

**ACTUALIZACIÓN Y MEJORA DEL MODELO
NUMÉRICO DE FLUJO SUBTERRÁNEO EN LA
VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA
(MURCIA- ALICANTE)**



ABRIL 2006



INFORME	Identificación: H-6 - 001.06
	Fecha 28-4-2006
TÍTULO ACTUALIZACIÓN Y MEJORA DEL MODELO NUMÉRICO DE FLUJO SUBTERRÁNEO EN LA VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA (MURCIA-ALICANTE)	
PROYECTO CONTRIBUCIÓN A LA MEJORA DEL CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LA PROVINCIA DE ALICANTE. MAPA HIDROGEOLÓGICO DE UNIDADES Y MEMORIA SÍNTESIS (1ª FASE)	
RESUMEN El modelo numérico realizado supone un avance considerable sobre el conocimiento hidrogeológico de la Vega del Segura, integrando y sintetizando una elevada densidad de información y los resultados de numerosos estudios anteriores (ITGE-DPA, 1996; ITGE-DPA, 1997; ITGE-DPA, 2000; IGME-CTOT, 2001; IGME-CHS-DPA, 2002). Se trata de un modelo de carácter regional, cuyo objetivo ha sido simular diversas hipótesis de funcionamiento hidrogeológico, teniendo en cuenta la elevada incertidumbre asociada a la información previa disponible. Se revisa, mejora y amplía el modelo hidrogeológico conceptual, y se obtienen parámetros hidráulicos razonables, ajustes de niveles aceptables y balances coherentes, aunque condicionados por las simplificaciones e hipótesis adoptadas. El modelo simula diversas hipótesis de funcionamiento así como diversos escenarios climáticos y/o de explotación a escala regional y de forma cualitativa, sin olvidar la estrecha relación existente entre los resultados obtenidos y las simplificaciones e hipótesis necesariamente adoptadas. En el informe se presentan los resultados obtenidos para diversos escenarios planteados para la Vega Baja del Segura.	
Revisión Nombre: Unidad: Fecha:	Autores: Luis Javier Lambán Jiménez Responsable: Ramón Aragón Rueda

CORREO

itge@itge.mma.es

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

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

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

3.4.2.2.1 Resultados calibración con VMODFLOW 2.7 (análisis de sensibilidad)

3.4.2.2.2 Resultados mejora y actualización del modelo

3.4.2.2.2.1 Ajuste mediante calibración manual

3.4.2.2.2.2 Ajuste mediante calibración automática

3.4.2.2.2.3 Últimas modificaciones y calibración final

3.4.2.3 Discusión y conclusiones

3.4.3. Régimen transitorio

3.4.3.1. Entrada de datos

3.4.3.2. Ajuste y calibración: presentación de resultados

3.4.3.2.1. Simulaciones previas y análisis de sensibilidad preliminar (Fase 1)

3.4.3.2.2. Calibración mediante tanteo de los parámetros de almacenamiento a partir de la conductividad hidráulica en régimen estacionario (Fase 2).

3.4.3.2.3. Calibración mediante tanteo de los parámetros de almacenamiento y conductividad hidráulica (Fase 3).

3.4.3.2.4. Calibración teniendo en cuenta la mejora del modelo numérico (Fase 4)

3.4.3.2.5 Últimas modificaciones y calibración final (Fase 5)

3.4.3.3. Discusión y conclusiones

3.5. INCERTIDUMBRE Y VALIDEZ DEL MODELO NUMÉRICO

4. SIMULACIÓN NUMÉRICA DE DIVERSOS ESCENARIOS DE EXPLOTACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA VEGA BAJA DEL SEGURA

4.1. INTRODUCCIÓN

4.2. CONTEXTO DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS

4.2.1. **Modelo numérico y zona de estudio**

4.2.2. **Escenarios o simulaciones propuestas: hipótesis iniciales**

4.3. ESCENARIOS Y SIMULACIONES REALIZADAS: RESULTADOS OBTENIDOS

4.3.1. **Escenario 1 (Inicial)**

4.3.2. **Escenario 2: “Los Cabezos” y desaladoras (bombeo constante y continuo)**

- 4.3.3. **Escenario 3: “Los Cabezos” y desaladoras (bombeo no constante y continuo)**
- 4.3.4. **Escenario 4 “Los Cabezos” y desaladoras (bombeo constante y no continuo)**
- 4.3.5. **Escenario 5: “Los Cabezos” y desaladoras (Bombeo variable según demanda y continuo)**
- 4.3.6. **Escenario 6: “Los Cabezos” y desaladoras (Bombeo variable según demanda no continuo)**
- 4.3.7. **Escenario 7: Dren o zanja drenante en la desembocadura del Río Segura.**

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

Las primeras investigaciones hidrogeológicas en la Vega 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 las características generales de dichas vegas, considerándolas como una sola unidad hidrogeológica.

Posteriormente, durante los años 1995 a 2000, el IGME ha realizado, en convenio con la Diputación Provincial de Alicante, un completo estudio hidrogeológico en la Vega Baja con la finalidad de analizar la posibilidad de aprovechar sus recursos hídricos subterráneos salobres. Tomando como punto de partida este estudio así como las investigaciones y trabajos realizados más recientemente en la Vega Media, se elaboró un primer modelo numérico de flujo subterráneo en el que se sintetizó e integró por primera vez toda la información previa disponible en ambas Vegas (IGME-CHS-DPA, 2002).

Dicho modelo permitió revisar el modelo conceptual así como simular y calibrar diversas hipótesis de funcionamiento hidrogeológico regional obteniendo 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 de la elevada heterogeneidad del medio, el número de elementos y parámetros implicados en el funcionamiento del acuífero, las importantes acciones y modificaciones realizadas con respecto a las condiciones naturales y la escasa cantidad y calidad de la información previa disponible (parámetros hidráulicos, niveles piezométricos representativos...).

El presente informe tiene por objeto la actualización y mejora de dicho modelo numérico, incorporando nuevos datos y mejorando el conocimiento sobre el funcionamiento regional del acuífero. Dicha mejora se ha centrado por una parte en una mejor definición geométrica del modelo y, por otra, en la modificación y/o sustitución de determinadas condiciones de contorno con objeto de disponer de una herramienta mucho más sensible tanto a los parámetros como a las diferentes variables del modelo. La utilización de versiones más

recientes y actualizadas del código numérico permite un mejor pre y postprocesado de los datos, facilitando la entrada y visualización de la información de partida y resultados. Así mismo, la posibilidad de realizar calibraciones automáticas permite confirmar y/o completar los parámetros y/o resultados obtenidos mediante calibración manual.

La actualización y mejora del modelo numérico de la Vega Media y Baja del Segura permite disponer de una herramienta actualizada que integra y sintetiza tanto la información previa disponible como el conocimiento hidrogeológico obtenido hasta el momento, permitiendo: a) revisar, actualizar y completar o mejorar el modelo hidrogeológico conceptual y b) simular distintas hipótesis de funcionamiento hidrogeológico regional así como diversos escenarios climáticos y/o de explotación, lo que permite estimar la influencia de dichos escenarios en el funcionamiento hidrodinámico del acuífero. Dicho modelo permite además ir incorporando nueva información a medida que aumente la infraestructura y conocimiento hidrogeológico disponible así como aprovechar los datos y resultados obtenidos hasta el momento.

1.2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

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

Desde el punto de vista geográfico 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 1.1). Este sistema acuífero constituye la continuación hacia el NE de la fosa tectónica del Guadalentín, con cuyo acuífero limita o conecta hidrogeológicamente mediante un cambio de facies, de más arcillosa, en el relleno del

Guadalentín, a más detrítica gruesa, en el del río Segura. La formación acuífera es un relleno pliocuaternalio aluvial formado por gravas y arenas con intercalaciones arcillosas, cuya proporción con respecto a los tramos permeables aumenta en el sentido de aguas abajo, de forma que el interés hidrogeológico es mayor en la Vega Media. Aguas arriba de la ciudad de Murcia, el acuífero bajo condiciones naturales o poco influenciadas estaba constituido por un único tramo con comportamiento o de carácter libre. Aguas abajo se diferencian diversos tramos permeables cuyo número aumenta hacia la Vega Baja, en un lógico proceso de indentación progresiva de niveles.

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

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. 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 1.2)

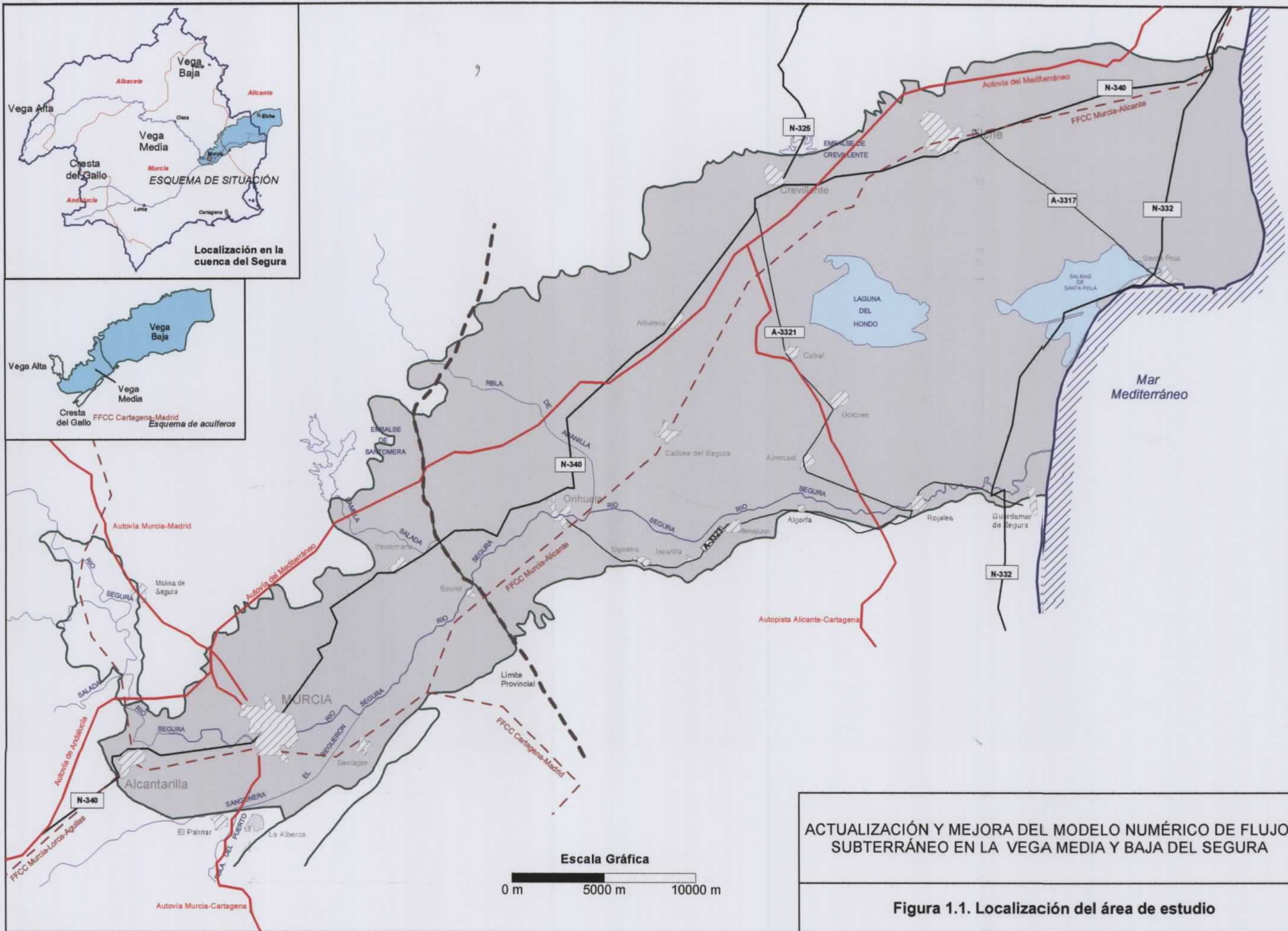
El uso de las aguas subterráneas ha sido siempre relativamente escaso, sobre todo, si se compara con los volúmenes de agua aplicados para riego, procedentes de los embalses de cabecera de la cuenca (regadío tradicional) y, en menor medida, con los del Trasvase Tajo-Segura. No obstante, en la década de los noventa y debido a la escasez de recursos, el uso se ha incrementado notablemente para cubrir las demandas. En la Figura 1.3. se localizan los puntos principales de bombeo de agua subterránea durante el período de estudio.

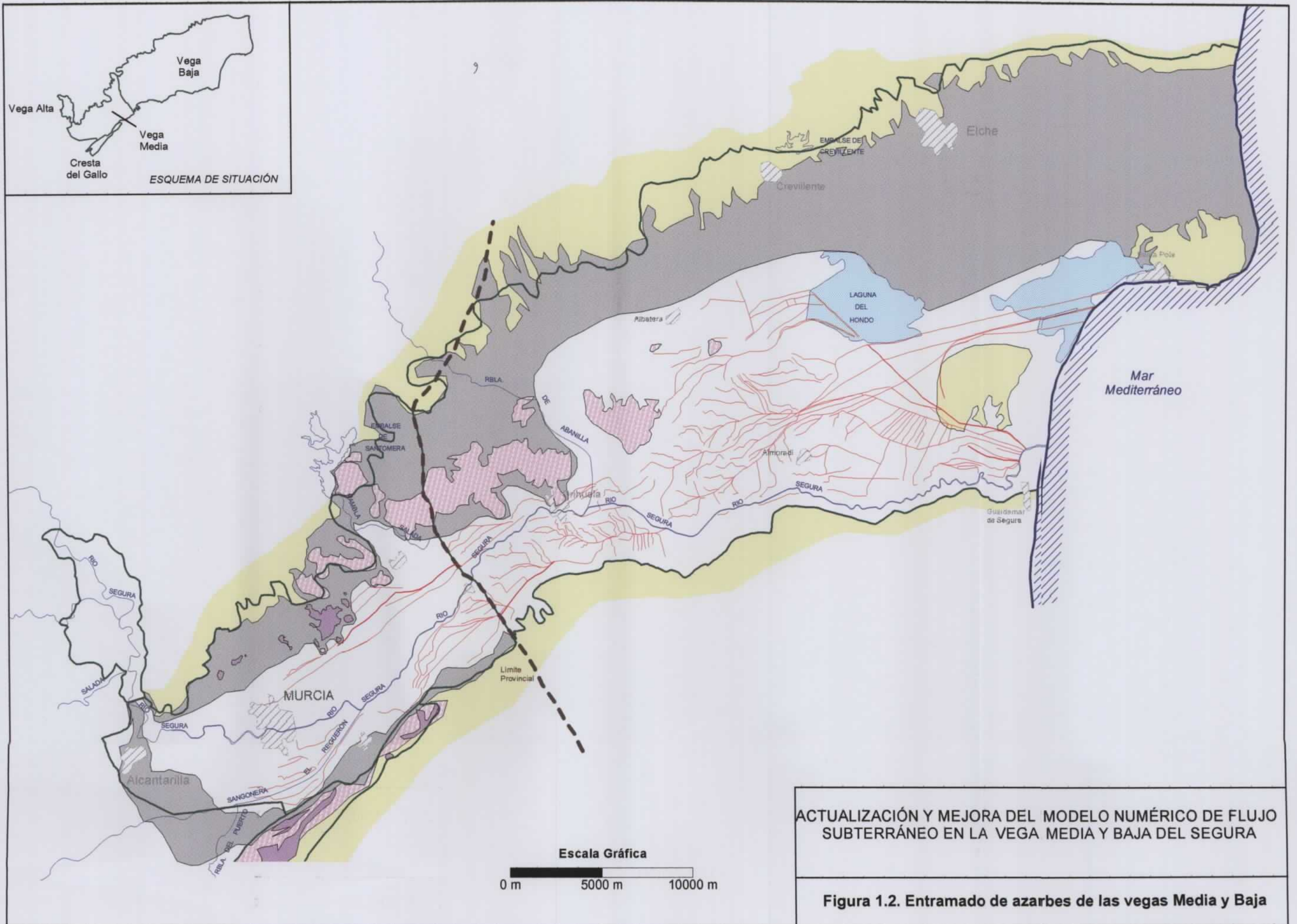
1.3. EQUIPO DE TRABAJO

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).
- Juan Antonio Hernández (DPA).

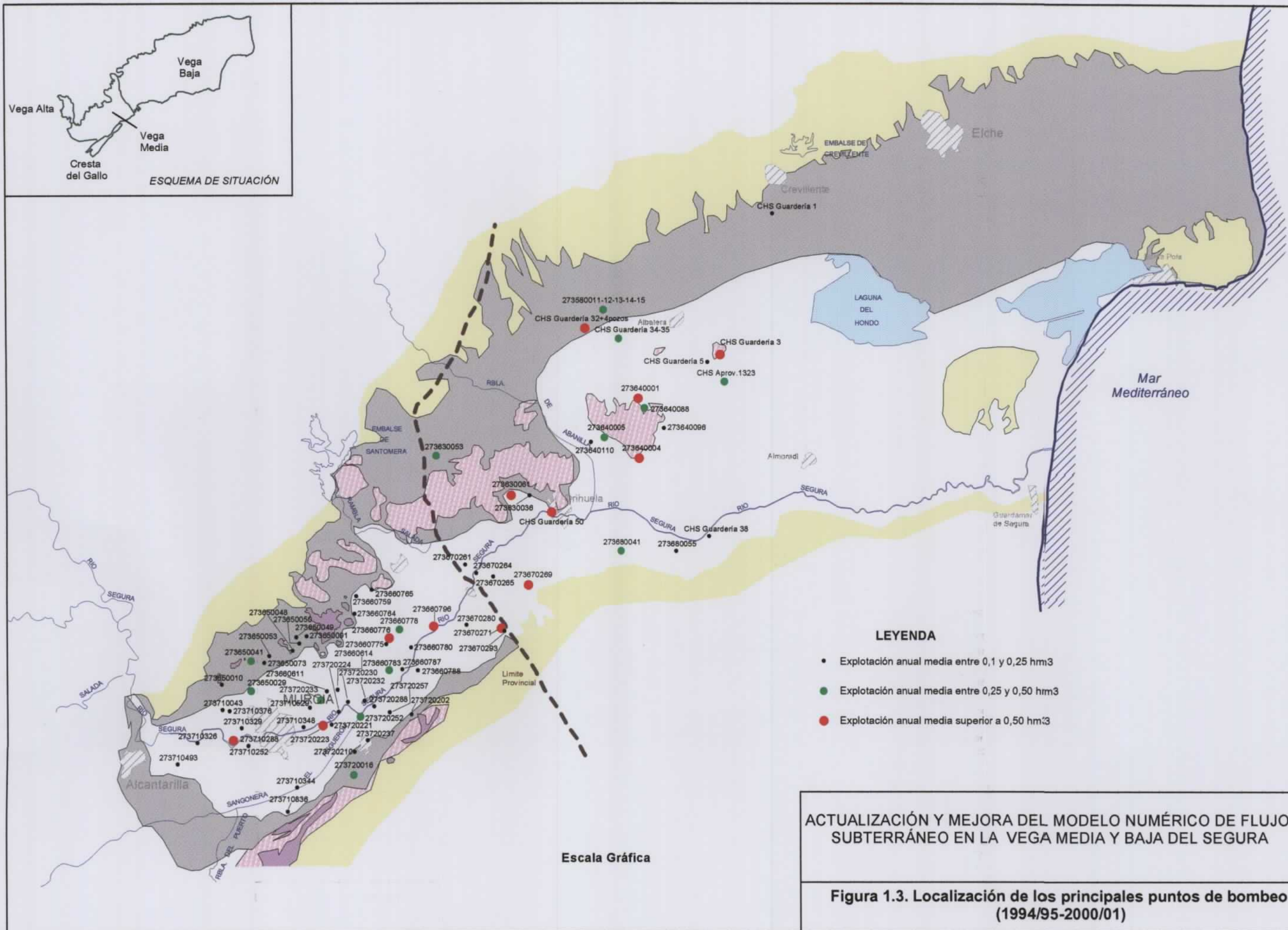
Durante algunas de las etapas del trabajo también han colaborado los Técnicos: José Luis García Aróstegui (IGME), Jorge Enrique Hornero Díaz (IGME), Ana Isabel Fernández Grillo (IGME) y Miguel Fernandez Mejuto (DPA).





ACTUALIZACIÓN Y MEJORA DEL MODELO NUMÉRICO DE FLUJO SUBTERRÁNEO EN LA VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 1.2. 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 Tránsito 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.

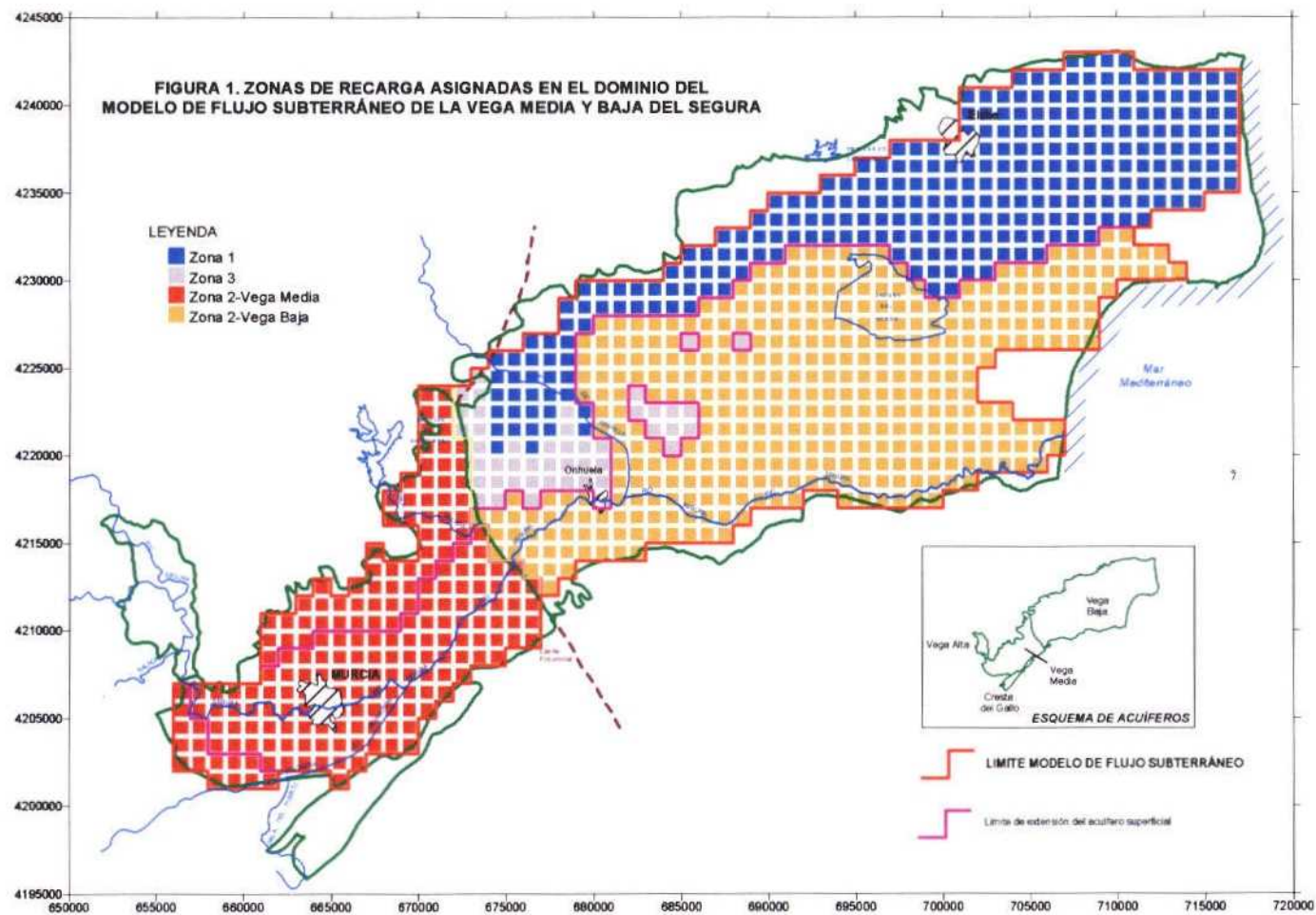


Figura 2.1. Zonificación preliminar realizada con objeto de evaluar la recarga en la Vega Media y Baja del Segura

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

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

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

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

Tabla 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 (m3/ha/año)	Dotación bruta (m3/ha/año)	Demanda neta (hm3/año)	Demanda bruta (hm3/año)	Nº riegos anuales
UDA 32. Tradicional Vega Media								
FORRAJE	4,28	610	415	12150	14284	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	1328	901	4040	4753	3,64	4,28	6
HORT RAIZ	0,99	99	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	1860	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	8,78	9
FORRAJE	0,89	18	12	12150	14284	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		2053	1397	5770	6789	8,06	9,49	
UDA 36. Regadós de acuíferos n la Vega Media								
CITRICOS	92,72	2608	1774	7200	8471	12,77	15,02	11
ALMENDRO	5,35	150	102	2400	2824	0,25	0,29	4
OLIVO	1,93	54	37	1600	1882	0,06	0,07	2
TOTAL		2813	1913	6835	8041	13,07	15,38	
VEGA MEDIA								
TOTAL		19122	13003					

Coef, cultivos o de concentración parcelaria: 0.80

Coef, rotación o aprovechamiento: 0.85

Coef, eficiencia riego: 0.85

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

Tabla 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	13625852	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 el tipo de cultivo predominante, forma de riego, pendiente 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 Alicante” (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 del acuífero bajo condiciones poco influenciadas (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).

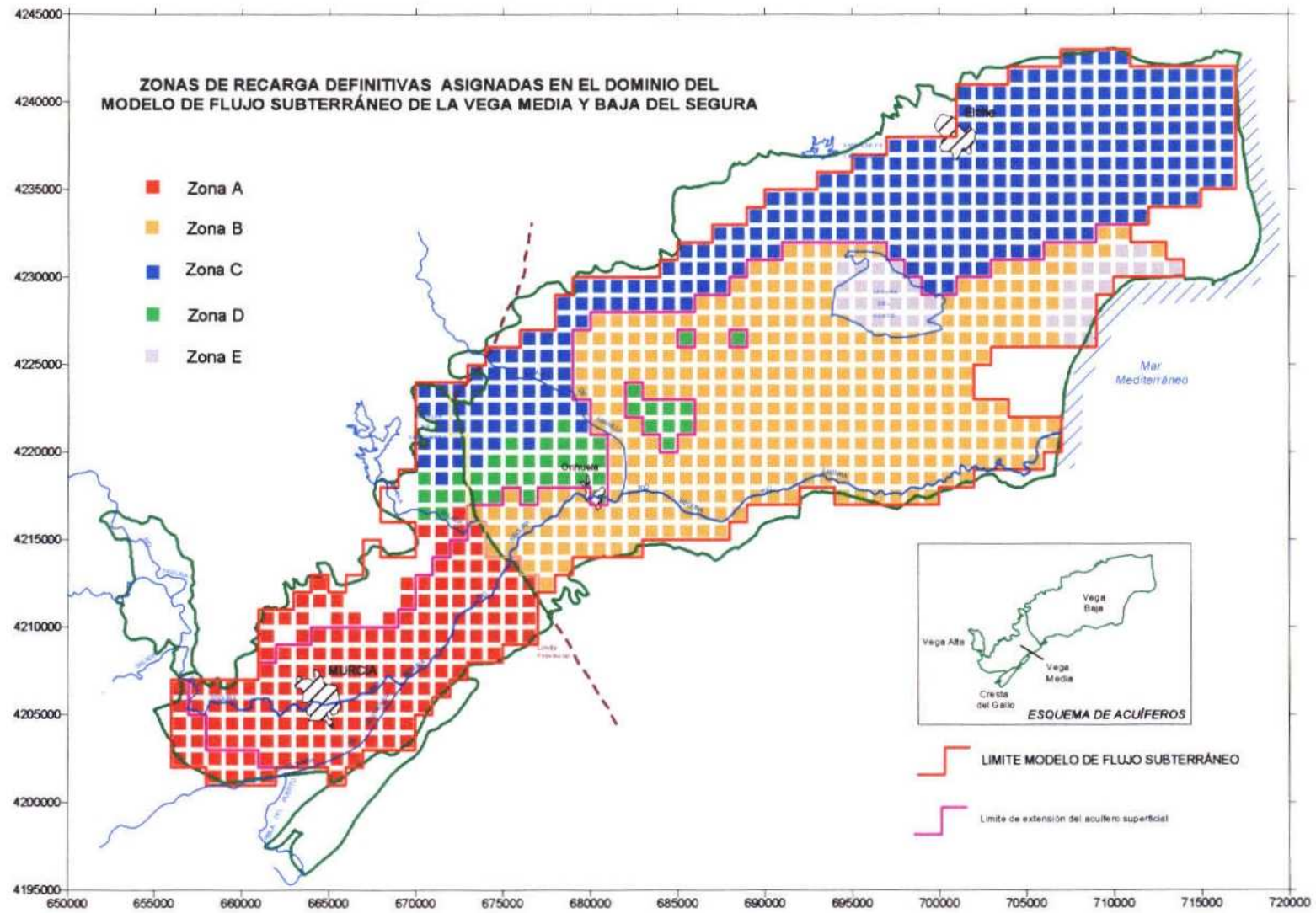


Figura 2.2. – Zonificación definitiva realizada con objeto de evaluar la recarga en la Vega Media y Baja del Segura.

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	

Tabla 2.11. – Comparación entre los volúmenes aplicados y la recarga obtenida en el presente estudio con los resultantes de considerar la 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

Los valores de recarga obtenidos teniendo en cuenta la nueva zonificación e inicialmente considerados en el modelo numérico (régimen estacionario) se presentan en la Tabla 2.12.

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

Estos primeros valores y distribución de la recarga se han modificado posteriormente de acuerdo con la distribución de las principales Unidades de Demanda Agraria (UDAS) así como con los resultados de las diferentes etapas de calibración (Figura 2.2b).



Figura 2.2b - Zonas de recarga finalmente consideradas en el modelo numérico (Vega Media y Baja)

En la zonificación finalmente obtenida se considera una recarga nula sobre el casco urbano de la ciudad de Murcia y sobre las sierras de Callosa y Orihuela. La recarga nula sobre las sierras es coherente con las escasas precipitaciones, con la baja permeabilidad predominante de los materiales triásicos y con la geomorfología del terreno así como de los resultados obtenidos mediante calibración automática con el módulo WINPEST. La recarga total en este caso es de unos 64 hm³/año (inferior a los 87 hm³/año inicialmente evaluados), lo que se interpreta como debido a una probable sobreestimación inicial de la recarga dada la elevada incertidumbre asociada a este parámetro.

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 (hm³/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

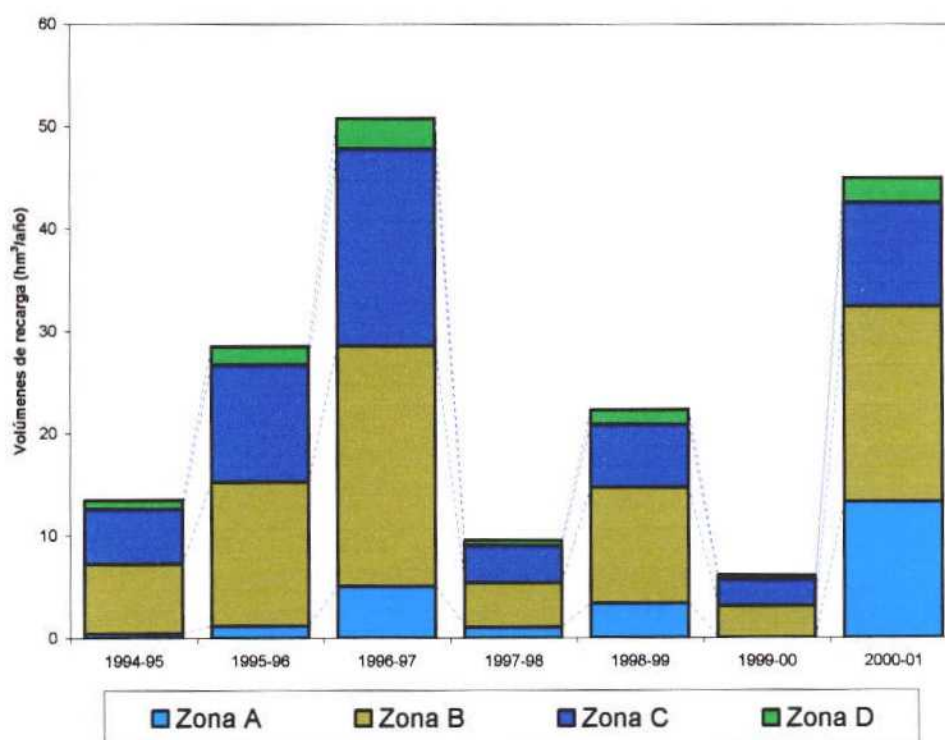


Figura 2.3. Recarga por infiltración de la precipitación en las zonas del modelo de flujo.

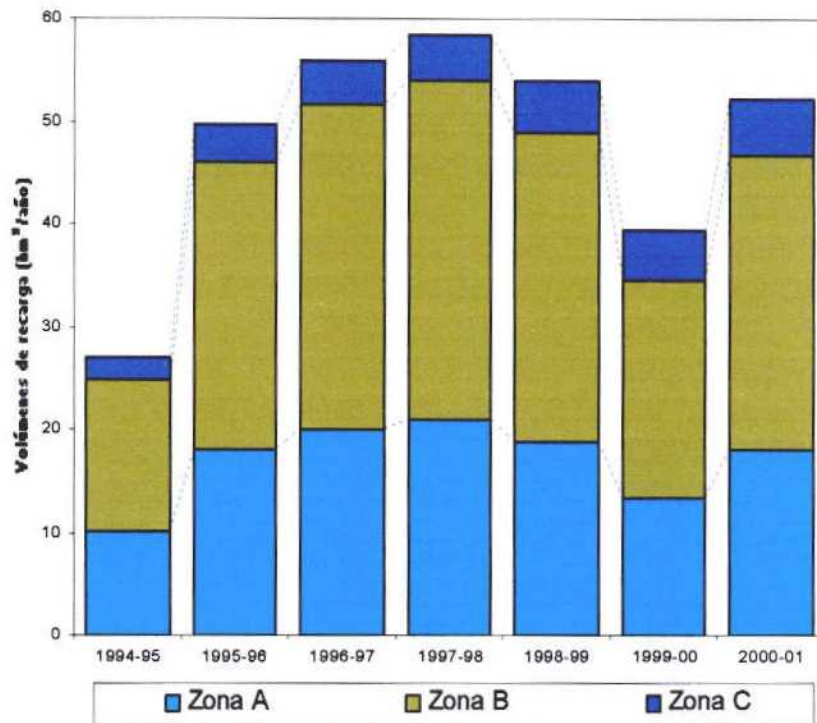


Figura 2.4. Recarga por retornos de riego en las zonas del modelo de flujo.

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) han permitido 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, Rojas y Guardamar (periodo 1962-73) (PIAS, 1978). En los hidrogramas de Beniel y Orihuela, se observa claramente la existencia de un caudal de base, el cual tiende a disminuir aguas abajo del río Segura. Por el contrario, en los hidrogramas correspondientes a las estaciones de Rojas y Guardamar se observa 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).

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	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

Como puede observarse, los aportes van disminuyendo claramente aguas abajo desde la estación de Contraparada hasta la de Guardamar. Este hecho se interpreta como debido, fundamentalmente, a las numerosas derivaciones de agua existentes para el riego tanto de la Vega Media como de la Vega Baja. Por otro lado, en la Vega Baja dicha disminución se interpreta además como debido a la desconexión anteriormente comentada entre el río y el acuífero a partir de la localidad de Orihuela.

A partir de los datos de aforo disponibles se ha realizado una estimación de la descarga subterránea en la estación de Beniel durante 1973-75 (periodo de referencia seleccionado para calibrar el modelo en régimen estacionario; Ver apartado 2.4). Para ello, en el modelo conceptual inicialmente planteado (IGME-DPA, 2002) se realizó una primera evaluación en la que se consideró que todo el caudal de base aforado en Beniel presentaba un origen subterráneo. La descomposición del hidrograma correspondiente a los caudales mensuales aforados en Beniel durante 1973-75 permitió obtener una escorrentía subterránea en torno al 65% del caudal total circulante. No obstante, un análisis más detallado de los caudales aforados en las estaciones de Contraparada y Beniel durante el periodo 1968-2004 permite poner de manifiesto las observaciones siguientes:

- a) Buena correspondencia entre el acusado descenso de los caudales observado en los embalses de cabecera (sistema Fuensanta-Cenajo) entre finales de 1981 e inicio de 1982 y los caudales aforados en Contraparada y Beniel (Figura 2.5)
- b) Una importante componente de origen no subterráneo en el caudal de base deducido a partir del hidrograma de aforos diarios (Figura 2.6) y la curva de caudales clasificados correspondientes a la estación de Beniel para el periodo 1968-2004 (Figura 2.7). Este hecho podría estar relacionado con los desembalses producidos en épocas de riego y/o estiaje (Figura 2.5), drenaje de retornos de riego, aportes de aguas residuales u otros aportes de agua subterránea procedentes de acuíferos situados aguas arriba de las estaciones de aforo (Vega Alta, Bajo Guadalentín, Cresta del Gallo,...). No obstante, si damos por fiables los aportes subterráneos evaluados en estudios previos sobre estos acuíferos, esta última componente sólo representa unos 4 hm³/año, por lo que se considera que la mayor parte de este volumen de agua procede de los desembalses, retornos de riego y/o aportes de aguas residuales. La curva de caudales clasificados pone de manifiesto una clara regulación artificial superpuesta a la regulación natural, lo que resulta coherente al encontrarnos en el curso bajo de un río mediterráneo muy influenciado y regulado.

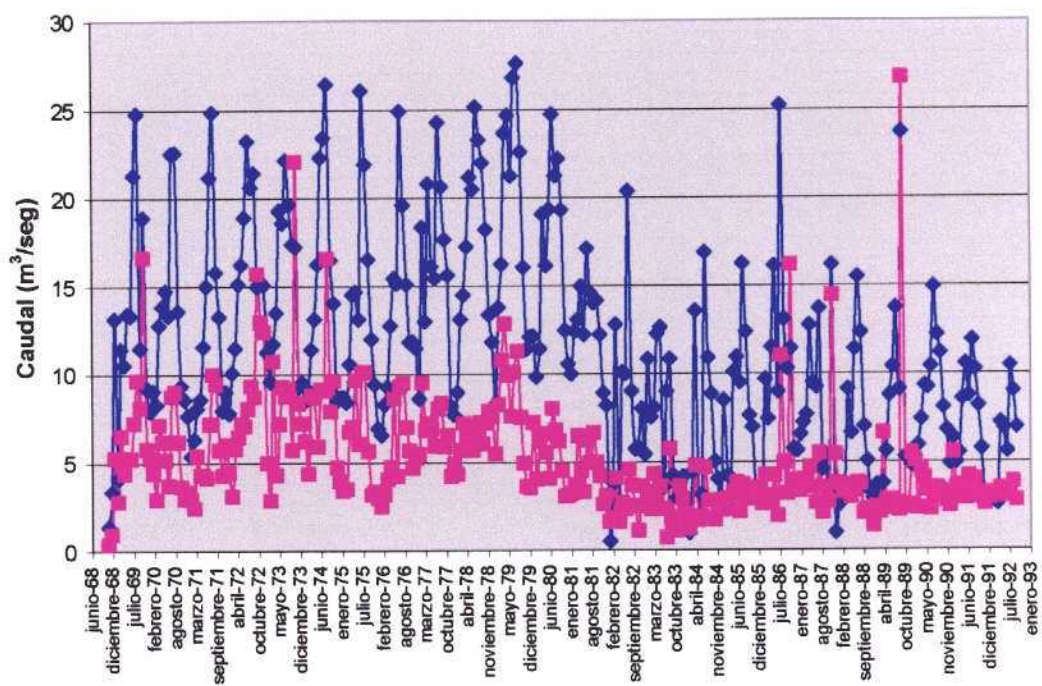
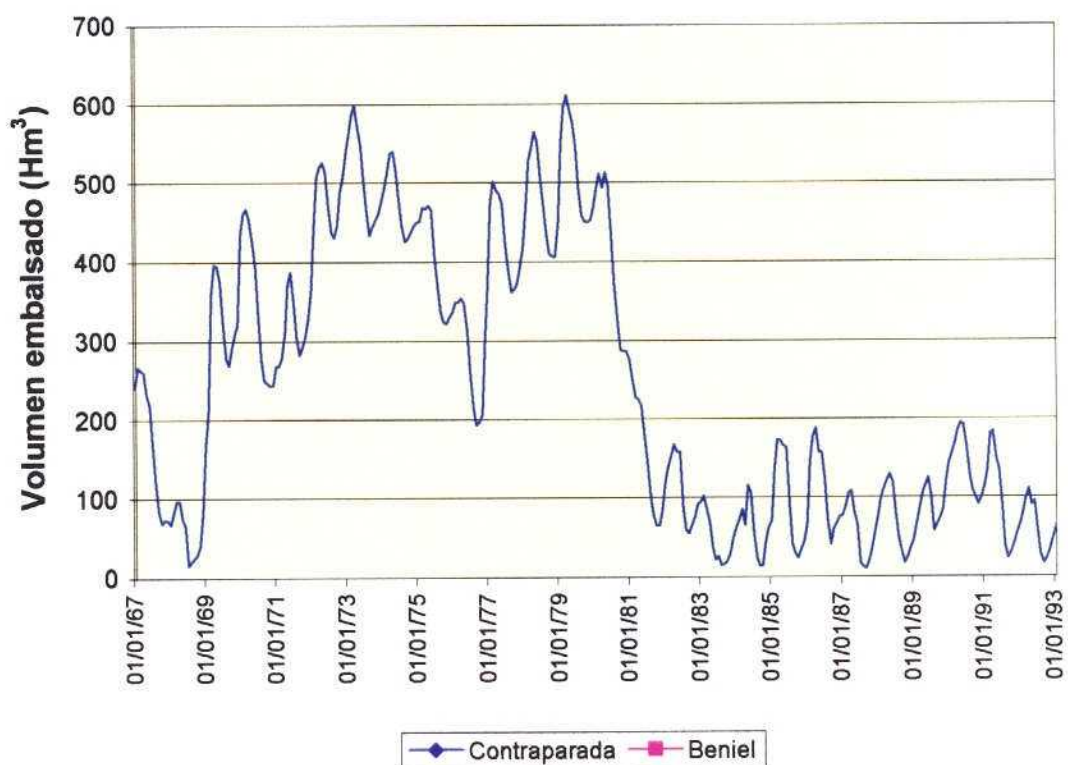


Figura 2.5.- Comparación entre el volumen embalsado en el sistema Fuensanta-Cenajo y los aforos mensuales correspondientes a las estaciones de Contraparada y Beniel.

