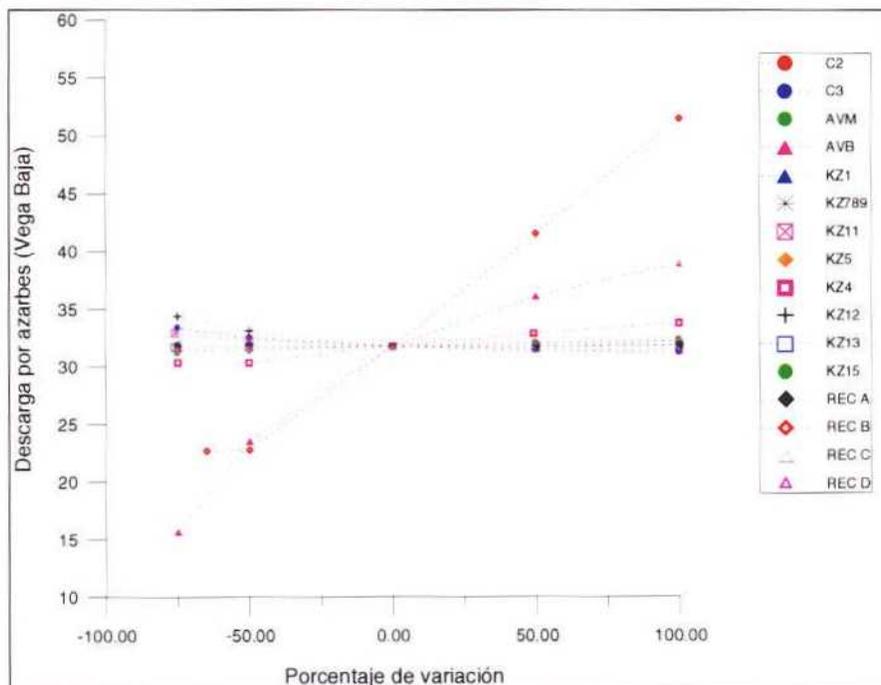


Figura 10. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto a la descarga producida por los azarbes en la Vega Baja

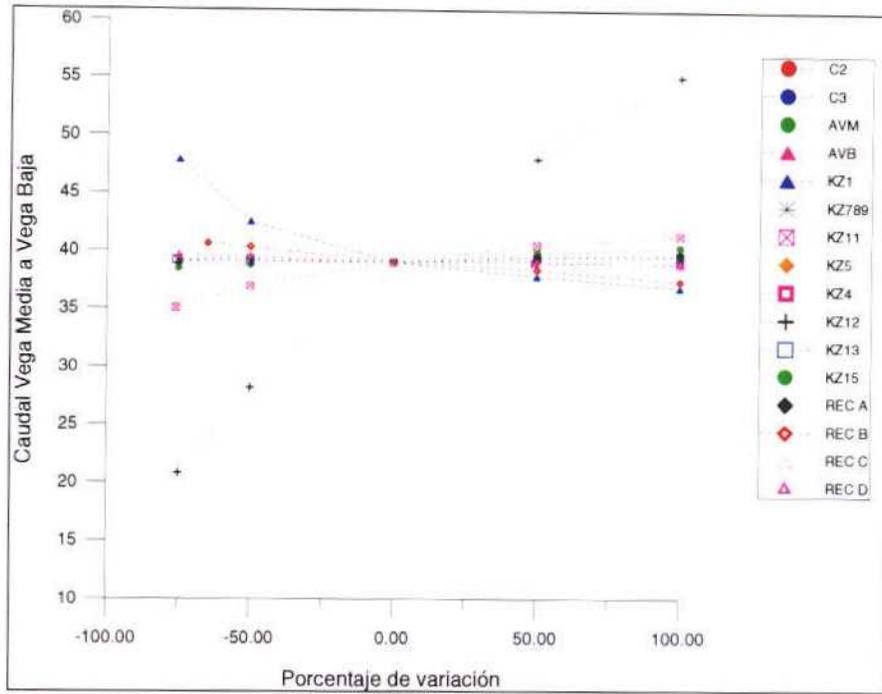


Figura 11. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al caudal subterráneo de paso desde la Vega Media hacia la Vega Baja (acuífero profundo)

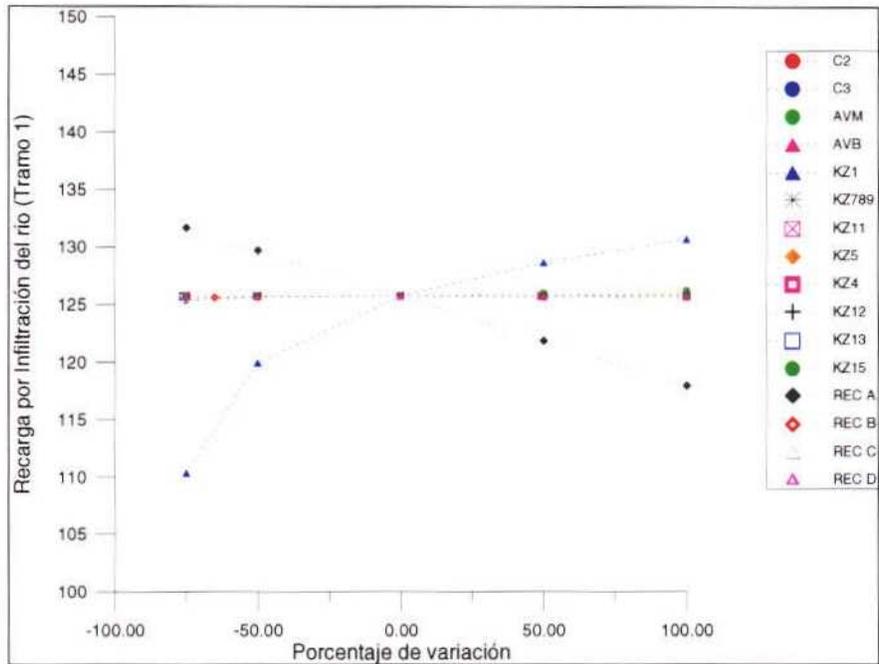


Figura 12. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al caudal de infiltración en el Tramo 1 del río Segura (Vega Media).

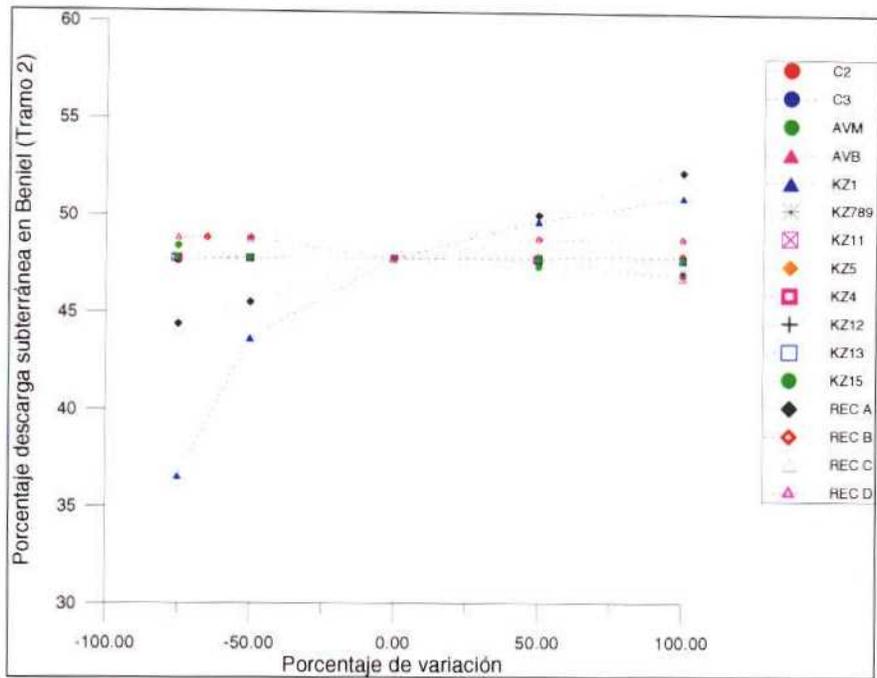


Figura 13. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al porcentaje de descarga subterránea en el Tramo 2 del río Segura (Vega Media).

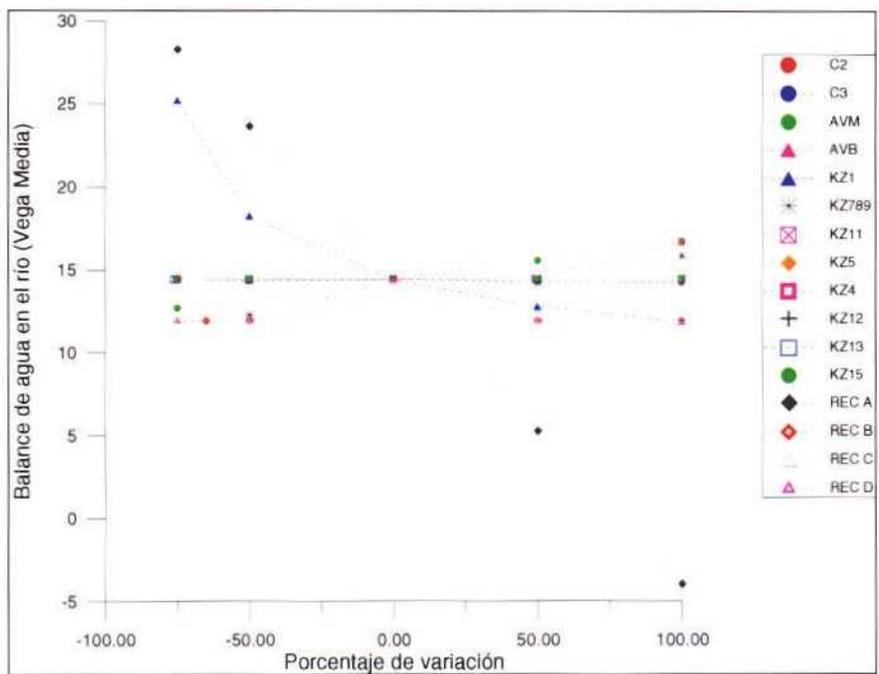


Figura 14. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al balance de agua en el río (Vega Media)

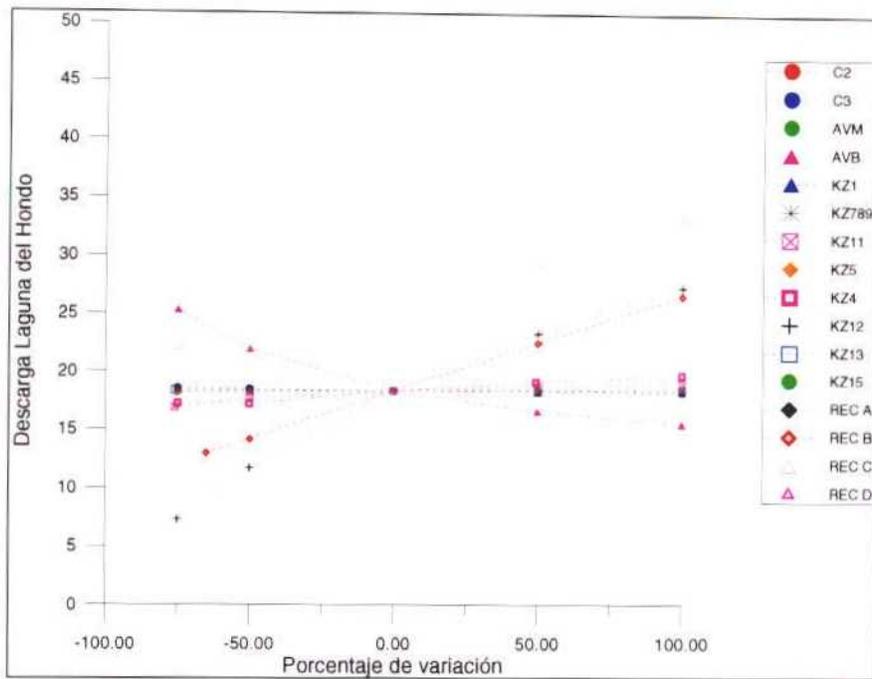


Figura 15. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto a la descarga por la Laguna del Hondo (Vega Baja)

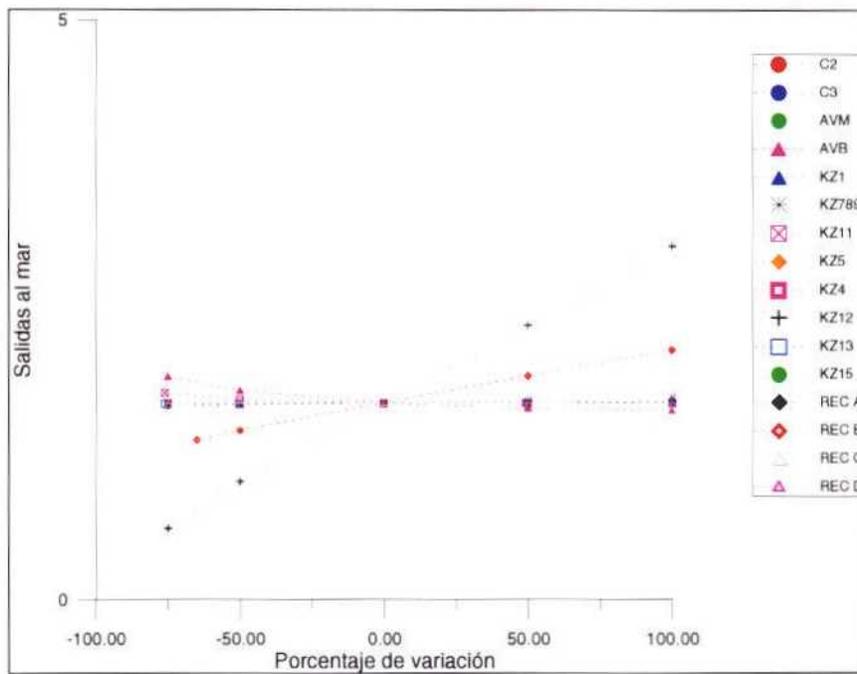


Figura 16. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto a la descarga al mar (Vega Baja)

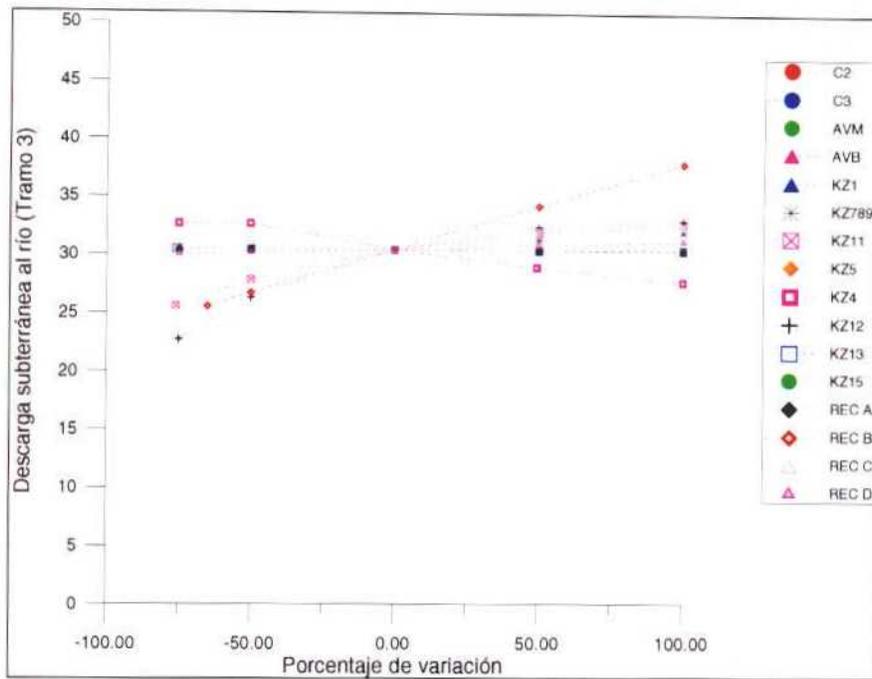


Figura 17. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al porcentaje de descarga subterránea en el Tramo 3 del río Segura (Vega Baja).