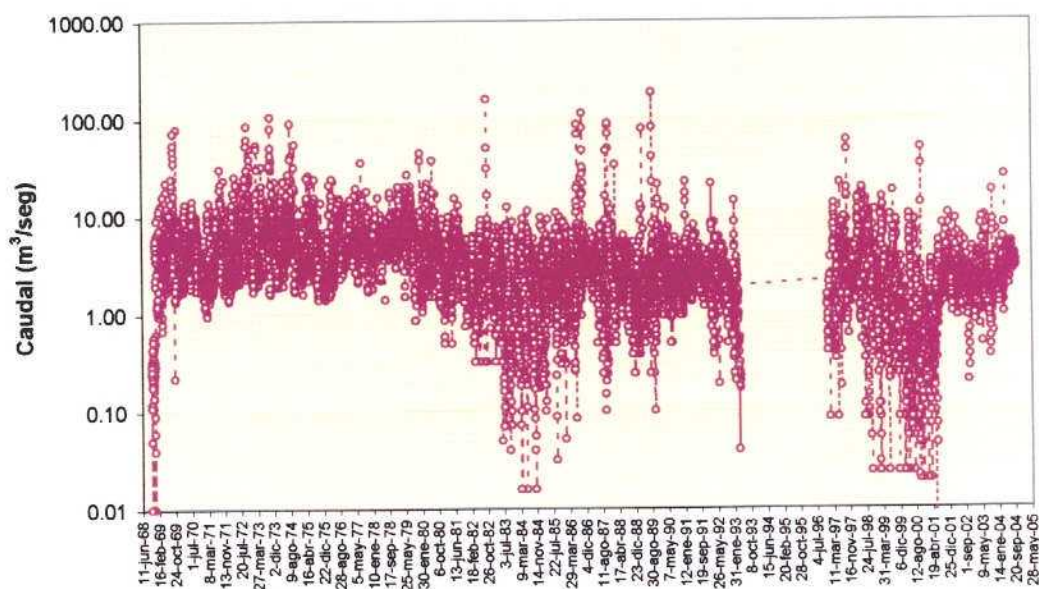


Figura 2.6. Hidrograma de descarga correspondiente a los caudales diarios aforados en la estación de Beniel (1968-2004).

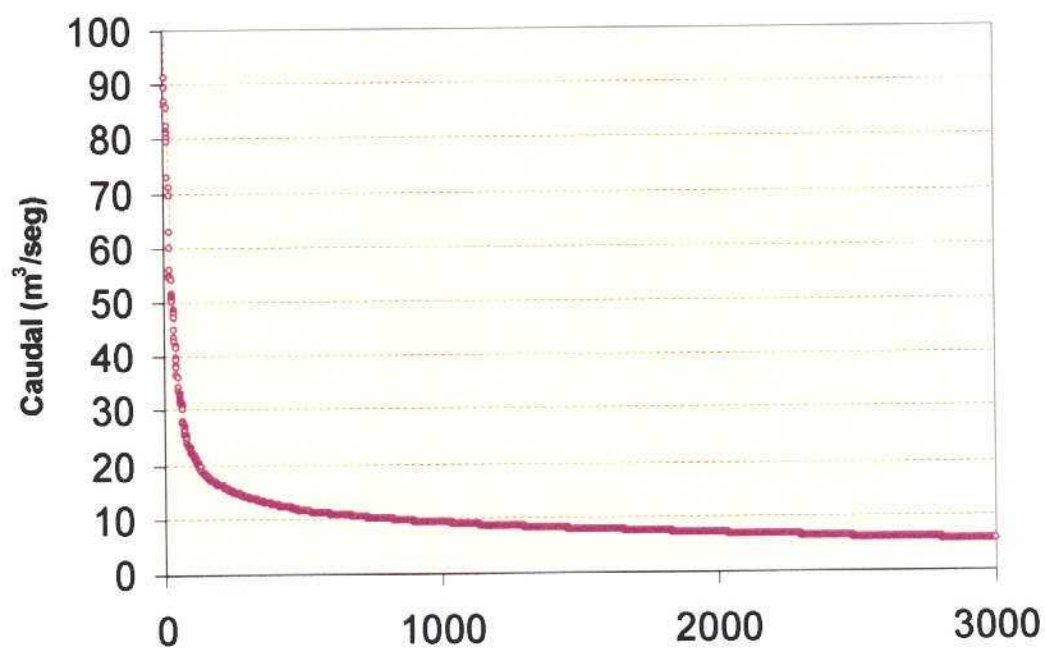


Figura 2.7. Curva de caudales clasificados correspondiente a los caudales diarios aforados en la estación de Beniel (1968-2004).

En la Figura 2.8 se presenta el hidrograma de descarga correspondiente a los caudales diarios aforados en Beniel durante el periodo seleccionado para calibrar el modelo numérico en régimen estacionario (1973-75). El alto valor de los caudales mínimos de la escorrentía de base parece poner nuevamente de manifiesto la existencia de una componente de origen no subterráneo.

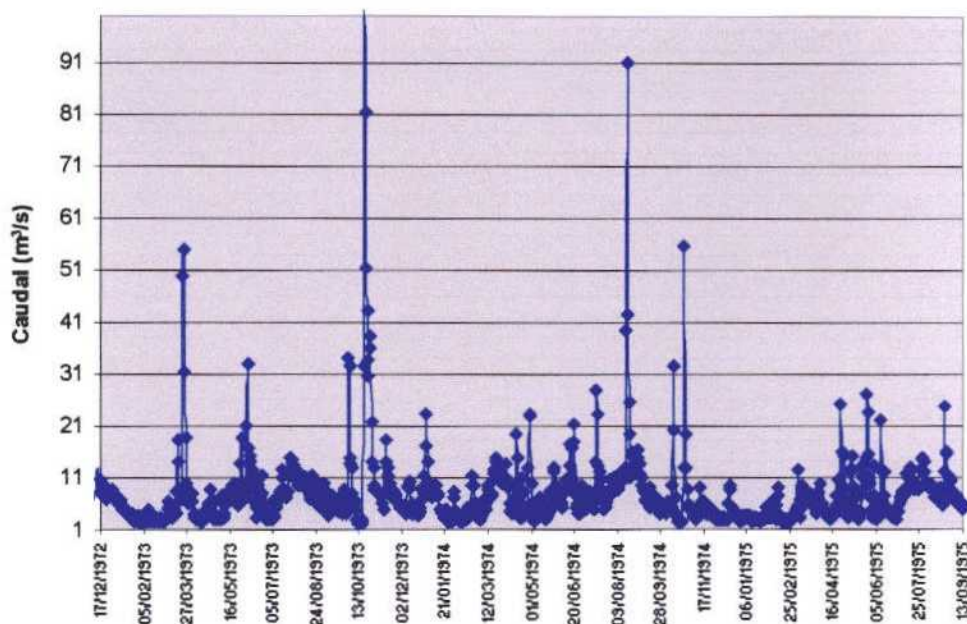


Figura 2.8. Hidrograma de descarga correspondiente a los caudales diarios aforados en la estación de Beniel (1973-75)

Teniendo en cuenta la más que probable existencia de estos aportes de origen no subterráneo, se pretende obtener una estimación más precisa de la descarga subterránea, inferior a la inicialmente estimada. Para ello, previamente resulta conveniente evaluar los posibles orígenes del agua en las estaciones de Contraparada y Beniel.

Se conoce que entre ambas estaciones, en el denominado azud o presa de Contraparada, se produce una derivación importante de caudales para el regadío tanto de la Vega Media como de parte de la Vega Baja. Dicho caudal se ha estimado en estudios previos entre los 12 y 83,43 hm³/año durante 1968-2000 (IGME-DPA, 2002; Tabla 13.1). Durante los años 1968-81 (incluyendo el periodo 1973-75) se estima que el volumen de agua embalsado en el sistema Fuensanta-Cenajo permitía dotar completamente las demandas de agua para riego, estimándose dicha dotación en unos 83,43 hm³/año. Dada la

ausencia de estación de aforos en el azud de Contraparada¹ los cálculos han debido realizarse a partir de los caudales diarios aforados en Contraparada y Beniel.

El caudal aforado en la estación de Contraparada procede del caudal circulante por el río Segura más los desembalses producidos en cabecera (sistema Fuensanta-Cenajo). El caudal aforado en la estación de Beniel procede del caudal circulante por el río Segura una vez detraído el agua para riego, el posible aporte de aguas residuales y/o retornos de riego generados en el tramo comprendido entre Contraparada y Beniel, la escorrentía superficial generada en el tramo comprendido entre Contraparada y Beniel, y la descarga subterránea.

Para obtener una estimación de la descarga subterránea en la Vega Media se han considerado los caudales diarios aforados en Contraparada y Beniel durante los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero. Se han considerado sólo estos meses con objeto de intentar minimizar en lo posible el caudal generado como consecuencia de los desembalses producidos en cabecera teniendo en cuenta el fuerte carácter estacional de la demanda, con máximos en verano (junio-agosto) y mínimos en otoño e invierno (octubre-enero). Para la Vega del Segura, la distribución mensual media de la demanda estimada en el PHCS se presenta en la Tabla 2.18 (PHCS, 1997)

Tabla 2.18- Distribución mensual media de la demanda en la Vega del Segura (PHCS, 1997)

Mes	O	N	D	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S
%	4	4	3	3	6	8	10	11	12	14	14	11

Teniendo en cuenta esta distribución mensual de la demanda, la metodología aplicada para obtener una estimación inicial de la descarga subterránea ha consistido en:

1. Cálculo y representación de la diferencia entre los caudales diarios aforados en las estaciones de Contraparada y Beniel durante los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero (periodos 1973-75, 1968-82 y 1968-93)
2. Cálculo de la suma total de las entradas (valores positivos) y de las salidas (valores negativos) al acuífero en el tramo comprendido entre Contraparada y Beniel. (periodos 1973-75, 1968-82 y 1968-93)

¹ No existen datos como tales en la presa o azud de Contraparada (ni de lámina ni de caudal) tan sólo un registro discontinuo con una sola medida a las 8:00 a.m durante el periodo 1986-2000 (fuente: CHS). En breve se pretende instalar un aparato para registro continuo de nivel.

3. Cálculo del porcentaje de escorrentía subterránea teniendo en cuenta el caudal total circulante por la estación de Beniel durante el periodo considerado (periodos 1973-75, 1968-82 y 1968-93)

Independientemente del periodo de tiempo seleccionado, se observa, por lo general, una diferencia positiva predominante en la diferencia de caudales diarios aforados entre Contraparada y Beniel (Figura 2.9). Es decir, una pérdida de agua en este tramo del río interpretada como debida fundamentalmente a las derivaciones para riego anteriormente mencionadas y/o a la infiltración del río aguas arriba de Murcia.

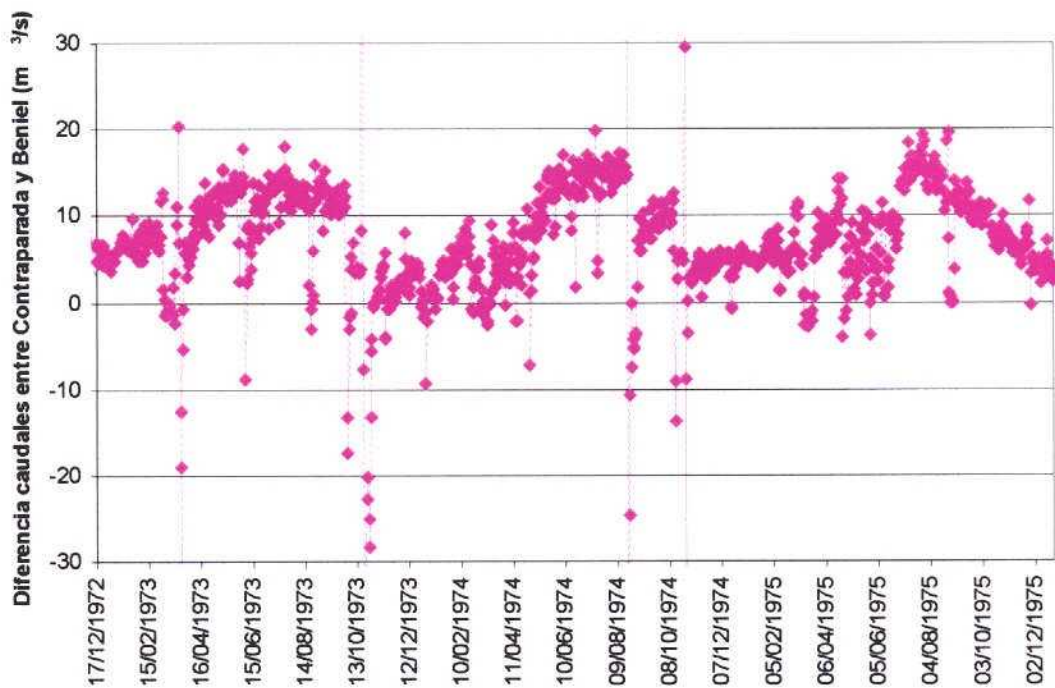


Figura 2.9. Diferencia entre los caudales diarios medidos en Contraparada y Beniel (1973-75)

Si se consideran tan sólo los meses anteriormente comentados (octubre-enero) y se presupone un aporte despreciable de aguas residuales², la ausencia de retornos de riego significativos y una escasa escorrentía superficial generada en el tramo comprendido entre las dos estaciones, el total de las salidas (valores

² Podría sin embargo considerarse la posibilidad de que los aportes de aguas residuales en este periodo fueran iguales o superiores a los evaluados en el Plan Hidrológico del Segura

negativos) evaluadas entre ambas estaciones permite obtener una estimación de la descarga subterránea. De esta forma, la descarga subterránea evaluada se encuentra entre 6 y 12 hm³/año en función del periodo considerado, lo que representa entre un 14 y 17% del caudal total circulante por la estación de Beniel. Para el periodo 1973-75 las pérdidas totales del río³ son de unos 52 hm³/año, mientras que la descarga subterránea evaluada es de unos 12 hm³/año (17% del caudal total circulante por Beniel (Tabla 2.19)

Tabla 2.19.- Pérdidas y ganancias aproximadas del río en el tramo comprendido entre Contraparada y Beniel. Porcentaje de ganancia del río en Beniel (1973-75, 1968-82 y 1968-93)

Periodo	1973-75		1968-82		1968-93	
	m ³ /seg	hm ³ /año	m ³ /seg	hm ³ /año	m ³ /seg	hm ³ /año
Perdidas del río	1660	52	9153	61	11958	45
Ganancias del río	396	12	928	6	2086	8
Total caudal en Beniel	2282	72	5846	39	14489	54
Ganancias (%)	17		16		14	

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).

³ A pesar de haber considerado los meses de octubre a enero no se descarta la presencia de un cierto porcentaje de agua derivada para riego, por lo que la infiltración del río al acuífero sería algo menor.

Más recientemente, sin embargo, se han obtenido los datos de aforo realizados por la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS) en los principales azarbes que drenan al mar durante los periodos mayo 1979-noviembre 1982 y julio 2004-septiembre 2004 (Tabla 2.20). El caudal total drenado al mar es de unos 78 hm³/año (mayo 1979), 55 hm³/año (julio 2004) y 40 hm³/año (septiembre 2004), cifras en general superiores a la anteriormente estimada. En estas campañas no existen datos de aforo en el sector S. Isidro de Albaterra-San Felipe Neri (azarbes de la Rambla, Moncada, Partición, Palmera, Riacho y Convenio) ya que como todos ellos drenan al azarbe Riacho-Convenio-Pineda-Mayayo son considerados indirectamente al aforar el azarbe Mayayo.

Así mismo, la Diputación Provincial de Alicante (DPA) está realizando actualmente campañas de aforos diferenciales en los azarbes principales incluyendo, además, el sector S. Isidro de Albaterra-San Felipe Neri (parte N de los azarbes Convenio y Riacho). En la Tabla 2.21 se comparan los caudales aforados tanto por la CHS (1979 y 2004) como por la DPA (2005) diferenciándose tres sectores principales: 1) Sector Los Carrizales - Salinas del Brac, 2) Sector Central-Almoradí-Guadamar y 3) Sector S Isidro Albaterra-S Felipe Neri.

El caudal total drenado al mar (sectores 1 y 2) en abril de 2005 es de unos 67 hm³/año (en coherencia con los 65 hm³/año obtenidos por la CHS en 2004) (Tabla 2.21) e inferior a los 78,6 hm³/año aforados en mayo de 1979, lo que podría indicar una disminución significativa de los recursos disponibles desde 1979 hasta 2005⁴. Los caudales totales drenados al mar se han utilizado para calibrar el modelo numérico tanto en estado estacionario (aforos realizados el 2 de mayo de 1979) como en transitorio.

2.2.3. Lagunas del Hondo y Santa Pola

La Laguna del Hondo se encuentra situada en la Vega Baja del Segura, presenta una superficie de 20,48 km². Los estudios realizados hasta el momento no han permitido conocer con exactitud el papel que desempeña dicha laguna en el funcionamiento hidrodinámico del sistema.

⁴ Aunque a grandes rasgos y considerando amplios sectores de la Vega Baja los datos parecen coherentes, se observan algunas diferencias significativas como por ejemplo la obtenida en el Vinalopó en su confluencia con el azarbe de Dalt.

Tabla 2.20. – Caudales aforados por la CHS en los azarbes principales de la Vega Baja del Segura durante 1979-82 y 2004 (unidades en L/s; los valores 0 indican la no presencia o no circulación de agua)

FECHAS	POR EL CAUCE DEL RIO																	DIRECTO AL MAR				TOTAL AL MAR
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
	VERTIDO PRESA GUARDAMAR	HILA DE LA MARRADA (1er DESAGÜE)	HILA DE LA MARRADA (2º DESAGÜE)	DEPURADORA GUARDAMAR	AZARBE DE RIOS	AZARBE COMUNA	AZARBE LA VILLA	COLA ACEQUIA ALCUDIA	AZARBE DE RASGA	AZARBE DEL SEÑOR	AZARBE DE LA REINA	AZARBE DE LA CULEBRINA	AZARBE DE EN MEDIO	AZARBE HILA R. DE LOS TENDEROS	AZARBETA DE AVENAMIENTO	AZARBE DEL ACIERTO	AZARBE MAYAYO (PINEDA+CONVENIO+RIACHO)	AZARBE LA ANCHA	AZARBE AGUA DULCE	AZARBE DEL ROBATORI	AZARBE DE DALT (O DEL NIÑO)	
2-may-1979	0	0	5	50	5	80	32	16	0	0	0	0	85	200	15	5	958	219	0	128	725	2.533
20-oct-1980	0	0	15	25	306	0	224	35	0	0	0	0	0	0	15	0	1.050	0	0	290	440	2.400
22-may-1981	0	0	0	8	76	65	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	650	100	0	300	1.040	2.247
27-may-1981	0	0	0	0	0	32	0	5	0	0	0	0	0	2	0	0	1.032	234	10	271	690	2.276
17-jun-1981	0	0	0	0	55	83	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.142	0	0	0	441	1.795
10-jul-1981	0	0	0	0	0	50	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	645	0	0	0	428	1.126
21-jul-1981	0	0	0	0	103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	438	0	0	0	558	1.099
3-sep-1981	0	60	0	0	0	0	20	10	0	0	0	0	50	0	0	0	479	75	0	0	637	1.331
30-sep-1981	0	0	0	40	157	0	111	44	3	0	0	0	0	40	0	0	576	90	20	0	473	1.554
9-oct-1981	0	0	0	30	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	451	304	0	20	543	1.353
27-oct-1981	0	0	0	0	218	0	80	78	0	0	0	0	0	0	0	0	1.050	249	0	215	899	2.789
24-nov-1981	0	0	0	12	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	971	207	0	20	716	1.928
11-dic-1981	0	0	0	0	0	82	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	737	127	0	124	709	1.784
27-ene-1982	0	62	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	1.616	207	5	10	1.192	3.107
27-sep-1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	10	0	0	271	331
30-nov-1982	0	0	0	35	94	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	2.188	50	0	40	1.200	3.707
—																						
22-jul-2004	0	x	x	0	0	0	0	23	0	32	0	247	0?	?	0	0	1.097	50	0	0	303	1.752
28-jul-2005																		0	17	120	470	
22-sep-2004	0	x	x	0	0	26	0	50	0	0	0	270	0?	?	0	0	914					1.260
MEDIA	0	8	1	11	56	23	30	16	0	7	0	29	8	15	2	0	892	107	3	85	652	1.948

22 Vertido del Vinalopó al azarbe de Dalt

50

Tabla 2.21 – Comparación entre los caudales aforados por la CHS (1979 y 2004) y por el DPA (2005) en los azarbes principales de la Vega Baja del Segura (unidades en L/s y hm³/año)((*) = suma del caudal drenado en los sectores 2 y 3).

AZARBE	CHS (1979)		CHS (2004)		DPA(2005)	
	l/s	hm3/año	l/s	hm3/año	l/s	hm3/año
La Ancha	219.00	6.91	50.00	1.58	0	0.00
Robatorio	128.00	4.04	120.00	3.79	63.92	2.02
Dalt	725.00	22.87	470.00	14.83	722.7	22.80
Dulce	0.00	0.00	17.00	0.54	33.3	1.05
Vinalopo-Dalt		0.79	50.00	1.58	689.42	21.75
Suma (Sector 1)	1072.00	34.61	657.00	20.73	819.92	25.86
Rios	5.00	0.16	0.00	0.00	?	?
Comuna o Tercio	80.00	2.52	0.00	0.00	?	?
La Villa + Cola Acequia Alcuida	48.00	1.51	23.00	0.73	?	?
Enmedio	85.00	2.68	0.00	0.00	?	?
Acierito	5.00	0.16	0.00	0.00	?	?
Cola azequia Alcudia	16.00	0.50	16.00	0.50	?	?
Rasga	0.00	0.00	0.00	0.00	?	?
Señor	0.00	0.00	32.00	1.01	?	?
La Reina	0.00	0.00	0.00	0.00	?	?
La Culebrina	0.00	0.00	247.00	7.79	?	?
Hilar de los Tenderos	200.00	6.31	?	?	?	?
Avenamiento	15.00	0.47	?	?	?	?
Mayayo (Pineda+Convenio+Riacho)	968.00	30.54 (*)	1097.00	34.61	1318.05	41.58
Suma (Sector 2)	1422.00	44.86	1415.00	44.64	1318.05	41.58
Convenio (parte N)	?	?	?	?	1003.37	31.65
Riacho (parte N)	?	?	?	?	120.62	3.81
Suma (Sector 3)	?	?	?	?	1123.99	35.46
SALIDAS AL MAR (SECTOR 1 Y 2)	2494.00	79.47	2072.00	65.36	2137.97	67.44
TOTAL	2494.00	79.47	2072.00	65.36	3261.96	102.90

En general, existen dos hipótesis principales al respecto:

- Depresión natural 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.
- Zona de descarga natural del sistema (acuifero 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 gran 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 mS/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, 1997). 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. 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 parece ser minoritaria con respecto al aporte profundo, al menos bajo condiciones naturales, 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. Recientemente, a través de la compañía Riegos de Levante S.L., se han conseguido los datos de la lámina de agua diaria medida en la laguna durante 1/04/1998-31/12/2004 (Tabla 2.22) así como los volúmenes de agua bombeados anualmente para las distintas concesiones (Tabla 2.23), lo que permite mejorar la calibración del modelo numérico en régimen transitorio.

Tabla 2.22.- Valores mensuales de lámina en la Laguna del Hondo durante el periodo 1998-2004 (Riegos de Levante, S.L). Los valores en rojo se han estimado tomando la media de los meses anterior y posterior.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Enero		3.73	3.66	3.35	3.76	2.47	3.56
Febrero		3.57	3.81	3.43	3.68		3.43
Marzo		3.66	3.71	3.38	3.75		3.23
Abril	3.80	3.86	3.51	3.53	3.82		3.54
Mayo	3.77	3.89	3.36	3.52	3.76	3.04	3.06
Junio	3.77	3.86	3.39	3.41	3.62	2.94	2.93
Julio	3.57	3.66	3.02	3.32	3.40	2.98	2.72
Agosto	3.62	3.48	2.90	3.34	3.21	2.92	
Septiembre	3.67	3.66	2.66	3.42	3.06		
Octubre	3.71	3.63	2.84	3.78	3.01	3.18	
Noviembre	3.75	3.69	3.02	3.74	2.88	3.43	
Diciembre	3.81	3.63	3.06	3.75	2.66	3.68	2.87

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 en torno 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 existe una serie de vertederos que sirven tanto de entrada como de salida de agua.

Tabla 2.23.- Caudales anuales bombeados en la Laguna del Hondo para concesiones durante el periodo 1975-2004 (Riegos de Levante, S.L)

CAUDALES BOMBEADOS			
AÑO	hm3	AÑO	hm3
1975	65.87	1990	23.78
1976	62.40	1991	33.71
1977	69.25	1992	34.42
1978	88.53	1993	24.23
1979	93.04	1994	6.53
1980	59.09	1995	4.61
1981	66.98	1996	4.97
1982	32.36	1997	19.38
1983	22.39	1998	26.05
1984	9.27	1999	14.96
1985	26.67	2000	7.54
1986	35.86	2001	3.54
1987	36.16	2002	2.86
1988	24.74	2003	2.88

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.

Con respecto a la Laguna de Santa Pola, no parece producirse una descarga subterránea significativa dado que la explotación de las salinas y por lo tanto la fuente de alimentación principal de la laguna procede del agua de mar.

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), dónde se observó una disminución de la salinidad con respecto a las aguas del entorno, como máximo del orden del 0,2 %, acompañada de un descenso térmico de unos

0,35 ° C. Dicha anomalía tenía su límite en el punto donde se produce la mezcla de aguas provenientes del río Segura, donde también se observaba un fuerte descenso de la salinidad. Esta anomalía se mantuvo constante en las dos campañas de medidas realizadas, siendo clasificada como de tipo difuso, abarcando un importante frente costero aunque con una disminución salina poco aparente. Las salidas evaluadas en dicho estudio en esta zona fueron de 2,8 hm³/a (coherentes con los 2,6 hm³/a obtenidos en ese mismo estudio mediante la aplicación de métodos hidrogeológicos). No existen estudios recientes de intrusión marina, la cual podría influir significativamente en el funcionamiento hidrogeológico de la Vega. No obstante, el elevado número de niveles permeables (arenas y gravas) de escaso espesor que parece observarse en la Vega Baja, induce a pensar en la existencia de una serie de cuñas poco penetrantes.

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 m³/día. Dentro de cada mes de (84 meses en total), el bombeo es estimado como constante.

En la Vega Media, el número de captaciones introducidas en el modelo de flujo ha sido de 76, las que concentran las mayores tasas actuales de explotación. El resto de la explotación por bombeo que se produce en los 179 puntos restantes ha sido redistribuida homogéneamente en los 76 puntos principales de forma proporcional a la extracción de éstos últimos. Los volúmenes anuales extraídos están comprendidos entre 12.3 hm³ en el año 1997/98, el más húmedo del periodo, y 24.1 hm³ en el año 1994/94, el más seco (Tabla 2.24; Figura 2.10).

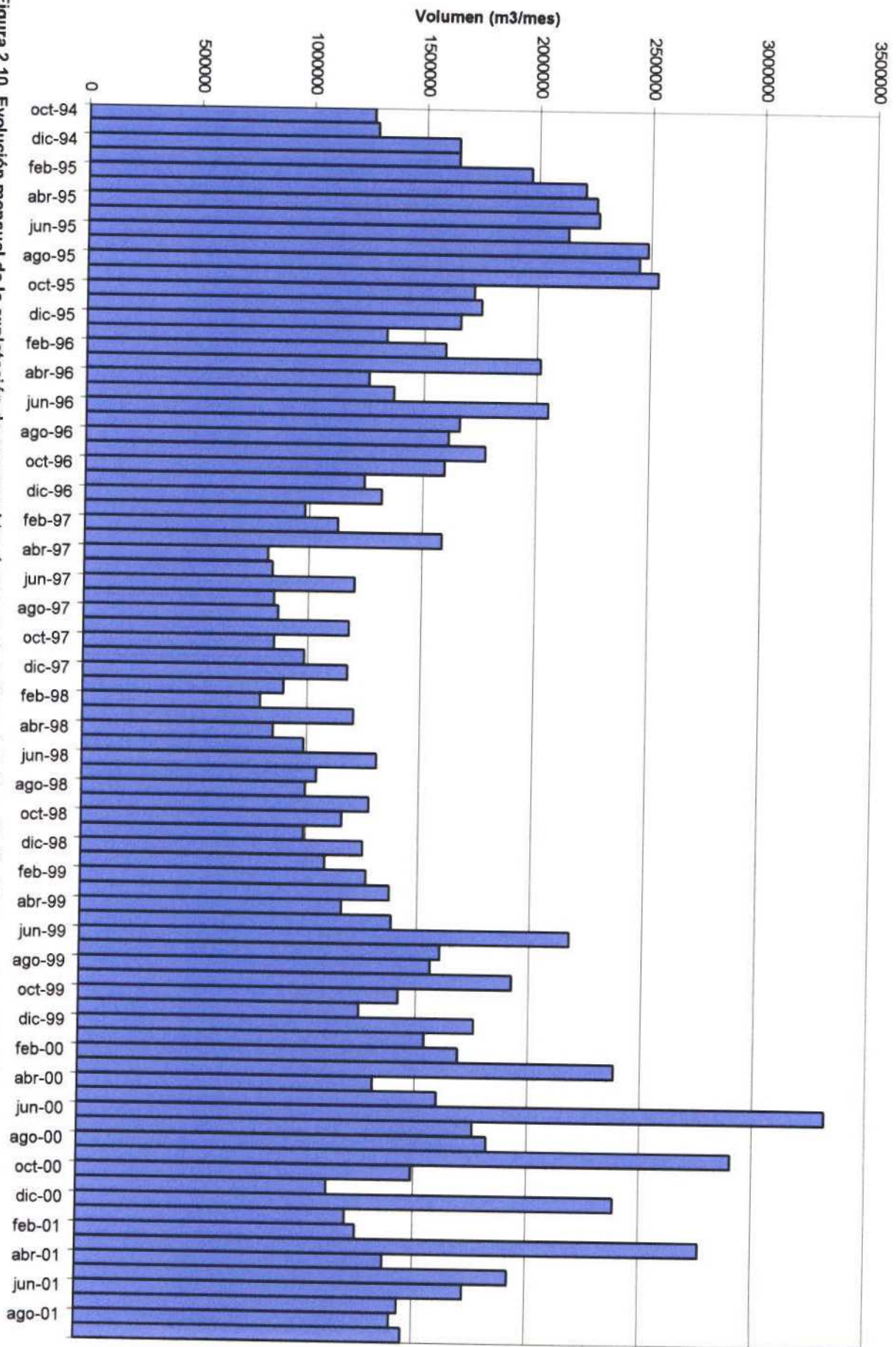
En la Vega Baja, el total de puntos de bombeo estudiados e introducidos en el modelo ha sido de 72. En determinados casos de bombeos cercanos se ha asignado el caudal extraído al principal de ellos. Los volúmenes anuales de bombeo están comprendidos entre 8.0 hm³ en el año 1997/98 y 22.8 hm³ en el año 1995/96 (Tabla 2.24; Figura 2.11).

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 2.24. 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 2.10. Evolución mensual de la explotación de aguas subterráneas en el acuífero de la Vega Media del Segura (periodo 1994/95-2000/01)



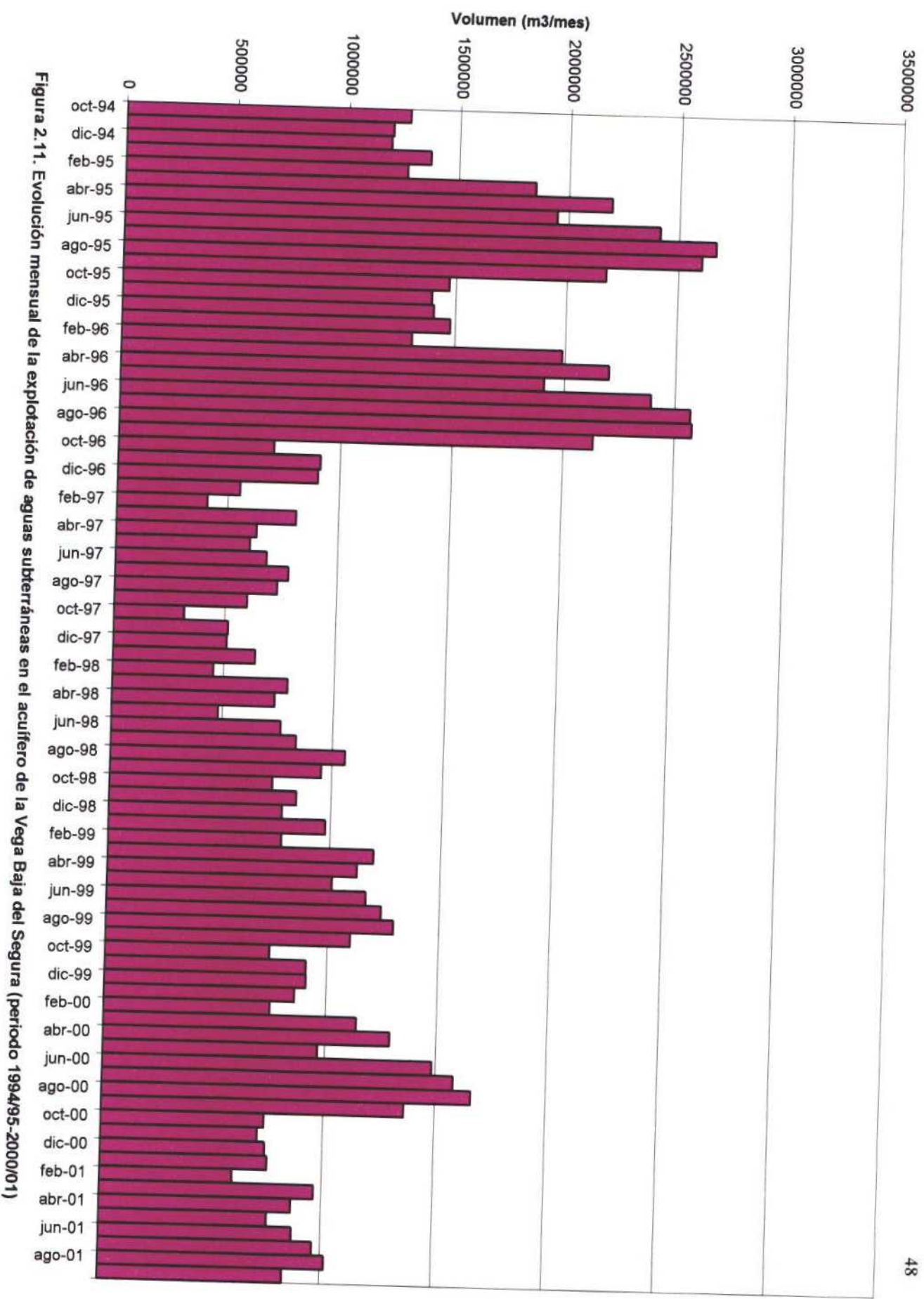


Figura 2.11. Evolución mensual de la explotación de aguas subterráneas en el acuífero de la Vega Baja del Segura (periodo 1994/95-2000/01)

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 2.12) 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 2.13). 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 2.25. La distribución de los puntos de observación finalmente considerados se presenta en la Figura 2.14. 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 (IGME-CHS-DPA, 2002; Figuras 11.11 y 11.12). 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.

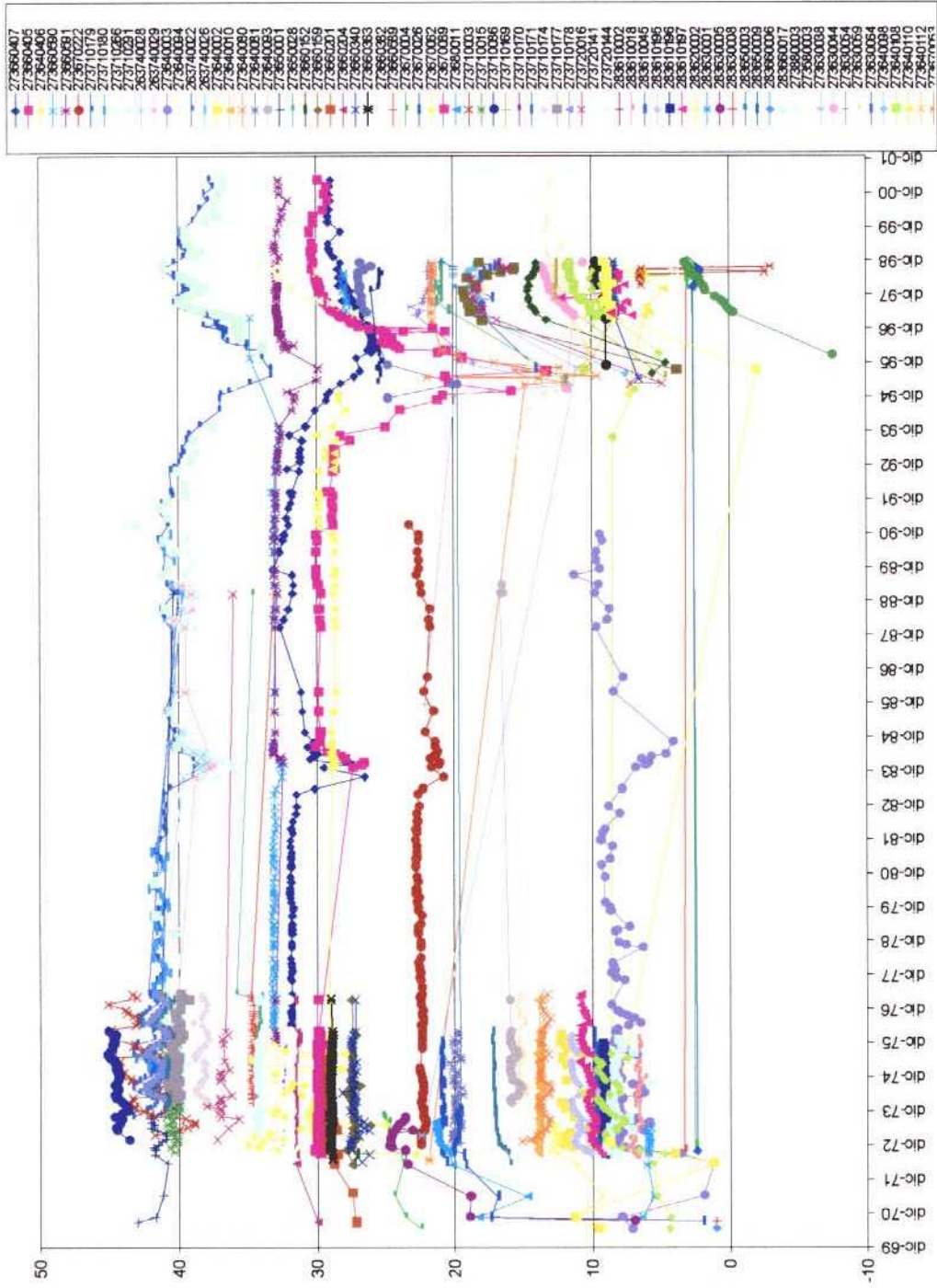


Figura 2.12. - Evolución de los niveles piezométricos en la unidad hidrogeológica de la Vega Media y Baja del Segura durante 1970-2001

Figura 2.13. - Evolución de los niveles piezométricos en la unidad hidrogeológica de la Vega Media y Baja del Segura durante 1973-7

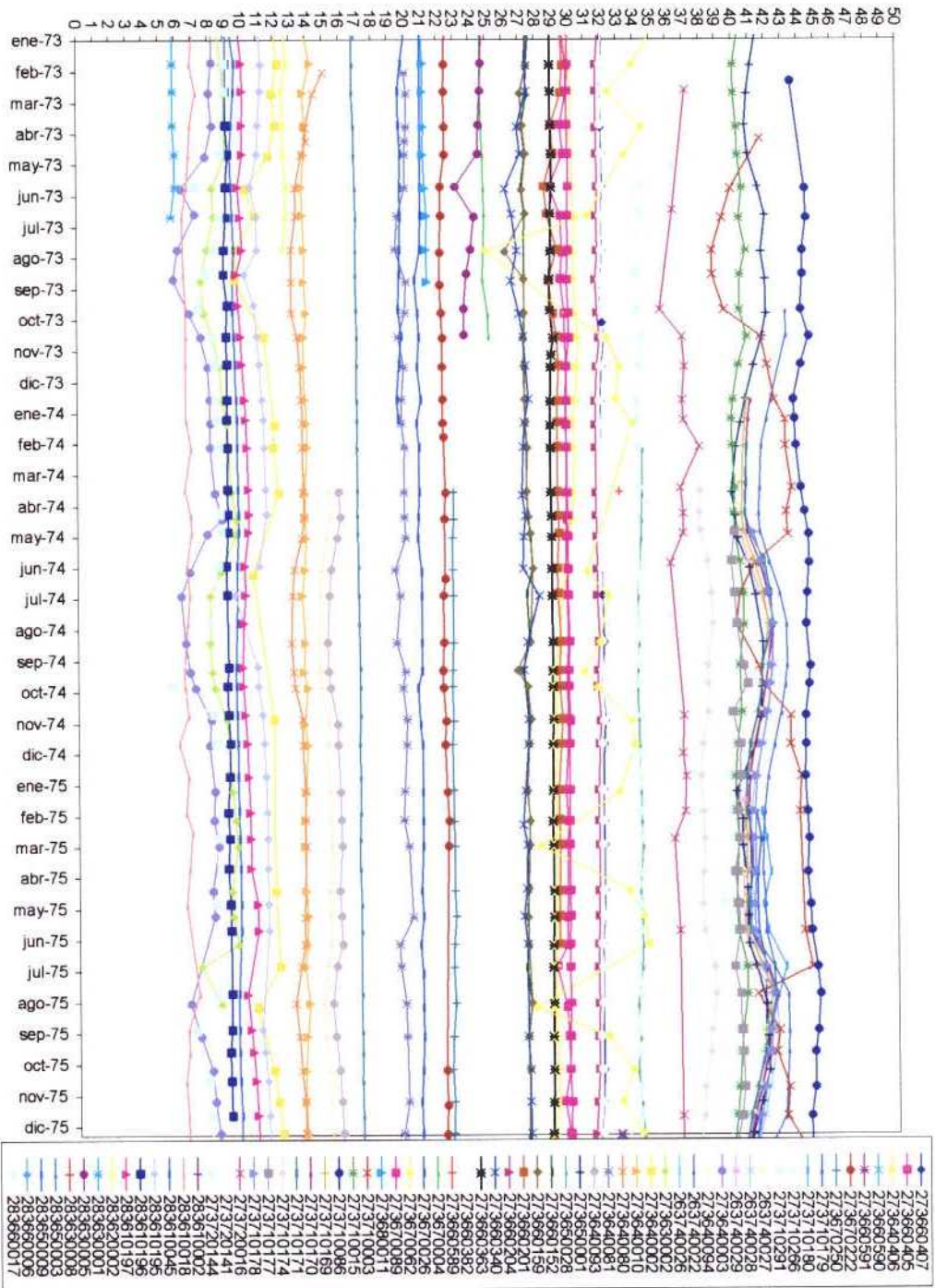


Tabla 2.25. Valores piezométricos promedios correspondientes al periodo 1973-75

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

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

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

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

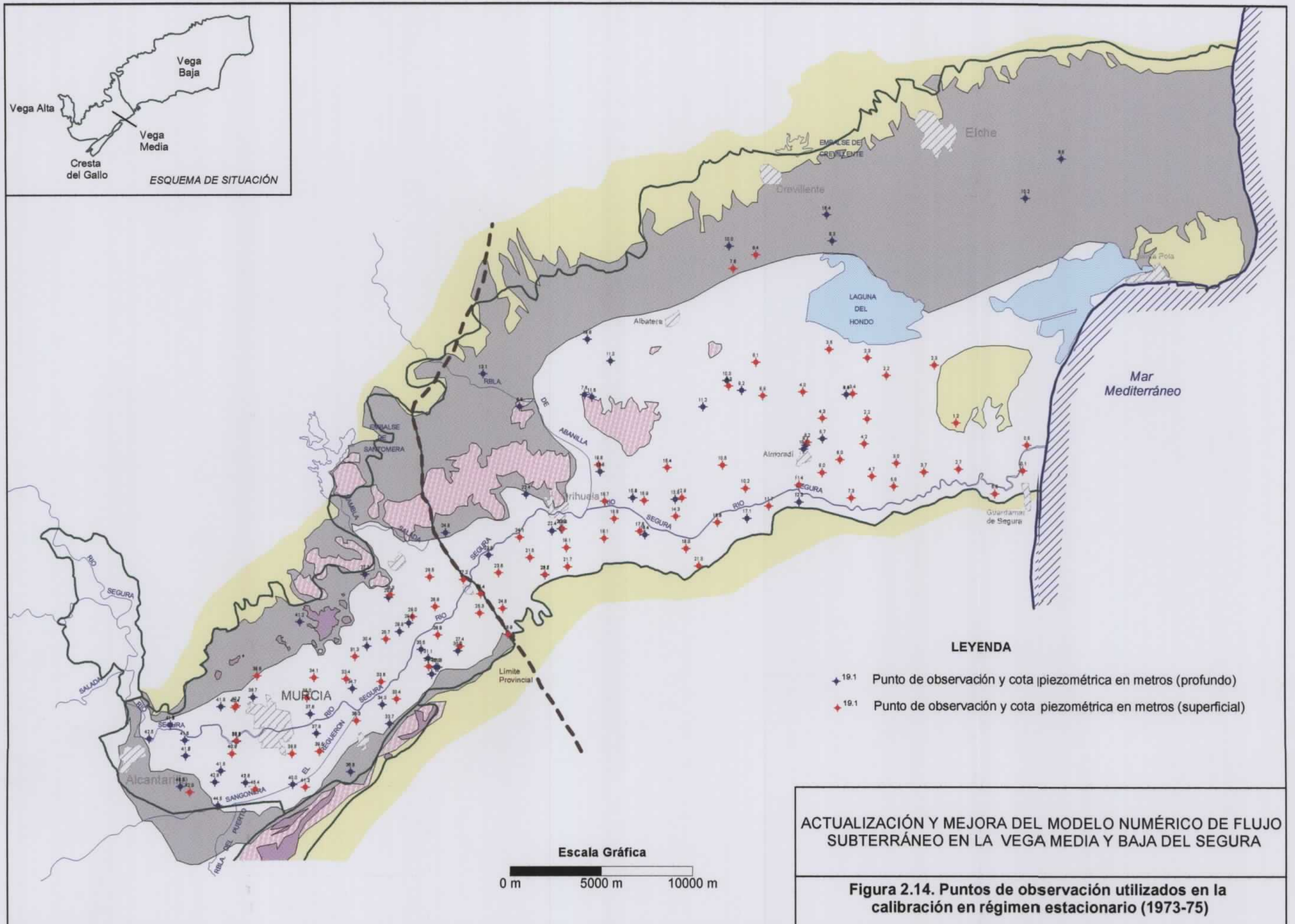
- Flujo predominante en dirección y sentido SO-NE tanto en el acuífero superficial como en el profundo.

- Dos grandes áreas con un funcionamiento hidrodinámico diferente: a) Vega Media y parte más suroccidental de la Vega Baja y b) resto de la Vega Baja. En la primera predomina la existencia de una escasa o nula diferencia piezométrica entre los acuíferos superficial y profundo ($\pm 1,5$ m). Por el contrario, en el resto de la Vega Baja, la cota piezométrica del acuífero profundo tiende a encontrarse por encima de la del superficial (flujo ascendente predominante) excepto en la zona más próxima al litoral.

- En la primera de las áreas se observa cómo la diferencia piezométrica tiende a ser nula, sobre todo en las inmediaciones del río Segura y a partir del inicio del segundo tramo descrito en el apartado 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 la incertidumbre en 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 en unos 20 hm³/año (8 hm³/año por infiltración de lluvia y 12 hm³/año por retornos de riego; Tabla 2.12). 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 en unos 50 hm³/año (Tabla 2.18) aunque probablemente esta cifra sea algo inferior. 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. La descarga subterránea hacia la Vega Baja se ha evaluado a partir de los espesores medios del acuífero superficial y profundo (30 y 200 m respectivamente), permeabilidad (5 y 210 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 32 hm³/año, coincidente con el evaluado 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. Si suponemos como razonablemente coherentes el resto de términos del balance, el caudal descargado por los azarbes en la Vega Media sería del orden de unos 25 hm³/año. No obstante, hay que tener en cuenta la elevada incertidumbre asociada tanto al balance de agua en el río como la descarga subterránea hacia la Vega Baja. 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 2.26 se resumen los valores tentativos correspondientes a los términos de balance considerados en la Vega Media.

Tabla 2.26. – Balance hídrico aproximado referido a la Vega Media en condiciones poco influenciadas (periodo de referencia 1973-75) (valores en hm³/año)

BALANCE VEGA MEDIA	
ENTRADAS	
Infiltración (lluvia+riego)	20
Guadalestín	2.5
Vega Alta	1.1
Cresta del Gallo	0.4
Río Segura	45 a 52
TOTAL	69 a 76
SALIDAS	
Descarga Río Segura	12
Descarga por azarbes	25 a 32
Descarga Vega Baja	32
TOTAL	69 a 76
CIERRE DE BALANCE	0 a 7

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 además la recarga por infiltración de agua de lluvia y retornos de riego en la Vega Baja. La recarga total se ha evaluado en unos 87 hm³/año (33 hm³/año por infiltración de lluvia y 54 hm³/año por retornos de riego; Tabla 2.12). Ello supone una recarga para la Vega Baja de unos 67 hm³/año. Dichos valores se obtienen siempre que se considere recarga a través de los limos y arenas cuaternarios del Campo de Elche. Este valor resulta razonable, aunque algo mayor, 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). Sin embargo, si consideramos los aforos realizados por la CHS, la descarga total por los azarbes al mar en

1979 es de unos 80 hm³/año, mientras que la media para el periodo 1979-82 es de unos 60 hm³/año (Tabla 2.20). 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 entre 16 y 20 hm³/año (considerando una evaporación de 800 y 1000 mm/año respectivamente). 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. Aguas arriba de Orihuela, sin embargo, el río se comporta fundamentalmente como ganador, obteniendo un orden de magnitud a partir los términos anteriores comprendido entre 21 y 29 hm³/año. En la Tabla 2.27 se resumen los valores estimados correspondientes a los términos de balance considerados en la Vega Media y Baja.

Tabla 2.27. – Balance hídrico aproximado referido a la Vega Media y Baja en condiciones poco influenciadas (periodo de referencia 1973-75)

BALANCE VEGA MEDIA y BAJA	
ENTRADAS	
Infiltración (lluvia+riego)	87
Guadalentín	2.5
Vega Alta	1.1
Cresta del Gallo	0.39
Río Segura	45 a 52
TOTAL	136 a 143
SALIDAS	
Descarga Río Segura Vega Media	12
Descarga Río Segura Vega Baja	21 a 29
Descarga azarbes	80
Laguna del Hondo	16 a 20
Mar	2.8
TOTAL	132 a 143

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

3.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En este capítulo se presenta una revisión, actualización y mejora del modelo numérico de flujo subterráneo realizado en el ámbito del proyecto "Estudio Hidrogeológico de la Unidad Vega Media y Baja del Segura" (IGME-CHS-DPA, 2002) en el que se integran todos los datos, estudios y modelos numéricos parciales realizados hasta el momento en la Vega Media y Baja del Segura (ITGE-DPA, 1996; ITGE-DPA, 1997; ITGE-DPA, 2000 ; IGME-CTOT, 2001).

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 distintas hipótesis de funcionamiento regional así como diversos escenarios climáticos y/o de explotación, lo que permitirá estimar la influencia de dichos escenarios en el funcionamiento hidrodinámico y en la evolución tanto del balance como de los niveles piezométricos.

La revisión y mejora 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 previo de los datos se ha elegido como referencia el periodo 1973-75 (apartado 2.4). 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 2.81.105 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. La versión del código utilizada incluye el módulo de calibración automática WINPEST.

La actualización se centra fundamentalmente en la revisión y mejora tanto de la geometría del modelo como de las condiciones de contorno utilizadas para simular los azarbes, lagunas y las salidas al mar. Además, se ha revisado la relación río-acuífero en la Vega Media y refinado la malla en la Vega Baja, lo que ha permitido diferenciar y calibrar el balance de agua en los azarbes principales. Por otro lado y a partir de la nueva información disponible, se ha mejorado tanto la información previa como la zonificación inicial de parámetros en relación con la recarga y conductividad hidráulica. Una vez calibrado inicialmente el modelo en régimen estacionario, se ha aplicado el módulo de calibración automática WINPEST para terminar de definir tanto la zonificación como los valores de conductividad hidráulica finalmente obtenidos y utilizados en régimen transitorio. Posteriormente, se ha realizado la simulación y calibración en régimen transitorio tomando como condiciones iniciales la piezometría correspondiente al estacionario. El proceso de calibración en transitorio se ha desarrollado tendiendo a ajustar sobre todo los últimos pasos de tiempo del periodo considerado (desde diciembre 1996 hasta septiembre de 2001) debido a la incertidumbre asociada al periodo de sequía 1992-95, a la ausencia de datos de lámina de agua en el río Segura y al escaso número de puntos de observación disponibles durante los primeros años del periodo.

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 realiza una descripción general del modelo numérico, presentando sus 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. 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 parecen indicar la presencia de un único acuífero de carácter libre (IGME-CHS-CTOT; 2002) que progresivamente y hacia el NE, 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 hasta la sequía de 2005. 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, en la Vega Baja, 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 tanto el acuífero superficial como a los materiales carbonatados triásicos de las sierras de Orihuela y Callosa en contacto con el aluvial. Tiene 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 (tipo 1) en coherencia con el modelo conceptual.

Capa 2: representa al complejo profundo como a los materiales triásicos en profundidad (sector norte de las Sierras de Orihuela y Callosa). Esta capa incluye además los materiales de baja permeabilidad existentes entre el acuífero superficial y el profundo en la Vega Baja. Se ha simulado con un comportamiento confinado (tipo 0).

Este modelo geométrico se denominará en adelante como modelo M2. Por otro lado y con la finalidad de contrastar los resultados obtenidos y evaluar la influencia de la geometría en los resultados del modelo, se ha planteado un segundo modelo numérico denominado en adelante como M1 y 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 (tipo 1) en coherencia con el modelo conceptual.

Capa 2: representa tanto al complejo profundo como a los materiales triásicos correspondientes a las Sierras de Orihuela y Callosa. Esta capa incluye además los materiales de baja permeabilidad existentes entre el acuífero superficial y el profundo que como se ha comentado anteriormente tienden a aumentar de espesor hacia la Vega Baja. En esta capa es donde se centra la mayor explotación y, por lo tanto, donde se han situado los pozos de bombeo. Se ha simulado con un comportamiento mixto de tipo 3 (Trasmisividad y coeficiente de almacenamiento variable) en coherencia con el modelo conceptual.

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, 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 tipo G.H.B. suponiendo la inexistencia de cuñas de intrusión marina muy penetrantes.

3.3.2 Definición geométrica

El modelo numérico elaborado ha requerido la definición de cuatro superficies iniciales correspondientes a la topografía, muro del acuífero superficial, muro del acuífero

profundo y muro de los materiales triásicos. Según el modelo geométrico adoptado (M1 ó M2) el muro de los materiales triásicos se ha unido al del acuífero superficial (M2) o al muro del complejo profundo (M1). Dichas superficies se han ido mejorando y actualizando en función de la información previa disponible a lo largo de la realización del modelo numérico.

En llanuras aluviales como la Vega del Segura con suaves cambios de pendiente es necesario una topografía de detalle, 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). 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. En esta versión del modelo se han tenido en cuenta, además, la interpretación de las campañas de sondeos eléctricos verticales y sondeos electromagnéticos de dominio de tiempos (SEDT) realizados al norte de las Sierras de Callosa y Orihuela, en el área de Benferri (DPA-ITGE, 1995) y en las pedanías La Murada y La Matanza (IGT, 1996).

Las principales mejoras realizadas en la geometría del modelo han sido las siguientes:

- Disminución de la topografía en las Sierras de Callosa y Orihuela con objeto de obtener gradientes menos pronunciados entre las sierras y la vega. Dicha modificación no supone ninguna limitación desde un punto de vista hidrogeológico dado el comportamiento predominantemente libre de los materiales triásicos.
- Mejora del sector al norte de las Sierras de Callosa y Orihuela, según las anomalías gravimétricas (Figura 3.1) y campañas geofísicas (SEV y SEDT) realizadas en el área de Benferri (DPA-ITGE, 1995) y en las pedanías La Murada y La Matanza (IGT, 1996).
- Revisión de cotas teniendo en cuenta las campañas de geofísica (SEV y SEDT) realizadas en la Vega Media del Segura.
- Revisión de cotas en Vega Baja según isohipsas e isoespesores en acuífero superficial y semiconfinante (IGME-DPA, 1997,98)
- Revisión de cotas teniendo en cuenta la cota topográfica de todos los puntos de observación empleados en la calibración.

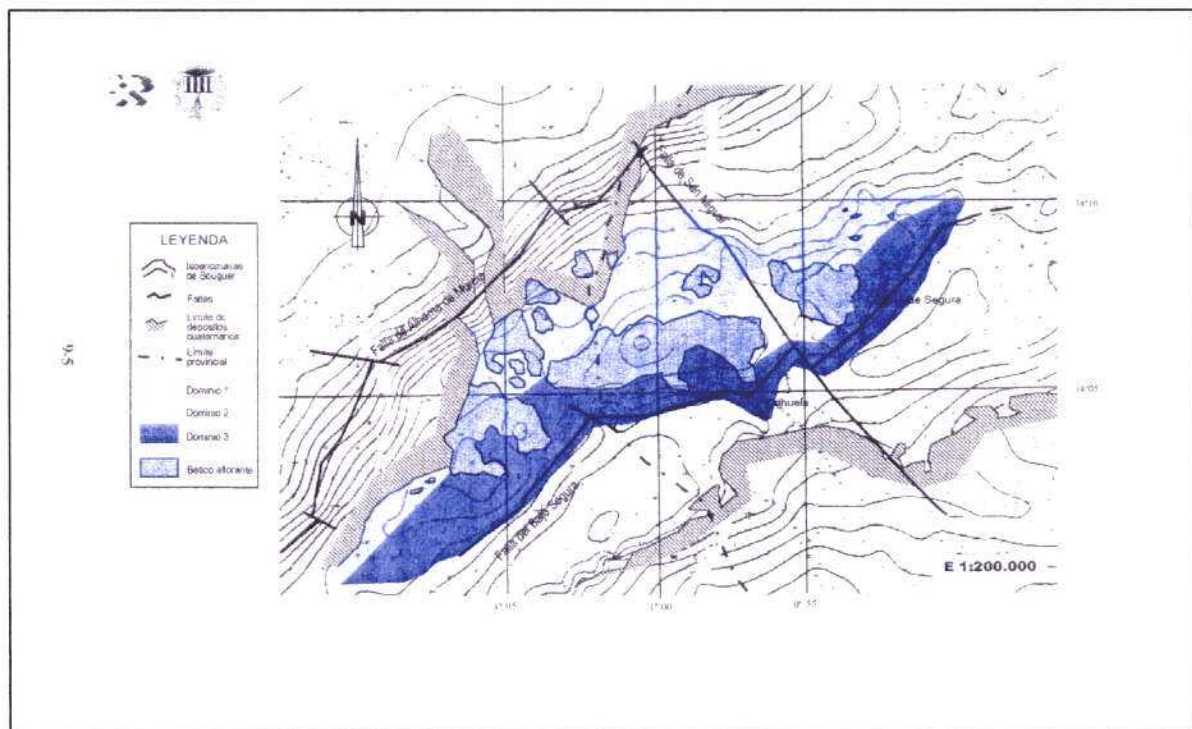


Figura 3.1: anomalías gravimétricas en el entorno de las sierras de Callosa y Orihuela (IGME-DPA, 1997)

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, acuífero profundo y materiales triásicos. Para su elaboración se han tenido en cuenta además las isohipsas obtenidas en estudios anteriores para la Vega Baja (ITGE-DPA, 1996). La mayor incertidumbre se encuentra asociada tanto al muro del acuífero profundo como al de los materiales triásicos, dada la ausencia de sondeos profundos suficientes y de datos geofísicos que permitan alcanzar dichas profundidades. Esta limitación tiene una gran importancia en la fiabilidad de los resultados obtenidos en el modelo numérico.

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 2.81.105 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 3.2 y 3.3 se presenta un corte transversal para los modelos geométricos anteriormente mencionados (M1 y M2)

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.



Figura 3.2 Corte transversal resaltando la capa 2 en el modelo geométrico M2

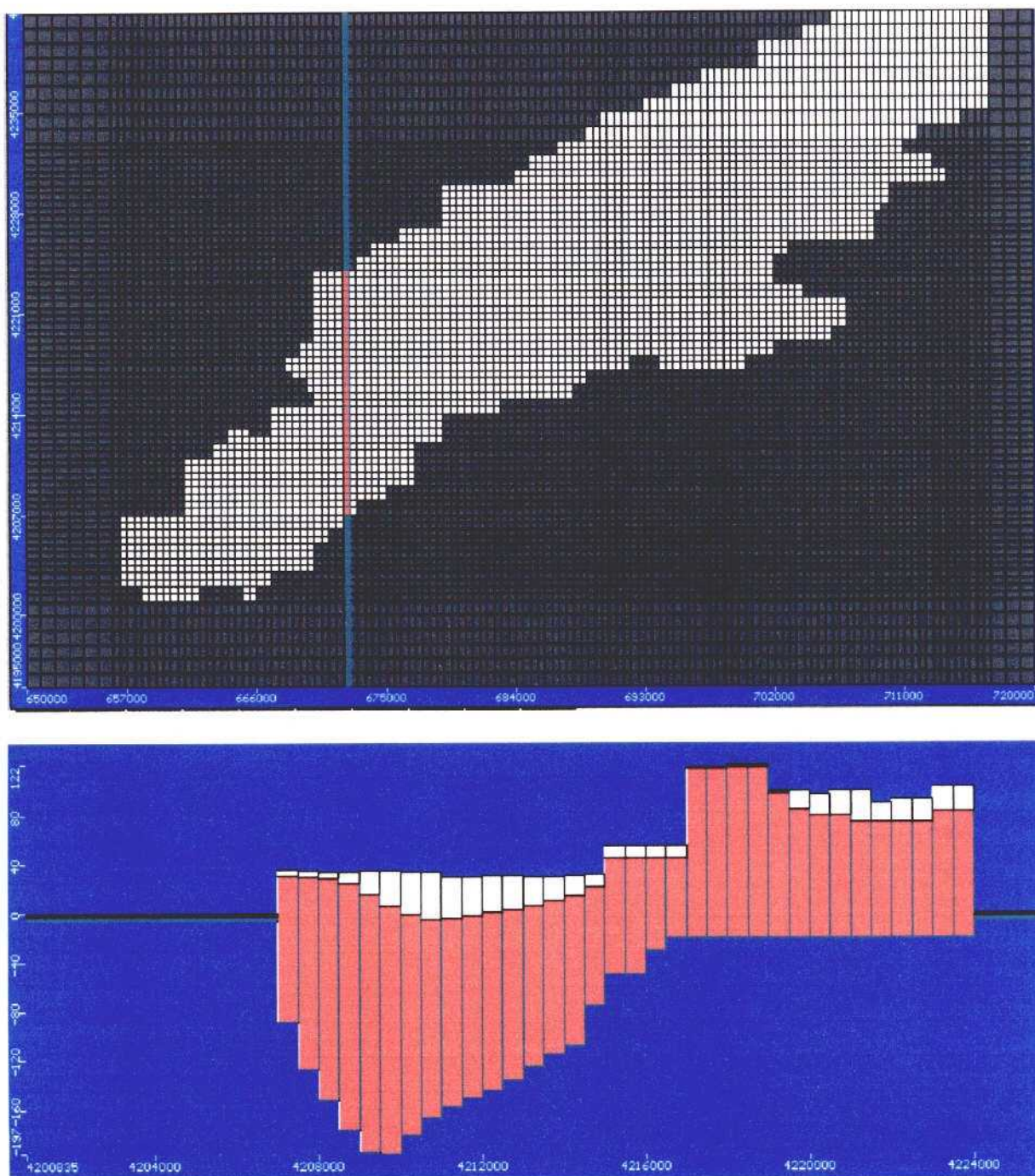


Figura 3.3 Corte transversal resaltando la capa 2 en el modelo geométrico M1

De esta forma, el modelo numérico constaba de 91 columnas por 66 filas con 1576 celdas activas, equivalente a 905 km² (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Número y tamaño de las celdas inicialmente consideradas en el modelo numérico de la Vega del Segura (IGME-CHS-CTOT, 2002).

	Nº celdas 500x500	Nº celdas 500x1000	Nº celdas 1000x500	Nº celdas 1000x1000	Superficie total (km2)
VEGA MEDIA	728	42	0	0	203
VEGA BAJA	44	78	64	620	702
VEGAS MEDIA Y BAJA	772	120	64	620	905

Finalmente y como consecuencia de esta última mejora y actualización del modelo numérico, se ha refinado la malla en la Vega Baja también mediante celdas de 500 x 500 m (a excepción del Campo de Elche con celdas de 1000 x 500 m), obteniéndose un total de 120 columnas y 72 filas (Figuras 3.1 y 3.2). Con respecto a la discretización temporal y en coherencia con la información previa disponible, el modelo ha sido calibrado con un paso de tiempo mensual para el periodo comprendido entre octubre de 1994 y septiembre de 2001.

3.3.4 Condiciones de contorno

Se han definido cinco tipos de condiciones de contorno: flujo nulo, caudal constante, mixta o de goteo (río), dren y nivel general GHB (Figura 3.4):

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 principales 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, 1988). Estos aportes se han simulado en el modelo mediante pozos de inyección.

c) Condición de goteo o mixta: utilizada para simular el comportamiento del río Segura y de la Laguna del Hondo. Este tipo de condición se encuentra controlada fundamentalmente por la conductancia hidráulica (unidad: L²/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 (K) y espesor de la capa (M), mediante la expresión $C = KLW/M$. Dado el elevado número de parámetros implicados y la gran incertidumbre asociada a parte de los mismos resulta difícil conocerla experimentalmente, siendo habitual obtenerla durante la fase de ajuste y calibración del modelo numérico. Esta metodología ha sido también la utilizada en el presente modelo, para lo cual se ha tenido en cuenta tanto el balance de agua en el río (apartado 11.3.1) como el ajuste entre los niveles piezométricos calculados y observados próximos al río.

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. En la mejora y actualización del modelo numérico realizada, el aumento de la discretización espacial y los aforos realizados durante 1979-2004 (Tabla 2.20) han permitido calibrar las conductancias correspondientes a los azarbes principales.



Figura 3.4 - Condiciones de contorno definidas en el modelo numérico de la Vega del Segura (Capa 1)
(Caudal nulo = verde oscuro; Dren = gris; Goteo o mixta= azul y GHB = verde claro)

e) Condición de nivel general (GHB): similar a las condiciones de río y dren, permite simular la entrada o salida de agua con respecto a una masa de agua o fuente externa, teniendo en cuenta la diferencia entre el nivel piezométrico en una celda del modelo y el nivel asignado a la fuente externa. Esta condición ha sido empleada para simular las salidas al mar (suponiendo un nivel en el mar 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 Geográfica 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) 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 3.5

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 3.6. 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 1994-01 se presentan en el apartado 2.2.2.4.

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	12	
		1b	50	246	
		1c	70	19	
					277
	2	2a	0	27	
		2b	50	26	
		2c	115	150	
		2d	165	151	
		2e	185	29	
					383
	3	3a	50	22	
		3b	70	20	
3c		100	4		
				46	
VEGA MEDIA	4	4a	65	30	
		4b	101	66	
		4c	135	62	
		4d	163	45	
				203	
TOTAL				909	

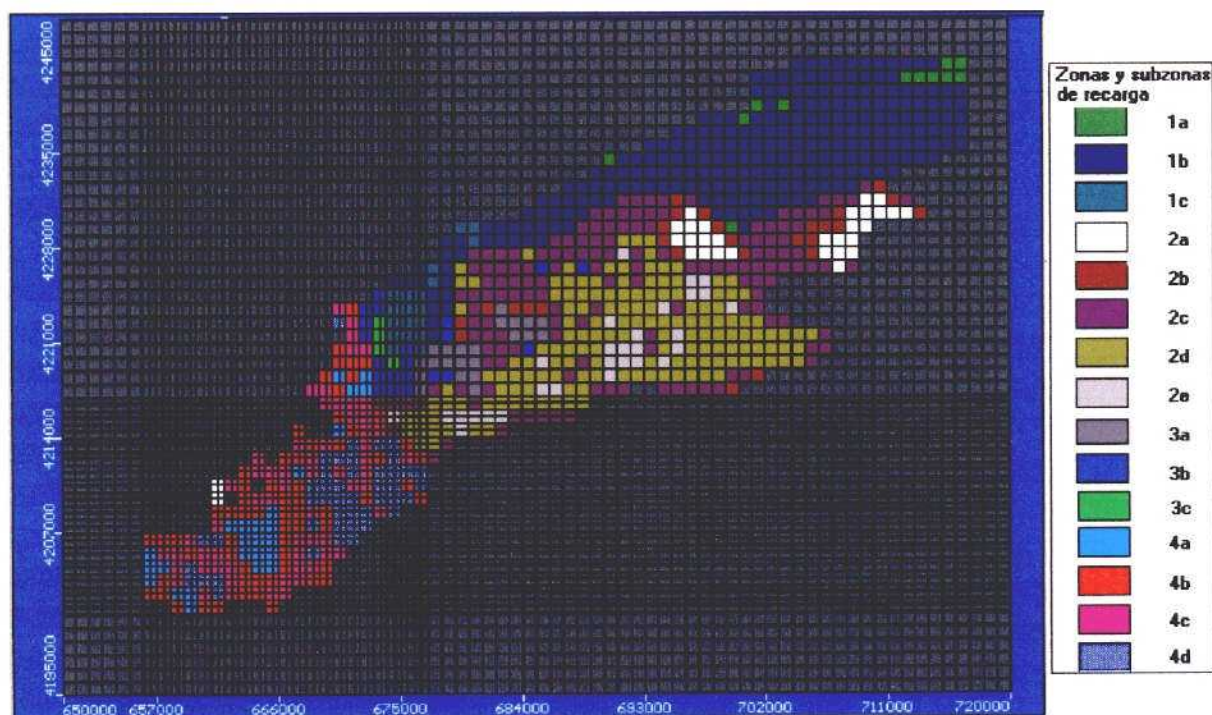


Figura 3.5 - Zonas y subzonas de recarga introducidas inicialmente en el modelo numérico.

El código numérico utilizado permite tratar la recarga mediante dos opciones: 1) aplicándola únicamente sobre la capa 1 ó 2) aplicándola a la celda activa más alta en la vertical. Como se tratará en capítulos posteriores, en el modelo numérico realizado se han considerado inicialmente ambas opciones con objeto de contrastar los resultados obtenidos y disponer de una visión lo más amplia posible con respecto al funcionamiento del acuífero. Finalmente e independientemente del modelo geométrico adoptado (M1 ó M2), se ha decidido utilizar la opción 2 con objeto de poder calibrar la recarga producida a través tanto de los materiales triásicos (sierras de Callosa y Orihuela) (Zona D) como de los limos y arcillas aflorantes en el Campo de Elche (Zona C)

Tabla 3.4. - Zonas de recarga finalmente introducidas en el modelo numérico: recarga inicial en régimen estacionario (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
E + Inactivas	0	38 + 21	-
Total		909	



Figura 3.6 - Zonas de recarga consideradas en el modelo numérico de la Vega Media y Baja del Segura.

Estos valores de recarga se han mantenido constantes a lo largo de las diferentes fases de ajuste y calibración del modelo numérico en régimen estacionario (IGME-CHS-CTOT, 2002). Durante la mejora y actualización del modelo numérico se han diferenciado dos fases o etapas principales. En una primera fase, se han mantenido los mismos valores de recarga modificando ligeramente la zonificación en torno a los afloramientos triásicos (Fase 1) (Figura 3.7).

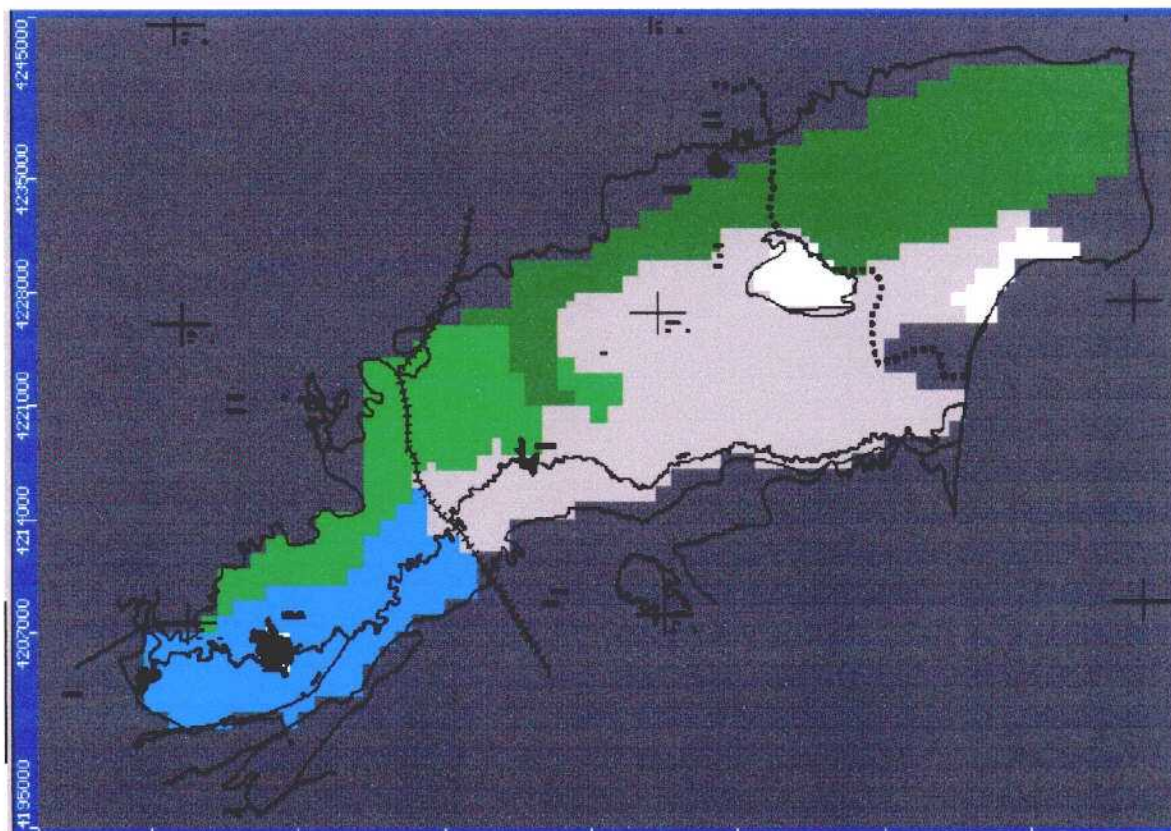


Figura 3.7 – Zonas de recarga consideradas como consecuencia de la mejora y actualización del modelo numérico de la Vega Media y Baja del Segura (Fase 1).

Posteriormente, se han modificado tanto la zonificación como los valores iniciales de recarga de acuerdo con la distribución de las principales Unidades de Demanda Agraria (UDAS) (Figura 3.8) y los resultados obtenidos de la aplicación del módulo de calibración automática WINPEST (Fase 2). Los valores y la zonificación de de la recarga finalmente considerados se presentan en la Tabla 3.5 y Figura 3.9, observándose como, en general, se obtienen mejores resultados al disminuir la recarga en las zonas B y D además de aumentar ligeramente la recarga en la zona C2. La zonificación se ha modificado teniendo en cuenta la distribución de las principales Unidades de Demanda Agraria (UDAS). En este caso se ha considerado una recarga nula sobre el casco urbano de la ciudad de Murcia y en sierras de Callosa y Orihuela. Esto último resulta compatible con las escasas precipitaciones existentes en la zona y con una baja permeabilidad predominante de los materiales triásicos coherente con la geomorfología observada en esta zona. Por otro lado, al aumentar la discretización espacial en la Vega Baja, el modelo se adapta mejor a los bordes reales de la unidad obteniéndose una superficie de recarga mayor (985 km²), más próxima a la superficie total

de la Vega Media y Baja (1046 km²). La recarga total obtenida es de unos 72 hm³/año (inferior a los 87 hm³/año anteriormente considerados). Todo ello se interpreta como posiblemente debido a una probable sobreestimación inicial de la recarga dada la elevada incertidumbre asociada a este parámetro en la zona de estudio.

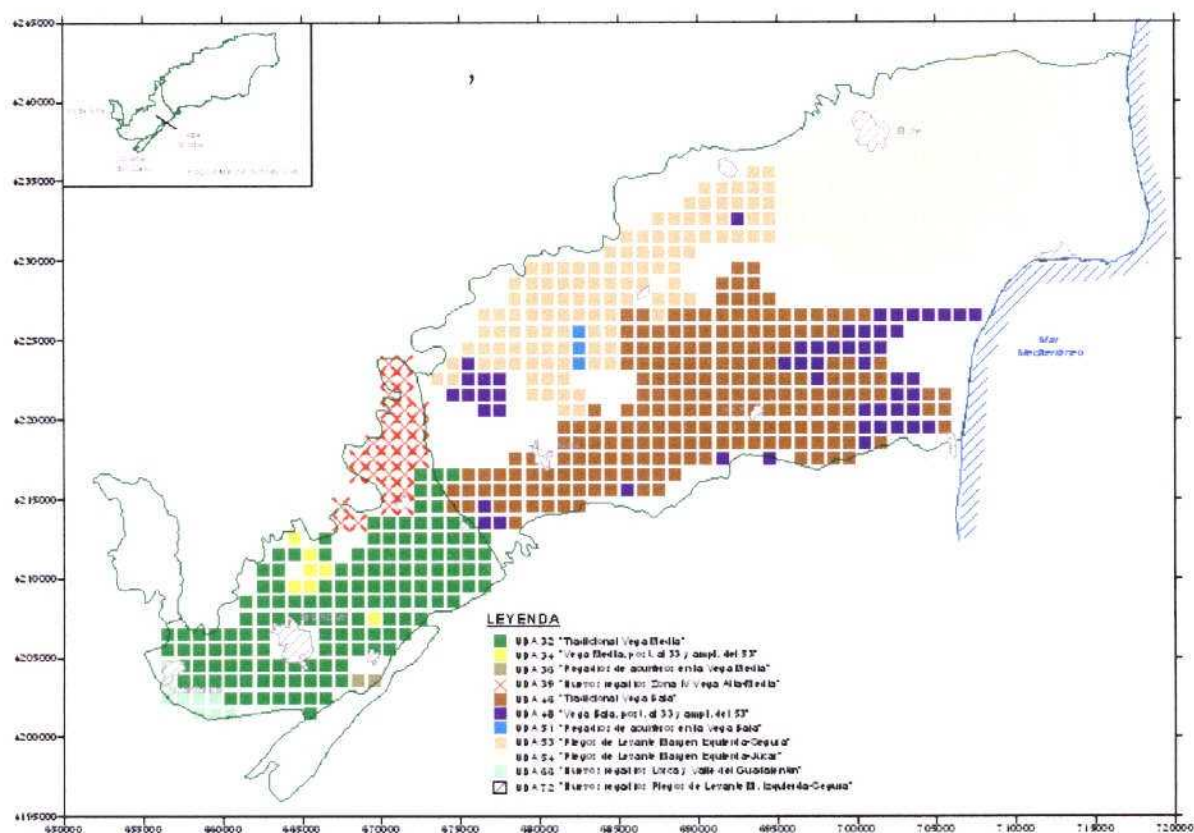


Figura 3.8 – Distribución espacial de las principales Unidades de Demanda Agraria (UDAS) en el dominio de la Vega Media y Baja del Segura

Tabla 3.5. - Zonas de recarga consideradas en la actualización y mejora del modelo numérico: recarga inicial en régimen estacionario (mm/año) y extensión superficial (km²)

Zona	Recarga (mm/a)	Extensión superficial (km ²)	Tipo de recarga
A	124	141	Lluvia + riego
B	97	294	Lluvia + riego
C1	55	209	Lluvia + riego
C2	75	196	Lluvia + riego
D	0	105	Lluvia
E	0	40	-
Total		985	

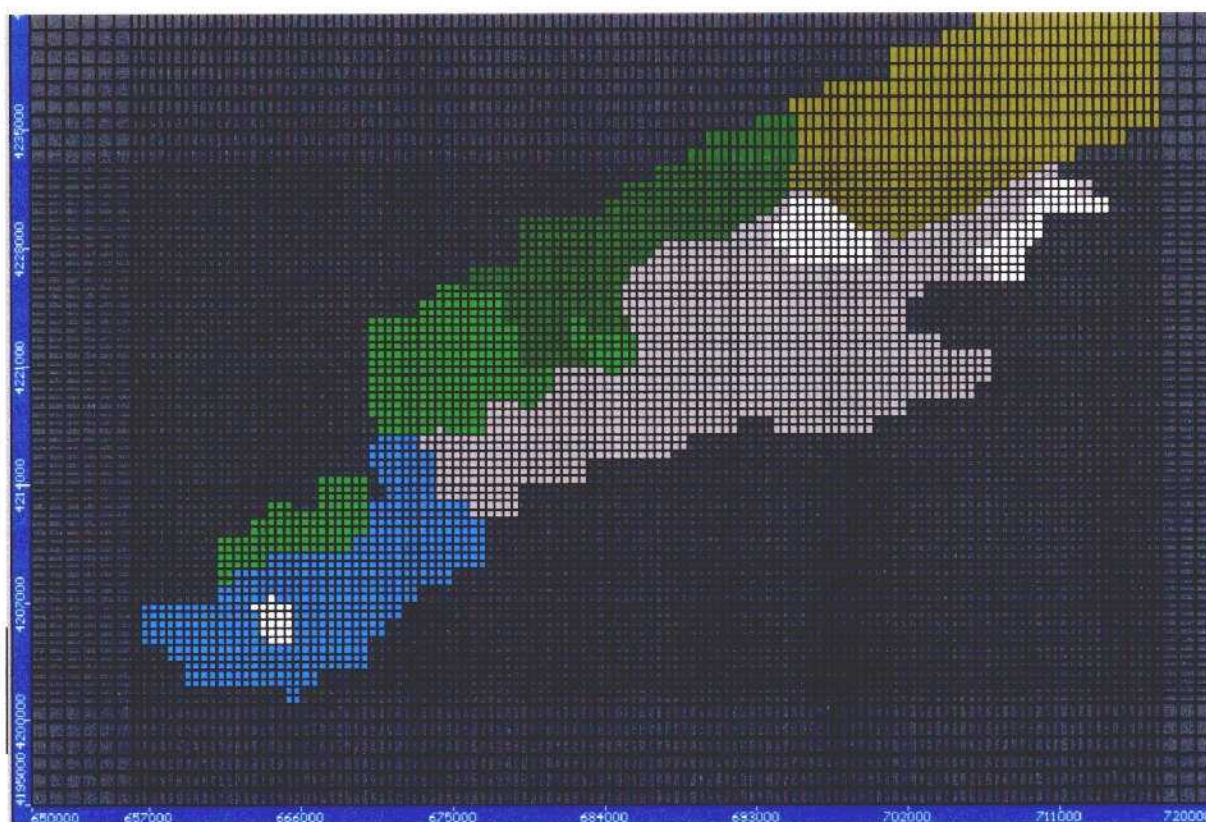


Figura 3.9 - Zonas de recarga consideradas como consecuencia de la mejora y actualización del modelo numérico de la Vega Media y Baja del Segura (Fase 2).