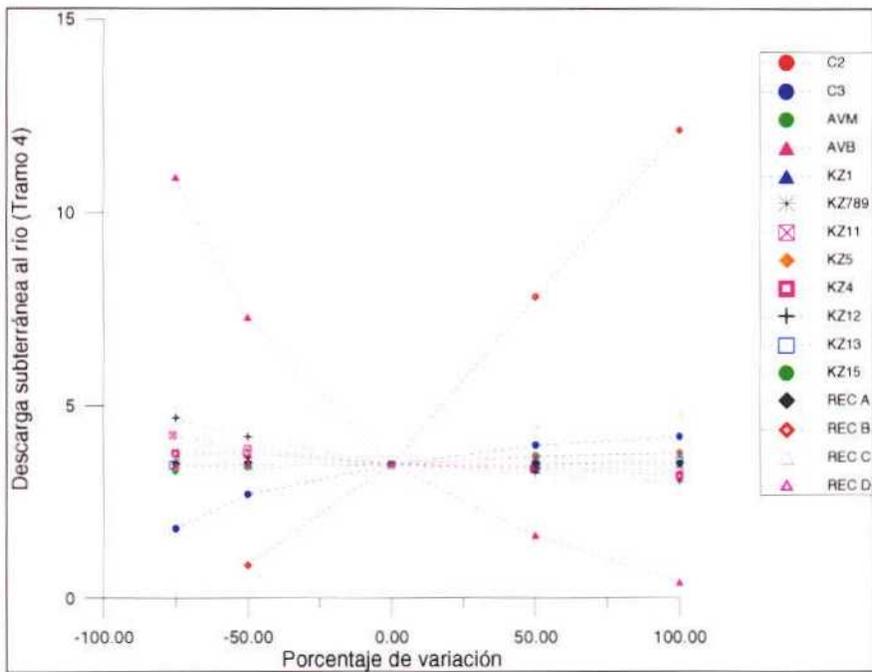


Figura 18. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al porcentaje de descarga subterránea en el Tramo 4 del río Segura (Vega Baja).

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 2

(Vega Media)

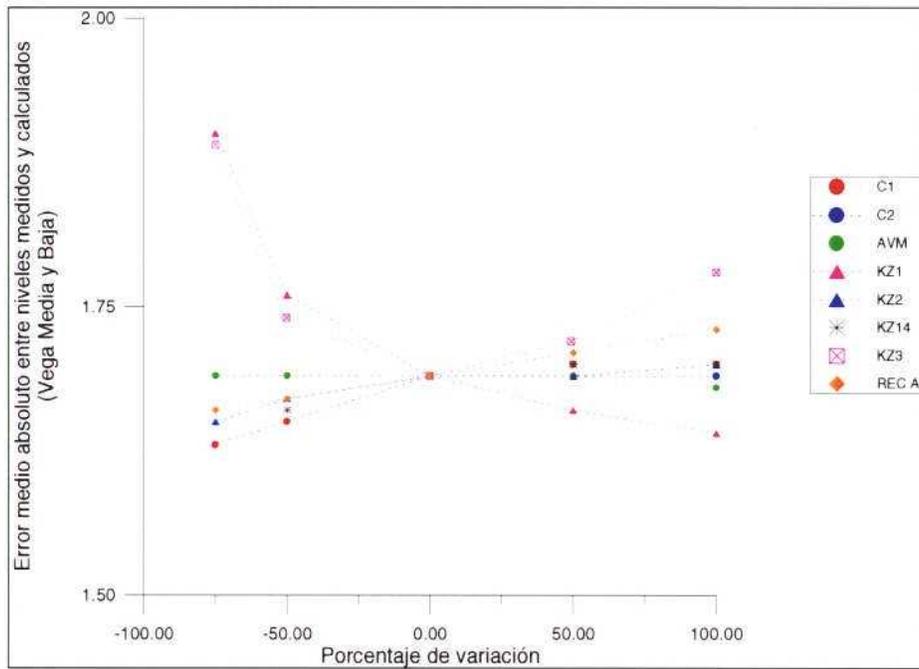


Figura 19. – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Media y Baja)

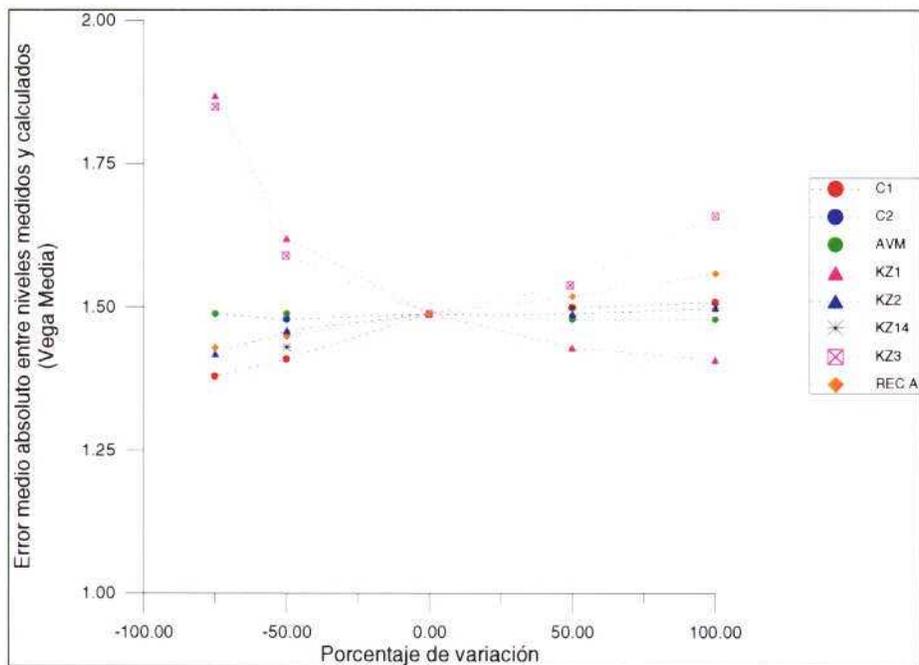


Figura 20. – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Media)

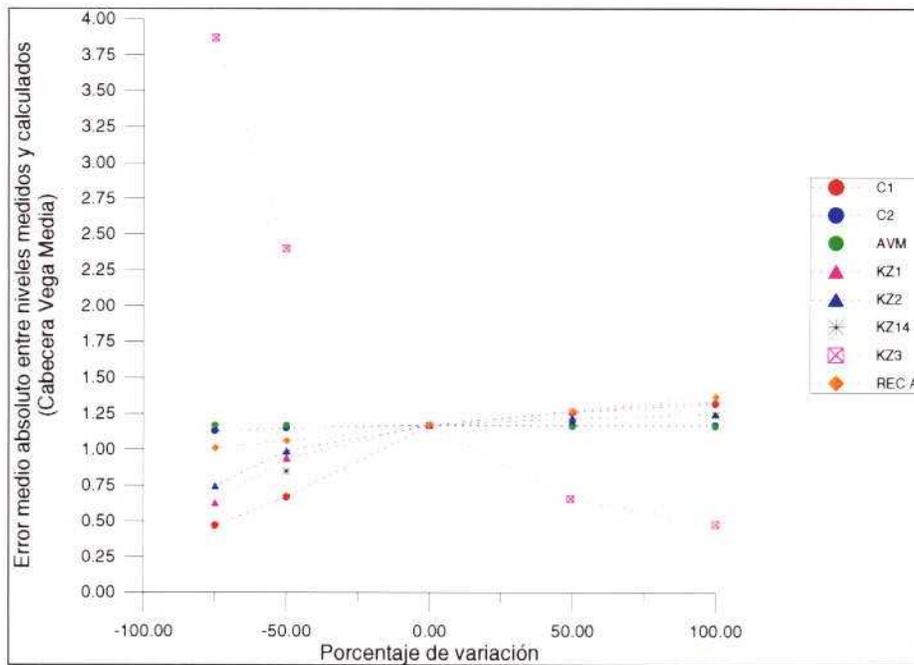


Figura 21. – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Cabecera Vega Media)

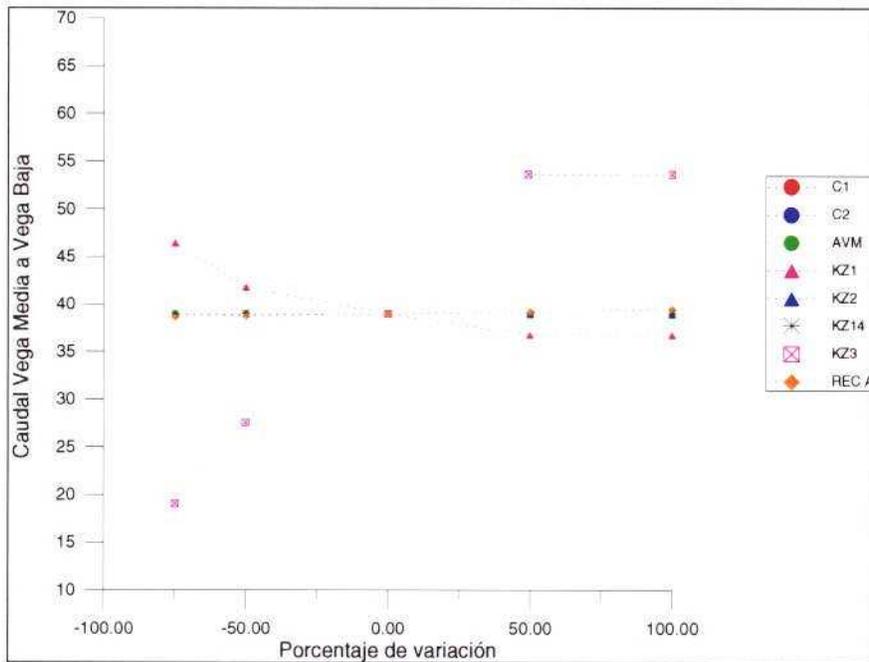


Figura 22. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al caudal subterráneo de paso desde la Vega Media hacia la Vega Baja (acuífero profundo)

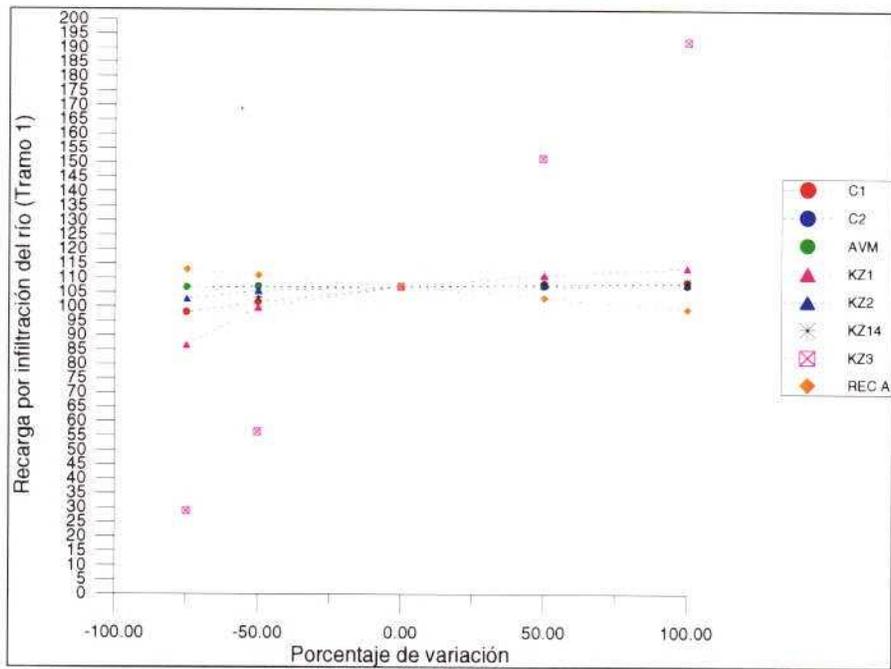


Figura 23. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al caudal de infiltración en el Tramo 1 del río Segura (Vega Media).

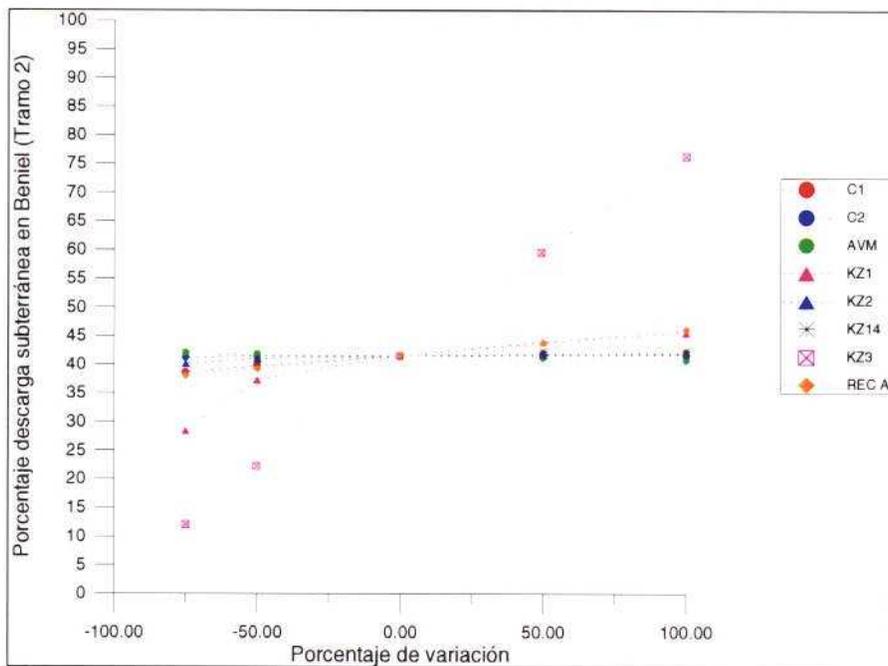


Figura 24. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al porcentaje de descarga subterránea en el Tramo 2 del río Segura (Vega Media).