3.3.6. Parámetros hidráulicos

Los parámetros hidráulicos inicialmente considerados en el modelo numérico (estimación previa) se han obtenido de tres fuentes de información principales:

a) Ensayos de bombeo: en general el número de ensayos correctamente interpretados es muy pequeño. En los niveles aluviales del cuaternario, los ensayos disponibles son de muy escasa duración, teniendo en cuenta la más que probable existencia de drenaje diferido, y todos ellos han sido interpretados mediante el método de Jacob en lugar del método de Boulton y/o Neuman. En los materiales triásicos las pérdidas de carga son frecuentes y sólo se dispone de datos puntuales casi siempre en el contacto entre las sierras y el aluvial. Se han reinterpretado los ensayos correspondientes a los sondeos

Mariachi, Bandolero y La Encantada, obteniéndose valores de transmisividad muy elevados (entre 16000 y 64000 m²/día).

b) Valores de conductividad hidráulica obtenidos en estudios previos realizados en la Vega Baja (ITGE-DPA; 1997-98). 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).

c) Valores de conductividad hidráulica horizontal obtenida de la bibliografía (USGS, 2002; Custodio y Llamas, 1983) (Tablas 3.6 y 3.7)

Tabla 3.6. - Valores orientativos de conductividad hidráulica horizontal (USGS, 2002)

Common Rock Properties					
Aquifer Material	Extreme	Likely	Likely	Extreme	Rock Type
	Kmin, m/d	Kmin, m/d	Kmax,m/d	Kmax,m/d	
Gravel	296	985	9850	9850	Unconsolidated Sedimentary Rock
Sand and Gravel Mixes	3.3	99	985	985	Unconsolidated Sedimentary Rock
Coarse Sand	164	230	985	985	Unconsolidated Sedimentary Rock
Medium Sand	3.3	66	230	657	Unconsolidated Sedimentary Rock
Fine Sand	1.64E-01	10	66	66	Unconsolidated Sedimentary Rock
Gulf Coast Aquifer Systems (6603 values)	6.57E+00	99	657	2627	Unconsolidated Sedimentary Rock
Stream Terrace Deposit, Fort Worth, Texas (59 values)	3.28E-02	3.3	328	985	Unconsolidated Sedimentary Rock
Surficial Aquifer, central Florida (fine sand and silt, 55 v	3.28E-02	3.28E-01	99	164	Unconsolidated Sedimentary Rock
Silt, Loess	9.85E-04	3.28E-03	0.33	20	Unconsolidated Sedimentary Rock
Till	9.85E-07	9.85E-03	0.99	2	Unconsolidated Sedimentary Rock
Clay soils (surface)	3.28E-02	3.28E-02	3.3	3.3	Unconsolidated Sedimentary Rock
Clay	3.28E-06	3.28E-05	3.28E-04	3.28E-03	Unconsolidated Sedimentary Rock
Unweathered Marine Clay	6.57E-07	6.57E-07	1.97E-03	1.97E-03	Carbonate Rocks
Karst	9.85E-01	33	3283	32833	Carbonate Rocks
Reef Limestone	9.85E-01	33	3283	19700	Carbonate Rocks
Limestone, Dolomite	9.85E-04	1.31E-02	3.28E-01	7	Carbonate Rocks
Fine-Grained Sandstone	3.28E-04	3.28E-03	3.3	19.7	Indurated Sedimentary Rock
Medium-Grained Sandstone	3.28E-03	3.3	33	263	Indurated Sedimentary Rock
Siltstone	3.28E-06	3.28E-05	1.64E-02	1.31E-01	Indurated Sedimentary Rock
Claystone	9.85E-09	3.28E-06	3.28E-05	9.85E-05	Indurated Sedimentary Rock
Anhydrite	3.28E-07	3.28E-07	1.97E-02	1.97E-02	Indurated Sedimentary Rock
Shale	3.28E-08	3.28E-07	3.28E-04	3.3	Metamorphic or Volcanic Rock
Permeable Basalt	0.328	3.3	328	19700	Metamorphic or Volcanic Rock
Fractured Igneous and Metamorphic Rock	0.003	0.164	33	328	Metamorphic or Volcanic Rock
Weathered Granite	0.328	3.3	33	66	Metamorphic or Volcanic Rock
Weathered Gabbro	0.328	0.328	3.28	3.28	Metamorphic or Volcanic Rock
Basalt	0	9.85E-02	3.28E-01	3.28E-01	Metamorphic or Volcanic Rock
Unfractured Igneous and Metamorphic Rock	0	2.96E-08	1.97E-04	1.97E-04	Metamorphic or Volcanic Rock
Unfractured Igneous and Metamorphic Rock	0	2.96E-08	1.97E-04	1.97E-04	Metamorphic or Volcanic Rock

Tabla 3.7. - Valores orientativos de conductividad hidráulica horizontal (Custodio y Llamas, 1983)

CLASES DE PERMEABILIDAD											
Unidades	Extr. Alta	Muy Alta	Alta	Media	Pequeña	Pequeña	Muy Peq	Extr. Peq	Casi imp	Impermeable	
cm/seg	3	0.7	0.1	0.05	9.0E-03	5.0E-03	2.0E-03	7.0E-04	7.0E-05	1.0E-05	1.0E-07
m/seg	3.0E-02	7.0E-03	1.0E-03	5.0E-04	9.0E-05	5.0E-05	2.0E-05	7.0E-06	7.0E-07	1.0E-07	1.0E-09
m/día	2.592	605	86.4	43.2	7.78	4.32	1.73	0.605	6.0E-02	8.6E-03	8.6E-05
mlDarcy*	2.2E+06	5.1E+05	7.2E+04	36.072	6.493	3.607	1.443	505	51	7	0.07

Grava Limpia	Creta	Arcillas
Arena gruesa		Limos
Mezcla de arena		Arena limosa
Arena fina		

A partir de dichos valores se ha realizado una zonificación inicial, tanto para la conductividad hidráulica como para el coeficiente de almacenamiento. Dicha zonificación se ha realizado teniendo en cuenta las consideraciones siguientes de acuerdo con el modelo hidrogeológico conceptual:

- Depósitos de alta energía (arenas y gravas) en el centro de la Vega Media
- Depósitos de baja energía (limos y arcillas) en el borde de la Vega Media
- Relación entre el río y el acuífero
- Aumento de los limos y arcillas hacia la Vega Baja y el mar
- Aumento del número de tramos permeables hacia la Vega Baja y el mar

Con respecto a la conductividad hidráulica, en las primeras etapas y con objeto de establecer una aproximación inicial a partir de la estimación previa se ha considerado un medio isótropo, es decir, $K_x = K_y = K_z$. 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.

La distribución espacial (zonificación) de la conductividad hidráulica inicialmente considerada se presenta en las Figuras 3.9b (Capa 1) y 3.10 (Capa 2). Teniendo en cuenta la anisotropía anteriormente mencionada y después de un primer ajuste y calibración del modelo se obtuvieron las zonas y valores de conductividad hidráulica presentados en la Tabla 3.8 (IGME-CHS-CTOT, 2002).

Tabla 3.8. Valores de conductividad hidráulica inicialmente obtenidos en régimen estacionario en el modelo numérico de la Vega Media y Baja del Segura (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

Estos valores, sin embargo, resultan demasiado elevados con respecto a los inicialmente esperados, sobre todo los referidos al acuífero superficial. Durante la actualización y mejora del modelo numérico se ha modificado tanto la zonificación como los valores inicialmente obtenidos, teniendo en cuenta, fundamentalmente, las mejoras geométricas realizadas así como la revisión de la relación río-acuífero (ver apartado 2.3.1). En una primera fase se han obtenido una zonificación y valores de conductividad hidráulica (Figuras 3.11 y 3.12; Tabla 3.9) mediante calibración manual y considerando la recarga de la Figura 3.7 (Fase 1). Posteriormente, se han obtenido la zonificación y valores definitivos utilizando el módulo de calibración automática WINPEST (Figuras 3.13 y 3.14; Tabla 3.10).

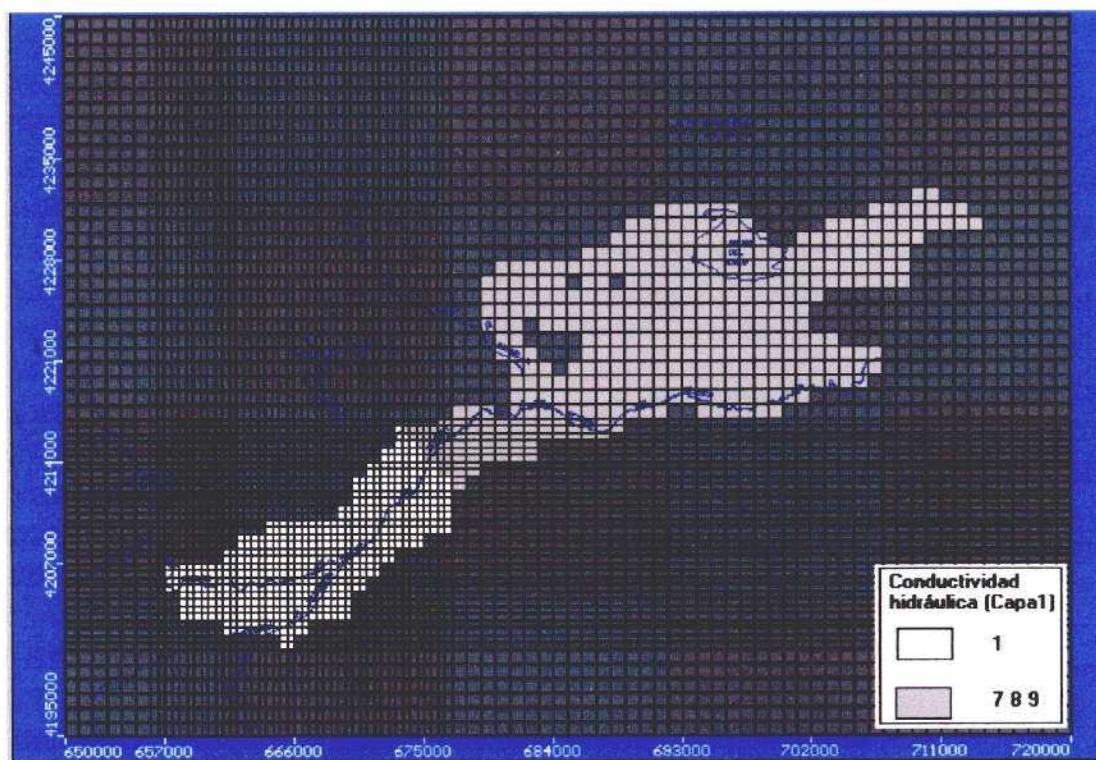


Figura 3.9b. – Zonificación inicial de la conductividad hidráulica en el modelo numérico (Capa 1)

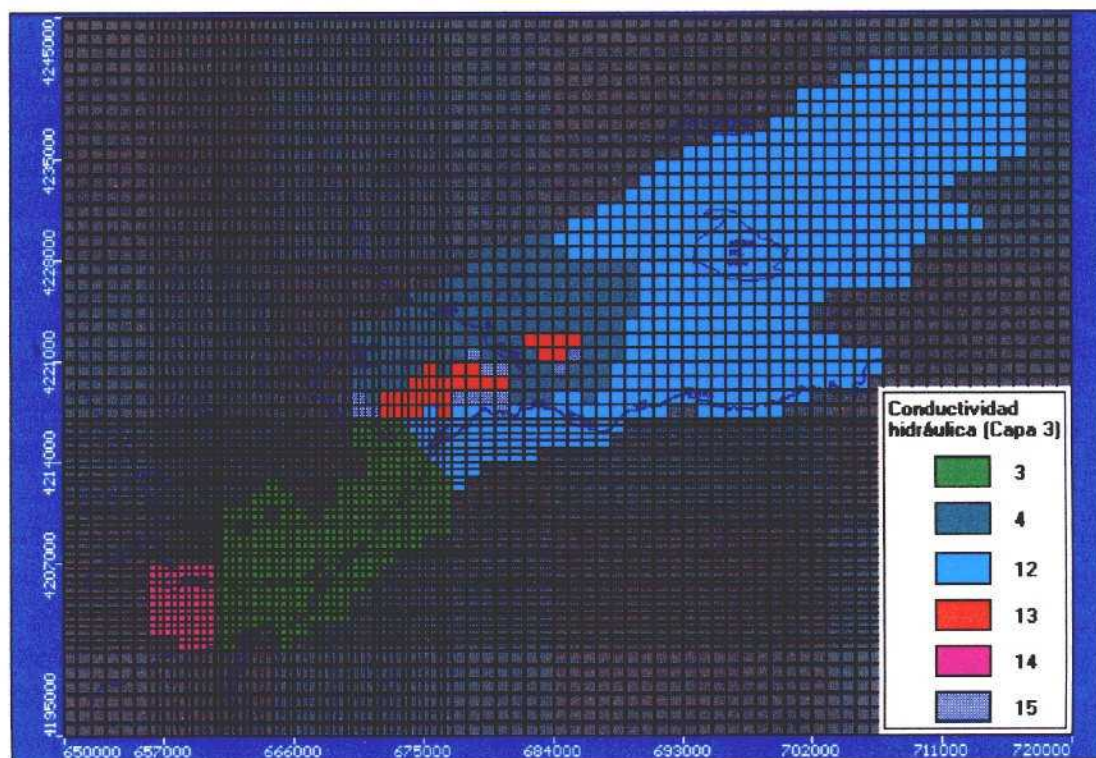


Figura 3.10. – Zonificación inicial de la conductividad hidráulica en el modelo numérico (Capa 3)

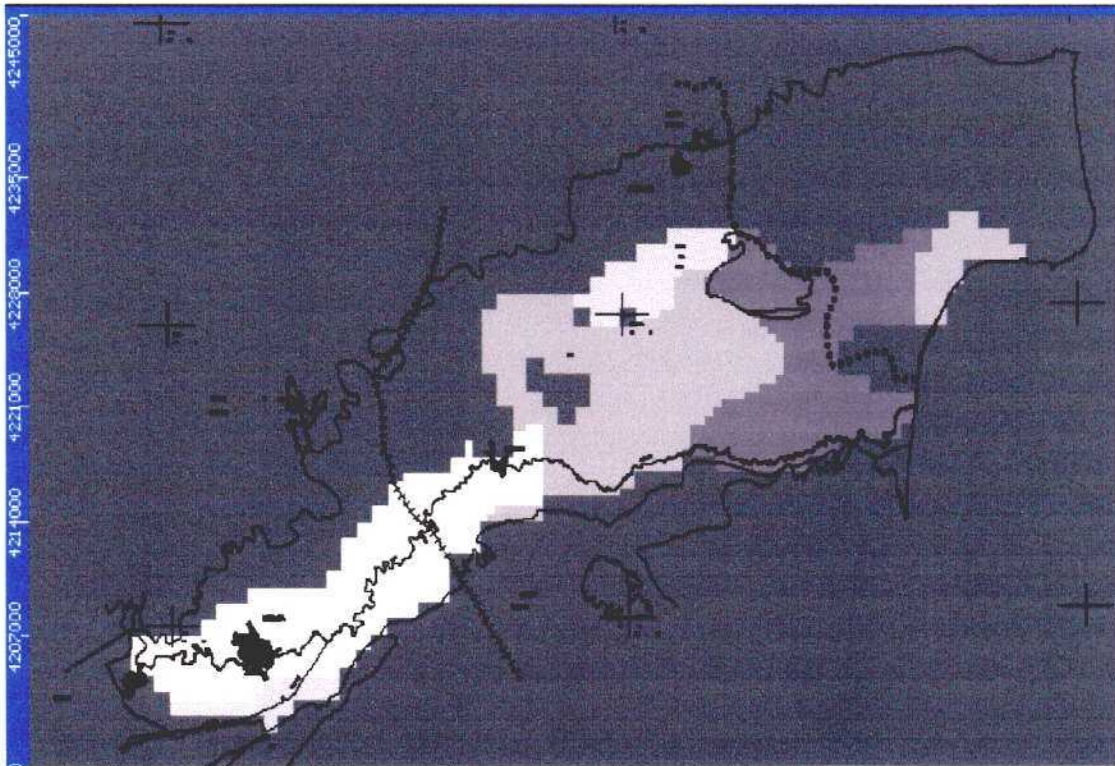


Figura 3.11. – Zonificación de conductividad hidráulica en la mejora del modelo: Fase 1 (Capa 1)

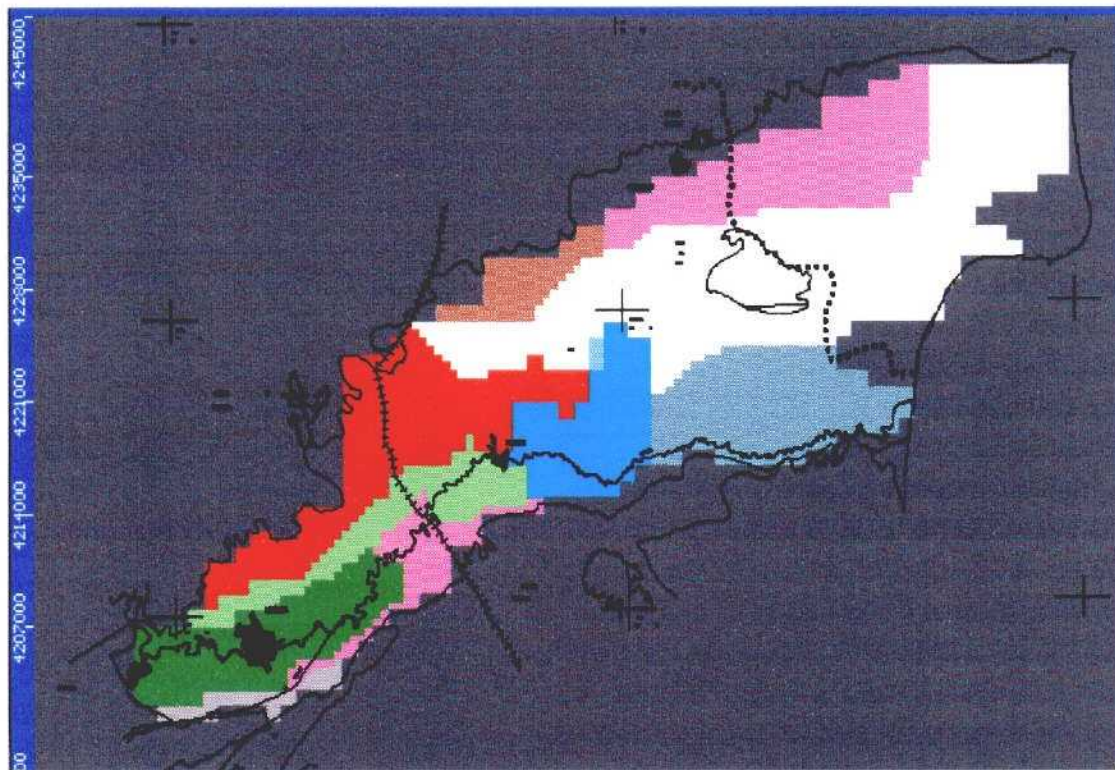


Figura 3.12. – Zonificación de conductividad hidráulica en la mejora del modelo: Fase 1 (Capa 2)

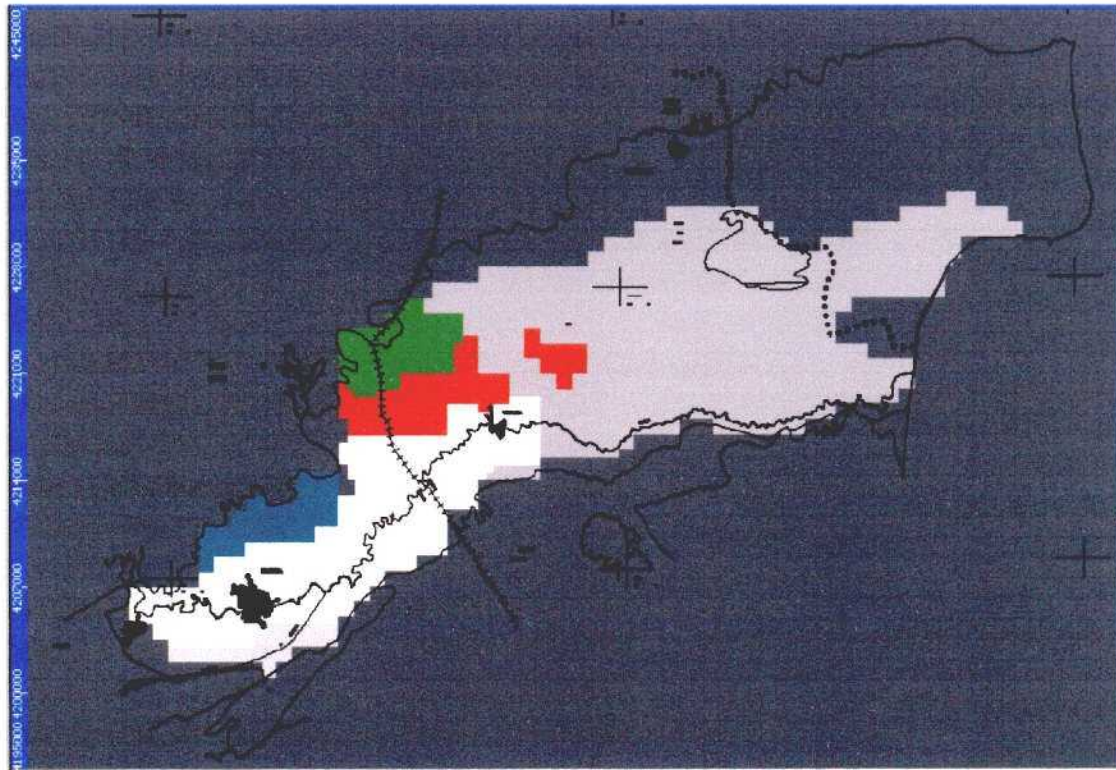


Figura 3.13. – Zonificación final de la conductividad hidráulica en la mejora del modelo (Capa 1)

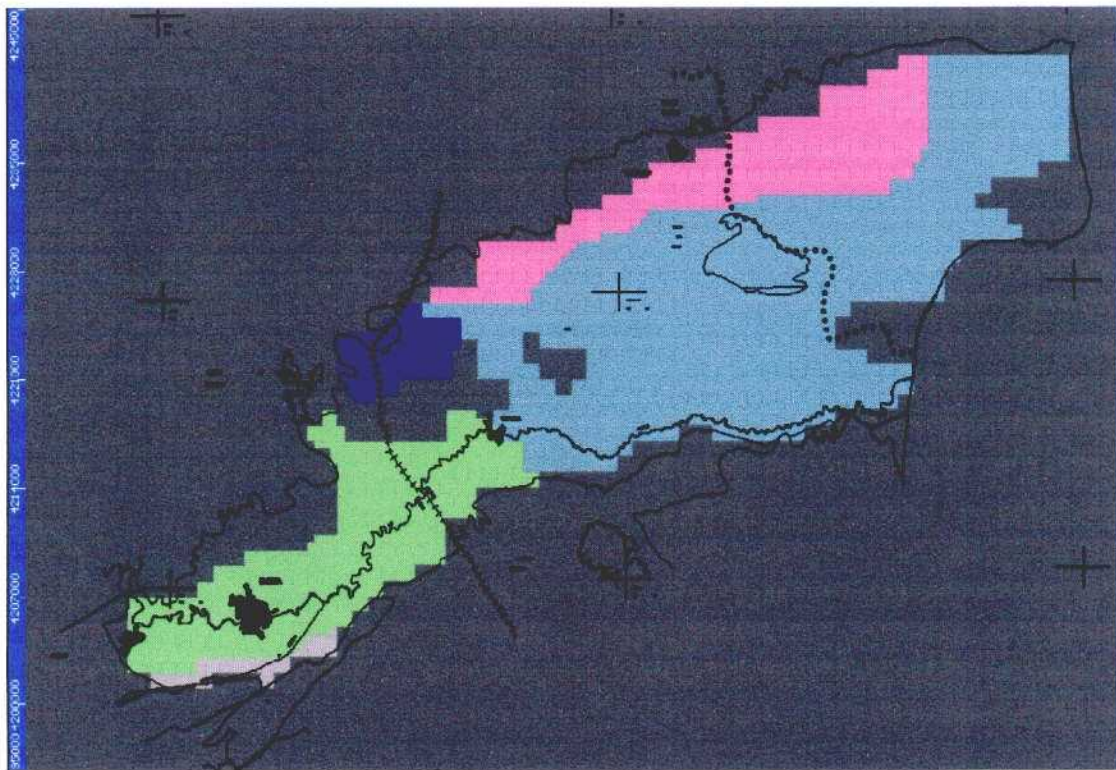


Figura 3.14. – Zonificación final de la conductividad hidráulica en la mejora del modelo (Capa 2)

Tabla 3.9. Valores de conductividad hidráulica obtenidos en régimen estacionario durante la mejora del modelo numérico mediante calibración manual: Fase 1 (m/día).

	Capa	Zona	Kx = Ky	Kz
Vega Baja	1	8	0.02	0.02
Vega Media y Baja		1	5	5
Vega Baja		9	5	5
Vega Baja		36	25	25
Triásico	2	13	0.5	0.5
Vega Baja		33	0.5	0.5
Vega Baja		27	0.9	0.9
Vega Media		37	1	1
Vega Media y Baja		42	10	5
Vega Baja		32	25	1
Vega Baja		12	50	5
Vega Baja		29	175	20
Vega Media y Baja		39	210	10
Vega Media y Baja		3	210	10

Tabla 3.10. Valores de conductividad hidráulica finalmente obtenidos en régimen estacionario durante la mejora del modelo mediante calibración automática: Fase 2 (m/día). Distribución geométrica M2.

	Capa	Zona	Kx = Ky	Kz
Vega Media (aluvial)	1	21	0.004	0.004
Vega Media (aluvial)		1	0.52	0.52
Vega Media (Trias)		4	1 a 375	1 a 375
Vega Baja (Trias)		13	1 a 375	1 a 375
Vega Baja (aluvial)		8	0.88	0.88
Vega Baja (aluvial+ Trias)		3	4	4
Vega Media (aluvial)	2	37	1.09	1.09
Vega Media (aluvial)		39	128	10
Vega Baja (aluvial+ Trias)		2	30	30
Campo de Elche (aluvial)		27	0.4	0.4
Vega Baja (aluvial)		32	87	4

Como puede observarse en la Tabla 3.10, se obtienen ajustes parecidos independientemente de que se considere una conductividad hidráulica para los materiales triásicos de 1 o 175 m/día. Ello es debido a la escasa disponibilidad de puntos de observación en dichos materiales. No obstante, en general, se obtienen resultados algo mejores al considerar valores más bajos, ya que al aumentar dicha conductividad hidráulica

el flujo tiende a presentar una componente hacia el N provocando un ascenso de niveles al norte de las sierras de Callosa y Orihuela.

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 3.11). Los parámetros iniciales asignados a cada zona se presentan en la Tabla 3.12 (Fase 3) y Tabla 3.13 (Fase 4).

Tabla 3.11. Valores típicos de porosidad eficaz y total según el tipo de material (Custodio y Llamas, 1983)

	Porosidad eficaz			Porosidad total
	min	med	max	
Arena fina	0.1	0.21	0.28	0.3
Arcilla arenosa	0.03	0.07	0.12	0.4
Arena con grava/ Grava fina	0.2	0.25	0.35	0.35

Tabla 3.12. Zonas y parámetros de almacenamiento iniciales considerados (Fase 3)

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

Tabla 3.13. Zonas y parámetros de almacenamiento considerados en la mejora del modelo (Fase 4)

Zona	Capa	Almacenamiento específico (Ss)	Coefficiente almacenamiento (Sy)	Porosidad Efectiva	Porosidad Total
1	1	0.021	0.21	0.21	0.3
2	2	3×10^{-6}	0.0003	0.25	0.35
3	2	3×10^{-6}	0.0003	0.25	0.35
4	1	0.015	0.03	0.03	0.3
5	1	0.015	0.03	0.03	0.3

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 3.11 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 3.14 y Figura 3.15 (Fase 3), y Tabla 3.15 y Figura 3.16 (Fase 4)

Tabla 3.14. Zonas y parámetros de almacenamiento calibrados en la Fase 3 (hipótesis E)

Capa	Zona	Almacenamiento específico (Ss)	Coficiente 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

(*)= Cabecera de la Vega Media

Tabla 3.15. Zonas y parámetros de almacenamiento finales calibrados en la mejora del modelo (Fase 4)

Zona	Capa	Almacenamiento específico (Ss)	Coficiente almacenamiento (Sy)	Porosidad Efectiva	Porosidad Total
1	1	0.00073	0.022	0.022	0.3
2	2	$1,4 \times 10^{-6}$	0.00028	0.25	0.35
3	2	0.015	0.03	0.03	0.3
4	1	0.0027	0.27	0.27	0.3
5	1	$3,8 \times 10^{-5}$	0.007	0.007	0.3

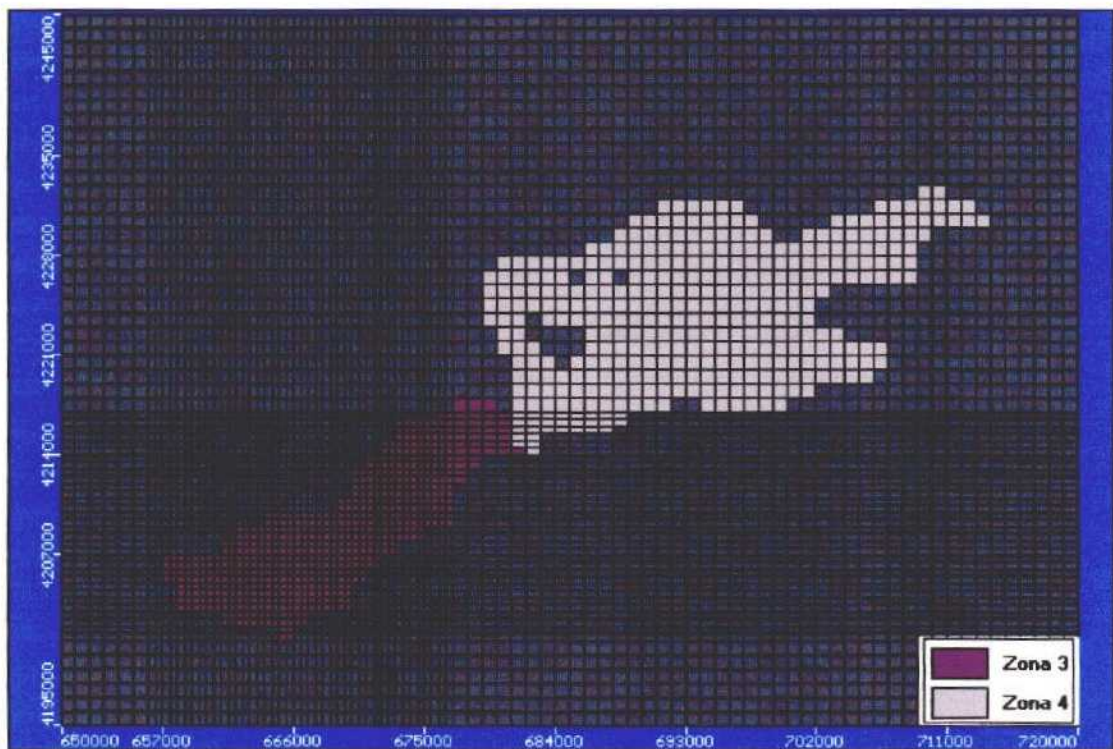
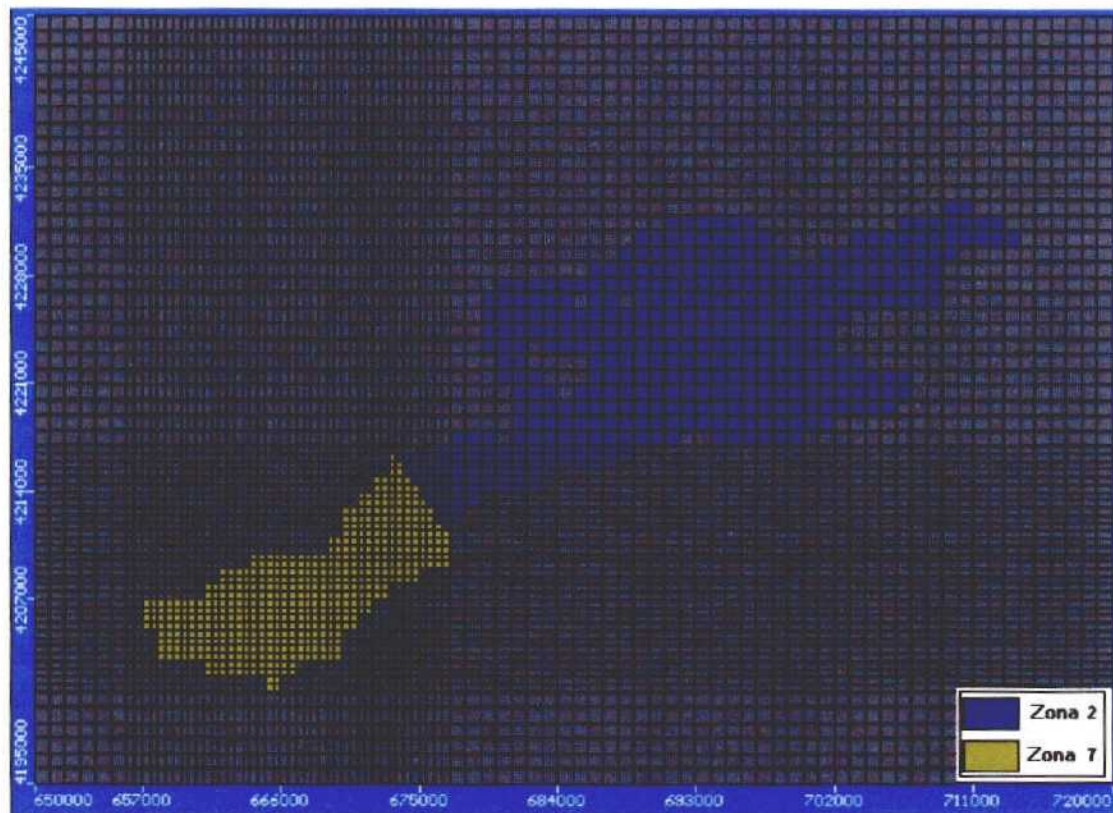


Figura 3.15 – Zonificación de los parámetros de almacenamiento (Capas 1 y 2). (Fase 3)

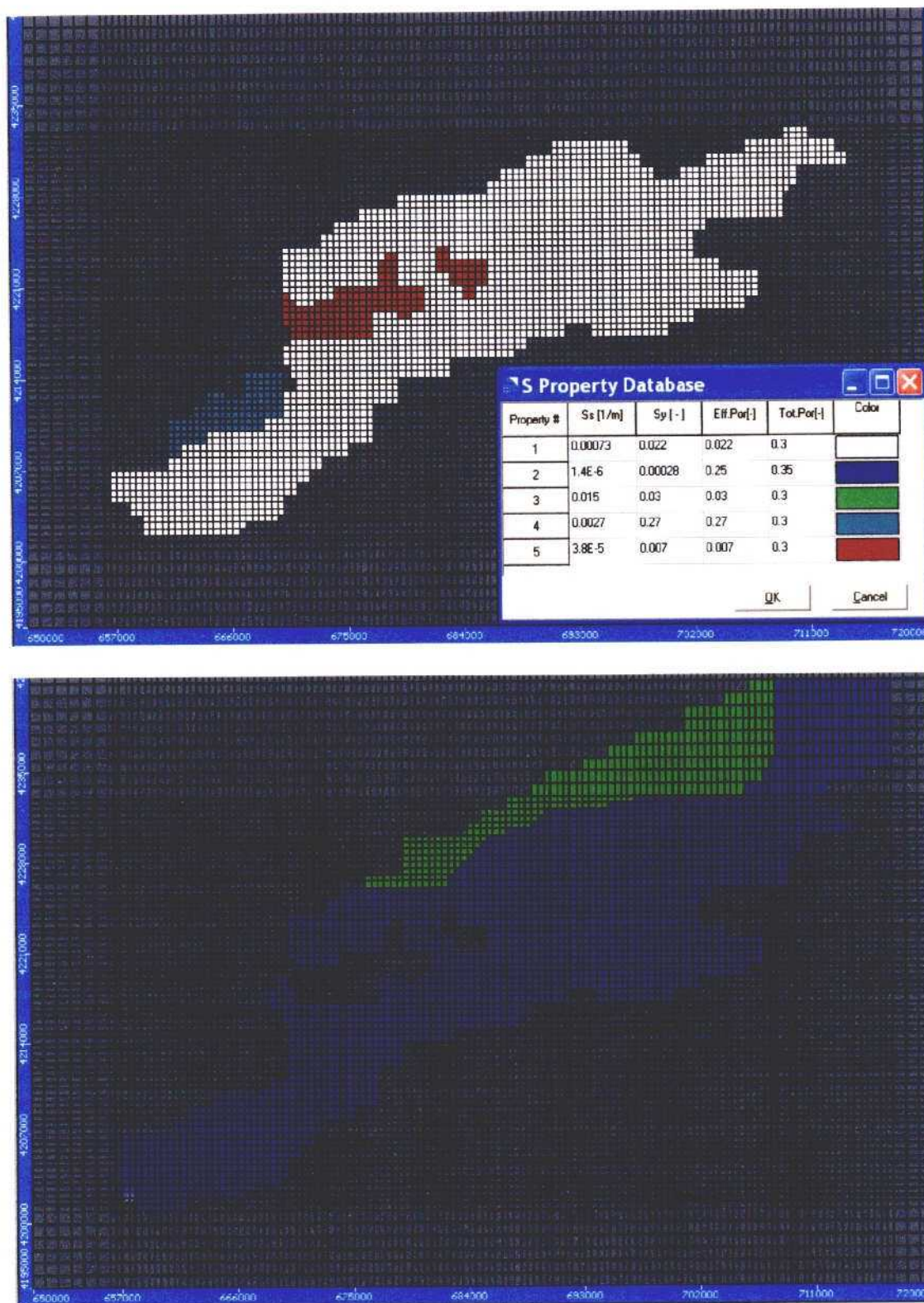


Figura 3.16 – Zonificación de los parámetros de almacenamiento en la mejora del modelo (Fase 4)

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 y, más extensamente en IGME-CHS-DPA, 2002 (Anejo 6.2). Los datos obtenidos se han trasladado al formato requerido por el código numérico empleado. Dentro de cada mes, 84 meses en total, el bombeo es estima que ha permanecido constante.