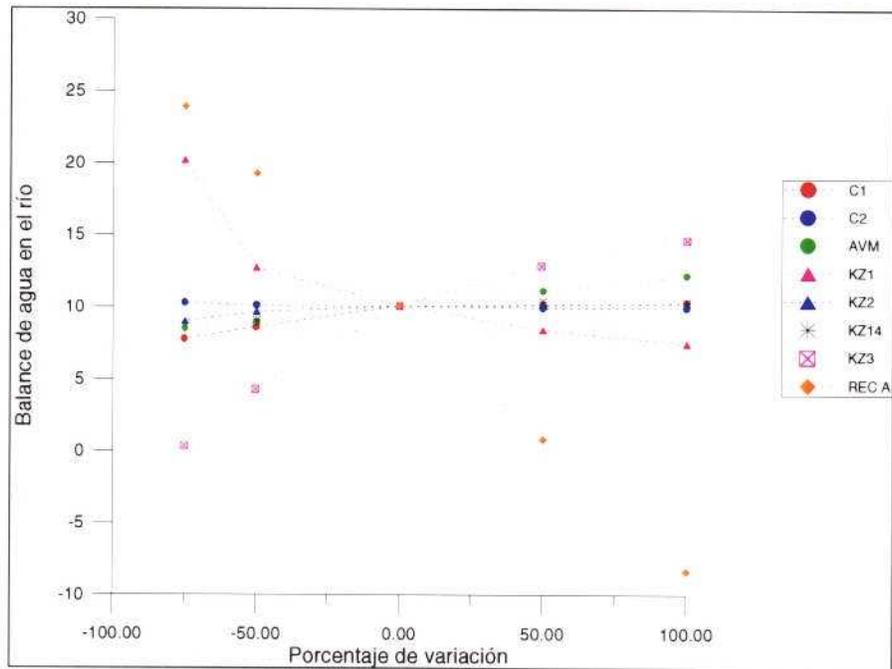


Figura 25. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al balance de agua en el río (Vega Media)

LISTADO DE FICHEROS ADJUNTOS

• **Ficheros correspondientes al modelo numérico de la Vega Media y Baja considerando la presencia de lagunas y que la recarga se produce sobre la capa 1.**

Hipótesis A1. BAS

Hipótesis A1. BAT

Hipótesis A1. BCF

Hipótesis A1. BGT

Hipótesis A1. CLB

Hipótesis A1. DDN

Hipótesis A1. DRN

Hipótesis A1. DVT

Hipótesis A1. HDS

Hipótesis A1. HVT

Hipótesis A1. INI

Hipótesis A1. LST

Hipótesis A1. MBT

Hipótesis A1. MCH

Hipótesis A1. MCP

Hipótesis A1. MDB

Hipótesis A1. MDS

Hipótesis A1. MPS

Hipótesis A1. MRK

Hipótesis A1. MSS

Hipótesis A1. MTD

Hipótesis A1. MTH

Hipótesis A1. MTI

Hipótesis A1. MTN

Hipótesis A1. MTS

Hipótesis A1. MTT

Hipótesis A1. MTV

Hipótesis A1. OC

Hipótesis A1. PCG

Hipótesis A1. RCH

Hipótesis A1. RIV

Hipótesis A1. SIP
Hipótesis A1. SOR
Hipótesis A1. VBB
Hipótesis A1. VBH
Hipótesis A1. VBT
Hipótesis A1. VCS
Hipótesis A1. VMA
Hipótesis A1. VMB
Hipótesis A1. VME
Hipótesis A1. VMF
Hipótesis A1. VMG
Hipótesis A1. VMH
Hipótesis A1. VMI
Hipótesis A1. VMN
Hipótesis A1. VMO
Hipótesis A1. VMP
Hipótesis A1. VMR
Hipótesis A1. VMT
Hipótesis A1. VMV
Hipótesis A1. VMW
Hipótesis A1. VMZ
Hipótesis A1. VOI
Hipótesis A1. VOO
Hipótesis A1. VOR
Hipótesis A1. VVS
Hipótesis A1. WEL
Hipótesis A1. WHS
Hipótesis A1. ZBI
Hipótesis A1. ZOT

- **Ficheros correspondientes al modelo numérico de la Vega Media y Baja considerando la presencia de lagunas y que la recarga se produce sobre la celda activa más alta en la vertical.**

Hipótesis A2. BAS

Hipótesis A2. BAT

Hipótesis A2. BCF

Hipótesis A2. BGT

Hipótesis A2. CLB

Hipótesis A2. DDN

Hipótesis A2. DRN

Hipótesis A2. DVT

Hipótesis A2. HDS

Hipótesis A2. HVT

Hipótesis A2. INI

Hipótesis A2. LST

Hipótesis A2. MBT

Hipótesis A2. MCH

Hipótesis A2. MCP

Hipótesis A2. MDB

Hipótesis A2. MDS

Hipótesis A2. MPS

Hipótesis A2. MRK

Hipótesis A2. MSS

Hipótesis A2. MTD

Hipótesis A2. MTH

Hipótesis A2. MTI

Hipótesis A2. MTN

Hipótesis A2. MTS

Hipótesis A2. MTT

Hipótesis A2. MTV

Hipótesis A2. OC

Hipótesis A2. PCG

Hipótesis A2. RCH

Hipótesis A2. RIV

Hipótesis A2. SIP
Hipótesis A2. SOR
Hipótesis A2. VBB
Hipótesis A2. VBH
Hipótesis A2. VBT
Hipótesis A2. VCS
Hipótesis A2. VMA
Hipótesis A2. VMB
Hipótesis A2. VME
Hipótesis A2. VMF
Hipótesis A2. VMG
Hipótesis A2. VMH
Hipótesis A2. VMI
Hipótesis A2. VMN
Hipótesis A2. VMO
Hipótesis A2. VMP
Hipótesis A2. VMR
Hipótesis A2. VMT
Hipótesis A2. VMV
Hipótesis A2. VMW
Hipótesis A2. VMZ
Hipótesis A2. VOI
Hipótesis A2. VOO
Hipótesis A2. VOR
Hipótesis A2. VVS
Hipótesis A2. WEL
Hipótesis A2. WHS
Hipótesis A2. ZBI
Hipótesis A2. ZOT

• **Ficheros correspondientes al modelo numérico de la Vega Media y Baja sin considerar la presencia de lagunas y suponiendo que la recarga se produce sobre la capa 1.**

Hipótesis B1. BAS

Hipótesis B1. BAT

Hipótesis B1. BCF

Hipótesis B1. BGT

Hipótesis B1. CLB

Hipótesis B1. DDN

Hipótesis B1. DRN

Hipótesis B1. DVT

Hipótesis B1. HDS

Hipótesis B1. HVT

Hipótesis B1. INI

Hipótesis B1. LST

Hipótesis B1. MBT

Hipótesis B1. MCH

Hipótesis B1. MCP

Hipótesis B1. MDB

Hipótesis B1. MDS

Hipótesis B1. MPS

Hipótesis B1. MRK

Hipótesis B1. MSS

Hipótesis B1. MTD

Hipótesis B1. MTH

Hipótesis B1. MTI

Hipótesis B1. MTN

Hipótesis B1. MTS

Hipótesis B1. MTT

Hipótesis B1. MTV

Hipótesis B1. OC

Hipótesis B1. PCG

Hipótesis B1. RCH

Hipótesis B1. RIV

Hipótesis B1. SIP
Hipótesis B1. SOR
Hipótesis B1. VBB
Hipótesis B1. VBH
Hipótesis B1. VBT
Hipótesis B1. VCS
Hipótesis B1. VMA
Hipótesis B1. VMB
Hipótesis B1. VME
Hipótesis B1. VMF
Hipótesis B1. VMG
Hipótesis B1. VMH
Hipótesis B1. VMI
Hipótesis B1. VMN
Hipótesis B1. VMO
Hipótesis B1. VMP
Hipótesis B1. VMR
Hipótesis B1. VMT
Hipótesis B1. VMV
Hipótesis B1. VMW
Hipótesis B1. VMZ
Hipótesis B1. VOI
Hipótesis B1. VOO
Hipótesis B1. VOR
Hipótesis B1. VVS
Hipótesis B1. WEL
Hipótesis B1. WHS
Hipótesis B1. ZBI
Hipótesis B1. ZOT

- **Ficheros correspondientes al modelo numérico de la Vega Media y Baja sin considerar la presencia de lagunas y suponiendo que la recarga se produce sobre la celda activa más alta en la vertical**

Hipótesis B2. BAS

Hipótesis B2. BAT

Hipótesis B2. BCF

Hipótesis B2. BGT

Hipótesis B2. CLB

Hipótesis B2. DDN

Hipótesis B2. DRN

Hipótesis B2. DVT

Hipótesis B2. HDS

Hipótesis B2. HVT

Hipótesis B2. INI

Hipótesis B2. LST

Hipótesis B2. MBT

Hipótesis B2. MCH

Hipótesis B2. MCP

Hipótesis B2. MDB

Hipótesis B2. MDS

Hipótesis B2. MPS

Hipótesis B2. MRK

Hipótesis B2. MSS

Hipótesis B2. MTD

Hipótesis B2. MTH

Hipótesis B2. MTI

Hipótesis B2. MTN

Hipótesis B2. MTS

Hipótesis B2. MTT

Hipótesis B2. MTV

Hipótesis B2. OC

Hipótesis B2. PCG

Hipótesis B2. RCH

Hipótesis B2. RIV

Hipótesis B2. SIP
Hipótesis B2. SOR
Hipótesis B2. VBB
Hipótesis B2. VBH
Hipótesis B2. VBT
Hipótesis B2. VCS
Hipótesis B2. VMA
Hipótesis B2. VMB
Hipótesis B2. VME
Hipótesis B2. VMF
Hipótesis B2. VMG
Hipótesis B2. VMH
Hipótesis B2. VMI
Hipótesis B2. VMN
Hipótesis B2. VMO
Hipótesis B2. VMP
Hipótesis B2. VMR
Hipótesis B2. VMT
Hipótesis B2. VMV
Hipótesis B2. VMW
Hipótesis B2. VMZ
Hipótesis B2. VOI
Hipótesis B2. VOO
Hipótesis B2. VOR
Hipótesis B2. VVS
Hipótesis B2. WEL
Hipótesis B2. WHS
Hipótesis B2. ZBI
Hipótesis B2. ZOT

**A.2. SIMULACIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO EN RÉGIMEN
TRANSITORIO EN LA VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA**

Tabla 1. - Puntos de observación considerados durante la calibración en régimen transitorio (1994-2001)
1ª pág. del fichero Tabla_1

REGISNAC	X UTM	Y UTM	FECHA	DÍA	NP (m s.n.m.)	Tramo	PROCEDENCIA DE LA INFORMACIÓN
273640094	684367	4218258	11/11/94	42	13.5	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	06/01/95	98	13.45	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	06/02/95	129	13.33	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	14/05/95	226	12.44	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	22/07/95	295	12.41	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	24/09/95	359	10.79	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	09/02/96	497	11.01	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	07/04/96	555	10.14	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	04/05/96	582	10.17	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	17/05/96	595	10.33	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	07/06/96	616	10.43	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	21/06/96	630	10.46	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	05/07/96	644	10.48	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	12/11/96	774	10.8	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	15/11/96	777	10.82	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	13/12/96	805	10.93	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	20/12/96	812	11.36	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	22/01/97	845	11.13	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	21/02/97	875	11.12	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	20/03/97	902	11.38	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	14/04/97	927	10.5	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	19/05/97	962	11.48	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	03/06/97	977	11.54	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	23/06/97	997	11.7	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	04/07/97	1008	11.73	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	06/08/97	1041	11.85	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	03/09/97	1069	11.93	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	17/09/97	1083	11.98	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	06/10/97	1102	12.03	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	11/10/97	1107	11.91	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	13/11/97	1140	12.13	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	20/01/98	1208	11.87	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	28/01/98	1216	12.4	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	29/01/98	1217	12.4	Profundo	Red Oficial del IGME (AGCA)
273640094	684367	4218258	24/02/98	1243	12.48	Profundo	Red Oficial del IGME (AGCA)
273640094	684367	4218258	24/02/98	1243	12.48	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	25/03/98	1272	11.64	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	27/03/98	1274	12.53	Profundo	Red Oficial del IGME (AGCA)
273640094	684367	4218258	27/03/98	1274	12.53	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	29/04/98	1307	11.72	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	10/06/98	1349	12.69	Profundo	Red Oficial del IGME (AGCA)
273640094	684367	4218258	10/06/98	1349	12.69	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	26/06/98	1365	11.67	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	14/07/98	1383	12.73	Profundo	Red Oficial del IGME (AGCA)
273640094	684367	4218258	14/07/98	1383	12.73	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	14/08/98	1414	12.68	Profundo	Red Oficial del IGME (AGCA)
273640094	684367	4218258	14/08/98	1414	12.68	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	11/09/98	1442	12.88	Profundo	Red Oficial del IGME (AGCA)
273640094	684367	4218258	11/09/98	1442	12.88	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	18/09/98	1449	11.88	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	09/10/98	1470	12.92	Profundo	Red Oficial del IGME (AGCA)
273640094	684367	4218258	09/10/98	1470	12.92	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	20/11/98	1512	11.87	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	25/11/98	1517	12.94	Profundo	Red Oficial del IGME (AGCA)
273640094	684367	4218258	25/11/98	1517	12.94	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	28/01/99	1581	13	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	29/03/99	1641	13.19	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)
273640094	684367	4218258	30/04/99	1673	12.08	Profundo	Red Oficial del IGME (AGPZ)

Tabla 1b. – Puntos de observación y niveles simulados en régimen transitorio (1994-2001)

1ª pág. del fichero Tabla_1b

RESIGNAC	DIA	NP (m s.n.m)
273640094	1	15.18
273640094	3	15.18
273640094	4	15.18
273640094	6	15.19
273640094	9	15.19
273640094	11	15.20
273640094	15	15.20
273640094	19	15.21
273640094	24	15.23
273640094	30	15.24
273640094	31	15.25
273640094	33	15.25
273640094	34	15.25
273640094	36	15.26
273640094	39	15.26
273640094	41	15.27
273640094	45	15.28
273640094	49	15.28
273640094	54	15.29
273640094	60	15.30
273640094	61	15.30
273640094	63	15.31
273640094	64	15.31
273640094	66	15.31
273640094	69	15.32
273640094	71	15.32
273640094	75	15.32
273640094	79	15.33
273640094	84	15.34
273640094	90	15.34
273640094	91	15.34
273640094	93	15.34
273640094	94	15.35
273640094	96	15.35
273640094	99	15.35
273640094	101	15.35
273640094	105	15.35
273640094	109	15.35
273640094	114	15.36
273640094	120	15.36
273640094	121	15.36
273640094	123	15.36
273640094	124	15.36
273640094	126	15.36
273640094	129	15.36
273640094	131	15.37
273640094	135	15.37
273640094	139	15.37
273640094	144	15.37
273640094	150	15.38
273640094	151	15.38
273640094	153	15.37
273640094	154	15.37
273640094	156	15.37
273640094	159	15.37
273640094	161	15.37
273640094	165	15.37

Tabla 2. - Resumen de las simulaciones realizadas observando la influencia de la conductancia en el río, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento en el balance de agua en el río (Fase 3).