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 apartado 2 (evaluación de la recarga, descarga y análisis 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 2), 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 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.

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 resultados obtenidos de la calibración del modelo numérico en régimen estacionario. Para ello se diferencian dos apartados principales en los que se presentan tanto los resultados obtenidos en la versión anterior (VMODFLOW 2.7) como los resultantes de la actualización y mejora realizada, valorándolos y comparándolos con el modelo conceptual. Posteriormente a la calibración con la versión VMODFLOW 2.7 se presenta un análisis de sensibilidad con la finalidad de evaluar cuales son los principales parámetros que controlan el flujo de agua subterránea. Posteriormente, se presentan los resultados de la mejora y actualización realizada así como las principales conclusiones finalmente obtenidas. Finalmente, se presenta tanto la entrada de datos como 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 cinco 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 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 del río y azarbes.
- e) Mejora y actualización del modelo numérico (VMODFLOW 2.81.84 y 2.81.105). Esta mejora se ha centrado en la definición geométrica del modelo y, en la modificación o sustitución de determinadas condiciones de contorno para aumentar la sensibilidad tanto a los parámetros como a las diferentes variables del modelo. Durante esta etapa se han realizado dos calibraciones, una manual (VMODFLOW 2.81.84) y otra mediante la utilización del código de calibración automática WINPEST (VMODFLOW 2.81.105).

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 iniciales 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

3.17). Para controlar el balance tanto en la Vega Media como en la Vega Media y Baja se han definido las zonas de balance iniciales presentadas en la Tabla 3.16 y Figuras 3.18a y 3.18b. 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 zona.

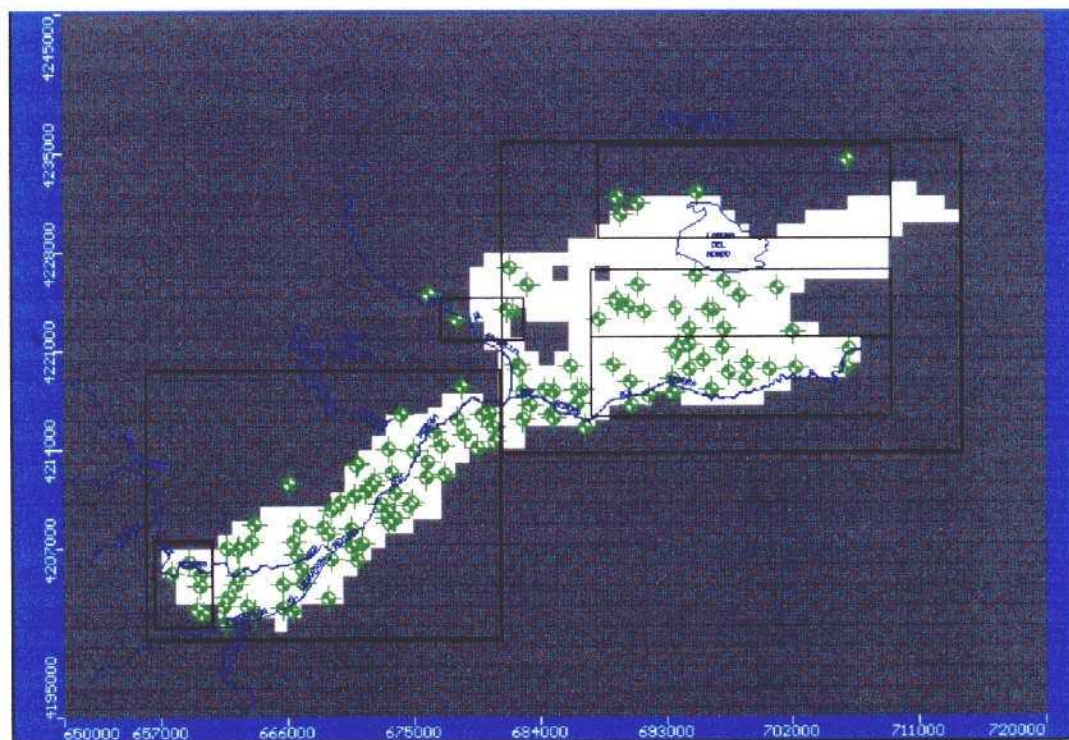


Figura 3.17. Principales sectores de puntos de observación diferenciados durante el ajuste y calibración

Tabla 3.16. Zonas de balance iniciales diferenciadas durante el 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

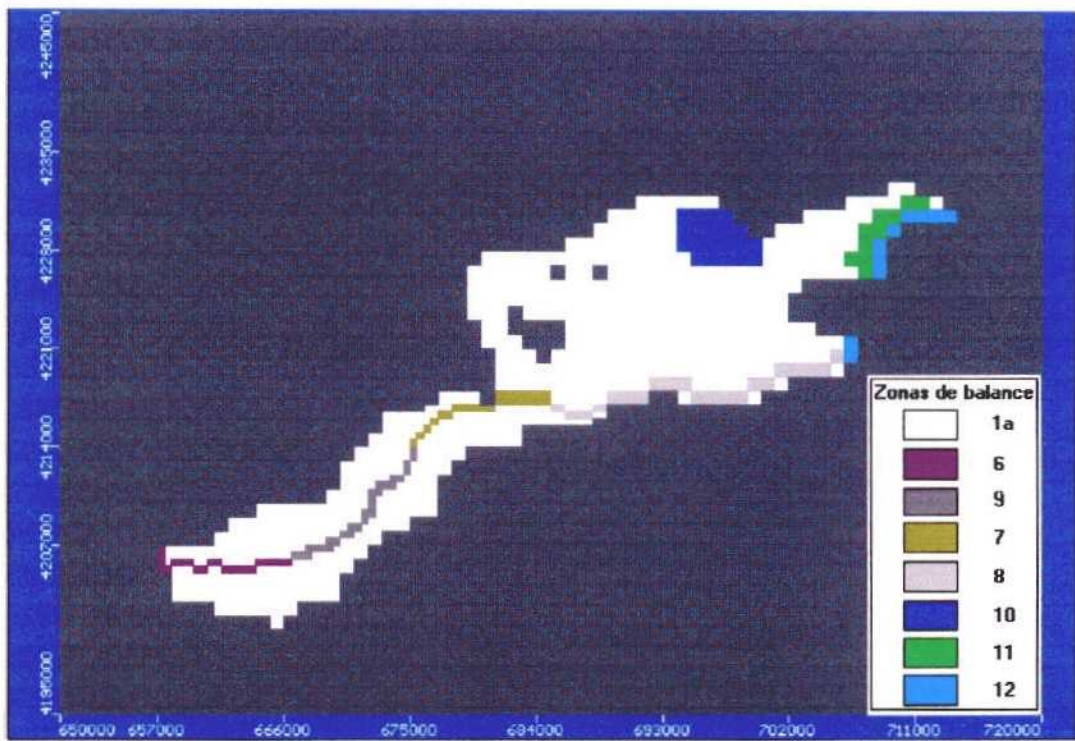


Figura 3.18a. - Zonas de balance iniciales diferenciadas durante la fase de calibración en la Capa 1

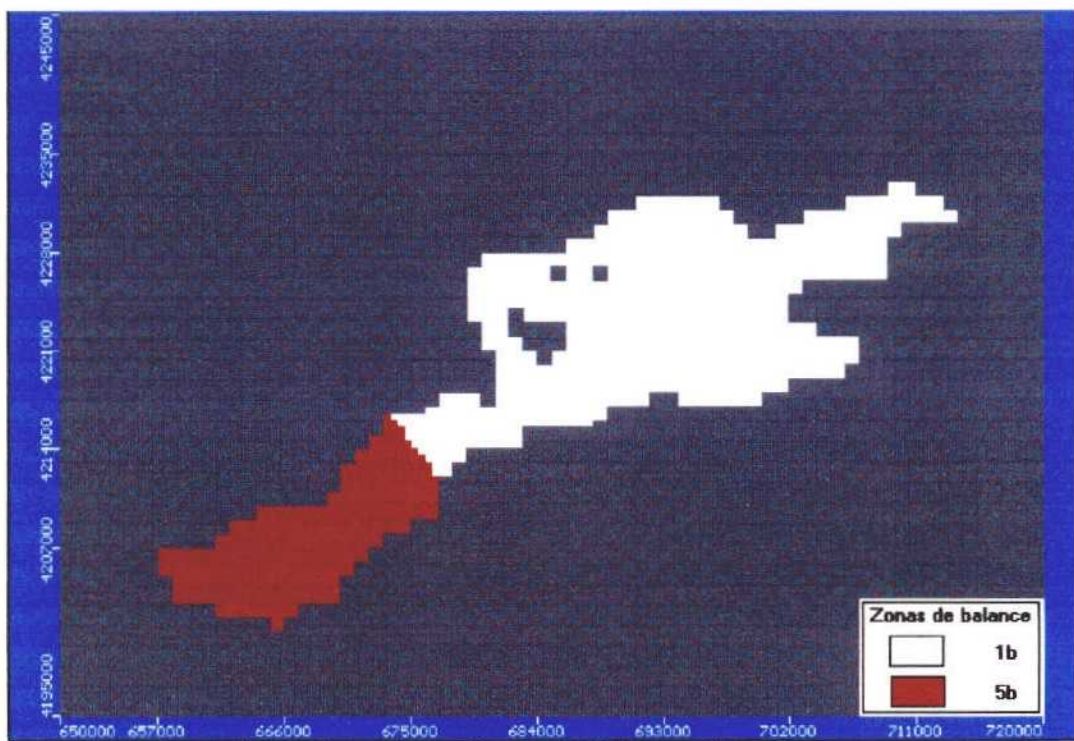


Figura 3.18b. - Zonas de balance iniciales diferenciadas durante la fase de calibración en la Capa 1, 2 y 3

Posteriormente y como consecuencia de la mejora y actualización del modelo numérico se han modificado ligeramente los sectores definidos para agrupar los puntos de observación (Figura 3.19) y ampliado las zonas de balance con objeto de tener en cuenta los caudales aforados en los azarbes principales (Tabla 3.17 y Figura 3.20)

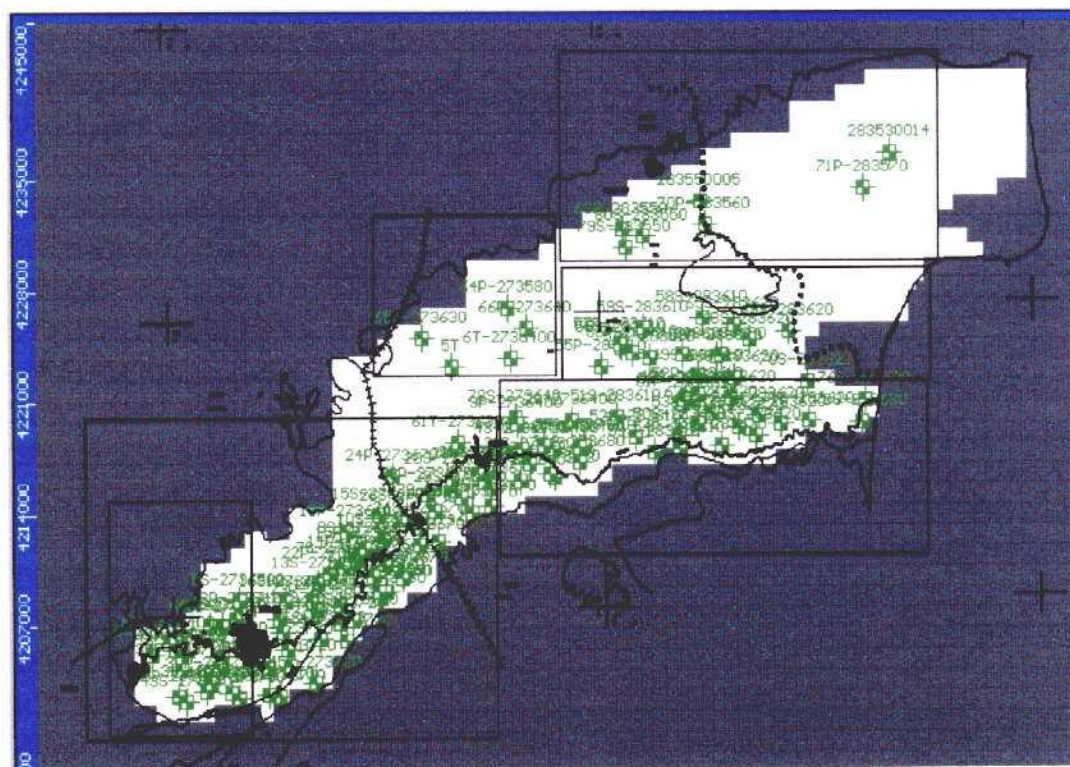


Figura 3.19. Principales sectores de puntos de observación diferenciados durante la mejora y actualización del modelo numérico.

Tabla 3.17. Nuevas zonas de balance diferenciadas durante la mejora y actualización del modelo

Zona	Descripción
13	Tramo 1-2 del Río Segura
25	Tramo 3-4 del Río Segura
19	Azarbe Mayayo
20	Azarbe La Ancha
21	Azarbe El Robatorio
22	Azarbe de Dalt
23	Azarbes sector centro-sur

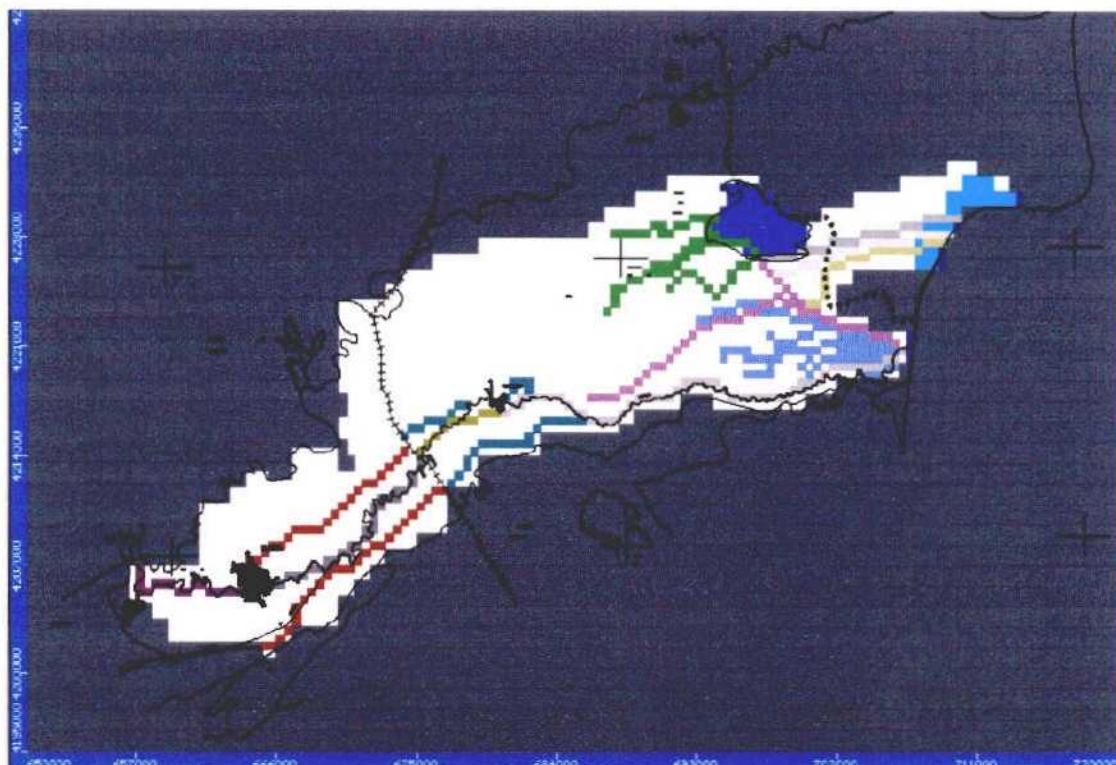


Figura 3.20. - Zonas de balance diferenciadas durante la mejora y actualización del modelo (Capa 1)

3.4.2.2. Presentación de resultados

Para presentar los resultados se diferencian dos apartados. En el primero se recuerdan las hipótesis y resultados obtenidos durante la primera calibración realizada con la versión VMODFLOW 2.7 (IGME-CHS-CTOT, 2002). A continuación se presentan los resultados definitivos obtenidos como consecuencia de la mejora y actualización del modelo, tanto mediante calibración manual (VMODFLOW, 2.81.84) como mediante la utilización del módulo de calibración automática WINPEST (VMODFLOW, 2.81.105)

3.4.2.2.1. Resultados de la primera calibración con la versión VMODFLOW 2.7 (IGME-CHS-CTOT, 2002)

A partir de todas las observaciones y resultados preliminares obtenidos hasta aquel momento, se eligieron aquellas hipótesis y conjunto de parámetros que siendo coherentes con el modelo conceptual, mejor reproducían el funcionamiento hidrogeológico de la Vega

Media y Baja. De esta forma, se seleccionaron 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 3.6), 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 3.18 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 3.19) como para la Vega Media y Baja (Tabla 3.20), 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. 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.

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 modelo, dicha descarga se encontraría entre el 44-47 % en función de la hipótesis adoptada.

Tabla 3.18. - 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 3.19. – 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:		
	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 3.20. – 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	

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. Por otro lado, se observan también ajustes ligeramente mejores suponiendo que la recarga procede predominantemente de las zonas A y B (opción 1 de recarga).

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 3.21 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 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. 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 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 las Figuras 3.22 y 3.23 se presentan los mapas de isopiezas resultantes correspondientes a la Capa 1 (acuífero superficial) y Capa 3 (acuífero profundo y triásico).

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

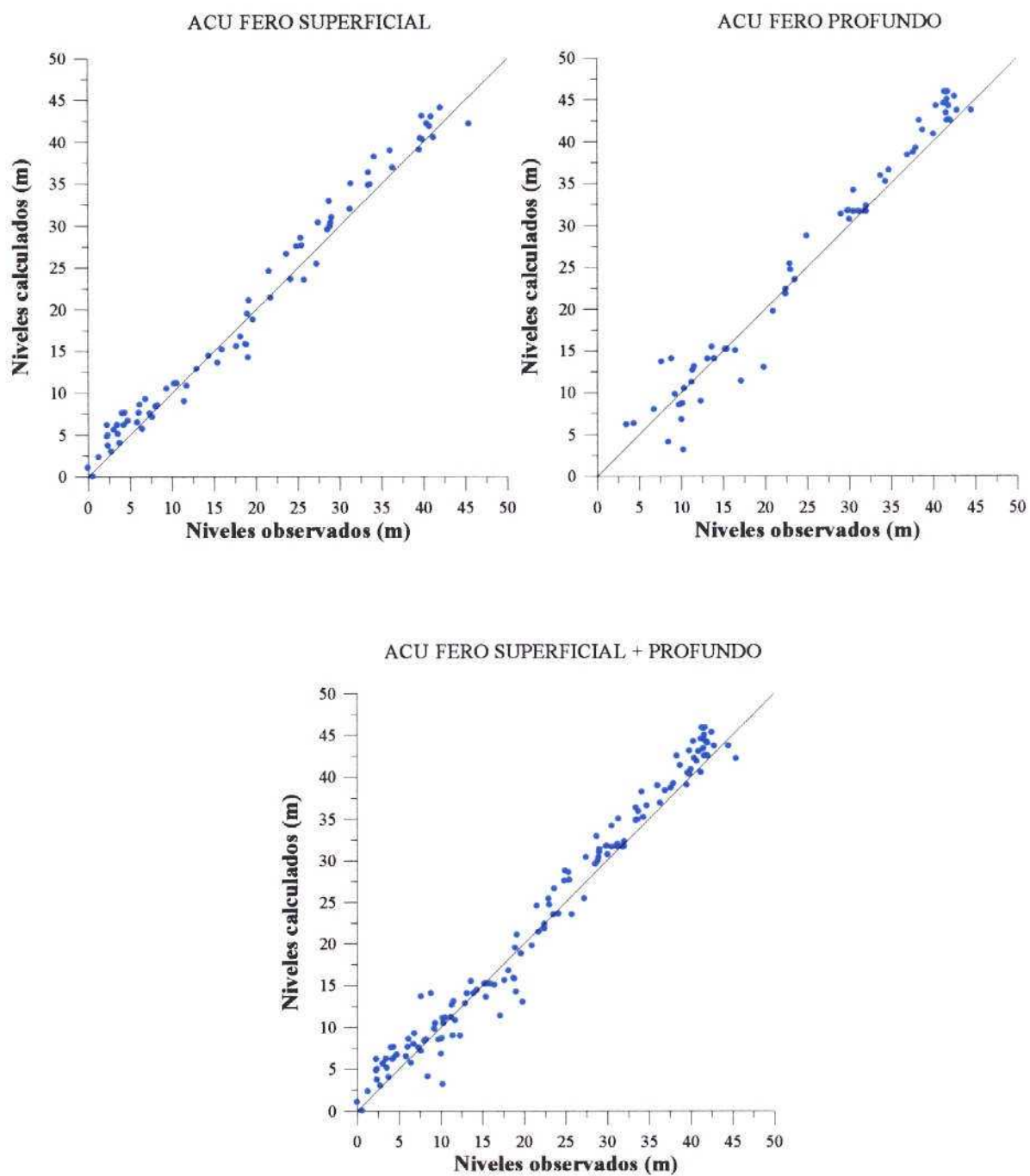


Figura 3.21. – Comparación entre niveles observados y calculados correspondientes a la hipótesis A1 diferenciando entre acuífero superficial y profundo.

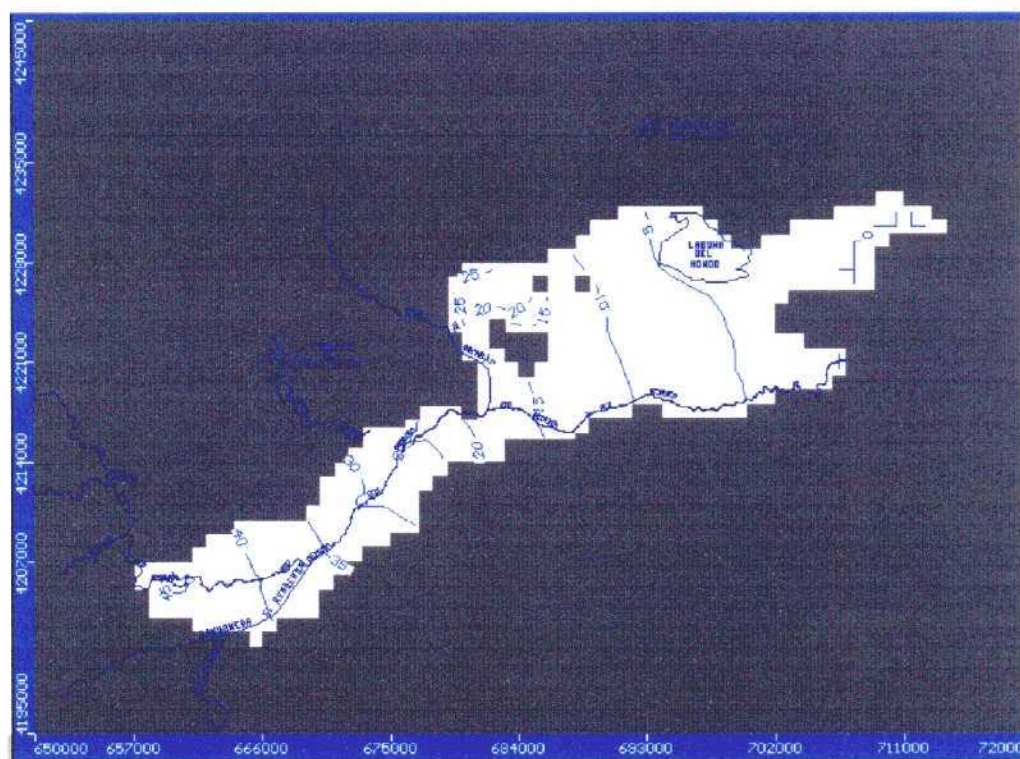


Figura 3.22. – Isopiezas resultantes para la Capa 1 (acuífero superficial) correspondiente a la hipótesis A1

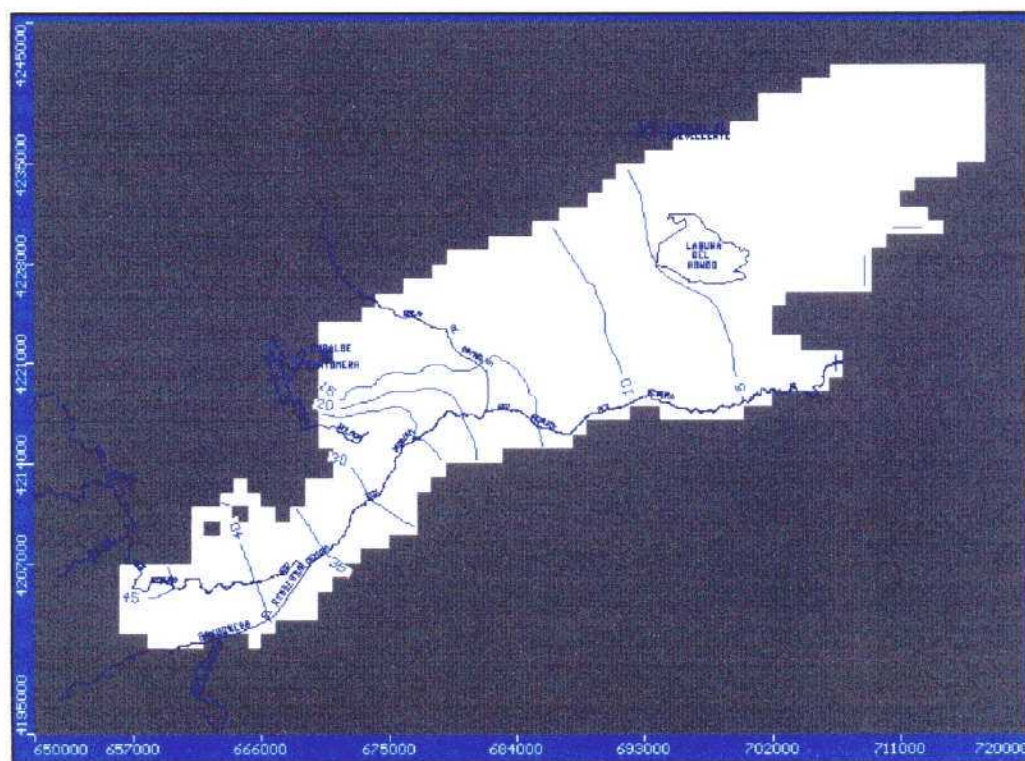


Figura 3.23. – Isopiezas resultantes para la Capa 3 (acuífero profundo) correspondiente a la hipótesis A1

Tras la fase de ajuste y calibración se realizó un análisis de sensibilidad consistente en 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 realizó a partir de la hipótesis A2, 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 3.21 y 3.22; Figuras 3.24, 3.25 y 3.26.

Tabla 3.21 . - 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		LAGUNA	MAR	
				TOTAL	ZONA A (VM)	ENTRADA	SALIDA	%ESUB	E-S	VM - VB	TRAMO 3	TRAMO 4	VM			VB
REC A	124	248	100	90.07	39.87	117.93	121.89	52.36	-3.96	39.88	30.5	3.5	2.40	31.8	18.4	1.71
REC A	124	186	50	80.18	30.04	121.85	116.61	50.09	5.24	39.63	30.5	3.5	2.35	31.8	18.4	1.71
REC A	124	62	-50	60.4	10.39	129.7	106.02	45.54	23.68	39.14	30.5	3.5	2.24	31.8	18.4	1.71
REC A	124	31	-75	55.46	5.47	131.67	103.37	44.40	28.3	39.01	30.5	3.5	2.22	31.8	18.4	1.71
REC B	140	280	100	118.85	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	37.53	37.97	12.15	2.30	51.52	26.66	2.16
REC B	140	210	50	94.58	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	38.46	34.32	7.82	2.30	41.58	22.56	1.94
REC B	140	70	-50	46	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	40.33	26.73	0.89	2.30	22.84	14.19	1.47
REC B	140	49	-65	38.71	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	40.63	25.57	2.36(+)	2.30	22.75	13	1.39
REC C	55	110	100	100.76	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	38.89	32.61	4.79	2.30	38.89	33.31	1.8
REC C	55	82.5	50	93.14	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.08	32.11	4.49	2.30	37.09	29.57	1.78
REC C	55	27.5	-50	77.91	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.28	31.1	3.88	2.30	33.52	22.09	1.73
REC C	55	13.7	-75	74.1	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.33	30.85	3.73	2.30	32.66	22.09	1.72
REC D	46	92	100	72.22	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.04	31.34	3.79	2.30	32.24	18.57	1.71
REC D	46	69	50	71.26	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.21	30.96	3.7	2.30	32.01	18.48	1.71
REC D	46	23	-50	69.32	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.56	30.22	3.49	2.30	31.57	18.3	1.71
REC D	46	11.5	-75	68.84	20.21	125.67	113.69	48.84	11.98	39.64	30.04	3.43	2.30	31.46	18.25	1.71
C2	1000000	2000000	100	70.29	20.21	125.92	111.63	47.95	14.29	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
C2	1000000	1500000	50	70.29	20.21	125.83	111.49	47.89	14.34	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
C2	1000000	500000	-50	70.29	20.21	125.7	111.3	47.81	14.4	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
C2	1000000	250000	-75	70.29	20.21	125.4	110.87	47.62	14.53	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
C3	2500	5000	100	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	4.22	2.30	31.24	18.37	1.72
C3	2500	3750	50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	3.99	2.30	31.4	18.40	1.71
C3	2500	1250	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	2.73	2.30	32.6	18.52	1.7
C3	2500	625	-75	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	1.83	2.30	33.45	18.60	1.69
AVM	50	100	100	70.29	20.21	126.25	109.49	47.03	16.76	39.43	30.5	3.5	4.54	31.8	18.4	1.71
AVM	50	75	50	70.29	20.21	126.02	110.39	47.42	15.63	39.41	30.5	3.5	3.42	31.8	18.4	1.71
AVM	50	25	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.38	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
AVM	50	12.5	-75	70.29	20.21	125.42	112.69	48.41	12.73	39.35	30.5	3.5	0.58	31.8	18.4	1.71
AVB	1000	2000	100	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	0.44	2.30	38.95	15.59	1.64
AVB	1000	1500	50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	1.66	2.30	36.14	16.64	1.66
AVB	1000	500	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	7.3	2.30	23.6	21.97	1.82
AVB	1000	250	-75	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	10.92	2.30	15.75	25.31	1.94

PARÁMETRO	INICIAL	FINAL	%CAMBIO	BALANCE												
				RECARGA		RIO (VEGA MEDIA)				RIO (VEGA BAJA)		DRENES		LAGUNA	MAR	
				TOTAL	ZONA A (VM)	ENTRADA	SALIDA	%ESUB	E-S	VM - VB	TRAMO 3	TRAMO 4	VM			VB
KZ1	50	75	50	70.29	20.21	128.71	115.86	49.77	12.85	37.94	30.5	3.5	2.17	31.8	18.4	1.71
KZ1	50	25	-50	70.29	20.21	120.01	101.69	43.68	18.32	42.54	30.5	3.5	2.57	31.8	18.4	1.71
KZ1	50	12.5	-75	70.29	20.21	110.43	85.17	36.59	25.26	47.85	30.5	3.5	3.08	31.8	18.4	1.71
KZ14	400	800	100	70.29	20.21	129.29	114	48.97	15.29	39.4	30.5	3.5	2.33	31.8	18.4	1.71
KZ14	400	600	50	70.29	20.21	129.16	113.89	48.92	15.27	39.4	30.5	3.5	2.33	31.8	18.4	1.71
KZ14	400	200	-50	70.29	20.21	141.9	120.94	51.95	20.96	39.5	30.5	3.5	2.44	31.8	18.4	1.71
KZ14	400	100	-75	70.29	20.21	122.05	108.54	46.62	13.51	39.3	30.5	3.5	2.26	31.8	18.4	1.71
KZ789	10	20	100	70.29	20.21	125.63	109.77	47.15	15.86	40.31	32.12	3.5	2.30	31.76	18.57	1.74
KZ789	10	15	50	70.29	20.21	125.82	111.58	47.93	14.24	39.88	31.42	3.55	2.30	31.78	18.5	1.72
KZ789	10	5	-50	70.29	20.21	125.73	113.47	48.74	12.26	39.1	30.5	3.65	2.30	31.84	18.37	1.69
KZ789	10	2.5	-75	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	3.68	2.30	31.87	18.32	1.69
KZ11	2.5	5	100	70.29	20.21	125.88	109.14	46.88	16.74	41.44	32.84	3.34	2.30	31.43	19.1	1.71
KZ11	2.5	3.75	50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	40.64	31.98	3.44	2.30	31.57	18.84	1.71
KZ11	2.5	1.25	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	36.95	27.83	3.91	2.30	32.38	17.67	1.74
KZ11	2.5	0.6	-76	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	35.04	25.59	4.25	2.30	32.99	16.91	1.8
KZ5	0.001	0.002	100	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
KZ5	0.001	0.0015	50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
KZ5	0.001	0.0005	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
KZ5	0.001	0.00025	-75	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
KZ4	375	750	100	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	27.8	3.21	2.30	33.79	19.8	1.71
KZ4	375	560	49.3	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	29.05	3.4	2.30	32.9	19.2	1.71
KZ4	375	187	-50.1	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	32.7	3.8	2.30	30.4	17.23	1.71
KZ4	375	94	-74.9	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.1	32.7	3.8	2.30	30.4	17.23	1.71
KZ12	150	300	100	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	55.17	33.1	3.03	2.30	32.21	27.4	3.05
KZ12	150	225	50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	48.02	32.53	3.26	2.30	31.67	23.37	2.37
KZ12	150	75	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	28.18	26.35	4.2	2.30	33.08	11.75	1.02
KZ12	150	37.5	-75	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	20.84	22.75	4.69	2.30	34.38	7.32	0.62
KZ13	0.5	1	100	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.75	30.6	3.6	2.30	31.9	18.6	1.71
KZ13	0.5	0.75	50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.6	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
KZ13	0.5	0.25	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.3	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
KZ13	0.5	0.12	-76	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.2	30.5	3.5	2.30	31.8	18.4	1.71
KZ15	2.5	5	100	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	40.47	30.5	3.8	2.30	32.37	18.6	1.71
KZ15	2.5	3.75	50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	39.95	30.5	3.72	2.30	32.1	18.52	1.71
KZ15	2.5	1.25	-50	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	38.77	30.5	3.43	2.30	31.46	18.25	1.71
KZ15	2.5	0.62	-75	70.29	20.21	125.78	111.3	47.81	14.48	38.44	30.5	3.34	2.30	31.28	18.17	1.71

Tabla 3.22. - Análisis de sensibilidad realizado en la Vega Media y Baja para la hipótesis A2 (Error medio absoluto entre niveles observados y calculados)

PARÁMETRO	INICIAL	FINAL	%CAMBIO	NIVELES							
				TODOS	CABECERA	VM	TRIAS	VB	VB (norte)	VB (centro)	VB (sur)
REC A	124	248	100	1.98	3.71	2.02	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
REC A	124	186	50	1.96	3.61	1.97	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
REC A	124	62	-50	1.91	3.4	1.88	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
REC A	124	31	-75	1.9	3.36	1.86	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
REC B	140	280	100	2.13	3.51	1.95	6.69	2.25	2.41	2.89	1.62
REC B	140	210	50	2.02	3.51	1.94	5.66	2.05	2.75	2.48	1.52
REC B	140	70	-50	1.91	3.51	1.92	3.44	1.89	3.50	1.79	1.32
REC B	140	49	-65	1.93	3.51	1.93	3.04	1.92	3.64	1.74	1.32
REC C	55	110	100	1.97	3.51	1.93	6.43	1.90	1.71	2.32	1.43
REC C	55	82.5	50	1.96	3.51	1.93	5.98	1.89	2.06	2.26	1.43
REC C	55	27.5	-50	1.94	3.51	1.93	5.06	1.89	2.76	2.13	1.42
REC C	55	13.7	-75	1.93	3.51	1.93	4.83	1.89	2.93	2.06	1.43
REC D	46	92	100	1.95	3.51	1.94	4.83	1.90	3.08	2.1	1.42
REC D	46	69	50	1.94	3.51	1.93	4.71	1.89	3.09	2.09	1.42
REC D	46	23	-50	1.93	3.51	1.93	4.48	1.84	3.12	2.06	1.42
REC D	46	11.5	-75	1.93	3.51	1.93	4.42	1.88	3.13	2.05	1.42
C2	1000000	2000000	100	1.93	3.51	1.92	4.63	1.89	3.10	2.07	1.42
C2	1000000	1500000	50	1.93	3.51	1.93	4.63	1.89	3.10	2.07	1.42
C2	1000000	500000	-50	1.93	3.5	1.93	4.63	1.89	3.10	2.07	1.42
C2	1000000	250000	-75	1.93	3.49	1.92	4.63	1.89	3.10	2.07	1.42
C3	2500	5000	100	1.93	3.51	1.93	4.55	1.89	3.11	2.06	1.39
C3	2500	3750	50	1.93	3.51	1.93	4.57	1.89	3.11	2.06	1.4
C3	2500	1250	-50	1.93	3.51	1.92	4.66	1.90	3.09	2.1	1.45
C3	2500	625	-75	1.94	3.51	1.92	4.71	1.91	3.09	2.12	1.47
AVM	50	100	100	1.93	3.5	1.92	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
AVM	50	75	50	1.93	3.5	1.92	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
AVM	50	25	-50	1.93	3.51	1.93	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
AVM	50	12.5	-75	1.94	3.51	1.94	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
AVB	1000	2000	100	1.86	3.51	1.93	4.46	1.74	3.21	1.66	1.27
AVB	1000	1500	50	1.89	3.51	1.93	4.51	1.79	3.16	1.82	1.31
AVB	1000	500	-50	2.02	3.51	1.93	4.77	2.09	2.99	2.58	1.61
AVB	1000	250	-75	2.11	3.51	1.93	4.95	2.28	2.88	3.08	1.8
KZ1	50	75	50	1.89	3.53	1.85	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
KZ1	50	25	-50	2.04	3.45	2.12	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
KZ1	50	12.5	-75	2.24	3.43	2.49	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
KZ14	400	800	100	1.94	3.43	1.95	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
KZ14	400	600	50	1.96	3.56	1.97	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
KZ14	400	200	-50	2.22	6.53	2.46	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
KZ14	400	100	-75	2.06	5.6	2.16	4.6	1.89	3.10	2.07	1.42
KZ789	10	20	100	1.93	3.51	1.92	4.55	1.89	3.10	2.06	1.42
KZ789	10	15	50	1.93	3.51	1.92	4.57	1.89	3.10	2.07	1.42
KZ789	10	5	-50	1.93	3.51	1.93	4.62	1.88	3.10	2.08	1.42
KZ789	10	2.5	-75	1.94	3.51	1.94	4.64	1.89	3.09	2.08	1.42
KZ11	2.5	5	100	1.92	3.51	1.91	4.53	1.89	3.17	2.05	1.42
KZ11	2.5	3.75	50	1.93	3.51	1.92	4.55	1.89	3.14	2.06	1.42
KZ11	2.5	1.25	-50	1.95	3.51	1.95	4.69	1.89	3.00	2.11	1.42
KZ11	2.5	0.6	-76	1.97	3.51	1.99	4.77	1.89	2.88	2.15	1.42

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

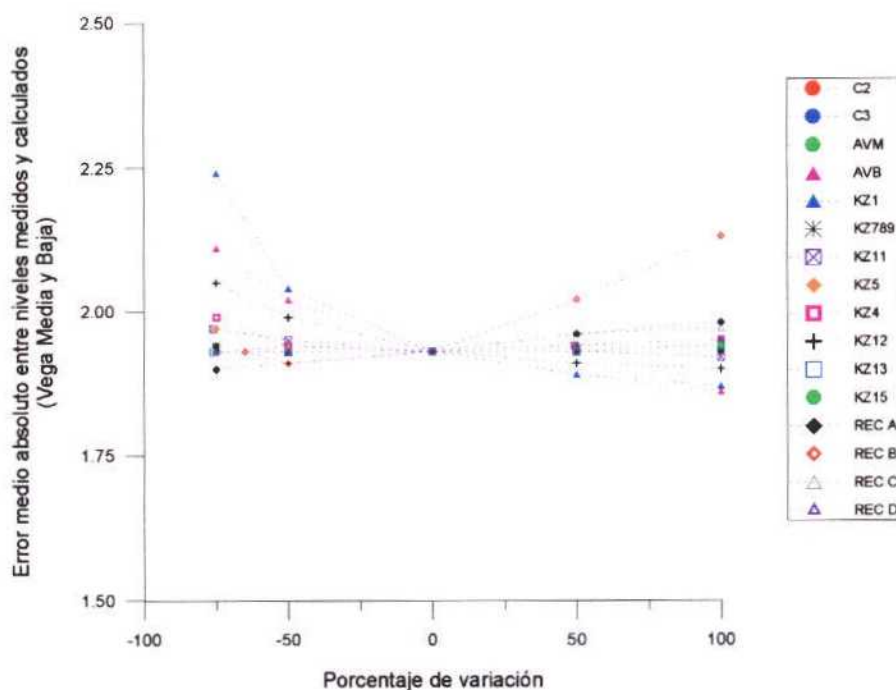


Figura 3.24 – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Media y Baja)

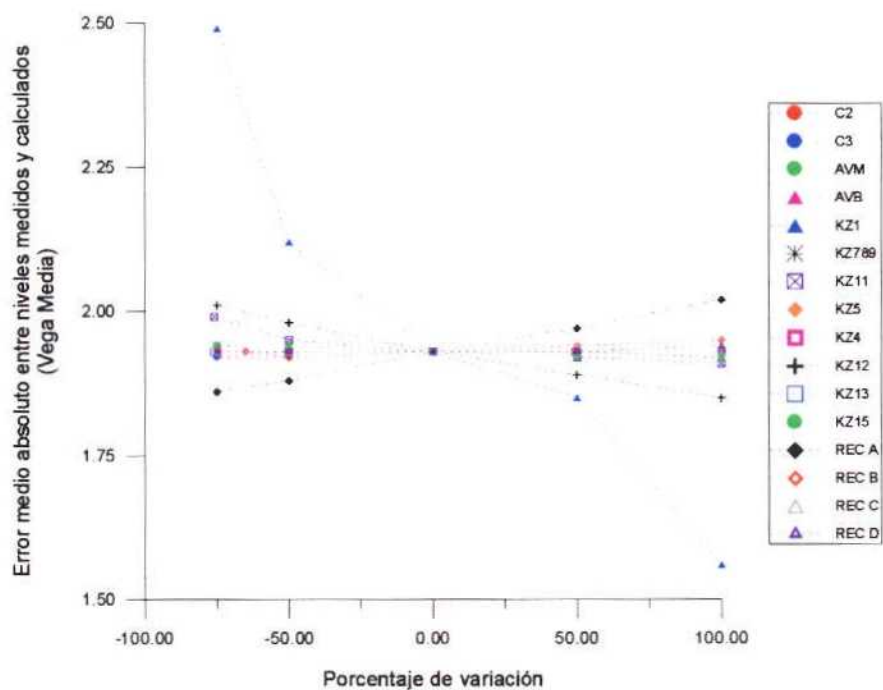


Figura 3.25. – Sensibilidad de los parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Media)

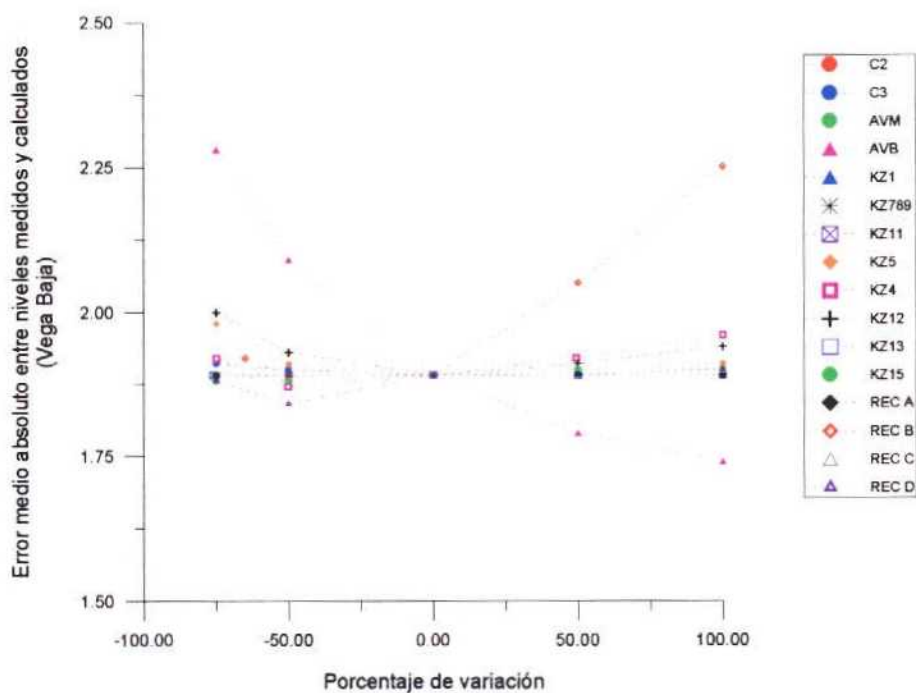


Figura 3.26 – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al error medio absoluto entre niveles observados y calculados (Vega Baja)

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). Con respecto al error total (Vega Media y Baja), el rango de variación se sitúa entre los 1,9 y 2,2 m (Figura 3.24). 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 3.24).