SIMULACIÓN	RECARGA	CONDUCTANCIA RÍO SEGURA						CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA					ALMACENAMIENTO CAPA 1 Y 2 VM	BALANCE EN EL RÍO					
		Tramo 1	Tramo 1	Tramo 1-2	Tramo 1-2	Tramo 1-2	Tramo 2	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 12							
C1	1	100	1000	80000	80000	80000	80000	50	50	375	400		0.28						
C1 zbud_2	1	100	1000	1100	1050	80000	80000	50	50	375	400		0.28	Zona 6 (T1)	14102	5.15	0	0.00	5.15
														Zona 9 (T2)	225850	82.44	153660	56.09	26.35
																87.58			
C1 zbud_2 mod	1	100	500	501	502	80000	80000	50	50	375	400		0.28	Zona 6 (T1)	3750	1.37	0	0.00	1.37
														Zona 9 (T2)	229340	83.71	152370	55.62	28.09
																85.08			
C1 zbud_2 mod	1	100	500	501	502	80000	80000	5	5	150	200		0.28	Zona 6 (T1)	8622	2.42	0	0.00	2.42
														Zona 9 (T2)	86368	31.52	73390	26.79	4.74
																33.94			
C1 zbud_2 mod	2	100	500	501	502	80000	80000	5	5	150	200		0.28	Zona 6 (T1)	6822	2.42	0	0.00	2.42
														Zona 9 (T2)	82568	30.14	74995	27.37	2.76
																32.55			
C1 zbud_2 mod	2	100	500	501	502	80000	80000	5	5	150	150		0.28	Zona 6 (T1)	6822	2.42	0	0.00	2.42
														Zona 9 (T2)	82617	30.16	74983	27.37	2.79
																32.57			
C1 zbud_2 mod	2	100	500	501	502	80000	80000	5	5	150	150		0.01	Zona 6 (T1)	3750	1.37	0	0.00	1.37
														Zona 9 (T2)	119920	43.77	88486	25.00	18.77
																45.14			
C1 zbud_2 mod	2	100	200	201	202	80000	80000	5	5	150	150		0.28	Zona 6 (T1)	1755	0.64	0	0.00	0.64
														Zona 9 (T2)	82917	30.26	74716	27.27	2.99
																30.91			
C1 zbud_2 mod	2	100	200	201	202	80000	80000	5	5	150	150		0.28	Zona 6 (T1)	1755	0.64	0	0.00	0.64
														Zona 13 (T1-2)	28092	10.25	0	0.00	10.25
														Zona 9 (T2)	38793	14.18	72108	26.32	-12.18
																25.05			
C1 zbud_2 mod	2	100	200	201	202	203 y 204	80000	5	5	150	150		0.28	Zona 6 (T1)	1755	0.64	0	0.00	0.64
														Zona 13 (T1-2)	2914	1.06	0	0.00	1.06
														Zona 9 (T2)	10304	3.76	69308	25.30	-21.54
																5.47			
C1 zbud_2 mod	2	100 y 999	1000	201	202	203 y 204	80000	5	5	150	150		0.28	Zona 6 (T1)	5989	2.19	0	0.00	2.19
														Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18
														Zona 9 (T2)	32279	11.78	57450	20.97	-9.19
																15.16			
C1 zbud_2 mod	2	100 y 101	200	201	202	203 y 204	80000	5	5	150	150		Ti b def sin rio	Zona 6 (T1)	752	0.27	0	0.00	0.27
														Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18
														Zona 9 (T2)	81959	29.92	37750	13.78	16.14
																31.37			
Multiplicamos la recarga de la Zona A por dos																			
C1 zbud_2 mod	2	100 y 101	200	201	202	203 y 204	80000	5	5	150	150		Ti b def sin rio	Zona 6 (T1)	752	0.27	0	0.00	0.27
														Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18
														Zona 9 (T2)	48753	18.18	52860	19.29	-1.13
																19.02			
Aumentamos la conductancia del tramo 1																			
C1 zbud_2 mod	2	10000 y 10100	10200	201	202	203 y 204	80000	5	5	150	150		Ti b def sin rio	Zona 6 (T1)	115710	42.23	0	0.00	42.23
														Zona 13 (T1-2)	1931	0.70	55	0.02	0.68
														Zona 9 (T2)	0	0.00	107750	39.33	-39.33
																42.94			
Se vuelve a dejar la recarga Zona A como estaba																			
C1 zbud_2 mod	2	10000 y 10100	10200	201	202	203 y 204	80000	5	5	150	150		Ti b def sin rio	Zona 6 (T1)	115710	42.23	0	0.00	42.23
														Zona 13 (T1-2)	3076	1.12	55	0.02	1.10
														Zona 9 (T2)	9863	3.84	71795	26.21	-22.57
																46.99			
C1 zbud_2 mod	2	2500 y 2600	2550	201	202	203 y 204	80000	5	5	150	150		Ti b def sin rio	Zona 6 (T1)	752	0.27	0	0.00	0.27
														Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18
														Zona 9 (T2)	81176	29.83	38852	14.18	15.45
																31.09			
C1 zbud_2 mod	2	5000 y 5100	5200	201	202	203 y 204	80000	5	5	150	150		Ti b def sin rio	Zona 6 (T1)	24127	8.81	0	0.00	8.81
														Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18
														Zona 9 (T2)	64867	23.68	43538	15.89	7.79
																33.87			
C1 zbud_2 mod 2	2	7000 y 7100	7200	201	202	203 y 204	80000	5 (1.5)	5 (1.5)	150	150		Ti b def sin rio	Zona 6 (T1)	65535	23.92	0	0.00	23.92
														Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18
														Zona 9 (T2)	37895	13.83	53196	19.42	-5.58
																38.94			
C1 zbud_2 mod 2	2	7000 y 7100	7200	201	202	203 y 204	80000	5 (1.5)	5 (1.5)	80	150		0.01	Zona 6 (T1)	68037	24.10	0	0.00	24.10
														Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18
														Zona 9 (T2)	8117	2.96	33828	12.35	-9.38
																28.25			
C1 zbud_2 mod 3	2	7000 y 7100	7200	201	202	203 y 204	80000	1 (0.5)	1 (0.5)	100	100		0.03	Zona 6 (T1)	82245	30.02	0	0.00	30.02
														Zona 13 (T1-2)	3068	1.12	0	0.00	1.12
														Zona 9 (T2)	7252	2.85	33921	12.38	-9.73
																33.79			
C1 zbud_2 mod 3	2	8000 y 6100	8200	201	202	203 y 204	80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	150	150		0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
														Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18
														Zona 9 (T2)	8809	3.25	17402	8.35	-3.10
																30.35			
C1 zbud_2 mod 3	2	8000 y 6100	8200	201	202	203 y 204	80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100	100		0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
														Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18
														Zona 9 (T2)	2804	1.02	18199	8.91	-4.89
																28.12			
SE AMPLIA HASTA LA COLUMNA 38 LA ZONA DE BALANCE 13																			
C1 zbud_2 mod 3	2	5000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	10	0.5 (0.1)	100	100		0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92			

Tabla 2. - Resumen de las simulaciones realizadas observando la influencia de la conductancia en el río, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento en el balance de agua en el río (Fase 3).

MT 3 mod zbud													Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18												
													Zona 9 (T2)	48.16	0.02	15583	5.69	-5.67												
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	10	0.5 (0.1)	100	100		Zona 8 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92												
MT 3 mod zbud													Zona 13 (T1-2)	3900	1.42	0	0.00	1.42												
													Zona 9 (T2)	3284	1.20	16319	5.96	-4.76												
SE AMPLIA HASTA LA ZONA DE PERMEABILIDAD 12																														
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 y 150	100		Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92												
MT 3 mod zbud													Zona 13 (T1-2)	4013	1.46	0	0.00	1.46												
													Zona 9 (T2)	3128	1.14	9384	3.43	-2.28												
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	80	100		Zona 6 (T1)	69452	25.35	0	0.00	25.35												
MT 3 mod zbud													Zona 13 (T1-2)	3046	1.11	0	0.00	1.11												
													Zona 9 (T2)	0	0.00	10838	3.98	-3.96												
AUMENTAR LA CONDUCTANCIA DEL TRAMO 3																														
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 150000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100	100		Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92												
MT 3 mod zbud													Zona 13 (T1-2)	3046	1.11	0	0.00	1.11												
													Zona 9 (T2)	607.6	0.22	10652	3.89	-3.67												
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 500000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100	100		Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92												
MT 3 mod zbud													Zona 13 (T1-2)	3046	1.11	0	0.00	1.11												
													Zona 9 (T2)	3990	1.46	16690	6.09	-4.64												
SE MULTIPLICA LA RECARGA ZONA A POR 1.5																														
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 500000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100	100		Zona 6 (T1)	70636	25.78	0	0.00	25.78												
MT 3 mod zbud													Zona 13 (T1-2)	3046	1.11	0	0.00	1.11												
													Zona 9 (T2)	248	0.09	27691	10.11	-10.02												
SE MULTIPLICA LA RECARGA ZONA A POR 1.5																														
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 1000000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100	100		Zona 6 (T1)	70636	25.78	0	0.00	25.78												
MT 3 mod zbud													Zona 13 (T1-2)	3046	1.11	0	0.00	1.11												
													Zona 9 (T2)	250.4	0.09	27726	10.12	-10.03												
SE MULTIPLICA LA RECARGA ZONA A POR 2																														
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 1000000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100	100		Zona 6 (T1)	68859	24.40	0	0.00	24.40												
MT 3 mod zbud													Zona 13 (T1-2)	1799	0.66	0	0.00	0.66												
													Zona 9 (T2)	0	0.00	40521	14.79	-14.79												
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	80000	0.5 (0.05)	0.5 (0.05)	150	100		Zona 6 (T1)	85064	23.75	0	0.00	23.75												
MT 3													Zona 13 (T1-2)	3090	1.13	0	0.00	1.13												
													Zona 9 (T2)	1382	0.50	10565	3.86	-3.35												
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	100000	0.5 (0.05)	0.5 (0.05)	150	100		Zona 6 (T1)	85064	23.75	0	0.00	23.75												
MT 3													Zona 13 (T1-2)	3090	1.13	0	0.00	1.13												
													Zona 9 (T2)	1388	0.51	10576	3.86	-3.35												
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	100000	1 (0.5)	0.5 (0.05)	150	100		Zona 6 (T1)	85404	23.87	0	0.00	23.87												
MT 3													Zona 13 (T1-2)	3226	1.18	0	0.00	1.18												
													Zona 9 (T2)	14154	5.17	29983	10.94	-5.78												
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	150000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100	100		Zona 6 (T1)	65398	23.87	0	0.00	23.87												
MT 3													Zona 13 (T1-2)	3225	1.18	0	0.00	1.18												
													Zona 9 (T2)	14347	5.24	30170	11.01	-5.78												
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	80000	10 (0.1)	0.5 (0.1)	100	100		Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92												
MT 3													Zona 13 (T1-2)	3186	1.16	0	0.00	1.16												
													Zona 9 (T2)	5097	1.86	21651	7.90	-6.04												
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	150	100		Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92												
MT 3													Zona 13 (T1-2)	3186	1.16	0	0.00	1.16												
													Zona 9 (T2)	12503	4.56	11817	4.24	0.32												
MULTPLICAMOS LA RECARGA EN LA ZONA A POR 1.5																														
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100	100		Zona 6 (T1)	69603	25.41	0	0.00	25.41												
MT 3 mod 2													Zona 13 (T1-2)	2314	0.84	12.72	0.00	0.84												
													Zona 9 (T2)	0	0.00	28617	9.72	-9.72												
C1 zbud 2 mod 3	2	7000 y 7100	7200	201	202	203 y 204	80000	0.5 (0.05)	0.5 (0.05)	120 (5)	120 (5)		Zona 6	69518	25.37	0	0.00	25.37												
													Zona 13	3119	1.14	0	0.00	1.14												
													Zona 9	1443	0.53	11938	4.38	-3.22												
C1 zbud 2 mod 3	2	7000 y 7100	7200	201	202	203 y 204	80000	0.5 (0.05)	0.5 (0.05)	120 (5)	120 (5)		Zona 6	67979	24.81	0	0.00	24.81												
													Zona 13	2984	1.09	0	0.00	1.09												
													Zona 9	701	0.26	12882	4.63	-4.37												
C1 zbud 2 mod 3	2	7000 y 7100	7200	201	202	203 y 204	80000	0.5 (0.05)	0.5 (0.05)	120 (5)	120 (5)		Zona 6	68489	26.00	0	0.00	26.00												
													Zona 13	3041	1.11	0	0.00	1.11												
													Zona 9	903	0.33	12401	4.53	-4.20												
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100	100	150	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92												
MT 3 mod													Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18												
													Zona 9 (T2)	2804	1.02	16199	5.91	-4.89												
SE AMPLIA HASTA LA COLUMNA 38 LA ZONA DE BALANCE 13																														
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	10	0.5 (0.1)	100	100	150	Zona 6 (T1)	71007	26.92	0	0.00	26.92												
													Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18												
													Zona 9 (T2)	48.16	0.02	15583	5.69	-5.67												
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100	100	80 (5)	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92												
MT 3 mod zbud													Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18												
													Zona 9 (T2)	0	0.00	18703	6.10	-6.10												
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	10 (1)	0.5 (0.1)	100	100	80 (5)	Zona 6 (T1)	71007	26.92	0	0.00	26.92												
MT 3 mod zbud													Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18												

Tabla 2. - Resumen de las simulaciones realizadas observando la influencia de la conductancia en el río, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento en el balance de agua en el río (Fase 3).

C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 (30)	100 (30)	80 (5)	0.03	Zona 9 (T2)	16007	5.84	28956	10.57	-4.73
MT_3_mod_zbud														Zona 8 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
														Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18
														Zona 9 (T2)	0	0.00	17132	6.25	-6.25
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 (30)	100 (30)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
MT_3_mod_zbud														Zona 13 (T1-2)	?	?	0	0.00	?
														Zona 9 (T2)	794	0.29	20187	7.37	-7.08
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	0.5	0.5	100 (30)	100 (30)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	70757	25.83	0	0.00	25.83
MT_3_mod_zbud														Zona 13 (T1-2)	?	?	0	0.00	?
														Zona 9 (T2)	9798	3.58	32915	12.01	-8.44
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	0.5	0.5	100 (30)	100 (30)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	70757	25.83	0	0.00	25.83
MT_3_mod_zbud														Zona 13 (T1-2)	3854	1.41	0	0.00	1.41
														Zona 9 (T2)	9799	3.58	32912	12.01	-8.44
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	0.5	0.5	120 (5)	100 (30)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	70506	25.73	0	0.00	25.73
MT_3_mod_zbud														Zona 13 (T1-2)	3876	1.41	0	0.00	1.41
														Zona 9 (T2)	9621	3.51	33197	12.12	-8.61
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	200 (5)	100 (30)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	70506	25.73	0	0.00	25.73
MT_3_mod_zbud														Zona 13 (T1-2)	3690	1.35	0	0.00	1.35
														Zona 9 (T2)	54.5	0.02	22929	8.37	-8.35
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	0.5	0.5	150 (30)	100 (30)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	58798	20.73	77.74	0.03	20.70
MT_3_mod_zbud														Zona 13 (T1-2)					
														Zona 9 (T2)	15838	5.71	20898	10.91	-5.21
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	0.5	0.5	150 (5)	100 (30)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	70508	25.73	0	0.00	25.73
MT_3_mod_zbud														Zona 13 (T1-2)					
														Zona 9 (T2)	9294	3.39	33670	12.29	-8.90
SE AMPLIA HASTA LA COLUMNA 38 (EXCLUIDA) LA ZONA DE BALANCE 13																			
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	206 y 80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 (5)	100 (5)	150 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
MT_3_mod (zona de k 10 sin corregir)														Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18
Mejora hipo 1														Zona 9 (T2)	46.16	0.02	15583	5.69	-5.67
SE CORRIGE K10 = 150 (5)																			
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	206 y 80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 (5)	100 (5)	150 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
Mejora hipo 1b														Zona 13 (T1-2)					
														Zona 9 (T2)	609.39	0.22	10575	3.88	-3.64
SE REDUCE K150 = 80 (5)																			
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	206 y 80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 (5)	100 (5)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
Mejora hipo 1b														Zona 13 (T1-2)	3243	1.18	0	0.00	1.18
														Zona 9 (T2)	116.6	0.04	15150	5.53	-5.49
SE CORRIGE K CAPA 2																			
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	206 y 80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 (5)	100 (5)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
MT_3_mod_zbud														Zona 13 (T1-2)	3580	1.31	0	0.00	1.31
														Zona 9 (T2)	587.7	0.21	19524	7.13	-6.91
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	206 y 80000	5 y 50 (1)	5 (1)	100 (5)	100 (5)	5 (0.1)	0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
MT_3_mod_zbud								5 y 5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 (5)	100 (5)	80 (5)		Zona 13 (T1-2)	3580	1.31	0	0.00	1.31
														Zona 9 (T2)	1821	0.66	18794	6.88	-6.20
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	206 y 80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 (5)	100 (30)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
MT_3_mod_zbud														Zona 13 (T1-2)	3601	1.31	0	0.00	1.31
														Zona 9 (T2)	827	0.30	20065	7.32	-7.02
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	206 y 80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 (30)	100 (30)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
MT_3_mod_zbud														Zona 13 (T1-2)	3801	1.31	0	0.00	1.31
														Zona 9 (T2)	721	0.26	20440	7.46	-7.20
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	206 y 80000	0.5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 (30)	100 (60)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
MT_3_mod_zbud														Zona 13 (T1-2)	3601	1.31	0	0.00	1.31
														Zona 9 (T2)	756	0.28	20474	7.47	-7.20
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	206 y 80000	5 y 5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 (30)	100 (60)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
MT_3_mod_zbud														Zona 13 (T1-2)	3680	1.34	0	0.00	1.34
														Zona 9 (T2)	1246	0.45	22458	8.20	-7.74
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	206 y 80000	5 y 50 (1)	5 (1)	100 (30)	100 (60)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
MT_3_mod_zbud								5 y 5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 (30)	100 (60)	80 (5)		Zona 13 (T1-2)	3780	1.38	0	0.00	1.38
														Zona 9 (T2)	2132	0.78	18418	7.09	-6.31
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	206 y 80000	5 y 5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 (5)	100 (60)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
MT_3_mod_zbud														Zona 13 (T1-2)	3780	1.38	0	0.00	1.38
														Zona 9 (T2)	2237	0.82	18196	7.01	-6.19
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	206 y 80000	0.3) y 50	5 (0.3)	100 (50)	100 (60)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
MT_3_mod_zbud								5 y 5 (0.1)	0.5 (0.1)	100 (60)	100 (60)	80 (5)		Zona 13 (T1-2)	3680	1.34	0	0.00	1.34
														Zona 9 (T2)	58092	20.47	53.53	0.02	20.45
C1 zbud_2_mod_3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	206 y 80000	0.3) y 50	5 (0.3)	100 (50)	100 (60)	80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	58092	20.47	53.53	0.02	20.45
MT_3_mod_zbud														Zona 13 (T1-2)	3888	1.42	0	0.00	1.42
														Zona 9 (T2)	4273	1.66	18699	6.10	-4.54

Tabla 2. - Resumen de las simulaciones realizadas observando la influencia de la conductancia en el río, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento en el balance de agua en el río (Fase 3).

C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	Capa 2 206 y 80000	0.3) y 50 0.03) y 5	5 (0.3) 0.5 (0.03)	100 (60) 100 (80)	Capa 1 100 (80)	5 (0.1) 80 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	56130	20.49	53.56	0.02	20.47
MT 3 mod zbud														Zona 13 (T1-2)	3899	1.42			
mejoria hipo 1b														Zona 9 (T2)	4284	1.56	16720	6.10	-4.54
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	Capa 2 206 y 80000	0.3) y 50 0.03) y 5	5 (0.3) 0.5 (0.03)	100 (60) 100 (60)	Capa 1 100 (60)	5 (0.1) 50 (5)	0.03	Zona 6 (T1)	55934	20.42	0	0.00	20.42
MT 3 mod zbud														Zona 13 (T1-2)	3856	1.41	0	0.00	
mejoria hipo 1b mod														Zona 9 (T2)	3277	1.20	33197	12.12	-10.92
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	10	0.5 (0.1)	100 (5)	100 (5)	50 (5)	0.03 y 0.09	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
MT 3 mod 4														Zona 13 (T1-2)	3928	1.43	0	0.00	1.43
														Zona 9 (T2)	0	0.00	22965	8.38	-8.38
C1 zbud 2 mod 3	2	6000 y 6100	6200	201	202	203 y 204	205 y 80000	10	0.5 (0.1)	100 (5)	100 (5)	50 (5)	0.03 y 0.09	Zona 6 (T1)	71007	25.92	0	0.00	25.92
MT 3 mod 4 b														Zona 13 (T1-2)	3148	1.15	0	0.00	1.15
														Zona 9 (T2)	0	0.00	23165	8.46	-8.46

Tabla 3. - Entradas, salidas y variación de almacenamiento durante el periodo simulado (1994-2001) para la Vega Media (hipótesis E) (m³/día)

FECHA	TIEMPO	ENTRADAS			SALIDAS				VARIACION	
		RECARGA	RIO	ALMACENAMIENTO	DRENES	RIO	BOMBEO	ALMACENAMIENTO	ALMACENAMIENTO	RIO
oct-94	1	9168	46045	79038	5723	37353	36191	13938	65100	8692
nov-94	2	8849	48925	72612	5383	37954	40051	3795	68817	10971
dic-94	3	11000	50962	76824	4963	36981	52535	488	76336	13981
ene-95	4	10815	52286	69318	4636	35982	46534	32085	37233	16304
feb-95	5	10959	53437	72266	4285	34172	53342	23414	48852	19265
mar-95	6	28621	54210	66348	3968	32448	67860	82428	-16080	21762
abr-95	7	28397	55191	64719	3656	30455	70166	10363	54356	24736
may-95	8	29340	56486	60800	3389	28785	70555	78764	-17964	27701
jun-95	9	40066	57149	44840	3236	27950	67996	71129	-26289	29199
jul-95	10	30257	58389	61626	2991	25431	78383	94010	-32384	32958
ago-95	11	34301	59552	53004	2799	23929	77591	108	52896	35623
sep-95	12	93579	58907	2711	2844	24531	80120	5444	-2733	34376
oct-95	13	30692	60161	33707	2686	22332	53880	1344	32363	37829
nov-95	14	12105	61217	49393	2512	20779	54868	83474	-34081	40438
dic-95	15	13775	61578	23053	2398	20353	52516	364	22689	41225
ene-96	16	20382	61823	25288	2337	19687	42011	459	24829	42136
feb-96	17	33855	61971	18185	2296	19394	49708	576	17609	42577
mar-96	18	54549	62216	10111	2273	19234	61996	983	9128	42982
abr-96	19	64241	61650	961	2333	19694	39318	12836	-11875	41956
may-96	20	59868	61304	703	2374	19618	42312	14708	-14005	41686
jun-96	21	77077	61070	2087	2402	19819	63599	11782	-9695	41251
jul-96	22	101750	59899	228	2577	20978	46115	49006	-48778	38921
ago-96	23	78144	59611	434	2630	20851	49656	21444	-21010	38760
sep-96	24	63653	59676	370	2631	20829	53159	5120	-4750	38847
oct-96	25	12516	61099	41178	2449	19160	48966	543	40635	41939
nov-96	26	47351	60694	206	2493	19992	38822	4728	-4522	40702
dic-96	27	37365	63155	8213	2476	17551	42335	1422	6791	45604
ene-97	28	53329	64939	47758	2575	16203	31200	23788	23970	48736
feb-97	29	10767	62469	28127	2463	18221	35427	38638	-10511	44248
mar-97	30	70632	71860	0	2604	11986	50097	33275	-33275	59874
abr-97	31	98896	66071	0	2905	15763	26443	75753	-75753	50308
may-97	32	83392	65259	63140	3112	16244	27138	56019	7121	49015
jun-97	33	87675	64796	1	3298	16992	39082	48774	-48773	47804
jul-97	34	103990	64765	0	3610	16546	27422	73829	-73829	48219
ago-97	35	98320	63276	0	3894	17887	28000	63487	-63487	45389
sep-97	36	98955	62058	0	4130	19750	38366	53937	-53937	42308
oct-97	37	30994	58939	15915	4019	24130	27397	1261	14654	34809
nov-97	38	8784	58871	40484	3826	24575	31058	70120	-29636	34296
dic-97	39	9395	60712	41440	3643	22223	37925	19144	22296	38489
ene-98	40	7570	61518	31277	3542	21212	28409	85834	-54557	40306
feb-98	41	6939	63295	25713	3452	19536	25479	42557	-16844	43759
mar-98	42	69683	71104	71297	3631	12823	38980	37650	33647	58281
abr-98	43	77938	63918	0	3836	19176	27240	43801	-43801	44742
may-98	44	87507	66717	0	4076	16253	31347	54978	-54978	50464
jun-98	45	83540	59922	50781	4191	24409	42134	24491	26290	35513
jul-98	46	116910	63084	0	4546	19704	33496	73285	-73285	43380
ago-98	47	102650	57766	27070	4725	27411	31873	46878	-19808	30355
sep-98	48	95850	61442	0	4903	21698	41109	40037	-40037	39744
oct-98	49	13443	55991	53756	4584	32195	36435	1	53755	23796
nov-98	50	11476	57300	44364	4363	29109	31518	0	44364	28191
dic-98	51	117010	57183	0	4702	28740	40071	55633	-55633	28443
ene-99	52	9563	55702	55044	4364	32953	34289	0	55044	22749
feb-99	53	11700	54520	60500	4081	35143	40145	0	60500	19377
mar-99	54	42597	62112	12526	4022	21625	44061	520	12006	40487
abr-99	55	71444	61478	612	4151	22443	37336	22506	-21894	39035
may-99	56	92646	56566	58229	4299	29690	43932	24342	33887	26876
jun-99	57	75750	55486	20004	4178	31464	69106	351	19653	24022
jul-99	58	101840	55466	982	4309	30797	50945	25989	-25007	24669
ago-99	59	77159	55092	3053	4296	31538	49511	1945	1108	23554
sep-99	60	81319	58996	989	4301	24873	60881	6106	-5117	34123
oct-99	61	11490	59627	49634	4011	24370	44629	744	48890	35257
nov-99	62	10475	56907	51583	3799	28784	39357	0	51583	28123
dic-99	63	12592	57844	34956	3558	27252	55787	54264	-19308	30592
ene-00	64	10948	59474	51736	3342	25003	48799	0	51736	34471
feb-00	65	12956	58512	55953	3131	26219	53304	0	55953	32293
mar-00	66	19024	59254	67847	2872	24857	74618	17920	49927	34397
abr-00	67	10901	59005	24091	2754	24412	40913	0	24091	34593
may-00	68	93713	67573	0	2995	15925	49184	49500	-49500	51648
jun-00	69	51074	60085	64870	2696	23475	107090	220	64650	36610
jul-00	70	89669	65446	2049	2850	17385	55124	38410	-36361	48061

Tabla 3. - Entradas, salidas y variación de almacenamiento durante el periodo simulado (1994-2001) para la Vega Media (hipótesis E) (m³/día)

ago-00	71	82792	61196	2438	2908	21148	57274	9298	-6860	40048
sep-00	72	19926	60258	79968	2555	21892	92069	75733	4235	38366
oct-00	73	118520	66537	15593	2905	16285	45339	80273	-64680	50252
nov-00	74	8277	67539	22134	2789	14999	34108	183	21951	52540
dic-00	75	15508	68551	53873	2602	14907	75440	12523	41350	53644
ene-01	76	8723	68034	22718	2538	15116	36838	43565	-20847	52918
feb-01	77	9789	67852	21665	2485	15058	37698	14907	6758	52794
mar-01	78	41480	70424	36926	2360	13974	88381	312	36614	56450
abr-01	79	79662	70454	319	2534	14099	43047	47899	-47580	56355
may-01	80	42069	69844	8791	2476	14313	59298	402	8389	55531
jun-01	81	88423	71729	1298	2661	12984	55454	47441	-46143	58745
jul-01	82	88454	71508	46610	2857	12498	45736	55093	-8483	59010
ago-01	83	87552	72585	13146	3068	11311	44635	55976	-42830	61274
sep-01	84	92616	70914	0	3291	11992	46824	55417	-55417	58922

Ta. la 4. - Entradas, salidas y variación de almacenamiento durante el periodo simulado : 1994-2001) para la Vega Baja (hipótesis E) (m³/día).