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 3.25). 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).

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 3.26). 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.

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 3.27 y 3.28). 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).

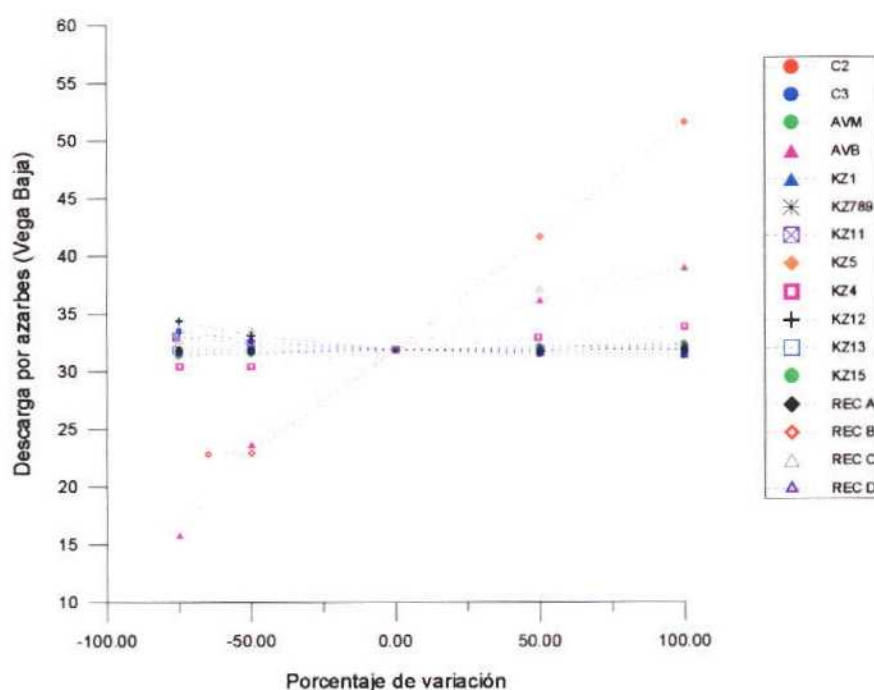


Figura 3.27. – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto a la descarga producida por los azarbes en la Vega Baja

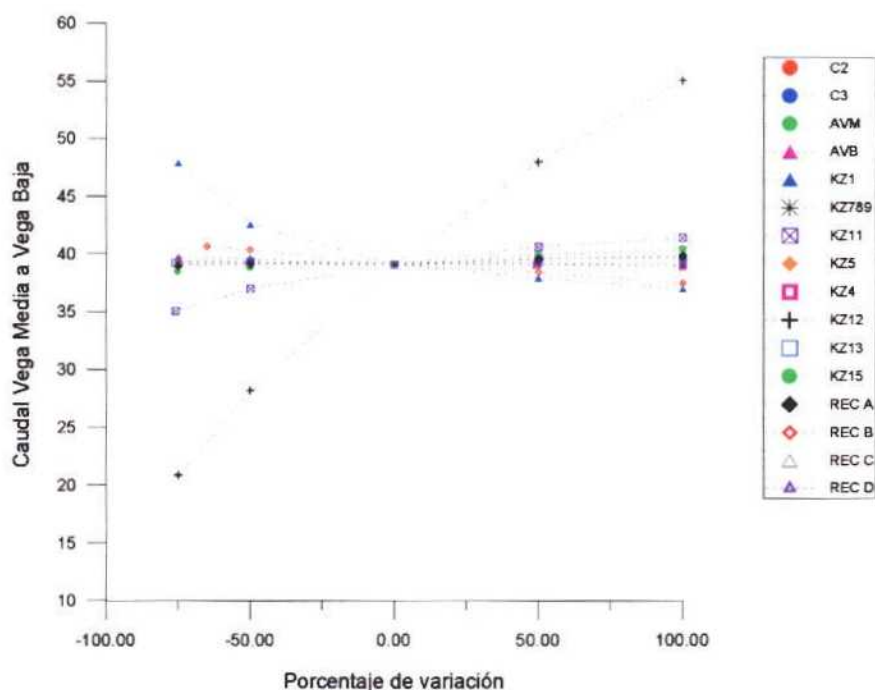


Figura 3.28 – Sensibilidad de los principales parámetros con respecto al caudal subterráneo de paso desde la vega Media hacia la Vega Baja (acuífero profundo)

La descarga subterránea en la Laguna del Hondo oscila entre los 7 y 33 $\text{hm}^3/\text{año}$, 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 $\text{hm}^3/\text{año}$ (Tramo 3) y 0,5-12 $\text{hm}^3/\text{año}$ (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 ($\sim 0,6$ a $4,5 \text{ hm}^3/\text{año}$) como a las salidas al mar ($\sim 0,6$ a $3 \text{ hm}^3/\text{año}$).

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 3.23):

- 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.

- 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.

Tabla 3.23 – 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	%	BALANCE												
				RECARGA		RIO (VEGA MEDIA)				RIO (VEGA BAJA)		DRENES		LAGUNA	MAR	
				TOTAL	ZONA A	ENTRADA	SALIDA	%SUB	E-S	VM - VB	TRAMO 3	TRAMO 4	VM			VB
				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

- 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.

3.4.2.2.2. Resultados de la mejora y actualización del modelo numérico

Como se ha comentado previamente, la mejora y actualización del modelo numérico se centra fundamentalmente en la revisión y mejora tanto de la geometría (Figuras 3.2 y 3.3) como de las condiciones de contorno utilizadas para simular los azarbes, lagunas y las salidas al mar (Figura 3.4). Además, se ha revisado la relación río-acuífero en la Vega Media y refinado la malla en la Vega Baja, lo que ha permitido diferenciar y calibrar el balance de agua en los azarbes principales. Por otro lado y a partir de la nueva información disponible, se ha mejorado tanto la información previa como la zonificación inicial de parámetros en relación con la recarga (Figuras 3.7 y 3.9) como con la conductividad hidráulica (Figuras 3.11, 3.12, 3.13 y 3.14). La calibración en estacionario se ha realizado en dos etapas o fases: 1) ajuste del modelo mediante calibración manual (VMODFLOW 2.81.84) y 2) ajuste del modelo mediante calibración automática utilizando el módulo WINPEST (VMODFLOW 2.81.105)

3.4.2.2.2.1 Ajuste mediante calibración manual (VMODFLOW 2.81.84)

Los valores y zonificación tanto para la recarga como para la conductividad hidráulica considerados se presentan en las Tablas 3.4 y 3.9; Figuras 3.7, 3.11 y 3.12. Los puntos de observación y las zonas de balance se presentan en la Tabla 3.15 y Figuras 3.19 y 3.20. Los resultados obtenidos son, independientemente del modelo geométrico adoptado (M1 ó M2), coherentes con el modelo conceptual, observándose cómo los niveles medidos presentan un buen ajuste con respecto a los calculados. Es decir, la representación de los niveles medidos frente a los calculados tiende a ajustarse a la recta de 45°.

En la Figura 3.29 se presenta el ajuste de niveles y errores obtenidos suponiendo un modelo geométrico M1. El error medio absoluto obtenido para los 139 puntos de observación es de 1,19 m (error medio 0,18 m). El error medio absoluto para el acuífero profundo y materiales triásicos (1,07 m) es ligeramente inferior con respecto al acuífero superficial (1.31 m). El número de puntos de observación es de 69 en el primer caso y 70 en el segundo. Los

errores RMS son de 3,35 y 3,76 % respectivamente. En las Figuras 3.30 y 3.31 se comparan los mapas de isopiezas obtenidos por el modelo con los elaborados para la Vega Baja en estudios previos (ITGE-DPA, 1996)

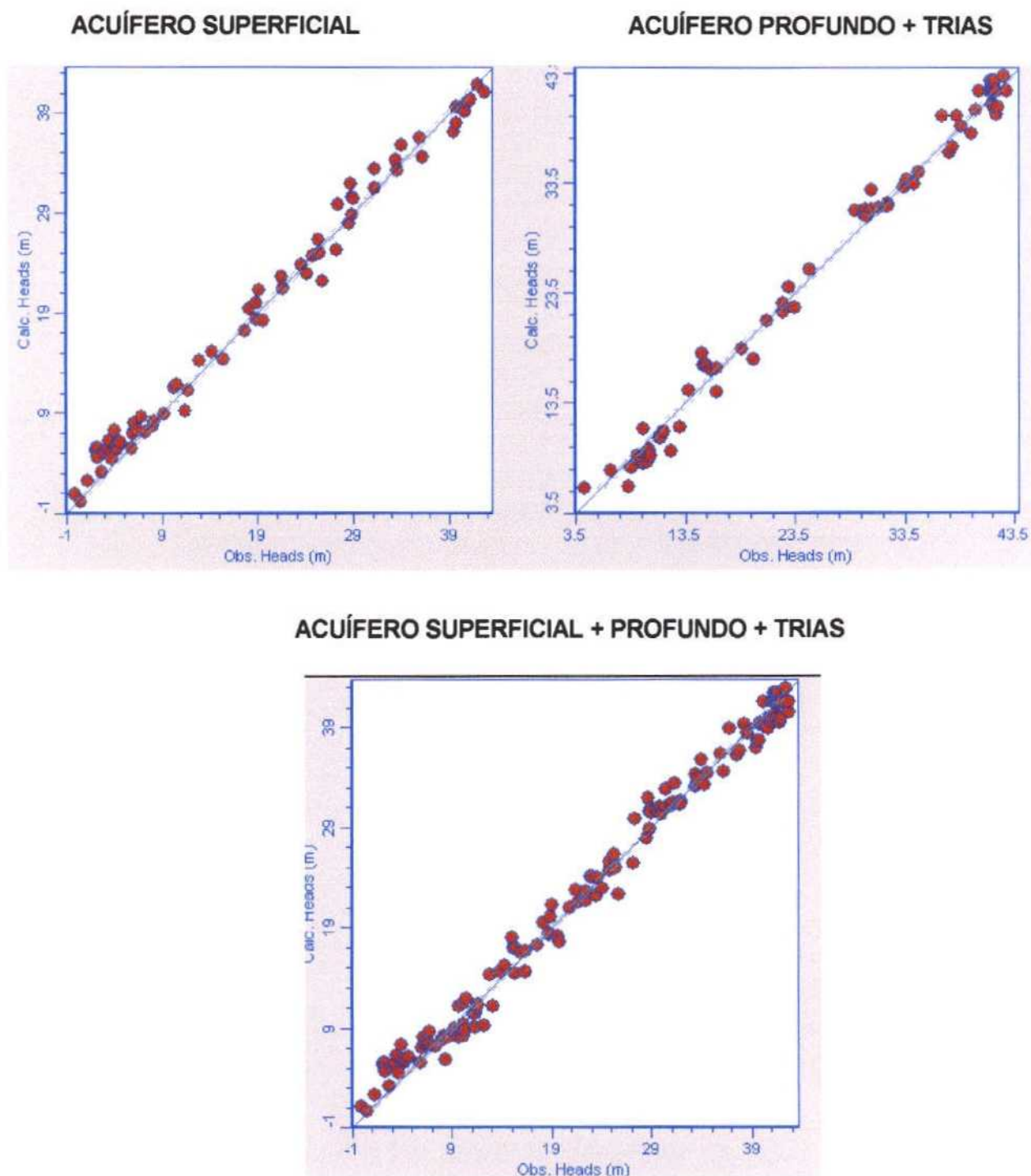


Figura 3.29.- Comparación entre niveles observados y calculados en la mejora y actualización del modelo numérico (calibración manual: Fase 1). (Puntos de observación totales: 139; Error medio = 0,18 m; Error absoluto = 1,20 m; Error standard = 0,1 m; Error RMS = 3,4%)

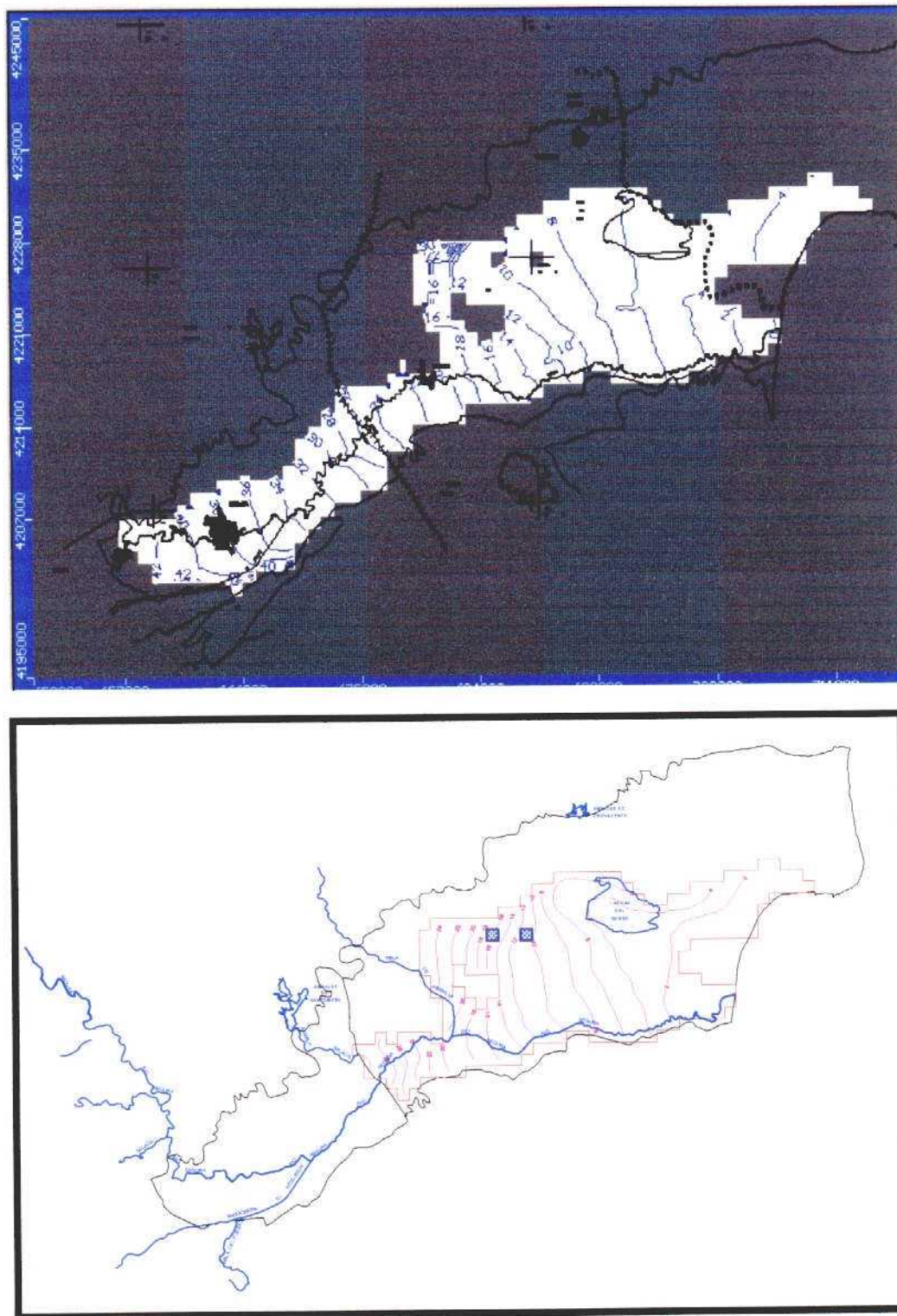


Figura 3.30.- Comparación entre el mapa de isopiezas obtenidos por el modelo para el acuífero superficial y el elaborado para la Vega Baja en estudios previos (ITGE-DPA; 1996)

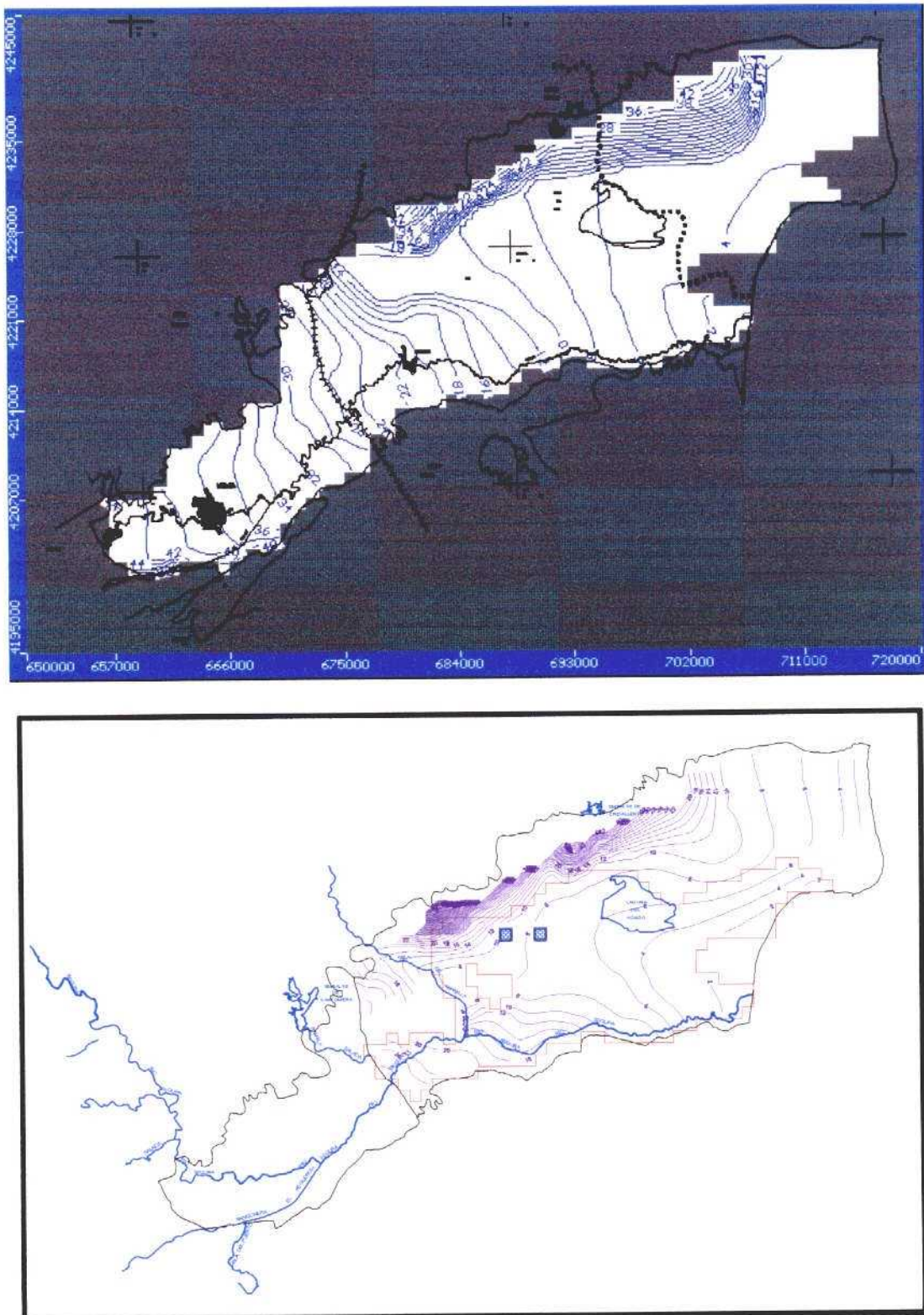


Figura 3.31.- Comparación entre el mapa de isopiezas obtenidos por el modelo para el acuífero profundo y el elaborado para la Vega Baja en estudios previos (ITGE-DPA; 1996)

Con respecto a los términos y balances de agua obtenidos por el modelo, estos son también coherentes con la información previa disponible, aunque todavía con diferencias significativas en algunos de sus términos (Tabla 3.24). Las mayores diferencias se obtienen para la recarga, relación río-acuífero y descarga por algunos azarbes como el de Dalt o Mayayo-Pineda.

Tabla 3.24.- Comparación entre el balance correspondiente al (modelo conceptual (1973-75) y el obtenido por el modelo numérico mediante calibración manual: Fase 1. (Vega Media y Baja)

	VEGA MEDIA Y BAJA (BALANCE ESTACIONARIO)		
	MODELO CONCEPTUAL	MODELO NUMERICO	
ENTRADAS			
Infiltración lluvia+riego	87	69.32	17.68
Guadalestín	2.5	2.5	
Vega Alta	1.1	1.1	
Cresta del Gallo	0.39	0.39	
Infiltración río Segura (VM)	45 a 52	53.2	
Infiltración río Segura (T3)	-	10.24	
Infiltración río Segura (T4)	-	0.19	
Total	136 a 143	136.94	
SALIDAS			
Descarga río VM (Beniel)	12	32.03	
Descarga río Segura (T3)		17.89	
Descarga río Segura (T4)	21 a 29	8.1	
Laguna del Hondo	20	20.4	-0.4
Laguna de Santa Pola	-	13.46	-13.46
Azarbe La Ancha	6.9	3.33	3.57
Azarbe Robatorio	4	1.52	2.48
Azarbe Dalt	22.8	10.68	12.12
Azarbe Mayayo + Pineda	30.5	19.23	11.27
Azarbes (sector 1)	13.8	6.25	7.55
Mar	2.8	2.71	0.09
Total	136 a 143	135.6	

A partir de estos resultados se plantearon diversas hipótesis de funcionamiento hidrogeológico atendiendo fundamentalmente a la relación río-acuífero en la Vega Media y a la conductividad hidráulica de los materiales triásicos.

Con respecto a la relación río-acuífero y considerando los comentarios del apartado 2.3, se diferenciaron cuatro hipótesis según el porcentaje de infiltración y descarga subterránea en la estación de Beniel (Tabla 3.25):

Hipótesis 1: minimizando el balance de agua en el río

Hipótesis 2: sin infiltración del río y descarga subterránea de 13,9 hm³/año (6%)

Hipótesis 3: infiltración de 26 hm³/año y descarga subterránea 29 hm³/año (12,5 %)

Hipótesis 4: infiltración de 44 hm³/año y descarga subterránea 37,5 hm³/año (16 %)

Tabla 3.25.- Hipótesis de funcionamiento según la relación río-acuífero en la Vega Media del Segura

Hipótesis	DATOS DE ENTRADA				RESULTADOS							
	Conductancia			Infiltración	Conductividad hidráulica		Error niveles				Descarga sub	
	T1	T2	T3	Río Segura	Superficial	Profundo	Cabecera VM	VM	VM y VB	Todo	hm ³ /año	%
1	100	100	101	No	0.5	65 (5)	0.33 (0.68)	0.89 (1.35)	0.79 (1.36)	0.53 (1.36)	1.97	0.85
2	100	100	100000	No	0.5	45 (1)	0.11 (0.68)	0.37 (0.94)	0.33 (1.01)	0.22 (1.18)	13.9	5.99
3	100	100	100000	25.9	0.5	40-150 (5-10)	0.47 (0.93)	0.02 (1.05)	0.05 (1.05)	0.19 (1.19)	29	12.45
4	100	100	100000	43.8	0.5	50-210 (5-10)	0.13 (0.96)	0.21 (1.07)	0.23 (1.07)	0.33 (1.21)	37.5	16.00
Final	100	100	100000	43.8	5	1 a 210 (10)	0.21 (0.97)	0.1 (1.05)	0.09 (1.04)	0.24 (1.19)	45.6	19.59

Los resultados obtenidos permiten poner de manifiesto las observaciones siguientes:

- A mayor infiltración en el río, mayor conductividad hidráulica resultante y mayor descarga subterránea por la estación de Beniel.

- Si se consideran las hipótesis anteriores de carácter extremo, la conductividad hidráulica para el acuífero superficial estaría entre 0,5 y 5 m/día, mientras que en el acuífero profundo, la conductividad hidráulica horizontal estaría entre 40 y 210 m/día y la vertical entre 1 y 10 m/día.

- A mayor conductividad hidráulica en la parte inferior de la Vega Media, mejor ajuste de niveles aunque menor descarga subterránea.

Con respecto a la conductividad hidráulica de los materiales triásicos, se obtiene un mejor ajuste de niveles al considerar valores en torno a 1 m/día (es decir, valores inferiores a los inicialmente esperados). Si se considera una conductividad hidráulica horizontal de 175 m/día y vertical de 20 m/día se observa:

- Desajuste en los puntos de observación situados al norte de las Sierras de Callosa y Orihuela (incluso suponiendo recarga nula sobre los materiales triásicos) con errores superiores a los 7 m (Figura 3.32). Ello se debe a que aparece una componente de flujo subterráneo en sentido S hacia el N del agua procedente de la Vega Media. Este hecho podría estar relacionado con la representatividad de los puntos de observación finalmente considerados para el Triásico.

- Disminuye y se retrasa la descarga subterránea al río Segura en la Vega Media

- Aumenta la descarga por las lagunas y drenes (sobre todo Laguna del Hondo y azarbes Dalt y Mayayo)

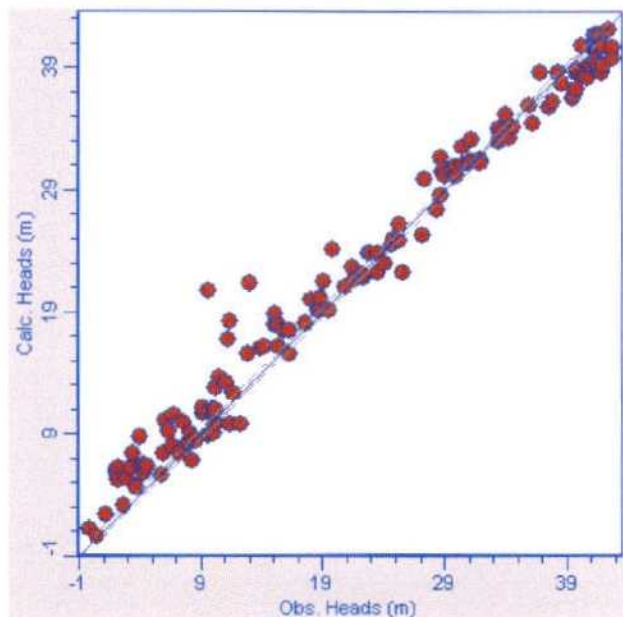


Figura 3.32.- Comparación entre niveles observados y calculados suponiendo una $K_h = 175$ m/día y $K_v = 20$ m/día en los materiales triásicos. Puntos de observación totales: 139; Error medio = 0,66 m; Error absoluto = 1,66 m; Error standard = 0,18 m; Error RMS = 5,3%)

3.4.2.2.2 Ajuste mediante calibración automática (VMODFLOW 2.81.105)

Durante la calibración automática se han tomado como punto de partida los valores y zonificación inicial obtenida de la calibración manual (conductividad hidráulica y/o recarga) considerando todos los puntos de observación disponibles para el cálculo de la función objetivo. Es decir, se ha calibrado utilizando los niveles y comprobando posteriormente que los parámetros y balances obtenidos fueran coherentes con el modelo conceptual. Frecuentemente y con objeto de reducir los cálculos, los valores K_y y K_z se han ligado a los de K_x . Los parámetros numéricos de calibración utilizados han sido los definidos por defecto en el módulo WINPEST (VMODFLOW 2.81.105) (Figura 3.33). Se ha realizado un documento resumen del proceso de calibración automática, suponiendo los modelos geométricos M1 y M2, indicando en cada momento tanto los cambios y/o modificaciones realizadas como los parámetros, función objetivo y errores obtenidos. Por otro lado, teniendo en cuenta tanto los resultados previos obtenidos hasta el momento como el escaso número de puntos de observación existentes sobre los materiales triásicos, se han supuesto

dos hipótesis de carácter extremo, minimizando y maximizando la conductividad hidráulica de dichos materiales.

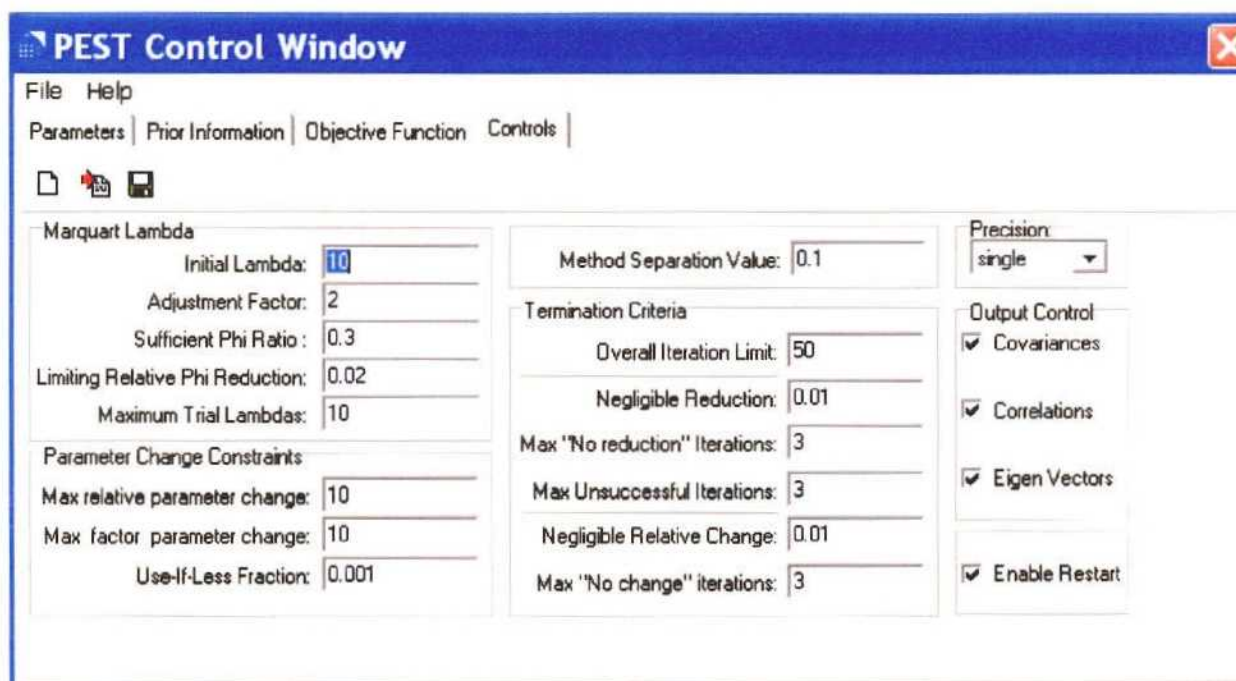


Figura 3.33.- Parámetros numéricos considerados durante la calibración automática mediante WINPEST

Los valores y zonificación tanto para la recarga como para la conductividad hidráulica obtenidos se presentan en las Tablas 3.5 y 3.10; Figuras 3.9, 3.13 y 3.14. Los puntos de observación y las zonas de balance consideradas durante la calibración se presentan en la Tabla 3.15; Figuras 3.19 y 3.20.

Los ajustes de niveles y balances finalmente obtenidos son en general muy parecidos, independientemente de la permeabilidad de los materiales triásicos y modelo geométrico considerado. Ello se debe a que la mayor parte de los puntos de observación se encuentran sobre la vega (cuaternario), siendo muy escasos los puntos representativos del triásico. No obstante, en estos puntos se obtienen mejores resultados al considerar valores de conductividad hidráulica menores (en torno a 1 m/día) a los inicialmente esperados, ya que al aumentar la permeabilidad de los materiales triásicos, el flujo subterráneo procedente de la Vega Media tiende a atravesar dichos materiales aumentando considerablemente los niveles respecto a los observados al N de las sierras de Callosa y Orihuela. En relación con el modelo geométrico, el hecho de que se obtengan resultados parecidos parece confirmar el correcto funcionamiento de la capa de tipo 3 (comportamiento mixto) en el código

VISUALMODFLOW. Sin embargo y a pesar de las escasas diferencias comentadas, parecen obtenerse mejores resultados al considerar el modelo geométrico M2 (piezometría al N de las sierras de Callosa y Orihuela) y disminuir la conductividad hidráulica del triásico, en coherencia con los resultados obtenidos mediante calibración manual.

Los resultados son, independientemente del modelo geométrico adoptado (M1 ó M2), coherentes con el modelo conceptual, observándose cómo los niveles medidos presentan un buen ajuste con respecto a los calculados. Es decir, la representación de los niveles medidos frente a los calculados tiende a ajustarse a la recta de 45°. En la Figura 3.34 se presenta el ajuste de niveles y errores obtenidos suponiendo un modelo geométrico M2. El error medio absoluto obtenido para los 140 puntos de observación es de 1,11 m (error medio -0,15 m). El error medio absoluto obtenido en 72 puntos para la Capa 1 (acuífero superficial y triásico) es de 1,14 m (error medio 0,01 m). El error medio absoluto obtenido en 68 puntos para la Capa 2 (acuífero profundo) es de 1,08 m (error medio -0,32 m). Los peores ajustes en relación con los niveles corresponden al modelo geométrico M1 suponiendo una conductividad hidráulica para el triásico de 175 m/día. En la Figura 3.35 se presentan los mapas de isopiezas obtenidos para el modelo M2 (Capa 1 y 2).

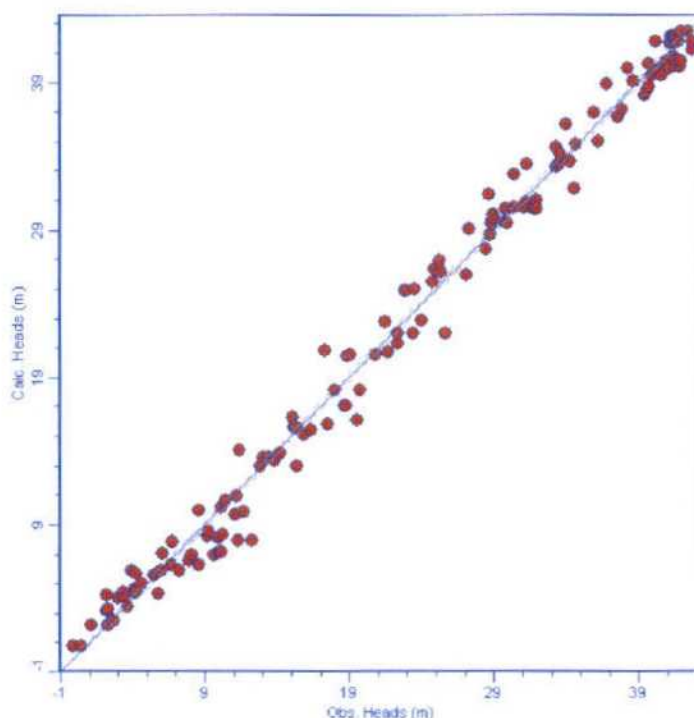


Figura 3.34.- Comparación entre niveles observados y calculados en la mejora y actualización del modelo numérico (calibración automática): Fase 2). (Puntos de observación totales: 140; Error medio = - 0,15 m; Error absoluto = 1,11 m; Error standard = 0,1 m; Error RMS = 3,29%)

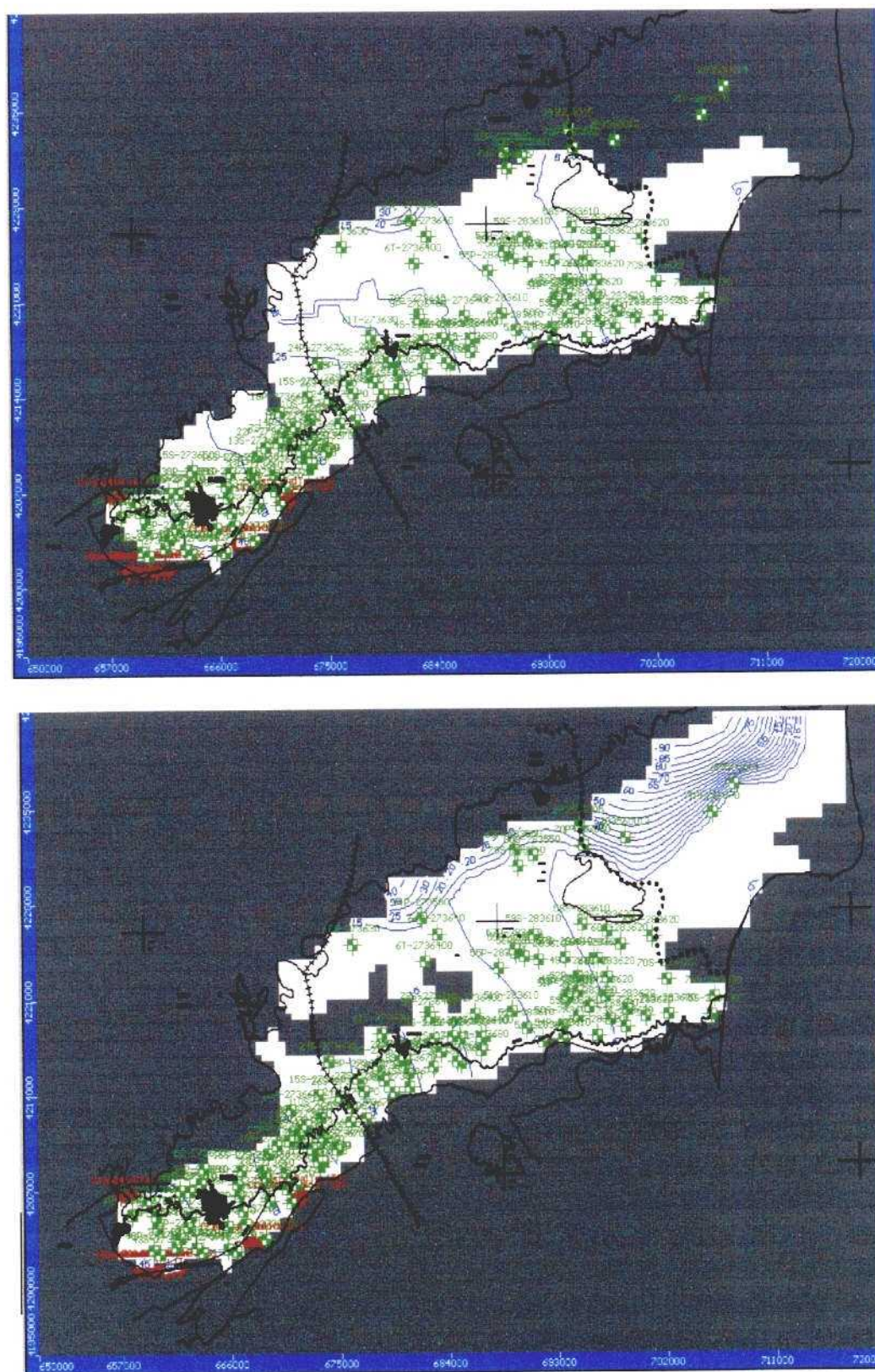


Figura 3.35.- Mapa de isopiezas obtenidos para las Capas 1 y 2 (Modelo M2) a partir de los parámetros finalmente obtenidos mediante calibración automática (Fase 2). (Equidistancia 5 m)

Con respecto a los términos y balances de agua obtenidos por el modelo tanto para la Vega Media (Tabla 3.26) como para la Vega Media y Baja (Tabla 3.27), estos son también, en general, coherentes con la información previa disponible. En la Tabla 3.28 se presenta el balance de agua obtenido por el modelo numérico para los azarbes principales, comparándolo con los caudales aforados en 1979 por la CHS.