FECHA	TIEMPO	ENTRADAS				SALIDAS					VARIACION		VARIACION	
		RECARGA	RIO	LAGUNA	ALMACENAMIENTO	DRENES	RIO	LAGUNA	MAR	BOMBEO	ALMACENAMIENTO	ALMACENAMIENTO	LAGUNA	RIO
oct-94	1	196050	1843	11974	215270	83149	38540	29559	1697	42496	252450	-37180	-17585	-36697
nov-94	2	43836	1761	13435	188230	79244	39995	23810	1682	39985	86832	101398	-10375	-38234
dic-94	3	47703	1722	14677	155390	76633	40263	22452	1667	39687	62376	93014	-7775	-38542
ene-95	4	18356	1840	18180	161260	73906	39505	20757	1628	45628	39471	121789	-2577	-37665
feb-95	5	34237	1906	20352	138050	72293	39042	19838	1613	42198	36543	99507	514	-37136
mar-95	6	58120	1927	21231	121740	71436	38816	19769	1624	61586	27862	93878	1462	-36889
abr-95	7	88108	1887	20369	105970	71372	38520	20093	1662	73095	30204	75766	276	-36633
may-95	8	86890	1859	19536	92658	71488	38209	19457	1700	64907	24455	68203	79	-36350
jun-95	9	98941	1839	18488	96723	71778	37715	19460	1740	80409	23940	72783	-972	-35876
jul-95	10	51039	2052	22003	132660	70287	35744	19162	1717	88866	8327	124333	2841	-33692
ago-95	11	73139	2131	22463	109940	69969	34873	19081	1725	86777	10076	99864	3382	-32742
sep-95	12	178530	1806	14133	49153	73005	36049	20523	1855	72409	61280	-12127	-6390	-34243
oct-95	13	58061	2106	19434	86537	70743	33709	20508	1813	48862	9774	76763	-1074	-31603
nov-95	14	69136	2391	23738	88889	68476	32334	23495	1752	46292	25982	62907	243	-29943
dic-95	15	279080	1715	1	6178	74223	36032	25584	1958	46601	134000	-127822	-25583	-34317
ene-96	16	49407	2110	12903	92798	71012	33089	23652	1890	49120	1920	90878	-10749	-30979
feb-96	17	72056	2200	12573	64019	70521	32857	22336	1863	43444	2486	61534	-9763	-30657
mar-96	18	123450	2198	10067	56700	70869	32878	24329	1885	66147	21044	35656	-14262	-30680
abr-96	19	193410	1918	0	27301	73653	33986	25138	1994	73198	49620	-22319	-25138	-32068
may-96	20	122430	1976	0	47660	73537	33099	24485	2012	63498	10604	37056	-24485	-31123
jun-96	21	155330	1946	0	47503	74494	32827	25566	2049	79668	24554	22949	-25566	-30881
jul-96	22	182320	1819	0	41221	76729	33192	25410	2129	85578	37082	4139	-25410	-31373
ago-96	23	172690	1812	0	41442	77574	32558	26295	2167	85826	26548	14894	-26295	-30746
sep-96	24	439220	1513	0	1878	81706	34344	43129	2334	71005	241760	-239882	-43129	-32831
oct-96	25	312000	1804	0	36813	78885	31585	55127	2276	23284	191720	-154907	-55127	-29781
nov-96	26	196500	1518	0	43621	82398	33830	41142	2334	30278	83048	-39427	-41142	-32312
dic-96	27	41021	1830	0	118690	79217	41427	36563	2199	29974	6000	112690	-36563	-39597
ene-97	28	86355	1936	0	57093	78221	36177	35565	2121	18327	8020	49073	-35565	-34241
feb-97	29	17811	2244	0	109480	75534	39677	32416	2006	13473	1522	107958	-32416	-37433
mar-97	30	205850	1887	0	3960	79208	27018	33992	2109	26935	75462	-71502	-33992	-25131
abr-97	31	288980	1531	0	0	83549	34575	36732	2268	21004	144160	-144160	-36732	-33044
may-97	32	186380	1466	0	7876	84590	33878	35023	2308	20068	53430	-46464	-35023	-32412
jun-97	33	367210	1050	0	956	90831	36770	39228	2500	22637	209220	-208264	-39228	-35720
jul-97	34	200020	1042	0	12851	91281	32911	36929	2510	26012	59374	-46523	-36929	-31869
ago-97	35	183210	1009	0	12412	91954	33700	35818	2496	24345	44291	-31879	-35818	-32691
sep-97	36	549950	677	0	0	100120	39655	50941	2750	19849	368170	-368170	-50941	-38978
oct-97	37	54400	899	0	108090	93810	43003	41951	2533	10475	8038	100052	-41951	-42104
nov-97	38	34879	1057	0	121230	90272	43418	37819	2342	17078	2894	118336	-37819	-42361
dic-97	39	72977	1206	0	77782	88008	40505	36992	2226	16942	2984	74798	-36992	-39299
ene-98	40	59507	1406	0	88054	85379	38949	35867	2123	21230	1728	86326	-35867	-37543
feb-98	41	16195	1692	0	114480	82335	36005	32734	2012	15028	882	113598	-32734	-34313
mar-98	42	125450	1545	0	32056	83644	23273	32085	2051	26235	27895	4161	-32085	-21728
abr-98	43	149240	1463	0	12452	84532	34524	32277	2100	24361	21549	-9097	-32277	-33061
may-98	44	223370	1205	0	281	87461	29319	33283	2212	15941	92220	-91939	-33283	-28114
jun-98	45	149890	1210	0	16780	87407	41170	32436	2227	25388	16376	404	-32436	-39961
jul-98	46	211710	1022	0	2861	90005	32126	32690	2310	27748	67892	-65031	-32690	-31104
ago-98	47	189900	965	0	13773	91005	42210	32741	2347	35188	38735	-24962	-32741	-41245
sep-98	48	217670	906	0	4513	92099	32508	34800	2382	31631	67366	-62853	-34800	-31602
oct-98	49	34475	1212	0	119880	87206	46694	32218	2217	24310	2647	117233	-32218	-45482
nov-98	50	130810	1264	0	37273	86277	43203	33949	2165	27988	13012	24261	-33949	-41939
dic-98	51	304800	960	0	1549	90145	40603	38327	2295	25892	143520	-141971	-38327	-39643
ene-99	52	57755	1332	0	105100	85282	46075	36219	2157	32449	128	104972	-36219	-44743
feb-99	53	29910	1592	0	123560	82449	48997	32750	2041	25925	133	123427	-32750	-47405
mar-99	54	110320	1735	0	46757	82528	31051	32446	2037	39868	6894	39863	-32446	-29316
abr-99	55	133420	1520	0	24081	83289	32099	31607	2074	37479	8946	15135	-31607	-30579
may-99	56	171420	1397	0	10655	84936	41831	31695	2142	33778	25030	-14375	-31695	-40434
jun-99	57	138980	1419	0	30507	84898	44254	31223	2155	38924	5357	25150	-31223	-42835
jul-99	58	196500	1242	0	10841	87124	42411	31542	2231	41365	38970	-28129	-31542	-41169
ago-99	59	156560	1263	0	20176	87043	42953	31641	2240	43191	7062	13114	-31641	-41690
sep-99	60	294110	977	0	11207	91696	36492	33545	2388	36702	128220	-117013	-33545	-35515
oct-99	61	84466	1265	0	67488	86863	36049	34192	2248	24573	6038	61450	-34192	-34784
nov-99	62	32763	1525	0	117530	83559	42090	31075	2111	30080	229	117301	-31075	-40565
dic-99	63	36431	1768	0	105220	80765	40150	29819	2007	30147	16541	88679	-29819	-38382
ene-00	64	102270	1816	0	42007	80171	38590	30328	1988	28468	1880	40127	-30328	-36775
feb-00	65	25786	2140	0	109330	77301	40560	28359	1904	24843	151	109179	-28359	-38420
mar-00	66	42355	2353	0	103260	75467	40198	27653	1848	37999	63057	40203	-27653	-37845
abr-00	67	38385	2602	0	104830	73525	38589	27017	1798	43031	0	104830	-27017	-35988
may-00	68	191220	3687	0	2322	77396	25279	27547	1945	32255	66540	-64218	-27547	-21593
jun-00	69	109770	2275	0	51758	76186	38606	28321	1948	49501	3113	48645	-28321	-36331
jul-00	70	170590	2653	0	15576	78353	27039	28344	2033	52789	33837	-18261	-28344	-24386
ago-00	71	165340	1959	0	20545	79490	32974	28663	2092	55505	22587	-2042	-28663	-31015
sep-00	72	50873	2314	0	98617	76177	35035	28021	1996	45395	329	98289	-28021	-32721
oct-00	73	472680	2515	0	0	86428	28403	36819	2333	24398	326310	-326310	-36819	-25888
nov-00	74	23388	2808	0	104720	80359	25610	31444	2171	23459	4132	100589	-31444	-22802
dic-00	75	23575	2846	0	97712	77443	25602	29105	2034	24569	1805	95907	-29105	-22756
ene-01	76	100230	2850	0	54610	75217	26061	33923	1953	24961	30504	24106	-33923	-23211
feb-01	77	82724	2851	0	38775	74123	26389	32473	1914	19807	4388	34387	-32473	-23538
mar-01	78	73198	3374	0	53051	73732	24640	29938	1901	32147	2105	50946	-29938	-21266
abr-01	79	249480	2905	0	253	78912	26190	31237	2082	28834	117520	-117267	-31237	-23285
may-01	80	93271	2719	0	31247	77105	26300	30286	2049	25259	1135	30112	-30286	-23581
jun-01	81	260050	3454	0	1325	79605	23895	37638	2137	29051	124510	-123185	-37638	-20441
jul-01	82	183030	3868	0	8794	81457	23434	34395	2201	32202	55300	-46506	-34395	-19566
ago-01	83	176780	5002	0	5838	82846	21850	33647	2240	34031</				

Tabla 5. - Entradas, salidas y variación de almacenamiento durante el periodo simulado (1994-2001) para la Vega Media y Baja (hipótesis E) (m³/día).

FF	TIEMPO	ENTRADAS				SALIDAS				VARIACION			
		RECARGA	RIO	LAGUNA	ALMACENAMIENTO	DRENES	RIO	LAGUNAS Y MAR	BOMBEO	ALMACENAMIENTO	ALMACENAMIENTO	LAGUNA	RIO
dic-94	1	205210	47888	11974	294300	88872	75892	36999	78687	266380	27920	-25025	-28004
ene-95	2	52685	50686	13435	260840	84627	77949	31420	80036	90627	170213	-17985	-27263
feb-95	3	58703	52683	14677	232220	81596	77245	30109	92222	62864	169356	-15432	-24562
mar-95	4	29171	54126	18180	230580	78542	75487	28321	92162	39503	191077	-10141	-21361
abr-95	5	45196	55343	20352	208320	76578	73214	27342	95539	36545	171775	-6990	-17871
may-95	6	86741	56137	21231	188090	75404	71264	27321	129450	27870	160220	-6090	-15127
jun-95	7	116500	57078	20369	170690	75028	68975	27807	143260	30205	140485	-7438	-11897
jul-95	8	116230	58345	19536	153460	74877	66994	27290	135460	24534	128926	-7754	-8649
ago-95	9	139010	58987	18488	141560	75013	65664	27414	148400	24011	117549	-8926	-6677
sep-95	10	81295	60441	22003	194290	73279	61175	27054	167250	8421	185869	-5051	-734
oct-95	11	107440	61683	22463	162940	72769	58802	26986	164370	10184	152756	-4523	2881
nov-95	12	272110	60713	14133	51864	75848	60580	28860	152530	66724	66724	-14727	133
dic-95	13	88754	62267	19434	120240	73429	56041	28801	102740	11118	109122	-9367	6226
ene-96	14	81241	63608	23738	138280	70989	53113	31853	101160	26065	112215	-8115	10495
feb-96	15	292860	63292	1	29231	76621	56384	34794	99117	134360	-105129	-34793	6908
mar-96	16	69789	63933	12903	118090	73348	52776	32789	91132	2380	115711	-19886	11157
abr-96	17	105910	64171	12573	82204	72817	52251	31376	93151	3062	79143	-18803	11920
may-96	18	178000	64414	10067	66811	73142	52112	33549	128140	22026	44785	-23482	12302
jun-96	19	257650	63568	0	28262	75986	53680	34808	112520	62456	-34194	-34808	9888
jul-96	20	182290	63279	0	48363	75912	52717	34275	105810	25312	23051	-34275	10562
ago-96	21	232410	63016	0	49590	76896	52646	35569	143270	36337	13253	-35569	10370
sep-96	22	284080	61717	0	41449	79305	54170	35708	131690	86088	-44639	-35708	7547
oct-96	23	250840	61423	0	41876	80203	53409	36805	135480	47993	-6117	-36805	8014
nov-96	24	502880	61189	0	2248	84337	55173	55178	124160	246880	-244632	-55178	6016
dic-96	25	324520	62903	0	77991	81334	50745	68537	72250	192260	-114269	-68537	12158
ene-97	26	243850	62212	0	43826	84891	53822	54977	69100	87776	-43950	-54977	8390
feb-97	27	78386	64985	0	126900	81693	58978	50010	72309	7422	119478	-50010	6007
mar-97	28	139680	66876	0	57141	80795	52380	48787	92327	31808	25333	-48787	14496
abr-97	29	28579	64713	0	137600	77996	57898	45179	48900	1560	136040	-45179	6815
may-97	30	276490	73747	0	3960	81811	39004	47042	77032	108740	-104780	-47042	34743
jun-97	31	387880	67602	0	1	86454	50338	50410	47446	219910	-219909	-50410	17264
jul-97	32	269770	66726	0	7883	87702	50122	48846	47206	110360	-102478	-48846	16604
ago-97	33	454880	65846	0	957	94129	53762	53827	61719	258000	-257043	-53827	12084
sep-97	34	304010	65808	0	12851	94891	49458	51613	53434	133200	-120349	-51613	16350
oct-97	35	281530	64285	0	12412	95848	51587	50411	52345	107780	-95368	-50411	12698
nov-97	36	648910	62735	0	0	104250	59405	67087	58216	422110	-422110	-67087	3330
dic-97	37	85395	59838	0	124010	97829	67133	57626	37872	9299	114711	-57626	-7295
ene-98	38	43663	59927	0	161710	94098	67993	52786	48136	2901	158809	-52786	-8066
feb-98	39	82371	61918	0	119220	91652	62728	51492	54867	2986	116234	-51492	-810
mar-98	40	67077	62924	0	119330	88922	60160	49945	49638	1737	117593	-49945	2764
abr-98	41	23134	64987	0	140190	85787	55541	46227	40507	886	139304	-46227	9446
may-98	42	195140	72649	0	32063	87275	36096	45427	65215	65546	-33483	-45427	36553
jun-98	43	227170	65381	0	12452	88368	53700	45588	51602	65350	-52898	-45588	11681
jul-98	44	310880	67921	0	281	91537	45572	46822	47288	147200	-146919	-46822	22349
ago-98	45	233430	61132	0	16831	91599	65578	45896	67521	40867	-24036	-45896	-4446
sep-98	46	328620	64106	0	2861	94552	51829	46265	61244	141180	-138319	-46265	12277
oct-98	47	292550	58731	0	13800	95731	69621	46330	67061	67061	-71813	-46330	-10890
nov-98	48	313520	62348	0	4513	97001	54206	48533	72741	107400	-102887	-48533	8142
dic-98	49	47917	57202	0	173640	91790	78888	45380	60745	2648	170992	-45380	-21686
ene-99	50	142290	58565	0	81637	90640	72312	46966	59506	13012	68625	-46966	-13747
feb-99	51	421810	58143	0	1550	94847	69343	51974	65963	199150	-197600	-51974	-11200
mar-99	52	67318	57034	0	160150	89645	79028	49587	66739	128	160022	-49587	-21994
abr-99	53	41610	56112	0	184060	86530	84140	45645	66070	133	183927	-45645	-28028
may-99	54	152920	63848	0	59283	86550	52676	45203	83930	7414	51869	-45203	11172
jun-99	55	204860	62998	0	24693	87440	54542	44338	74814	31451	-6758	-44338	8456
jul-99	56	264070	57962	0	10714	89235	71521	44516	77710	49372	-38658	-44516	-13559
ago-99	57	214730	56904	0	50511	89076	75718	43983	108030	5708	44803	-43983	-18814
sep-99	58	298330	56708	0	11822	91432	73208	44437	92310	64959	-53137	-44437	-16500
oct-99	59	233720	56355	0	23230	91339	74491	44507	92702	9007	14223	-44507	-18136
nov-99	60	375430	59972	0	1000	95997	61365	46870	97582	134330	-133330	-46870	-1393
dic-99	61	95957	60893	0	117120	90874	60419	47229	69202	6782	110338	-47229	474
ene-00	62	43238	58432	0	169110	87359	70874	43599	69436	229	168881	-43599	-12442
feb-00	63	49023	59612	0	140180	84323	67402	41876	85933	21967	118213	-41876	-7790
mar-00	64	113210	61290	0	93743	83513	63593	42243	77267	1880	91863	-42243	-2303
abr-00	65	38741	60652	0	165290	80431	66779	39876	78147	152	165138	-39876	-6127
may-00	66	61378	61607	0	171100	78339	65055	38845	112620	80977	90123	-38845	-3448
jun-00	67	49286	61607	0	128920	76279	63001	37913	83945	0	128920	-37913	-1394
jul-00	68	284930	71259	0	2323	80391	41204	38744	81439	116040	-113718	-38744	30055
ago-00	69	160840	62361	0	116630	78883	62081	39510	156590	3333	113297	-39510	280
sep-00	70	260250	68099	0	17625	81202	44424	39730	107910	72247	-54622	-39730	23675
oct-00	71	248140	63155	0	22983	82398	54122	40195	112780	31885	-8902	-40195	9033
nov-00	72	70799	62572	0	178590	78732	56927	39239	137460	404	178186	-39239	5645
dic-00	73	591200	69052	0	15593	89333	44687	49417	69737	406580	-390987	-49417	24365
ene-01	74	31665	70347	0	126850	83148	40609	43654	57567	4314	122536	-43654	29738
feb-01	75	39082	71397	0	151590	80045	40509	40790	100010	1818	149772	-40790	30888
mar-01	76	108950	70883	0	77327	77756	41176	45608	61799	30508	46819	-45608	29707
abr-01	77	92513	70703	0	60440	76608	41446	44162	57506	4403	56037	-44162	29257
may-01	78	114680	73798	0	89977	76092	38614	41520	120530	2417	87560	-41520	35184
jun-01	79	329150	73359	0	572	81446	40289	43329	71881	165420	-164848	-43329	33070
jul-01	80	135340	72564	0	40038	79581	40613	42270	84557	1537	38502	-42270	31951
ago-01	81	348470	75184	0	2623	82265	36879	50276	84505	171950	-169327	-50276	38305
sep-01	82	271480	75376	0	8840	84314	35931	47326	77938	110390	-101550	-47326	39445
oct-01	83	264340	77586	0	5839	85914	33161	46708	78666	102820	-96981	-46708	44425
nov-01	84	258180	75433	0	8066	87235	34375	45842	74562	99308	-91242	-45842	41058

LISTADO DE FICHEROS ADJUNTOS

- **Ficheros correspondientes al modelo numérico de la Vega Media y Baja en régimen transitorio disminuyendo la permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento en la Vega Media con respecto al régimen estacionario (Fase III)**

Hipótesis D. BAS

Hipótesis D. BAT

Hipótesis D. BCF

Hipótesis D. BGT

Hipótesis D. CH

Hipótesis D. CLB

Hipótesis D. DDN

Hipótesis D. DRN

Hipótesis D. DVT

Hipótesis D. EVP

Hipótesis D. HDS

Hipótesis D. HVT

Hipótesis D. INI

Hipótesis D. LST

Hipótesis D. MBT

Hipótesis D. MCH

Hipótesis D. MCP

Hipótesis D. MDB

Hipótesis D. MDS

Hipótesis D. MPS

Hipótesis D. MRK

Hipótesis D. MSS

Hipótesis D. MTD

Hipótesis D. MTH

Hipótesis D. MTI

Hipótesis D. MTN

Hipótesis D. MTS

Hipótesis D. MTT

Hipótesis D. MTV

Hipótesis D. OC

Hipótesis D. PCG

Hipótesis D. RCH

Hipótesis D. RIV

Hipótesis D. SIP

Hipótesis D. VBB

Hipótesis D. VBH

Hipótesis D. VBT

Hipótesis D. VCS

Hipótesis D. VMA

Hipótesis D. VMB

Hipótesis D. VME

Hipótesis D. VMF

Hipótesis D. VMG

Hipótesis D. VMH

Hipótesis D. VMI

Hipótesis D. VMN

Hipótesis D. VMO

Hipótesis D. VMP

Hipótesis D. VMR

Hipótesis D. VMT

Hipótesis D. VMV

Hipótesis D. VMW

Hipótesis D. VMZ

Hipótesis D. VOI

Hipótesis D. VOO

Hipótesis D. VOR

Hipótesis D. VVS

Hipótesis D. WEL

Hipótesis D. WHS

Hipótesis D. ZBI

Hipótesis D. ZOT

- **Ficheros correspondientes al modelo numérico de la Vega Media y Baja en régimen transitorio disminuyendo la permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento en la Vega Media y Vega Baja con respecto al régimen estacionario (Fase III)**

Hipótesis E. BAS

Hipótesis E. BAT

Hipótesis E. BCF

Hipótesis E. BGT

Hipótesis E. CH

Hipótesis E. CLB

Hipótesis E. DDN

Hipótesis E. DRN

Hipótesis E. DVT

Hipótesis E. EVP

Hipótesis E. HDS

Hipótesis E. HVT

Hipótesis E. INI

Hipótesis E. LST

Hipótesis E. MBT

Hipótesis E. MCH

Hipótesis E. MCP

Hipótesis E. MDB

Hipótesis E. MDS

Hipótesis E. MPS

Hipótesis E. MRK

Hipótesis E. MSS

Hipótesis E. MTD

Hipótesis E. MTH

Hipótesis E. MTI

Hipótesis E. MTN

Hipótesis E. MTS

Hipótesis E. MTT

Hipótesis E. MTV

Hipótesis E. OC

Hipótesis E. PCG

Hipótesis E. RCH

Hipótesis E. RIV

Hipótesis E. SIP

Hipótesis E. VBB

Hipótesis E. VBH

Hipótesis E. VBT

Hipótesis E. VCS

Hipótesis E. VMA

Hipótesis E. VMB

Hipótesis E. VME

Hipótesis E. VMF

Hipótesis E. VMG

Hipótesis E. VMH

Hipótesis E. VMI

Hipótesis E. VMN

Hipótesis E. VMO

Hipótesis E. VMP

Hipótesis E. VMR

Hipótesis E. VMT

Hipótesis E. VMV

Hipótesis E. VMW

Hipótesis E. VMZ

Hipótesis E. VOI

Hipótesis E. VOO

Hipótesis E. VOR

Hipótesis E. VVS

Hipótesis E. WEL

Hipótesis E. WHS

Hipótesis E. ZBI

Hipótesis E. ZOT

**A.3. FICHEROS DE DATOS UTILIZADOS POR
VISUAL MODFLOW**

A

Appendix A, Visual MODFLOW Data Files

This chapter,

- lists the data files and
- describes their formats.

Visual MODFLOW stores all information in a set of data files. All input files are ASCII files, whereas some output files are binary. The input files can be manipulated using a text editor, rather than using Visual MODFLOW's graphical user interface. The useful checks, which Visual MODFLOW performs on all data inputted during the graphical input, are not done on input files manipulated in a text editor. If any formatting mistakes are in the input file, Visual MODFLOW will not process it. **It is not recommended - other than in special situations - to edit the data files using a text editor.**

Visual MODFLOW Internal Data Files

When you generate a new data set in Visual MODFLOW, a number of ASCII files are created. Each one of these data files must remain in the same directory to run Visual MODFLOW using this data set. These files are listed below, where *filename* is the name you assigned to your data set (*anyname* does not have to be the same as *filename*) when you created the data set. A description of the content of each file is given below.

The format of the files with an * are detailed further in the next section.

General Files

<i>anyname</i> .DXF	AUTOCAD Data Exchange Format (DXF) drawing file for a digitized map.
<i>anyname</i> .MAP	Map file created by Visual MODFLOW from a .DXF file for display in Visual MODFLOW.
<i>filename</i> .EXT	Visual MODFLOW file containing limits for DXF image.
<i>filename</i> .MTV	Visual MODFLOW file containing velocity slice data (not used).
<i>filename</i> .INI	Visual MODFLOW settings file

<i>filename.LDB</i>	Temporary MSACCESS file for database control
<i>filename.MDB</i>	Visual MODFLOW database file
<i>filename.MRK</i>	Visual MODFLOW file containing annotation data.
<i>filename.VBB</i>	Visual MODFLOW file containing options for contour settings.
<i>filename.VBH</i>	Visual MODFLOW file containing options for contour settings.
<i>filename.VBT</i>	Visual MODFLOW file containing options for contour settings.
<i>filename.VCS</i>	Old contour file (old format, empty file).
<i>filename.VME</i>	Visual MODFLOW file containing options for contour settings.
<i>filename.VMF*</i>	Visual MODFLOW basic project file.
<i>filename.VMH</i>	Visual MODFLOW file containing options for contour settings.
<i>filename.VMN</i>	Visual MODFLOW file containing annotation data.
<i>filename.VMQ</i>	Visual MODFLOW file containing options for contour settings.
<i>filename.VMR*</i>	Visual MODFLOW file containing run parameters for MODFLOW, MODPATH, MT3D, and Zone Budget.
<i>filename.VOI</i>	Visual MODFLOW file with the order for the Input Overlays.
<i>filename.VOO</i>	Visual MODFLOW file with the order for the Output Overlays.
<i>filename.VVS</i>	Old velocity display options (old format, empty).

MODFLOW

<i>filename.VIH</i>	Visual MODFLOW file containing the initial head zones defined in the Input module
<i>filename.VMB*</i>	Visual MODFLOW file containing the boundary conditions.
<i>filename.VMG*</i>	Visual MODFLOW file containing the grid definition, inactive zones and cell elevations.
<i>filename.VMO*</i>	Visual MODFLOW file containing flow observation well data
<i>filename.VMO.GRP</i>	Visual MODFLOW file containing group information for the flow observation wells
<i>filename.VMP*</i>	Visual MODFLOW file containing the aquifer properties, i.e., hydraulic conductivities, evapotranspiration, storage coefficients and porosity.
<i>filename.VMW*</i>	Visual MODFLOW file containing the well locations, screen positions, pumping rates and pumping time intervals.

MODPATH

<i>filename.MPS</i>	Visual MODFLOW file containing general information for MODPATH.
<i>filename.VMA</i>	Visual MODFLOW file containing particle information for MODPATH.

MT3D

<i>filename.MAD</i>	Visual MODFLOW file containing advection data.
<i>filename.MBT</i>	Visual MODFLOW file containing basic transport data.

filename.MCH	Visual MODFLOW file containing chemical reaction data.
filename.MDS	Visual MODFLOW file containing dispersion data.
filename.MSS	Visual MODFLOW file containing source/sink data.
filename.MTD	Visual MODFLOW file containing dispersion data.
filename.MTH	Visual MODFLOW file containing recharge flux data.
filename.Conc001.MTI	Visual MODFLOW file containing initial concentration data for species 001.
filename.MTN	Visual MODFLOW file containing constant concentration data.
filename.MTS	Visual MODFLOW file containing point source data.
filename.MTT	Visual MODFLOW file containing transport cell active/inactive data.
filename.VMT	Visual MODFLOW file containing MT3D observation well data
filename.VMT.GRP	Visual MODFLOW file containing group information for MT3D observation wells

Zone Budget

filename.VMZ	Visual MODFLOW file containing Zone Budget information.
--------------	---

Translated Input Files for the Numerical Models

The following files can be generated by Visual MODFLOW during translation:

MODFLOW

MODFLOW.IN	List of translated files that Visual MODFLOW creates for MODFLOW.
filename.BAS	Translated MODFLOW file containing data for the BASIC Package.
filename.BCF	Translated MODFLOW file containing data for the Block-Centred Flow Package.
filename.CH	Translated MODFLOW file containing data for the transient constant head package.
filename.DRN	Translated MODFLOW file containing data for the Drain Package.
filename.EVP	Translated MODFLOW file containing data for the Evapotranspiration Package.
filename.GHB	Translated MODFLOW file containing data for the General Head Boundary Package.
filename.OC	Translated MODFLOW file containing data for the output control options.
filename.PCG	Translated MODFLOW file containing data for the PCG2 solver.
filename.RCH	Translated MODFLOW file containing data for the Recharge Package.
filename.RIV	Translated MODFLOW file containing data for the River Package.

<i>filename.SIP</i>	Translated MODFLOW file containing data for the SIP solver.
<i>filename.SOR</i>	Translated MODFLOW file containing data for the SOR solver.
<i>filename.WAL</i>	Translated MODFLOW file containing data for the Horizontal Flow Boundary Package.
<i>filename.WEL</i>	Translated MODFLOW file containing data for the Well Package.
<i>filename.WHS</i>	Translated MODFLOW file containing data for the WHS Solver.

MODPATH

BACKWARD.IN	Translated MODPATH file containing the particles locations for MODPATH to track in the backward direction.
BACKWARD.PTH	Translated MODPATH file containing run options for tracking particles in the backward direction.
FORWARD.IN	Translated MODPATH file containing the particles locations for MODPATH to track in the forward direction.
FORWARD.PTH	Translated MODPATH file containing run options for tracking particles in the forward direction.
<i>filename.MPT</i>	Translated MODPATH file containing the main MODPATH data.
MODPATH.IN	Translated MODPATH file containing list of files that Visual MODFLOW creates for use in MODPATH.

MT3Dxx/RT3D

<i>filename.AD3</i>	Translated MT3D/RT3D file containing Advection data.
<i>filename.BT3</i>	Translated MT3D/RT3D file containing Basic Transport data.
<i>filename.DP3</i>	Translated MT3D/RT3D file containing Dispersion data.
<i>filename.GCG</i>	Translated MT3DMS/MT3D99 file containing solver data.
<i>filename.RC3</i>	Translated MT3D/RT3D file containing Chemical Reaction data.
<i>filename.SS3</i>	Translated MT3D/RT3D/ file containing Source / Sink data.
MT3D.IN	Translated MT3D/RT3D file containing the list of files that Visual MODFLOW creates for use in MT3D.

Zone Budget

<i>filename.ZBI</i>	Translated Zone Budget file containing zone data for the Zone Budget program.
ZONEBUD.IN	Translated Zone Budget file containing the list of files that Visual MODFLOW creates for use in Zone Budget.

Output Files

After running the model, a number of results files will be generated. Some of the files generated by Visual MODFLOW can get very large (more than 100 Mbytes!). These files are typically in ASCII format, but some are in binary format to save disk space. The output files are described below.

Note

- * The files marked with an asterisk can get quite large, especially for transient simulations.

General

<i>filename.ASC</i>	Visual MODFLOW output file containing data to be used by plotting programs, such as Surfer (Golden Software) - ASCII format.
<i>filename.PS</i>	Visual MODFLOW output file containing the POSTSCRIPT graphics file - ASCII format.
<i>filename.DXF</i>	Visual MODFLOW output file containing the DXF graphic file - ASCII format.

MODFLOW

<i>filename.DDN</i>	MODFLOW output file containing drawdown X, Y, Z heads for each node - Binary format
<i>filename.DVT</i>	MODFLOW output file containing drawdown versus time results- Binary format
* <i>filename.FLO</i>	MODFLOW output file containing output for input to MT3D cell-by-cell flow terms (See MT3D manual for format) - Binary format
* <i>filename.HDS</i>	MODFLOW output file containing equipotential results - Binary format
* <i>filename.LST</i>	Visual MODFLOW output file containing the listing information and messages from MODFLOW - ASCII format.
<i>filename.HVT</i>	Contains MODFLOW head versus time results - Binary format.

MODPATH

* <i>filename.BGT</i>	MODFLOW file containing water budget data which is used by MODPATH- Binary format.
<i>filename.MPB</i>	MODPATH output file containing backward particle information - ASCII format.
<i>filename.MPF</i>	MODPATH output file containing forward particle information - ASCII format.
* <i>SUMMARY.PTH</i>	MODPATH output file containing listing information and messages from MODPATH - ASCII format.