Tabla 3.26.- Comparación entre el balance correspondiente al modelo conceptual (1973-75) y el obtenido por el modelo numérico mediante calibración automática: Fase 2. (Vega Media)

	VEGA MEDIA (BALANCE ESTACIONARIO)	
	MODELO CONCEPTUAL	MODELO NUMÉRICO
ENTRADAS		
Infiltración (lluvia+riego)	20	17.52
Guadalentín	2.5	2.5
Vega Alta	1.1	1.1
Cresta del Gallo	0.4	0.4
Río Segura	45 a 52	29.21
TOTAL	69 a 76	60.73
SALIDAS		
Descarga Río Segura	12	9.36
Descarga por azarbes	25 a 32	4.14
Descarga Vega Baja	32	37.21
TOTAL	69 a 76	60.71
CIERRE DE BALANCE	0 a 7	0.02

Tabla 3.27.- Comparación entre el balance correspondiente al modelo conceptual (1973-75) y el obtenido por el modelo numérico mediante calibración automática: Fase 2. (Vega Media y Baja)

	VEGA MEDIA Y BAJA (BALANCE ESTACIONARIO)		
	MODELO CONCEPTUAL	MODELO NUMERICO	
ENTRADAS			
Infiltración lluvia+riego	87	62.1	24.9
Guadalentín	2.5	2.5	
Vega Alta	1.1	1.1	
Cresta del Gallo	0.39	0.39	
Infiltración río Segura (VM)	45 a 52	29.21	
Infiltración río Segura (T3)	-	0.74	
Infiltración río Segura (T4)	-	4.38	
Total	136 a 143	100.42	
SALIDAS			
Descarga río VM (Beniel)	12	9.36	2.64
Descarga río Segura (T3)		4.52	
Descarga río Segura (T4)	21 a 29	2.35	
Laguna del Hondo	20	-	
Laguna de Santa Pola	-	-	
Azarbes	78.95	81.19	-2.24
Mar	2.8	2.96	-0.16
Total	136 a 143	100.38	

Tabla 3.28.- Comparación entre los caudales obtenidos por el modelo numérico en los azarbes principales de la Vega Baja y los caudales aforados por la CHS en 1979.

AZARBES CHS (1979)			MODELO NUMÉRICO			
SECTOR 1	l/s	hm ³ /año	Zona	m ³ /día	hm ³ /año	Diferencia
La Ancha	219	6.91	20	16544	6.04	0.87
Robatorio	128	4.04	21	8942	3.26	0.77
Dalt	725	22.87	22	52775	19.26	3.61
Vinalopo-Dalt	25	0.79				
Dulce						
Suma		34.61			28.57	6.04
SECTOR 2						
Rios	5	0.16				
Comuna o Tercio	80	2.52				
La Villa + Alcudia	32	1.51				
Enmedio	85	2.68				
Acierto	5	0.16				
Cola azequia Alcudia	16	0.50				
Rasga	0	0.00				
Señor	0	0.00				
La Reina	0	0.00				
La Culebrina	0	0.00				
Hilar de los Tenderos	200	6.31				
Avenamiento	15	0.47				
Suma	438	14.32	23	39362	14.37	-0.05
Mayayo (Pineda+Convenio+Riacho)		4.58	19	15524	5.67	-1.09
Suma		18.90				
SECTOR 3						
Convenio + Riacho (N)		25.96	3	76612	27.96	-2.00
TOTAL		79.46			76.56	2.90

Como se observa en las Tablas 3.26, 3.27 y 3.28, las mayores diferencias se obtienen para la recarga y para la relación río-acuífero, mejorando el balance en relación con el caudal drenado por los azarbes principales. Con respecto a la recarga, como ya se ha comentado previamente (apartado 3.3.5) el modelo presenta mejores resultados al disminuir la recarga en las zonas B y D, además de aumentar ligeramente la recarga en la zona C2. Se ha considerado una recarga nula sobre el casco urbano de la ciudad de Murcia y en sierras de Callosa y Orihuela, lo cual resulta compatible con las escasas precipitaciones y con una baja permeabilidad predominante de los materiales triásicos coherente con la geomorfología observada en esta zona. La recarga total obtenida es de unos 62 a 72 hm³/año (inferior a los 87 hm³/año anteriormente considerados). Todo ello se interpreta además como posiblemente debido a una probable sobreestimación inicial de la recarga dada la elevada incertidumbre asociada a este parámetro en el área de estudio. Con respecto a la relación río-acuífero, ésta ha sido ampliamente tratada en el apartado 2.3.1 poniendo claramente de manifiesto la dificultad de conocer adecuadamente dicha relación a partir de los datos actualmente disponibles.

3.4.2.2.3 Últimas modificaciones y calibración final

A partir de los resultados obtenidos en régimen transitorio y a pesar de los escasos puntos de control disponibles al norte del dominio del modelo, se ha observado la necesidad de realizar unas últimas modificaciones que si bien no afectan de una manera significativa a los ajustes obtenidos, si parecen más coherentes con el modelo conceptual. Ello permite disponer de unas condiciones iniciales más apropiadas para simular posteriormente el régimen transitorio. Dichas modificaciones han consistido fundamentalmente en:

a) Aumentar la extensión de la Capa 1 (Campo de Elche) dándole la misma discretización espacial que a la Capa 2. Ello resulta más coherente tanto con el modelo conceptual como con la distribución de los pozos de explotación considerados posteriormente en régimen transitorio. (Figura 3.36)

b) Modificar la conductividad hidráulica al N de las sierras de Callosa y Orihuela (zonas 2 y 3), utilizando valores más coherentes con el resto de la Vega Baja y obteniendo una piezometría en este sector más razonable con el modelo conceptual. (Figura 3.36)

En la Figura 3.36 se presentan las modificaciones realizadas al N de la Vega Baja con respecto a la versión anterior (discretización espacial de la Capa 1 y distribución de las zonas de conductividad hidráulica en las Capas 1 y 2). En la Tabla 3.29 se presentan los valores de conductividad hidráulica finalmente considerados.

Tabla 3.29. Valores de conductividad hidráulica finalmente obtenidos en régimen estacionario durante el ajuste final (m/día)

	Capa	Zona	Kx = Ky	Kz
Vega Media (aluvial)	1	1	0.52	0.52
Vega Media (aluvial)		21	0.004	0.004
Vega Media (Trias)		4	1	1
Vega Baja (Trias)		13	1	1
Vega Baja (aluvial)		8	0.88	0.88
Vega Baja (Campo Elche)		27	0.032	0.032
Vega Media (aluvial)	2	39	128	10
Vega Media (aluvial)		37	1.09	1.09
Vega Baja (aluvial+ Trias)		47	10	4
Campo de Elche (aluvial)		45	0.32	0.32
Vega Baja (aluvial)		32	100	4

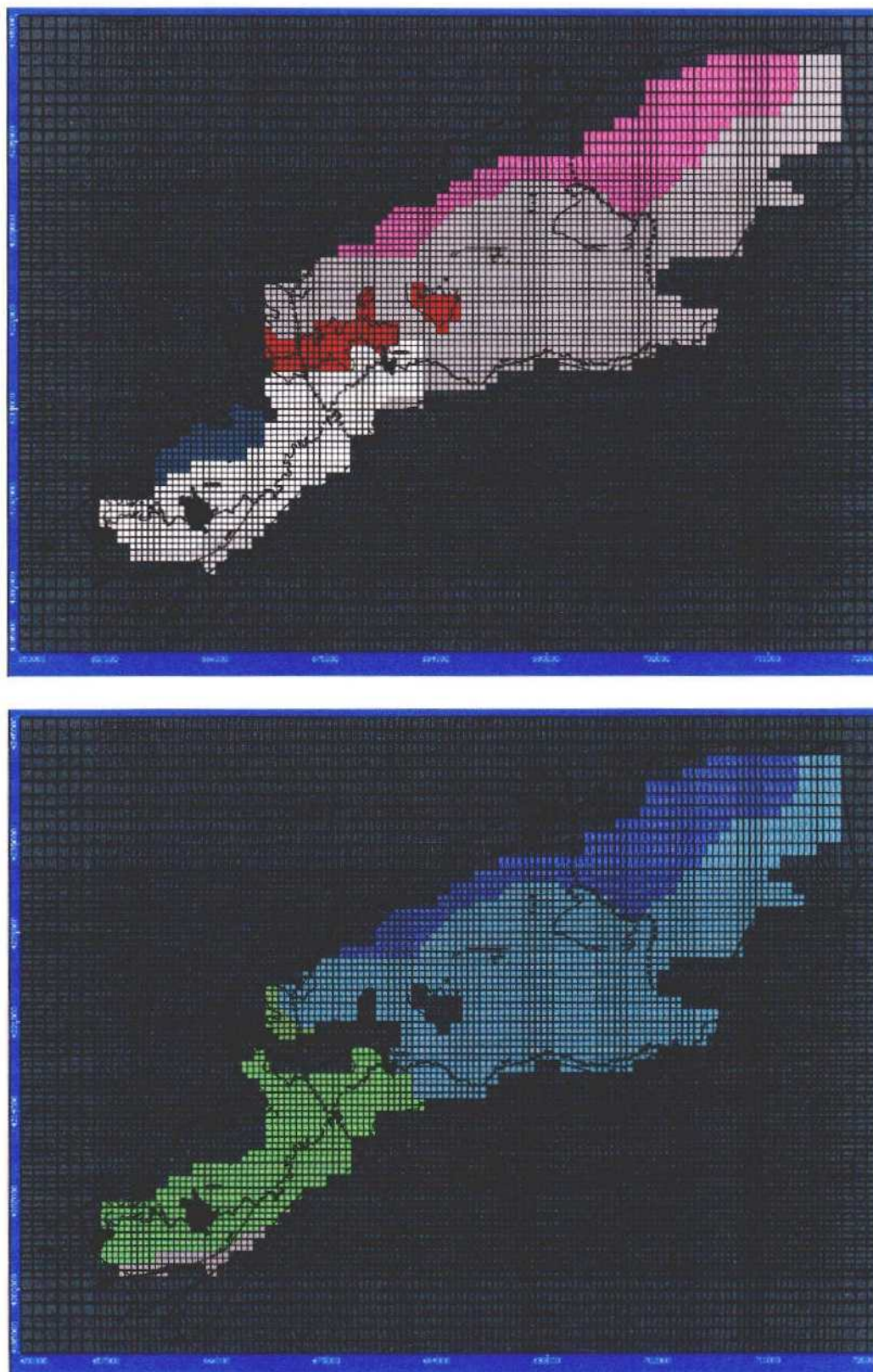


Figura 3.36.- Modificaciones realizadas al N de la Vega Baja (discretización espacial de la Capa 1 y distribución de las zonas de conductividad hidráulica en las Capas 1 y 2

Se han mantenido los mismos valores de recarga obtenidos en la versión anterior modificando ligeramente la distribución espacial de la misma al N del modelo (Figura 3.37). Los puntos de observación y las zonas de balance consideradas durante la calibración se presentan en la Tabla 3.15; Figuras 3.19 y 3.20.

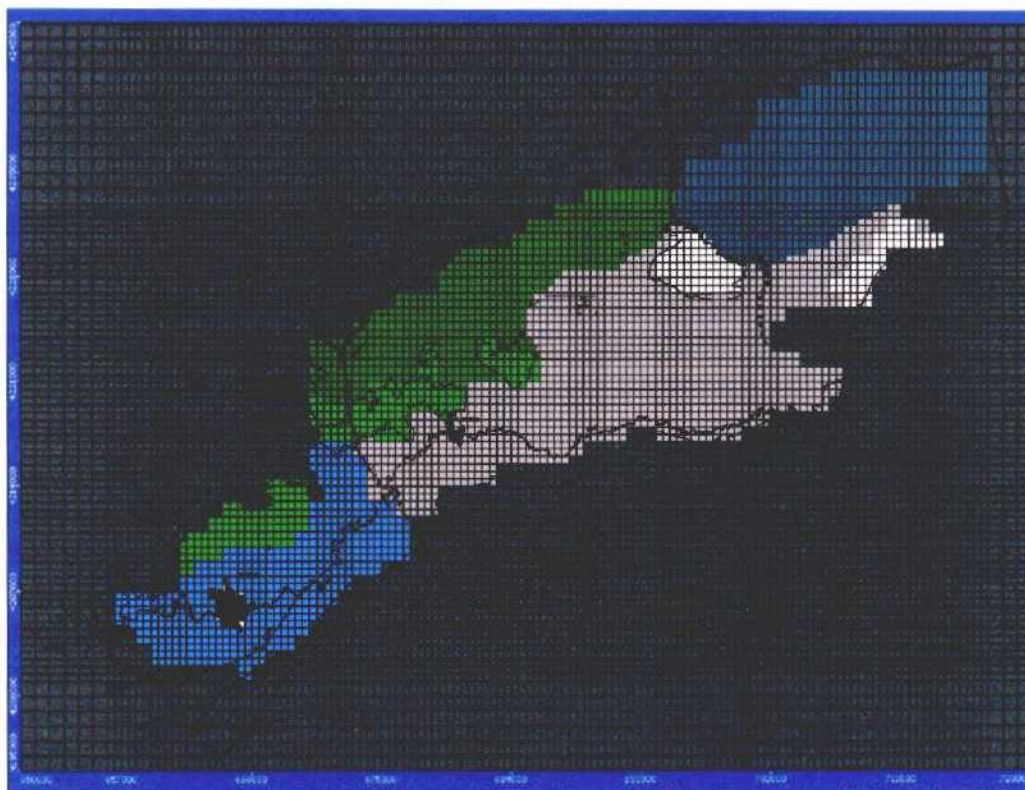


Figura 3.37.- Modificaciones realizadas en la distribución espacial de la recarga al N de la Vega Baja

Los ajustes de niveles y balances finalmente obtenidos son en general muy parecidos a los de la versión anterior. Los resultados son coherentes con el modelo conceptual, observándose cómo los niveles medidos presentan un buen ajuste con respecto a los calculados. Es decir, la representación de los niveles medidos frente a los calculados tiende a ajustarse a la recta de 45°. En la Figura 3.38 se presenta el ajuste de niveles y errores obtenidos suponiendo un modelo geométrico M2. El error medio absoluto obtenido para los 140 puntos de observación es de 1,11 m (error medio -0,11 m). El error medio absoluto obtenido en 72 puntos para la Capa 1 (acuífero superficial y triásico) es de 1,14 m (error medio 0,03 m). El error medio absoluto obtenido en 68 puntos para la Capa 2 (acuífero profundo) es de 1,09 m (error medio -0,27 m). En la Figura 3.39 se presentan los mapas de isopiezas obtenidos para las Capas 1 y 2.

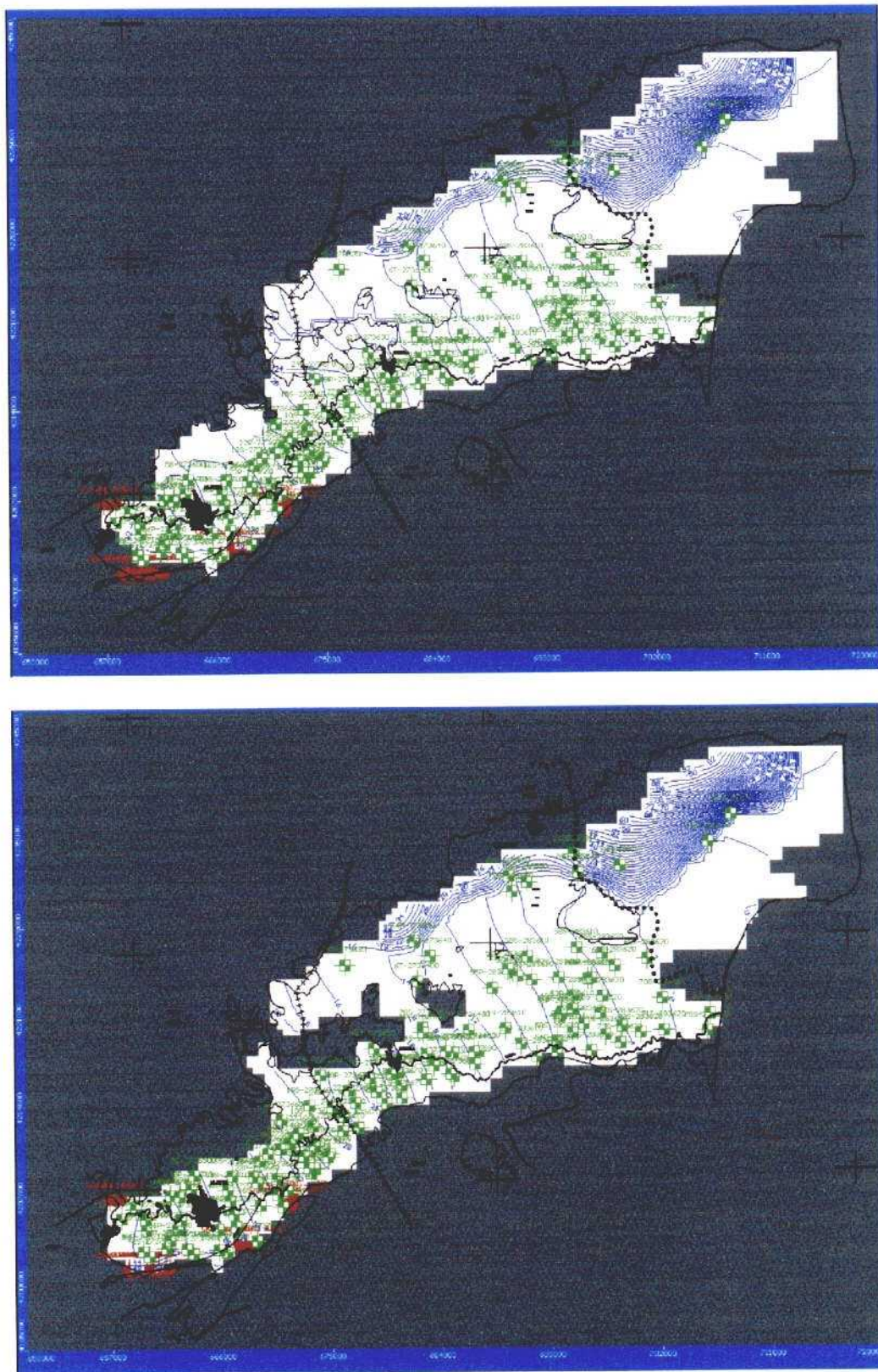


Figura 3.39.- Mapas de isopiezas finalmente obtenidos para las Capas 1 y 2 (Equidistancia 2 m)

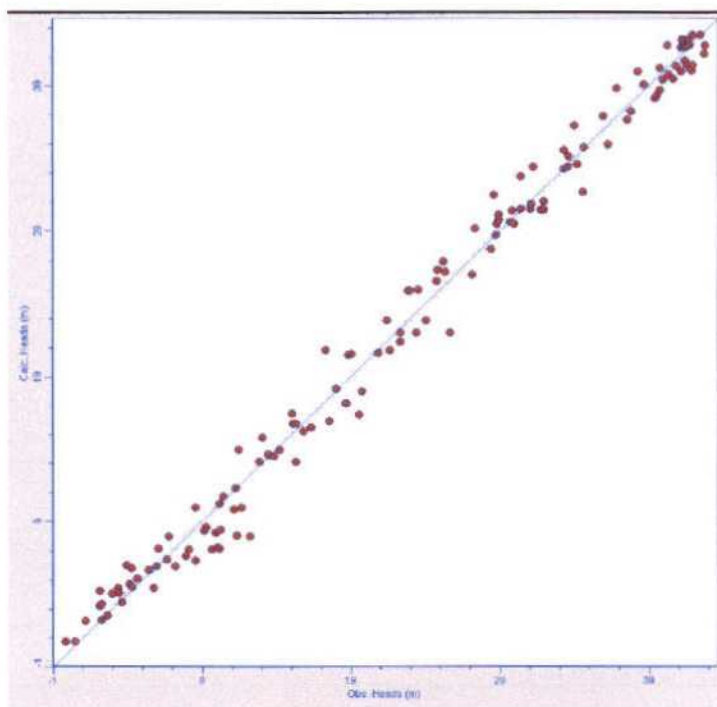


Figura 3.38.- Comparación final entre niveles observados y calculados (Puntos de observación totales: 140; Error medio = -0,11 m; Error absoluto = 1,11 m; Error standard = 0,1 m; Error RMS = 3,28%)

Con respecto a los términos y balances de agua obtenidos por el modelo para la Vega Media (Tabla 3.30), Vega Baja (Tabla 3.31) y Vega Media-Baja (Tabla 3.32), estos son también, en general, coherentes con la información previa disponible. En la Tabla 3.33 se presenta el balance de agua obtenido por el modelo numérico para los azarbes principales, comparándolo con los caudales aforados en 1979 por la CHS.

Tabla 3.30.- Comparación entre el balance correspondiente al modelo conceptual (1973-75) y el obtenido por el modelo numérico (Vega Media)

	VEGA MEDIA (BALANCE ESTACIONARIO)	
	MODELO CONCEPTUAL	MODELO NUMÉRICO
ENTRADAS		
Infiltración (lluvia+riego)	20	18.15
Guadalupe	2.5	2.5
Vega Alta	1.1	1.1
Cresta del Gallo	0.4	0.4
Río Segura	45 a 52	29.2
TOTAL	69 a 76	51.35
SALIDAS		
Descarga Río Segura	12	9.5
Descarga por azarbes	25 a 32	4.16
Descarga Vega Baja	32	37.7
TOTAL	69 a 76	51.36
CIERRE DE BALANCE	0 a 7	-0.01

Tabla 3.31.- Comparación entre el balance correspondiente al modelo conceptual (1973-75) y el obtenido por el modelo numérico (Vega Baja)

	VEGA BAJA (BALANCE ESTACIONARIO)	
	MODELO CONCEPTUAL	MODELO NUMÉRICO
ENTRADAS		
Infiltración (lluvia+riego)	48 a 67	46
Río Segura	?	4.9
Vega Media	32	37.7
TOTAL	80 a 99	88.6
SALIDAS		
Descarga Río Segura	?	7.32
Descarga por azarbes	79	78.24
Descarga Laguna Hondo	-	0.01
Salidas al mar	2.8	2.93
TOTAL	81.8	88.5
CIERRE DE BALANCE	0 a 17	0.10

Tabla 3.32.- Comparación entre el balance correspondiente al modelo conceptual (1973-75) y el obtenido por el modelo numérico (Vega Media y Baja)

	VEGA MEDIA Y BAJA (BALANCE ESTACIONARIO)		
	MODELO CONCEPTUAL	MODELO NUMERICO	
ENTRADAS			
Infiltración lluvia+riego	87	63.9	23.1
Guadalentin	2.5	2.5	
Vega Alta	1.1	1.1	
Cresta del Gallo	0.39	0.39	
Infiltración río Segura (VM)	45 a 52	29.2	
Infiltración río Segura (T3)	-	0.63	
Infiltración río Segura (T4)	-	4.3	
Total	136 a 143	102.02	
SALIDAS			
Descarga río VM (Beniel)	12	9.49	2.51
Descarga río Segura (T3)	21 a 29	4.73	
Descarga río Segura (T4)		2.56	
Laguna del Hondo	-	-	
Laguna de Santa Pola	-	-	
Azarbes	79	82.31	-3.31
Mar	2.8	2.96	-0.16
Total	115 a 123	102.05	
BALANCE	0 a 28	-0.03	

Tabla 3.33.- Comparación entre los caudales obtenidos por el modelo numérico en los azarbes principales de la Vega Baja y los caudales aforados por la CHS en 1979.

AZARBES CHS (1979)			MODELO NUMÉRICO			
SECTOR 1	l/s	hm ³ /año	Zona	m ³ /día	hm ³ /año	Diferencia
La Ancha	219	6.91	20	16570	6.05	0.86
Robatorio	128	4.04	21	8961	3.27	0.77
Dalt	725	22.87	22	52970	19.33	3.54
Vinalopo-Dalt	25	0.79				
Dulce						
Suma		34.61			28.65	5.95
SECTOR 2						
Rios	5	0.16				
Comuna o Tercio	80	2.52				
La Villa + Alcudia	32	1.51				
Enmedio	85	2.68				
Acierto	5	0.16				
Cola azequia Alcudia	16	0.50				
Rasga	0	0.00				
Señor	0	0.00				
La Reina	0	0.00				
La Culebrina	0	0.00				
Hilar de los Tenderos	200	6.31				
Avenamiento	15	0.47				
Suma	438	14.32	23	39867	14.55	-0.23
Mayayo (Pineda+Convenio+Riacho)		4.58	19	16028	5.85	-1.27
Suma		18.90				
SECTOR 3						
Convenio + Riacho (N)		25.96	3	78439	28.63	-2.67
TOTAL		79.46			77.68	1.78

Estos resultados suponen una descarga despreciable a través de la Laguna del Hondo, lo cual resulta razonable dado que durante el periodo 1973-75 (régimen estacionario), la laguna ya no funcionaba bajo condiciones naturales. No obstante, se ha considerado una segunda hipótesis en la que sí se ha tenido en cuenta una descarga por la laguna similar a la evaporación anteriormente evaluada en el modelo conceptual. En este caso, el ajuste de niveles obtenido es el mismo, modificándose únicamente el balance en la Vega Baja (Tabla 3.34) así como el agua drenada por los azarbes principales (Tabla 3.35). En toda la Vega Baja se observa un descenso del agua drenada por los azarbes en torno a los 16 hm³/año (en coherencia con la descarga que se produce a través de la laguna, Tabla 3.34). Las mayores diferencias se observan en los azarbes situados aguas arriba de la Laguna del Hondo (sector 3), pasado de unos 28 a 15 hm³/año (Tabla 3.35). También se observa una cierta disminución en el agua drenada por los azarbes Dalt y Mayayo.

Tabla 3.34.- Comparación entre el balance correspondiente al modelo conceptual (1973-75) y el obtenido por el modelo numérico (Vega Baja) suponiendo hipótesis de descarga por Laguna del Hondo.

	VEGA BAJA (BALANCE ESTACIONARIO)	
	MODELO CONCEPTUAL	MODELO NUMÉRICO
ENTRADAS		
Infiltración (lluvia+riego)	48 a 67	46
Río Segura	?	5
Vega Media	32	37.7
TOTAL	80 a 99	88.7
SALIDAS		
Descarga Río Segura	?	7.1
Descarga por azarbes	79	62.18
Descarga Laguna Hondo	16 a 20	16.5
Salidas al mar	2.8	2.93
TOTAL	98 a 102	88.71
CIERRE DE BALANCE	0 a 22	-0.01

Tabla 3.35.- Comparación entre los caudales obtenidos por el modelo numérico en los azarbes principales de la Vega Baja y los caudales aforados por la CHS en 1979 suponiendo hipótesis de descarga por Laguna del Hondo.

AZARBES CHS (1979)			MODELO NUMÉRICO			
SECTOR 1	l/s	hm3/año	Zona	m3/día	hm3/año	Diferencia
La Ancha	219	6.91	20	16474	6.01	0.90
Robatorio	128	4.04	21	8797	3.21	0.83
Dalt	725	22.87	22	49610	18.11	4.76
Vinalopo-Dalt	25	0.79				
Dulce						
Suma		34.61			27.33	7.27
SECTOR 2						
Ríos	5	0.16				
Comuna o Tercio	80	2.52				
La Villa + Alcudia	32	1.51				
Enmedio	85	2.68				
Acuerto	5	0.16				
Cola azequia Alcudia	16	0.50				
Rasga	0	0.00				
Señor	0	0.00				
La Reina	0	0.00				
La Culebrina	0	0.00				
Hilar de los Tenderos	200	6.31				
Avenamiento	15	0.47				
Suma	438	14.32	23	37706	13.76	0.55
Mayayo (Pineda+Convenio+Riacho)		4.58	19	14716	5.37	-0.79
Suma		18.90				
SECTOR 3						
Convenio + Riacho (N)		25.96	3	41606	15.19	10.77
TOTAL		79.46			61.65	17.81

3.4.2.3. 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 modelo conceptual y la información previa actualmente disponible. No obstante, dichos resultados se encuentran condicionados por la elevada incertidumbre asociada a algunos términos del balance como son fundamentalmente: a) la recarga por infiltración de retornos de riego, b) la relación río-acuífero en la Vega Media y c) la descarga a través de los azarbes en la Vega Baja. Otras incertidumbres asociadas son la elevada heterogeneidad del medio y la escasa o nula información previa en relación con los parámetros hidráulicos.
- 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. El funcionamiento hidrogeológico de la Vega Media se encuentra estrechamente relacionado con la relación río-acuífero, mientras que en la Vega Baja el flujo subterráneo está claramente condicionado por la descarga a través de los azarbes. Los parámetros que controlan el flujo subterráneo en la Vega Media son: la recarga, el río Segura (conductancia y lámina de agua) y la conductividad hidráulica, mientras que en la Vega Baja dichos parámetros son: la recarga, los azarbes (conductancia) y la conductividad hidráulica.
- Se han tanteado diversas hipótesis de funcionamiento con objeto de evaluar la influencia de la relación río-acuífero en la Vega Media, observándose como cuanto mayor es la infiltración a partir del río, mayor es la conductividad hidráulica resultante y la descarga subterránea en la estación de Beniel. Si se consideran hipótesis de carácter extremo (desde una infiltración y descarga subterránea nula hasta una infiltración de unos $45 \text{ hm}^3/\text{año}$ y una descarga de $38 \text{ hm}^3/\text{año}$), la conductividad hidráulica inicialmente obtenida para el acuífero superficial en la Vega Media estaría entre 0,5 y 5 m/día, mientras que en el acuífero profundo, la conductividad hidráulica horizontal en la Vega Media estaría entre 40 y 210 m/día y la vertical entre 1 y 10 m/día.
- Los ajustes de niveles y balances finalmente obtenidos son en general (Vega Media y Baja) parecidos, independientemente de la permeabilidad de los materiales triásicos y modelo geométrico adoptado (M1 ó M2). La escasa influencia de la permeabilidad considerada para el triásico se debe a que la mayor parte de los puntos de observación se encuentran sobre la vega (cuaternario) siendo muy escasos los puntos representativos del triásico. No obstante, en

estos puntos se obtienen mejores resultados al considerar valores de conductividad hidráulica menores a los inicialmente esperados, ya que al aumentar la permeabilidad de los materiales triásicos (incluso suponiendo recarga nula sobre dichos materiales), el flujo subterráneo procedente de la Vega Media tiende a atravesar dichos materiales aumentando considerablemente los niveles respecto a los observados al N de las sierras de Callosa y Orihuela. Todo ello podría interpretarse como debido a la existencia de procesos de karstificación puntuales localizados preferentemente a favor de las fracturas que ponen en contacto los afloramientos triásicos con el cuaternario, a una mayor profundidad del muro de los materiales triásicos y/o a la escasez de puntos de observación, los cuales además podrían estar afectados por la presencia de niveles locales como consecuencia de la complejidad estructural y naturaleza carbonatada de los materiales.

- El rango de conductividad hidráulica horizontal finalmente obtenida para el aluvial en la Vega Media y Baja oscila entre los 0,004 y 0,88 m/día para el acuífero superficial y entre los 100 y 128 m/día para el acuífero profundo. Los resultados mejoran significativamente al considerar el medio anisótropo ($K_x = K_y > K_z$) en el acuífero profundo, asignando una conductividad hidráulica vertical considerablemente inferior a la horizontal (entre 1 y 10 m/día). 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. 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.
- Durante las últimas etapas de la calibración se obtienen mejores resultados al disminuir la recarga en las zonas B y D además de aumentar ligeramente la recarga en la zona C2. La recarga total obtenida es de unos 62 hm³/año (inferior a los 87 hm³/año inicialmente considerados). Todo ello se interpreta como debido a una probable sobreestimación inicial de la recarga, o bien, a una subestimación del agua drenada por los azarbes, dada la elevada incertidumbre asociada a dichos términos del balance. El resto de entradas vienen dadas por la infiltración del río Segura (~ 34 hm³/año) y los aportes laterales procedentes del Bajo Guadalentín, Vega Alta y Cresta del Gallo (~ 4 hm³/año). Las principales salidas vienen dadas por la descarga a través de los azarbes (~ 80 hm³/año), descarga al río Segura (~ 16 hm³/año) y salidas al mar (~ 3 hm³/año). Si se tiene en cuenta de nuevo la incertidumbre asociada a la descarga a través de los azarbes, no se descarta una posible descarga subterránea por la

Laguna del Hondo, de acuerdo a los comentarios y observaciones realizadas en el modelo conceptual (apartado 2.3.3). Si se considera dicha hipótesis se observa un descenso del agua drenada por los azarbes, fundamentalmente en aquellos situados aguas arriba de la Laguna del Hondo (sector 3), pasado de unos 28 a 15 hm³/año

- El error medio absoluto finalmente obtenido entre niveles calculados y observados en 140 puntos de observación es 1,11 m (error medio -0,11 m). El error medio absoluto obtenido en 72 puntos para la Capa 1 (acuífero superficial y triásico) es 1,14 m (error medio 0,03 m). El error medio absoluto obtenido en 68 puntos para la Capa 2 (acuífero profundo) es 1,09 m (error medio -0,2 m). Los mapas de isopiezas son coherentes con el modelo conceptual.

3.4.3. Régimen Transitorio

Una vez obtenido un ajuste coherente en estacionario y a pesar de todas las incertidumbres comentadas, se ha procedido a la simulación y calibración del modelo en transitorio. Para ello, se ha simulado el periodo entre octubre de 1994 y septiembre de 2001, teniendo en cuenta la mayor disponibilidad de datos debido al aumento de la explotación de las aguas subterráneas como consecuencia de la sequía ocurrida entre 1992 y 1995. No obstante, el inicio del periodo simulado no se considera demasiado acertado para iniciar la calibración ya que corresponde a un periodo de descenso continuado de niveles tal y como se observa en la evolución histórica de los niveles durante 1972-2004 (Figura 3.39b).

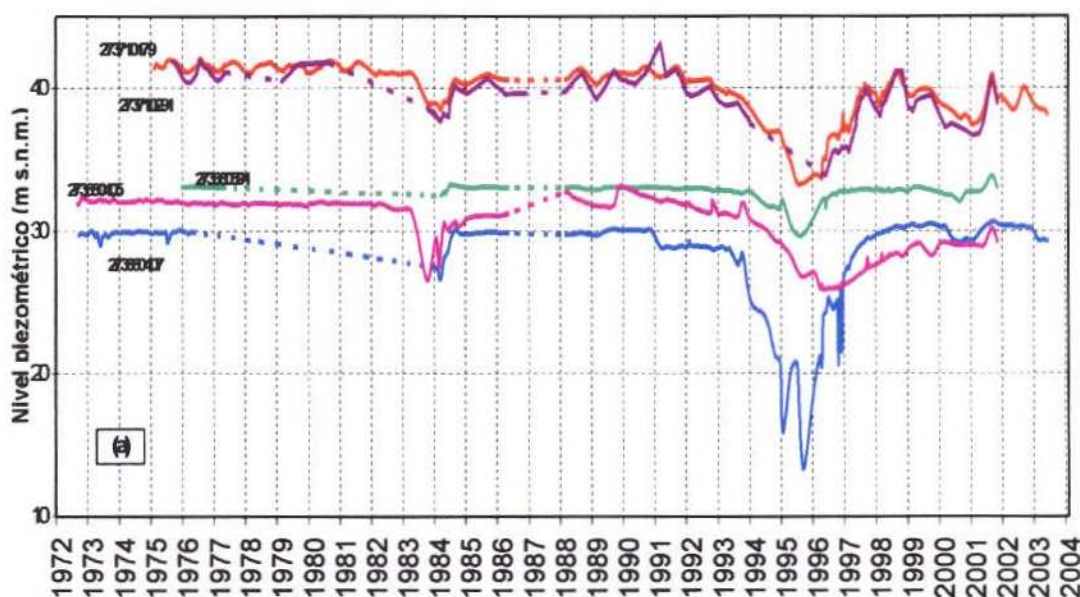


Figura 3.39b.- Evolución histórica de niveles piezométricos en la Vega del Segura (1972-2004)

Por otro lado, conviene además tener en cuenta la 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. Por todo ello, la calibración se ha centrado fundamentalmente en el periodo comprendido entre diciembre 1996 (paso de tiempo 27) y septiembre 2001. 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 tanto en diferentes tramos del río como en la Laguna del Hondo. Las condiciones de contorno restantes (drenes y GHB) se han mantenido 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 disponibles para la calibración del modelo en régimen transitorio corresponden principalmente a las redes y controles realizados por el IGME durante el periodo 1994-2001. Por ausencia de datos, los puntos de observación no son siempre coincidentes con los utilizados para calibrar el modelo en régimen estacionario. Además, solamente en 6 puntos existe un registro continuo de niveles (de los cuales únicamente el punto 273640094 se sitúa en la Vega Baja). En el resto de puntos la información piezométrica disponible corresponde casi exclusivamente a los periodos 1997-1998 y 2000-2001

El proceso de ajuste y calibración ha sido iterativo, de forma que a partir de la piezometría obtenida en régimen estacionario (condiciones iniciales) 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

La evolución mensual tanto de la recarga como de la explotación por bombeo durante el periodo 1994-2001 se ha obtenido según el tratamiento comentado en los

apartados 2.2.2 y 2.3.5 (Figuras 3.40, 3.41 y 3.42). 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. 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 3.43 se presenta la distribución de los pozos de bombeo introducidos en el modelo, indicando la forma de introducir su situación, tramo de rejilla y caudales mensuales de explotación.

La evolución de la lámina de agua en el río (tramos 1 y 2) se han obtenido directamente a partir de las medidas realizadas por la CHS en las estaciones de aforo de Contraparada y Beniel respectivamente, mientras que la lámina correspondiente al tramo 3 (Beniel-Orihuela) se ha estimado disminuyendo en 0,5 m la lámina medida en Beniel. Se desconoce hasta que punto la lámina de agua medida en las estaciones de aforo se puede considerar como representativa de la evolución natural de la lámina en el río, sin embargo, la aproximación realizada se considera suficientemente razonable como para proceder a la calibración del modelo, ya que: a) reproduce la variabilidad temporal real de la lámina de agua y b) se conocen los caudales circulantes por las diferentes estaciones de aforo, permitiendo calibrar inicialmente el balance de agua en los diferentes tramos de río. En la Laguna del Hondo se ha considerado la lámina de agua medida durante 1/04/1998-31/12/2004 (Tabla 2.21). Los valores de conductancia considerados para cada tramo del río son los obtenidos de la calibración en régimen estacionario.

Con respecto a las condiciones de contorno restantes, drenes (azarbes) y GHB (salidas al mar), la ausencia de datos ha llevado a mantener los valores de conductancia calibrados en régimen estacionario. En el caso de los azarbes, la condición de dren utilizada no se considera demasiado acertada dada la estrecha dependencia existente entre este tipo de condición y la recarga. En su lugar sería más razonable utilizar una condición de tipo goteo o mixta, lo que permitiría además la posibilidad de que los azarbes pudieran actuar como elementos de recarga. No obstante, ello supondría definir unos valores de lámina de agua y de su evolución a lo largo del periodo de calibración (1996-2001) para cada uno de los azarbes principales, lo cual resulta actualmente inviable dada la ausencia de datos suficientes al respecto. Por otro lado, la baja conductividad predominante en el acuífero superficial unido al hecho de que parte de los azarbes se encuentran revestidos en el fondo parece sugerir un comportamiento más coherente con la condición de dren.