**filename.CBF* Binary file produced by MODPATH for backward particle tracking - Binary format.

MT3Dxx/RT3D

**filename.CNF* MT3D output file containing model grid configuration file - ASCII format.
**filename.MAS* MT3D output file containing mass balance file - ASCII format.
**filename.OBS* MT3D output file containing concentration at observation points - ASCII format.
**filename.OT* MT3D output file containing listing information and messages from MT3D - ASCII format.
**filename.UCN* MT3D output file containing unformatted concentration information - Binary format.

Zone Budget

filename.ZOT Zone Budget output file containing water balance output data - ASCII format.

Data Structure of Input Data Files

In the following sections, the structure of the Visual MODFLOW input data files are documented. This information is included for the experienced user only. It is not necessary to directly edit the data files. We recommend that you always use the input graphics screens to generate and modify input data since only during the graphical input is the data checked by Visual MODFLOW.

The information in the following formats is written from the bottom to the top. This is done to be consistent with MODFLOW. All input data files are written in free ASCII format, i.e., there is at least one blank space between the numbers in each line. Real numbers require a decimal point and can be expressed in either fixed or scientific notation (e.g., 104.0 or 1.04E2). Integer numbers, however, **MUST NOT** contain a decimal point.

Note: Spaces are the only delimiters accepted; commas are not accepted by Visual MODFLOW as delimiters.

Particle File (.VMA) Format

Particle data are stored as objects. Visual MODFLOW keeps on reading in objects until the end of the file is reached. The three types of particle objects are single particle, line and circle.

For a single particle, the format is:

```
0
1
Tracking (0 = Backward, 1 = Forward)
X Y Z Release_Time
```

For a line, the format is:

```
1
N
Tracking (0 = Backward, 1 = Forward)
X_START Y_START Z_START Release_Time
X_END Y_END Z_END Release_Time
```

For a circle, the format is:

```
2
N
Tracking (0 = Backward, 1 = Forward)
X_CENTER Y_CENTER Z_CENTER Release_Time
Radius
Plane (0 = Along a layer, 1 = along a row, 2 = along a column)
```

Boundary File (.VMB) Format

Visual MODFLOW only saves boundary condition data for cells that have boundary conditions set. The cell location is determined by the i,j,k index of the cell, which corresponds to the values displayed in the Reference cube located in the lower left corner of the Input screen. The format of the data saved depends on the type of boundary condition in the cell. There are 5 boundary types in this file

- 0 Constant Head
- 1 River
- 2 General Head Boundary
- 3 Drain
- 4 Wall

Number_of_Layers
Number_of_Columns
Number_of_Rows
BLANK LINE

For each Constant Head boundary cell:

Layer
Column
Row
0 (*Code for Constant Head boundary type*)
Code_Number
Number_of_Time_Entries
Start_Time₁ Stop_Time₁ Head₁
.
Start_Time_{NE} Stop_time_{NE} Head_{NE}

For each river boundary cell:

Layer
Column
Row
1 (*Code for River Boundary type*)
Code_Number
Number_of_Time_Entries
Start_Time₁ Stop_Time₁ River_Stage₁ River_Bottom₁ Conductance₁

Start_Time_{NE} Stop_time_{NE} River_Stage_{NE} River_Bottom_{NE} Conductance_{NE}

For each General Head Boundary Cell:

Layer

Column

Row

2 (Code for GHB Boundary type)

Code_Number

Number_of_Time_Entries

Start_Time₁ Stop_Time₁ General_Head₁ Conductance₁

Start_Time_{NE} Stop_time_{NE} General_Head_{NE} Conductance_{NE}

For each Drain Boundary cell:

Layer

Column

Row

3 (Code for Drain Boundary type)

Code_Number

Number_of_Time_Entries

Start_Time₁ Stop_Time₁ Drain_Elevation₁ Conductance₁

Start_Time_{NE} Stop_time_{NE} Drain_Elevation_{NE} Conductance_{NE}

For each Wall cell:

Layer

Column

Row

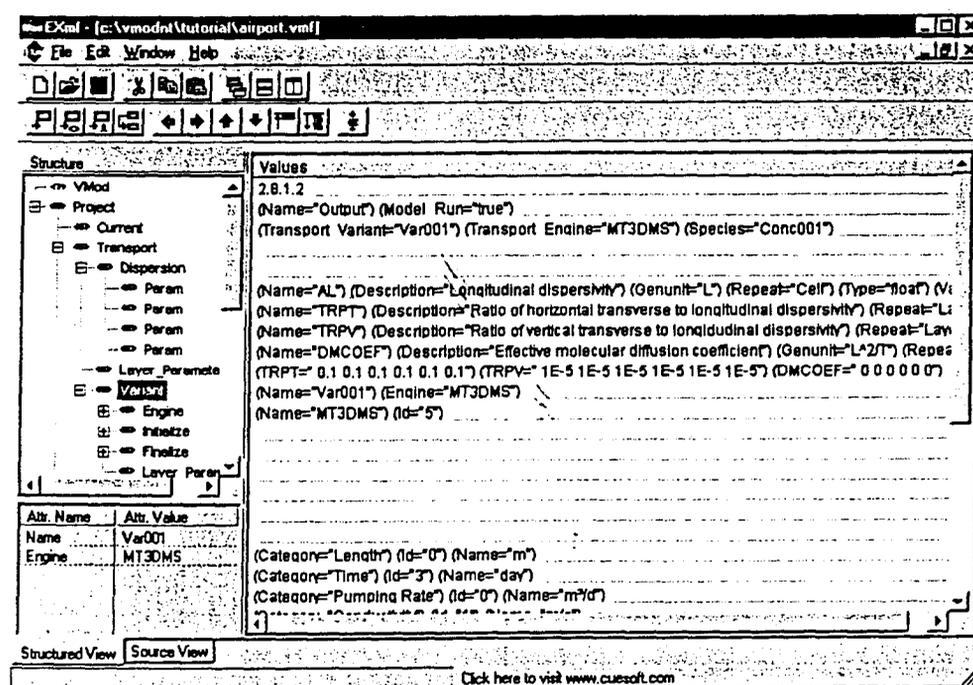
4 (Code for Wall Boundary type)

Face Conductivity Thickness

Parameter	Notes	Type
Face	1 = north, 2 = east, 3 = south, 4 = west	INTEGER

Main Data File (.VMF) Format

The Main Data File format has changed significantly between Visual MODFLOW versions 2.7 and 2.8. Formerly the file structure was a simple space delimited ASCII text file, which could easily be edited by the user. As we have incorporated complex new features into Visual MODFLOW, we have had to increase the complexity of the .VMF file. The new .VMF file is written in XML, which is becoming popular for web-page development. Thus, the new .VMF file is very sensitive to format changes. Included with your Visual MODFLOW CD-ROM is the EXml Viewer[®] from CUESoft[™]. This utility should be used when editing the .VMF file as this will ensure that the syntax of the file remains correct. Below is a typical view of the new .VMF file using the EXml Viewer.



Version 2.7.2 .VMF File for the Airport tutorial

```

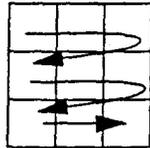
0
3
0
1
1 0 1
40.000000
tutorial\sitemap.map
0 1 -1 14471
D:\VMOD\V2.7.2\distrib\Tutorial\Sitemap.map
0 1 -1 14471
-- END OF DXF --
whi
98-789

```


Grid File (.VMG) Format

The .VMG file contains the row and column coordinates, as well as the elevations of the top and bottom of each cell. It also contains a series of arrays to designate the active/inactive status of every cell.

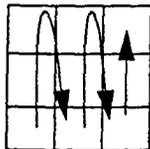
Active Array Looking down on the top of the model, the **active array** for each layer is written starting in the top left and ending in the bottom right



Each element = integer flag (1=active, 0=inactive)

Each line = one model row

Elevation Array Looking down on the top of the model, the **elevation array** for each surface is written starting in the bottom left and ending in the top right



Each element = surface elevation

Each line = one model column

Number_of_columns

X_1

.

.

X_{NC+1} (There is one more column line than the number of columns)

Number_of_rows

Y_1

.

.

Y_{NR+1} (There is one more row line than the number of rows)

Number_of_layers

Z_1 (Layer numbering starts at the bottom and goes to the top)

.

.

.

Z_{NL+1} (There is one more layer line than the number of layers)

BLANK LINE

Active_array_{bottom_layer}

BLANK LINE

.
.

Active_array_{top_layer}

BLANK LINE

BLANK LINE

Number_of_columns

Number_of_rows

Number_of_layers

BLANK LINE

Elevation_array_{bottom_surface}

.
.

Elevation_array_{top_surface}

Heads Observation Data File (.VMO) Format

The .VMO file contains one entry for each heads observation well, where well_name is the name of the

Number_of_wells

Well_name, Observation_name₁

X₁ Y₁ Z₁

NT₁

T_{1,1} H_{1,1}

T_{1,2} H_{1,2}

.

.

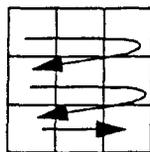
.

T_{1,NT} H_{1,NT}

Symbol	Notes	Type
NW	number of observation wells	INTEGER
WELL NAME _n	name of well; n = well number	TEXT
X _n Y _n Z _n	X, Y, and Z location of well n	REAL
NT _n	Number of times to evaluate head of well n	INTEGER
T _{ni}	time at which to evaluate the head value of well n at time index i	REAL
H _{ni}	value of head for well n and at time index i	REAL

Property File (.VMP) Format

For each property (conductivity, storage, recharge, and evapotranspiration), the .VMP file contains a property value list followed by one integer array for each model layer. The integers in the arrays reference the property numbers in the property value list.



Looking down on the top of the model, the **Index array** for each layer is written starting in the top left and ending in the bottom right

Each element = integer flag = property index

Each line = one model row

```

Number_of_layers
Number_of_rows
Number_of_columns
Number_of_conductivity_properties (NK)
1 KX1 KY1 KZ1
...
NK KXNK KYNK KZNK
BLANK LINE
Conductivity_Index_ArrayBottom_layer
BLANK LINE
...
Conductivity_Index_ArrayTop_layer
BLANK LINE
Number_of_storage_properties (NS)
1 SS1 SY1 Effective_porosity1 Total_Porosity1
...
NS SSNS SYNS Effective_PorosityNS Total_PorosityNS
BLANK LINE
Storage_Index_ArrayBottom_layer
BLANK LINE
...
Storage_Index_ArrayTop_layer
BLANK LINE
Number_of_recharge_properties (NR)
for each recharge property
    Property_number Recharge_multiplier Index
    Number_of_recharge_timesteps rchr entries
    
```

```

Property_number Recharge_value1 Start_time1 Stop_time1
Property_number Recharge_value2 Start_time2 Stop_time2
...
Property_number Recharge_valuensteps Start_timensteps Stop_timensteps
BLANK LINE
Recharge_Index_ArrayBottom_layer
BLANK LINE
...
Recharge_Index_ArrayTop_layer
BLANK LINE
Number_of_evapotranspiration_properties (NE)
for each evapotranspiration property
Property_number Evapo_multiplier Index
Number_of_evapo_timesteps evap entries
Property_number Evapo_value1 Evapo_depth1 Start_time1 Stop_time1
Property_number Evapo_value2 Evapo_depth2 Start_time2 Stop_time2
...
Property_number Evapo_valuensteps Evapo_depthnsteps Start_timensteps Stop_timensteps
BLANK LINE
Evapo_Index_ArrayBottom_layer
BLANK LINE
...
Evapo_Index_ArrayTop_layer

```

Run Options Data File (.VMR) Format

The .VMR file contains all of the options for running MODFLOW. The transport options are in the .VMF file.

Number_of_stress_periods (NSP)

Start₁ Stop₁ Number_of_timesteps₁ Timestep_multiplier₁

...

Start_{NSP} Stop_{NSP} Number_of_timesteps_{NSP} Timestep_multiplier_{NSP}

Solver_code (12101 = PCG, 12102 = SIP, 12103 = SSOR, 12108 = WHSSolv)

Run_code (12098 = Steady-State, 12097 = Transient)

Initial_head_code (12092 = Constant by layer, 12093 = from Surfer file, 12094 = from VMOD run, 12086 = from ASCII file)

Number_of_layers

if constant by layer, for each layer

Layer_number

Head_value

if from Surfer file, for each layer

Layer_number Number_of_nearest_points

Surfer_file_name

--- PCG SECTION --- (See MODFLOW Reference Manual)

MXITER ITER1 NPCOND HCLOSE RCLOSE

RELAX NBOL IPRCG MUTPCG ICGCD

--- SIP SECTION --- (See MODFLOW Reference Manual)

MXITER NPARAM ACCL HCLOSE IPCALC WSEED IPRSIP

--- SOR SECTION --- (See MODFLOW Reference Manual)

MXITER ACCL HCLOSE IPRSOR

Recharge_code (12120 = recharge to top layer, 12121 = recharge to first active layer)

0 (Always = 0)

--- LT SECTION --- (See MODFLOW Reference Manual - BCF2 Package)

Number_of_layers

for each layer

Layer_number

Layer_type

WETFCT THRESH IWETIT IWDFLG WETDRY IHDWET

Number_of_timesteps_to_save_MODFLOW_output

for each saved timestep (1=save, 0=not saved)

BinFterm_i Stress_prd_i Timestep_i LSThead_i LSTddn_i Bud_i LSTFterm_i BinHead_i binDDN_i

Prev_run_filename_for_initial_heads (Blank if heads not from a previous VMOD run)

Output_time_for_initial_heads_from_previous_run

```

Number_of_layers_for_anisotropy
Anisotropy_factor
Print Options {-1's for future options} (-1 if off)
Basic BCF2 Recharge Evapo Heads Drwdn -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
Model Flags
MODFLOW MODPATH ZoneBudget MT3D
--- WHS PCGS SECTION ---
Max_outer_iter Max_inner_iter Head_change_criterion Residual_criterion Damping_factor
Relative_residual_criterion Factorization_level
if ASCII files are used for initial heads
Number_of_layers
for each layer
    Layer_number; Number_of_nearest_nodes;
    ASCII_filename;
--- Init Conc. Import ---
Initial_conc_specification (2 = Surfer, 4 = ASCII, 8 = VMOD, 16 = Specified values)
Number_of_layers
for each layer
    Layer_number; Number_of_nearest_nodes;
    Filename;

```

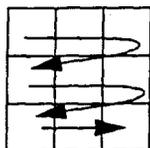
Well File (.VMW) Format

Number_of_wells
For each well
Active_flag (1 = active, 0 = inactive)
WELL NAME, OBS NAME
X-coord
Y-coord
Z_{min}
Z_{max}, R
Number_of_screened_intervals
for each screened interval
Elevation_{top}
Elevation_{bottom}
Number_of_pumping_times
for each pumping time
Start_time
Stop_time
Pumping_rate

Zone Budget Data File (.VMZ) Format

The .VMZ file contains a cell-by-cell array for each layer with the zone number of each cell. The first array is for the bottom layer and the last array is for the top layer. Each cell can belong to only one user-specified zone.

Zone Index Array Looking down on the top of the model, the **Zone Index array** for each layer is written starting in the top left and ending in the bottom right



Each element = integer zone number

Each line = one model row

```
Number_of_layers
Number_of_columns
Number_of_rows
Number_of_zones (Nzones)
1
2
...
Nzones
BLANK LINE
Zone_index_arraybottom
BLANK LINE
...
Zone_index_arraytop
```