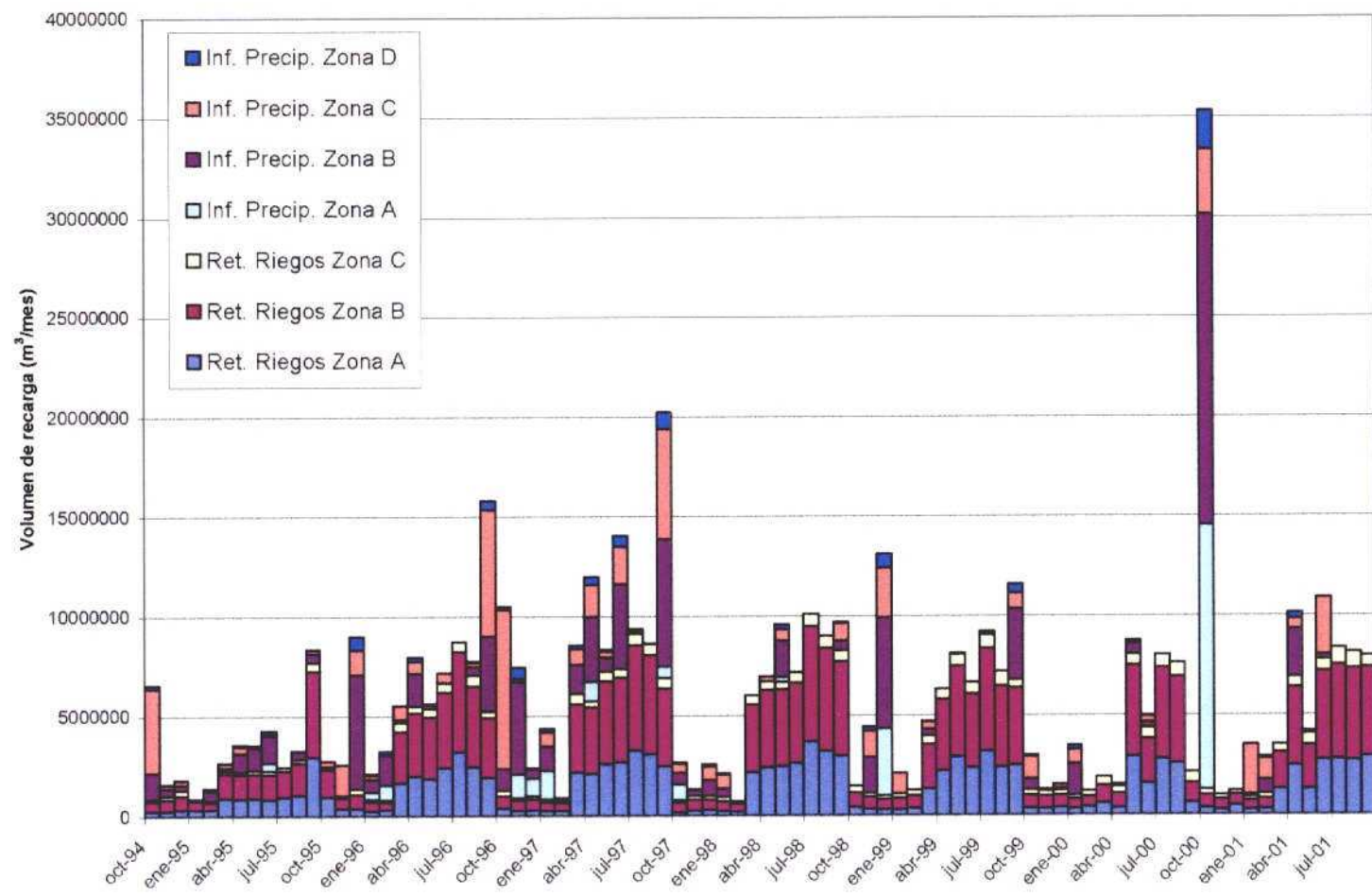


Figura 3.40.- Volúmenes mensuales de recarga por precipitación y retornos de riego por zonas del modelo (periodo 1994/95-2000/01).

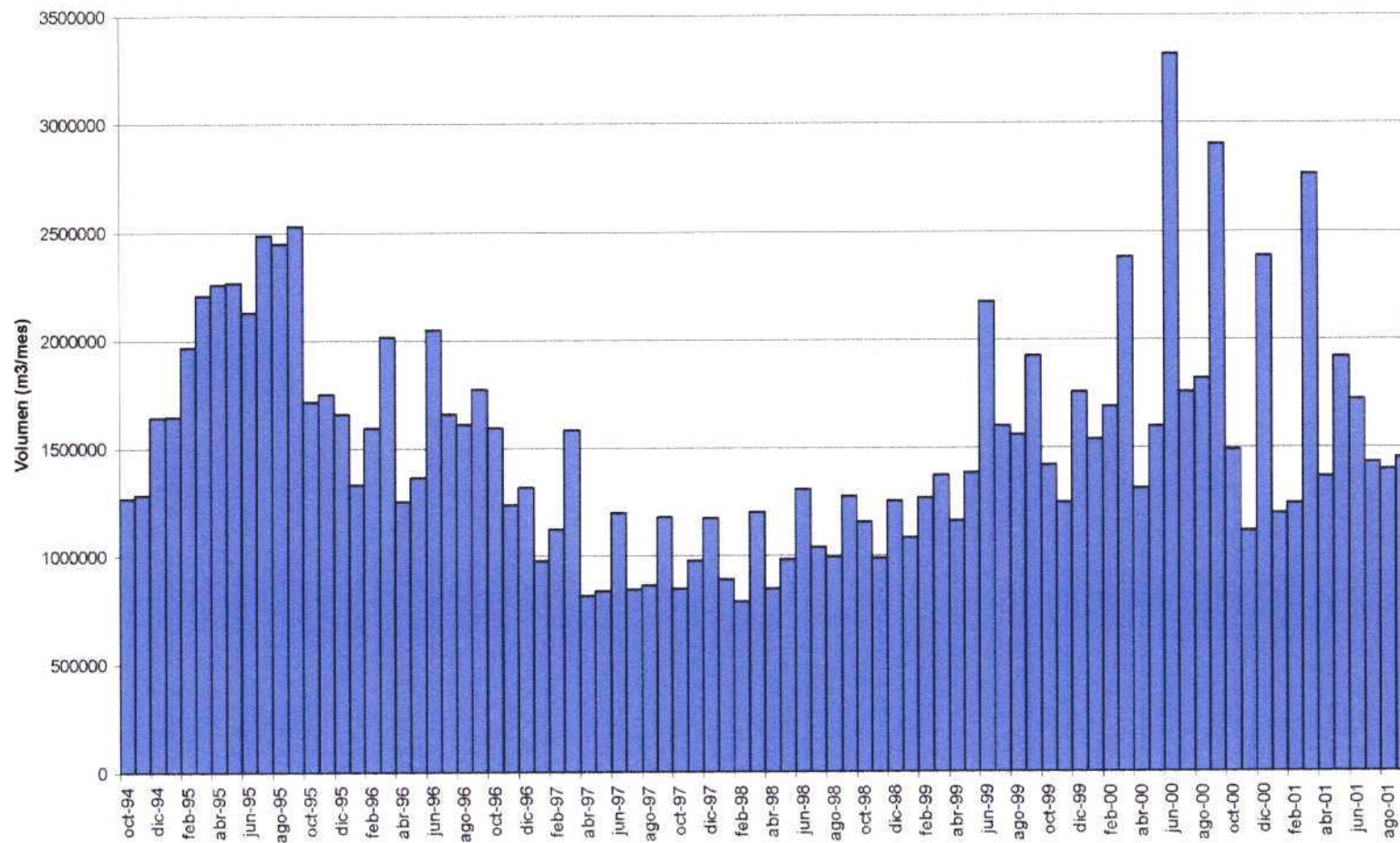


Figura 3.41.- Evolución mensual de la explotación de aguas subterráneas en el acuífero de la Vega Media del Segura (periodo 1994/95-2000/01)

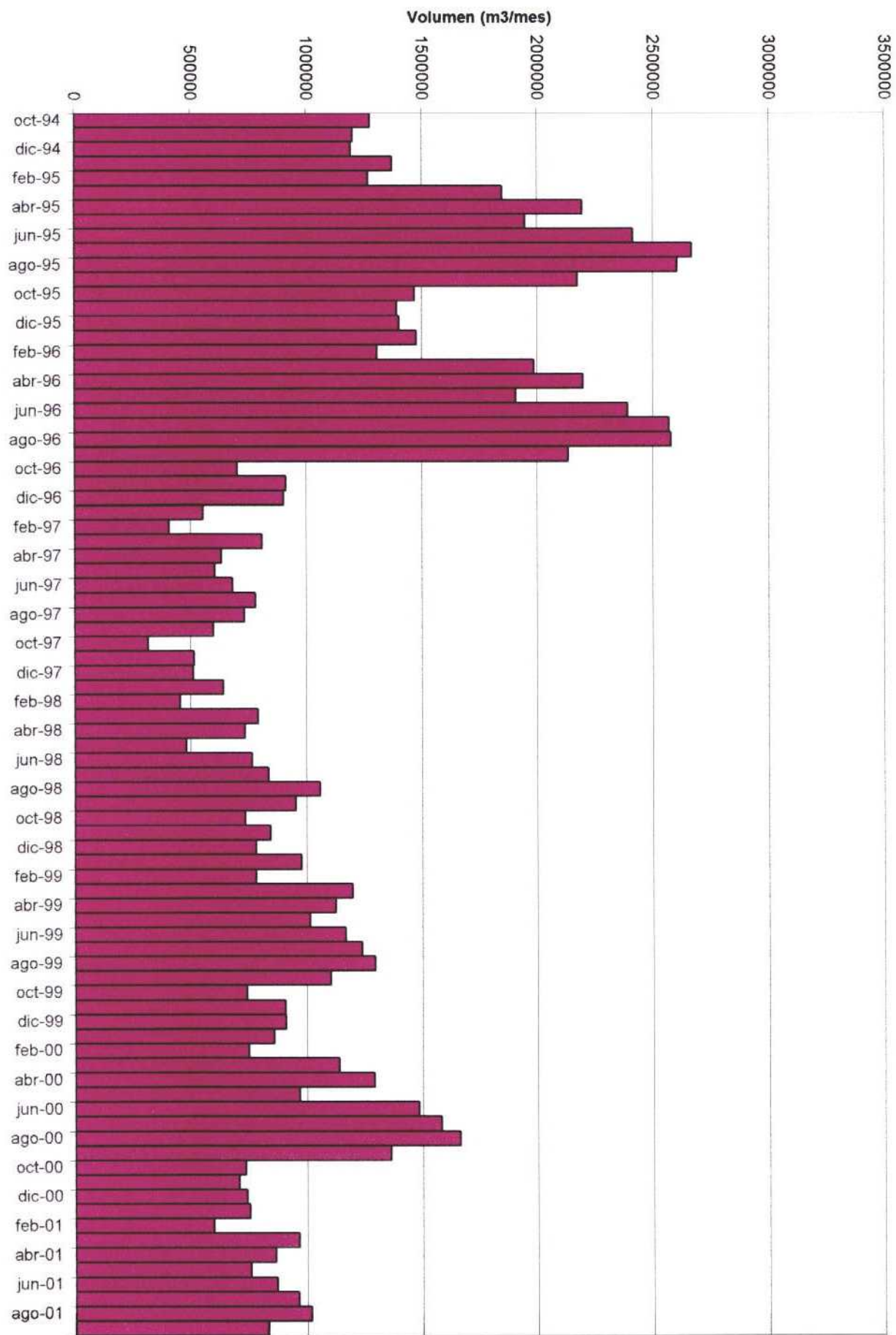
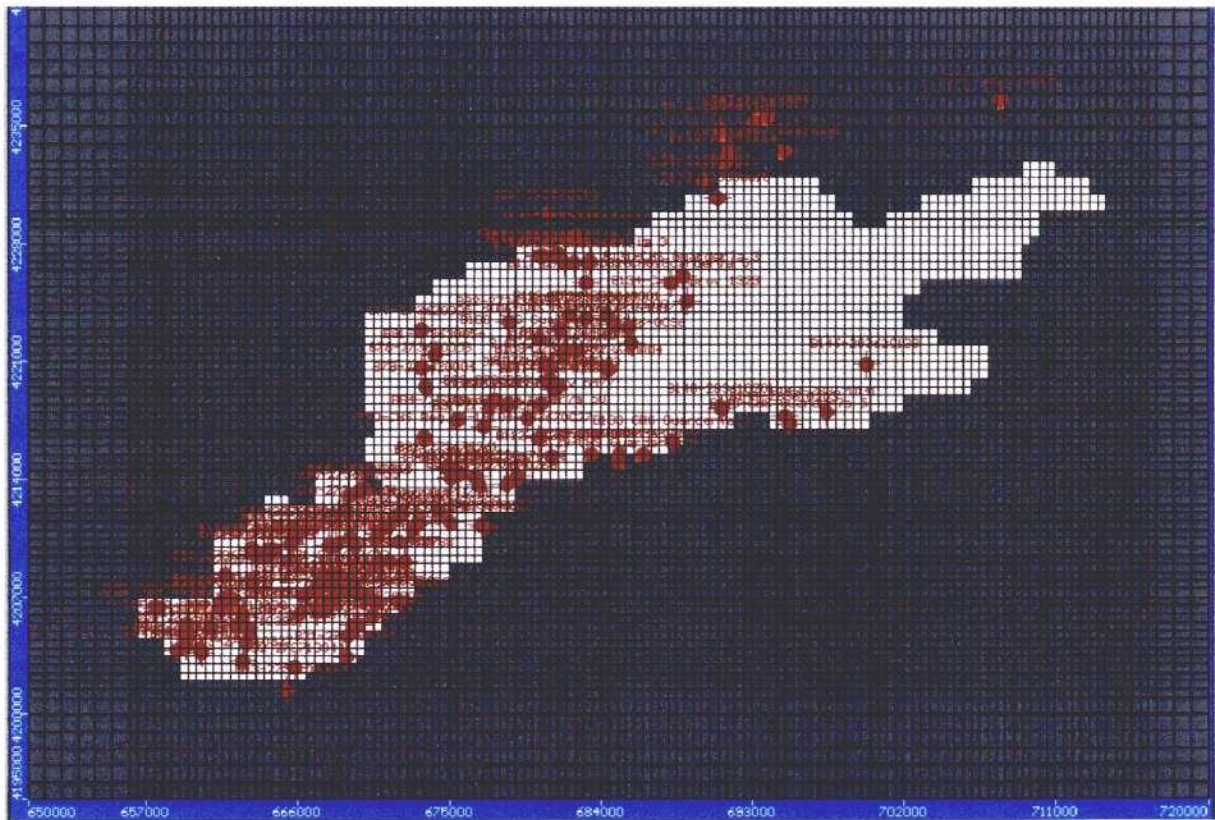


Figura 3.42.- Evolución mensual de la explotación de aguas subterráneas en el acuífero de la Vega Baja del Segura (periodo 1994/95-2000/01)



Edit Well

Well Name: B134-CHS Aprov 1323 X=689120 (m) Y=4224650 (m) Z=-76.76 (m)

Screened Intervals

Screen Bottom [m]	Screen Top [m]
-133.2556	-0.654599

Pumping Schedule

Start (days)	End (days)	Rate (m ³ /d)
0	30	-489.1667
30	60	-754.1667
60	90	-754.1667
90	120	-858.3333
120	150	-571.6667
150	180	-729.1667
180	210	-770.8333

Display as: Elevation Depth To

Active Radius: 0

OK Cancel

Figura 3.43. Distribución de los pozos de bombeo y ejemplo indicando la forma de introducir los datos.

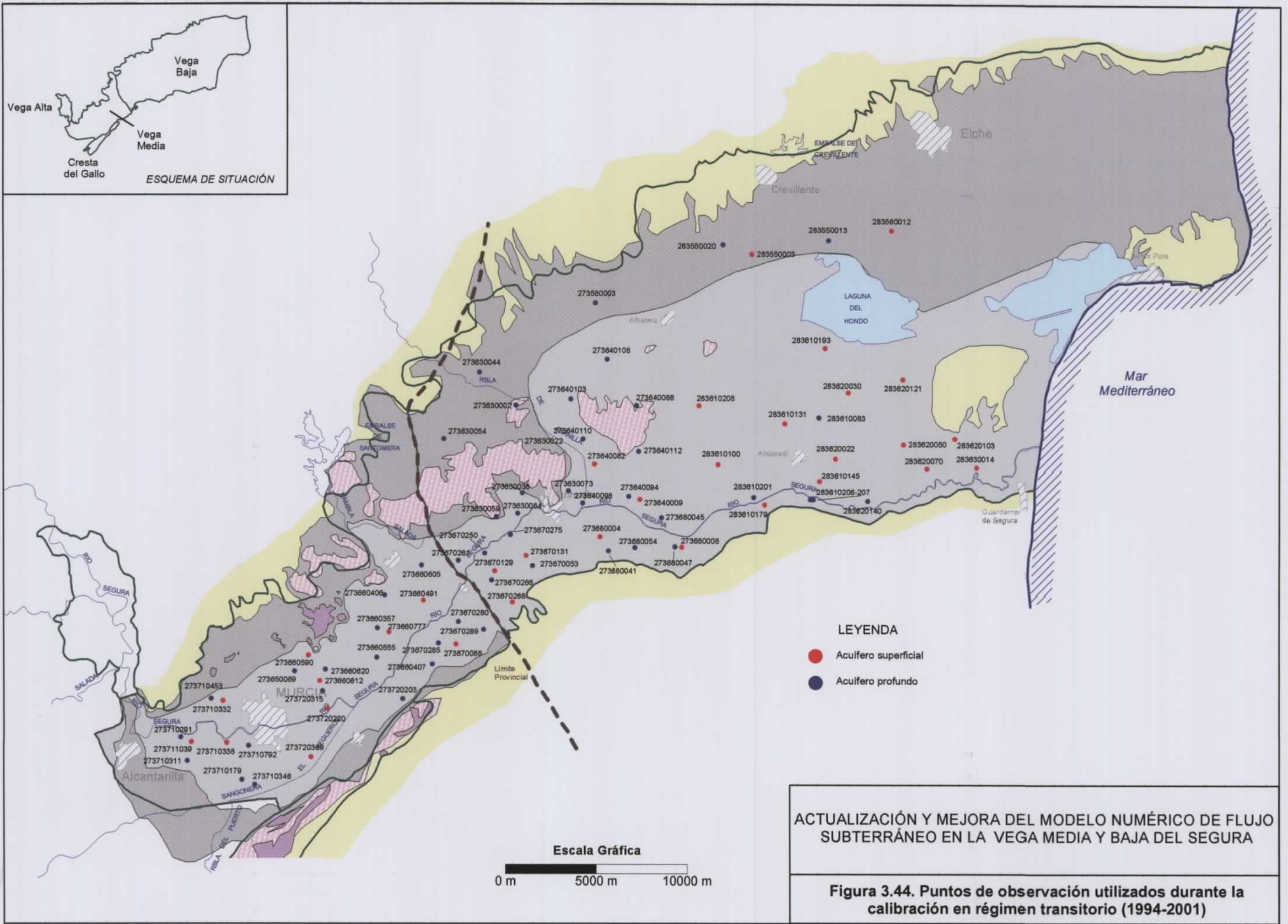
La condición de caudal constante (pozos de inyección) utilizada en régimen estacionario para simular los aportes laterales procedentes de la Vega Alta, Bajo Guadalentín y Cresta del Gallo, no ha sido inicialmente considerada como consecuencia del escaso peso que parecen representar en comparación con 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 76 puntos de observación: 18 en el acuífero superficial y materiales triásicos (Capa 1) y 58 en el acuífero profundo (Capa 2) cuya distribución se presenta en la Figura 3.44. Los puntos de observación no siempre coinciden 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 (Tablas 3.16 y 3.17; Figura 3.20).

3.4.3.2 Ajuste y calibración: presentación de resultados

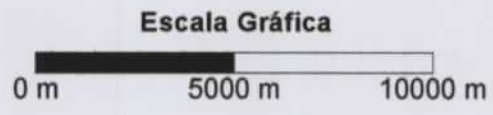
Al igual que en régimen estacionario, la metodología aplicada ha consistido en partir de planteamientos o esquemas de funcionamiento sencillos e ir complicándolos progresivamente hasta alcanzar una aproximación lo más representativa posible de la realidad. De esta forma, en una primera fase, se consideraron unos parámetros de almacenamiento constantes para cada capa y realizaron unas primeras simulaciones teniendo en cuenta únicamente la variabilidad temporal de la recarga y de los bombeos. Así mismo, se realizó 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 introdujo la lámina de agua en el río y consideraron las restantes condiciones de contorno, 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. A continuación, se realizó 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.



- LEYENDA**
- Acuífero superficial
 - Acuífero profundo

ACTUALIZACIÓN Y MEJORA DEL MODELO NUMÉRICO DE FLUJO SUBTERRÁNEO EN LA VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA

Figura 3.44. Puntos de observación utilizados durante la calibración en régimen transitorio (1994-2001)



Este apartado comienza comentando de forma resumida los resultados obtenidos en las tres primeras fases anteriormente comentadas (GME-CHS-DPA, 2002) A continuación, se presentan los resultados de la última calibración realizada teniendo en cuenta todas las mejoras comentadas hasta el momento y utilizando la versión VMODFLOW 2.81.105.

3.4.3.2.1. Simulaciones previas y análisis de sensibilidad preliminar (Fase 1)

Durante esta fase se consideraron 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 realizó 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 permitió observar cómo, desde las primeras simulaciones, 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 permitió 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.

3.4.3.2.2. Calibración mediante tanteo de los parámetros de almacenamiento a partir de la conductividad hidráulica en régimen estacionario (Fase 2).

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 consistió en tantear los diferentes parámetros de almacenamiento

a partir de la piezometría y valores de conductividad hidráulica obtenida en régimen estacionario (apartado 3.4.2.2.1). Para ello se tomaron como punto de partida los parámetros de almacenamiento iniciales presentados en la Tabla 3.12. Al igual que en las fases siguientes, la calibración se realizó teniendo en cuenta:

- La comparación entre niveles medidos y calculados: considerando la variabilidad espacial y la evolución temporal durante el periodo de calibración. Para ello, se representan los niveles a lo largo del tiempo (evaluando las tendencias y calidad global del ajuste) y analizan 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 comparan 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 seleccionaron tres hipótesis principales según los parámetros de almacenamiento y opción de recarga considerada. En las dos primeras hipótesis (A y B) se emplea 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 obtenidos de la bibliografía (Tabla 3.11). 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 3.36 y 3.37 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.

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 3.45 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. 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. 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.

Tabla 3.36. – 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). (Fase 2)

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					
A1	117.4	59.5	51.1	98.5	104.7	89.9	113.0	74.5	63.9	117.4	60.6	52.0	21527	7.86	26281	9.59	25139	9.18	20922	7.64	1.81	1.62	1.8	2.5
													10.2		12.5		11.9		9.9					
A2	117.1	61.2	52.5	98	107	91.8	112.6	76.6	65.8	117.0	62.9	54.0	21694	7.92	26567	9.70	25491	9.30	21391	7.81	-0.93	-3.36	-4.37	-5.71
													10.3		12.7		12.2		10.2					
B1	114.2	63	54.1	94.5	109.5	94.0	110.3	78.0	67.0	108.2	69.6	59.7	21834	7.97	26871	9.81	25787	9.41	21615	7.89	1.13	0.59	0.64	1.2
													10.4		12.9		12.4		10.5					
B2	113.8	64.7	55.5	93.9	112.0	96.1	109.8	80.3	68.9	107.7	72.1	61.9	22006	8.03	27166	9.92	26156	9.55	22112	8.07	-1.63	-4.49	-5.70	-7.46
													8.4		9.6		9.3		7.7					
C1	121.1	47.3	40.6	97.1	100.2	86.0	111.3	70.4	60.4	127.1	37.3	32.0	17788	6.49	20332	7.42	19681	7.18	16251	5.93	2.09	2.02	2.24	2.94
													8.5		9.7		9.4		7.8					
C2	120.8	48.7	41.8	96.7	102.0	87.6	110.8	72.3	62.1	126.7	39.2	33.6	17847	6.51	20447	7.46	19831	7.24	16474	6.01	-0.78	-3.15	-4.16	-5.5

BALANCE																								
DRENES								LAGUNA DEL HONDO								MAR								
28		49		61		84		28		49		61		84		28		49		61		84		
A1	78052	28.49	81217	29.64	80068	29.22	77419	28.26	41818	15.26	43227	15.78	43254	15.79	42015	15.34	4287	1.56	4506	1.64	4534	1.65	4496	1.64
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 3.37. – 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. (Fase 2)

		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

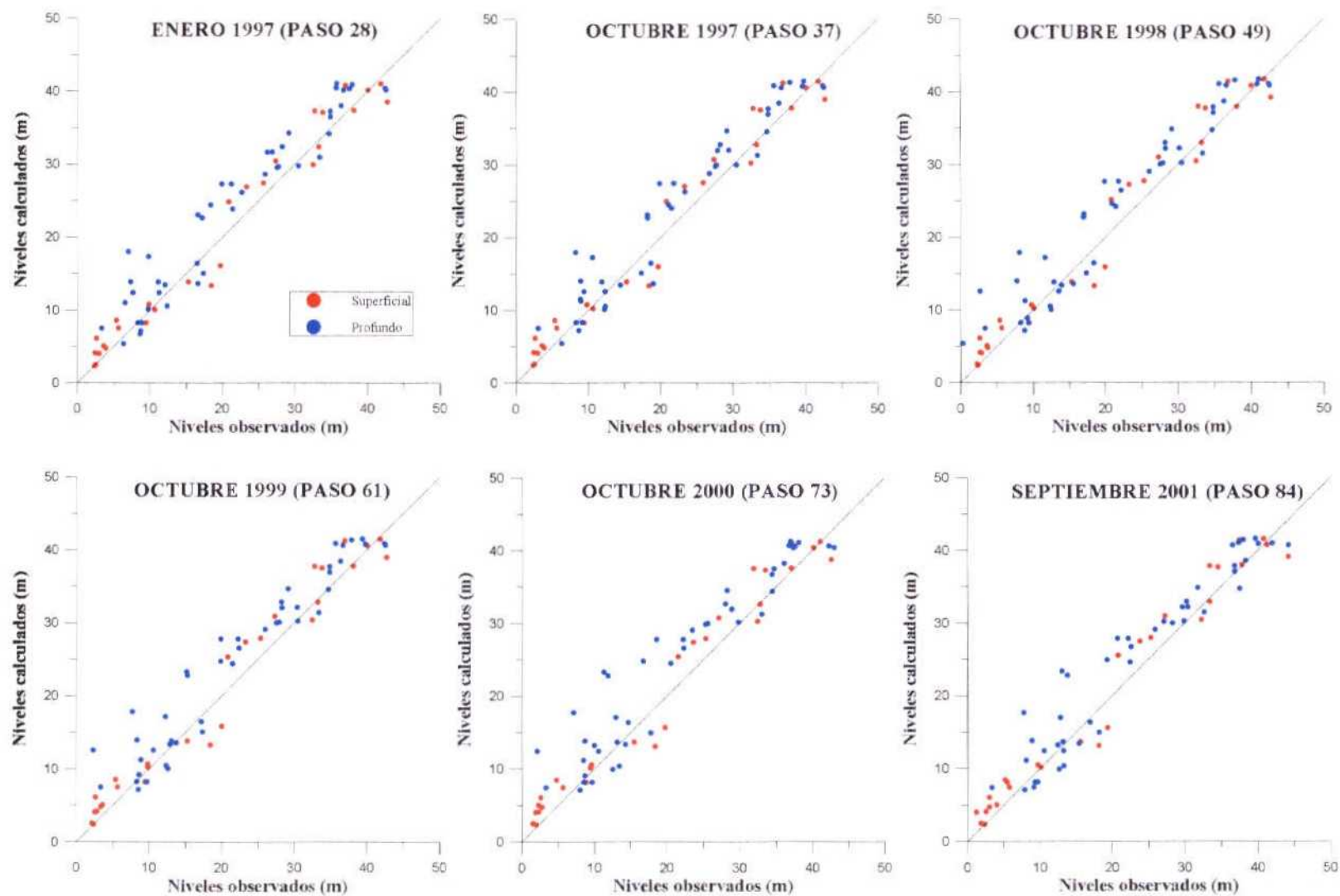


Figura 3.45- Comparación entre niveles observados y calculados (error medio absoluto) correspondientes a los pasos de tiempo intermedios (Fase2)

3.4.3.2.3. Calibración mediante tanteo de los parámetros de almacenamiento y conductividad hidráulica (Fase 3).

A partir de las observaciones y resultados obtenidos en las fases anteriores se realizó otra calibración con objeto de minimizar el peso del río en la Vega Media. Para ello se realizaron 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.

El objetivo de la calibración consistió en obtener un conjunto de parámetros (conductancia, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento) que minimizen 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. En algunas situaciones se produce un secado de celdas en el modelo, lo que podría estar relacionado con problemas en la geometría. En general se observa como a mayor conductancia en el tramo 1, menor conductividad hidráulica y mayor coeficiente de almacenamiento, se produce un menor secado de celdas en el acuífero superficial, aunque a consta de perder calidad en el ajuste entre niveles.

A partir de las simulaciones realizadas durante esta fase 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 la Tabla 3.38 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 como además, 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 3.46 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)

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). Sería necesario realizar un estudio específico detallado con objeto de evaluar más detalladamente la relación río-acuífero así como la posible incidencia de las obras de rectificación del cauce en los caudales aforados.

En las Figuras 3.47 a 3.50 se presenta la evolución de las principales entradas y salidas durante el periodo simulado (1994-2001) para la Vega Media y Vega Baja (hipótesis E). 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.

Tabla 3.38. – 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) (Fase 3).

DATOS DE ENTRADA																									
CONDUCTANCIA					PERMEABILIDAD																				
RÍO					VEGA MEDIA							VEGA BAJA													
C1	C2	C3	C4		CAPA 1			CAPA 2				CAPA 3				CAPA 1			CAPA 2			CAPA 3			
					Zona 1 (y 2)	Zona 16	Zona 2	Zona 18	Zona 17	Zona 14	Zona 19	Zona 3	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Zona 11	Zona 5	Zona 4	Zona 10	Zona 12	Zona 13	Zona 15			
(*)	30000	1000000	1000000	2500	50 (1,5)	No	50 (1,5)	No	No	400 (5)	No	375 (5)	10	10	10	2,5 (1)	0,001	375 (5)	150 (5)	150 (5)	0,5	2,5			
D	6000	80000	1250	1250	0,5 (0,1)	No	0,5 (0,1)	No	No	100 (5)	No	100 (5)	10	10	10	2,5 (1)	0,001	375 (5)	150 (5)	150 (5)	0,5	2,5			
E	6000	80000	40000	1250	0,5 (0,03)	5 (0,1)	No	5 (0,3)	50 (1)	100 (60)	100 (60)	100 (60)	5 (0,1)	5 (0,1)	5 (0,1)	2,5 (1)	2,5 (0,1)	375 (5)	50 (5)	50 (5)	0,5	2,5			

BALANCE																								
RÍO																								
TRAMOS 1 y 2										TRAMO 3						TRAMO 4								
28			49			61			84			28		49		61		84		28	49	61	84	
T1	T2	%ES	T1	T2	%ES	T1	T2	%ES	T1	T2	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES	%ES						
D	25.92	3.16	2.7	24.31	8.47	7.3	27.22	7.25	6.2	30.22	3.64	3.1	6907	2.52	9599	3.50	7197	2.63	3882	1.42	0.5	1.38	1.4	0.84
E	20.52	4.17	3.6	19.31	11.7	10.0	20.02	8.55	7.3	21.44	1.96	1.7	28024	10.23	36082	13.17	25683	9.37	10581	3.86	2.27	3.43	3.32	2.66

BALANCE																								
DRENES								LAGUNA DEL HONDO								MAR								
28		49		61		84		28		49		61		84		28		49		61		84		
D	81570	29.77	89919	32.82	89273	32.58	83431	30.45	59555	21.74	56098	20.48	59460	21.70	57264	20.90	4415	1.61	4576	1.67	4610	1.68	4586	1.67
E	80795	29.49	91790	33.50	90874	33.17	87235	31.84	35565	12.98	32218	11.76	34192	12.48	32750	11.95	2121	0.77	2216	0.81	2247	0.82	2263	0.83

		NIVELES (ERROR)																	
		VEGA MEDIA Y BAJA						VEGA MEDIA						VEGA BAJA+TRIAS					
		28	37	49	61	73	84	28	37	49	61	73	84	28	37	49	61	73	84
D	EMA	2.68	2.64	2.85	2.99	3.32	2.69	2.52	2.65	2.81	2.71	2.65	2.28	2.79	2.64	2.87	3.17	3.75	2.95
D	EM	1.34	1.60	2.05	2.19	2.32	1.55	0.4	1.62	2.16	1.90	1.38	0.78	1.94	1.59	1.98	2.37	2.92	2.05
E	EMA	2.61	2.49	2.64	2.76	3.06	2.58	2.46	2.28	2.29	2.23	2.28	2.16	2.71	2.63	2.86	3.10	3.55	2.85
E	EM	1.03	1.18	1.46	1.54	1.64	0.84	-0.3	0.47	0.67	0.4	-0	-0.84	1.9	1.64	1.97	2.28	2.7	1.92

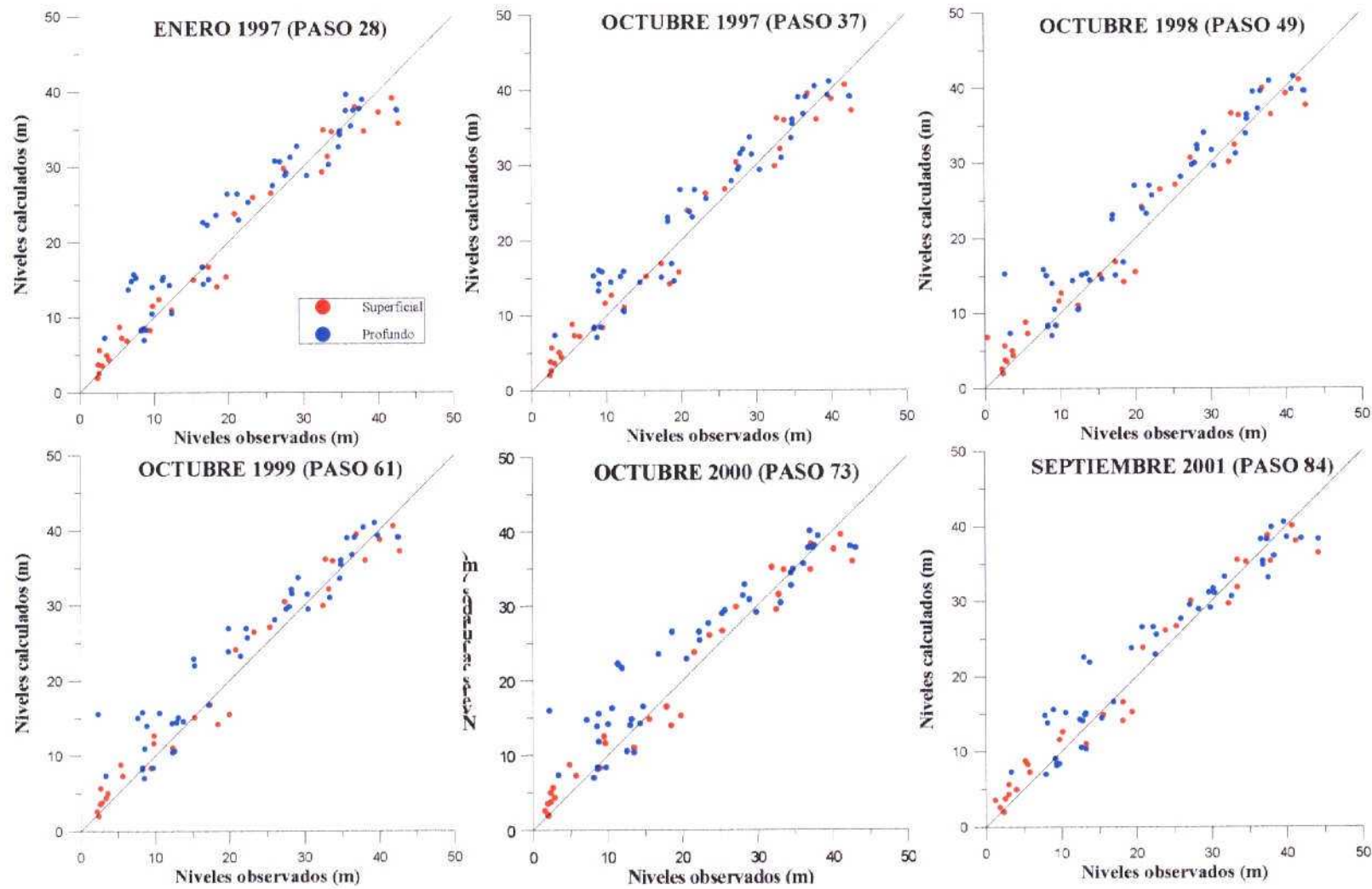


Figura 3.46- Comparación entre niveles observados y calculados correspondientes a los pasos de tiempo intermedios (Fase 3)

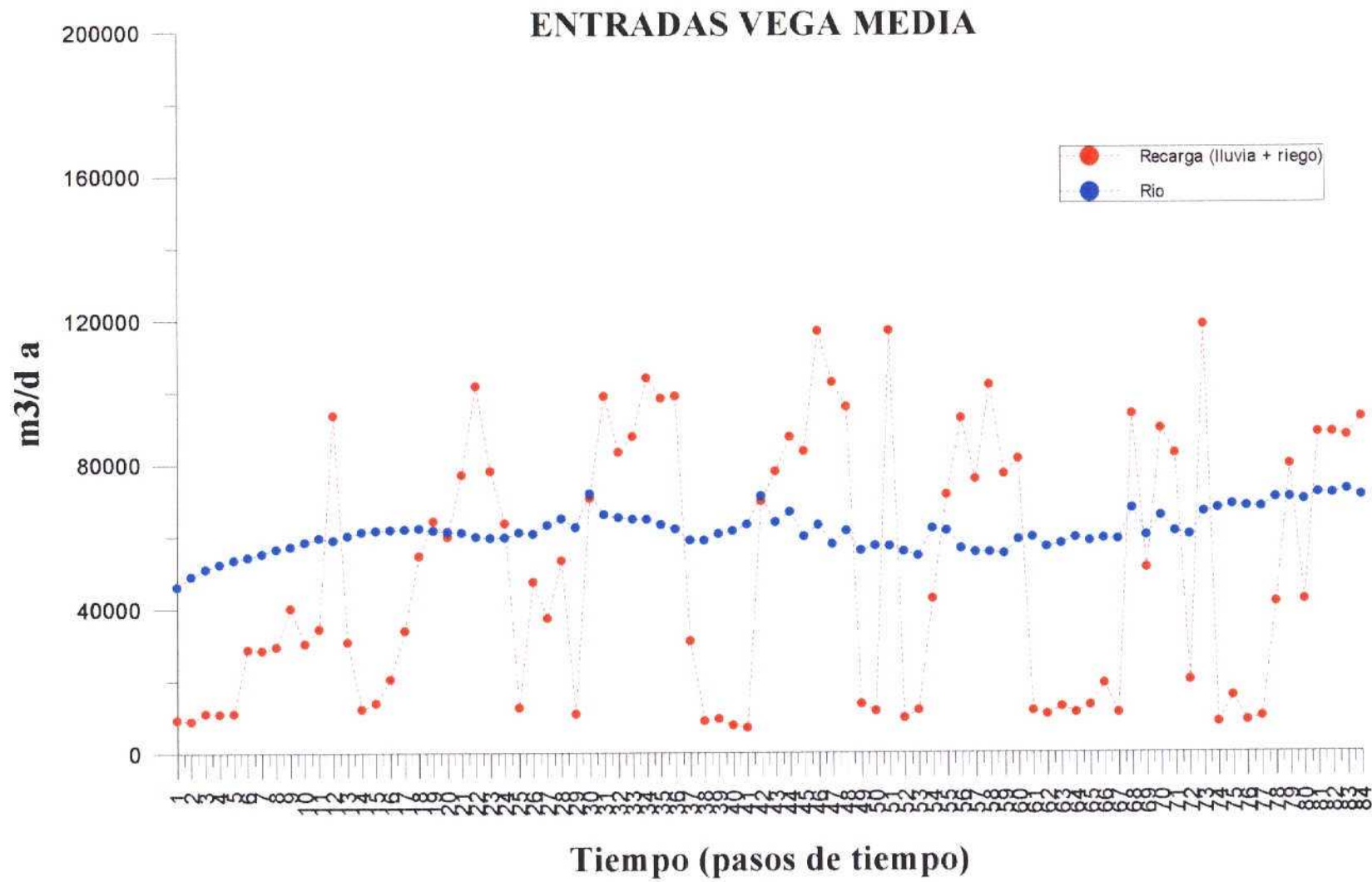


Figura 3.47. – Evolución temporal de las principales entradas simuladas en la Vega Media (1994-2001) (Fase 3).

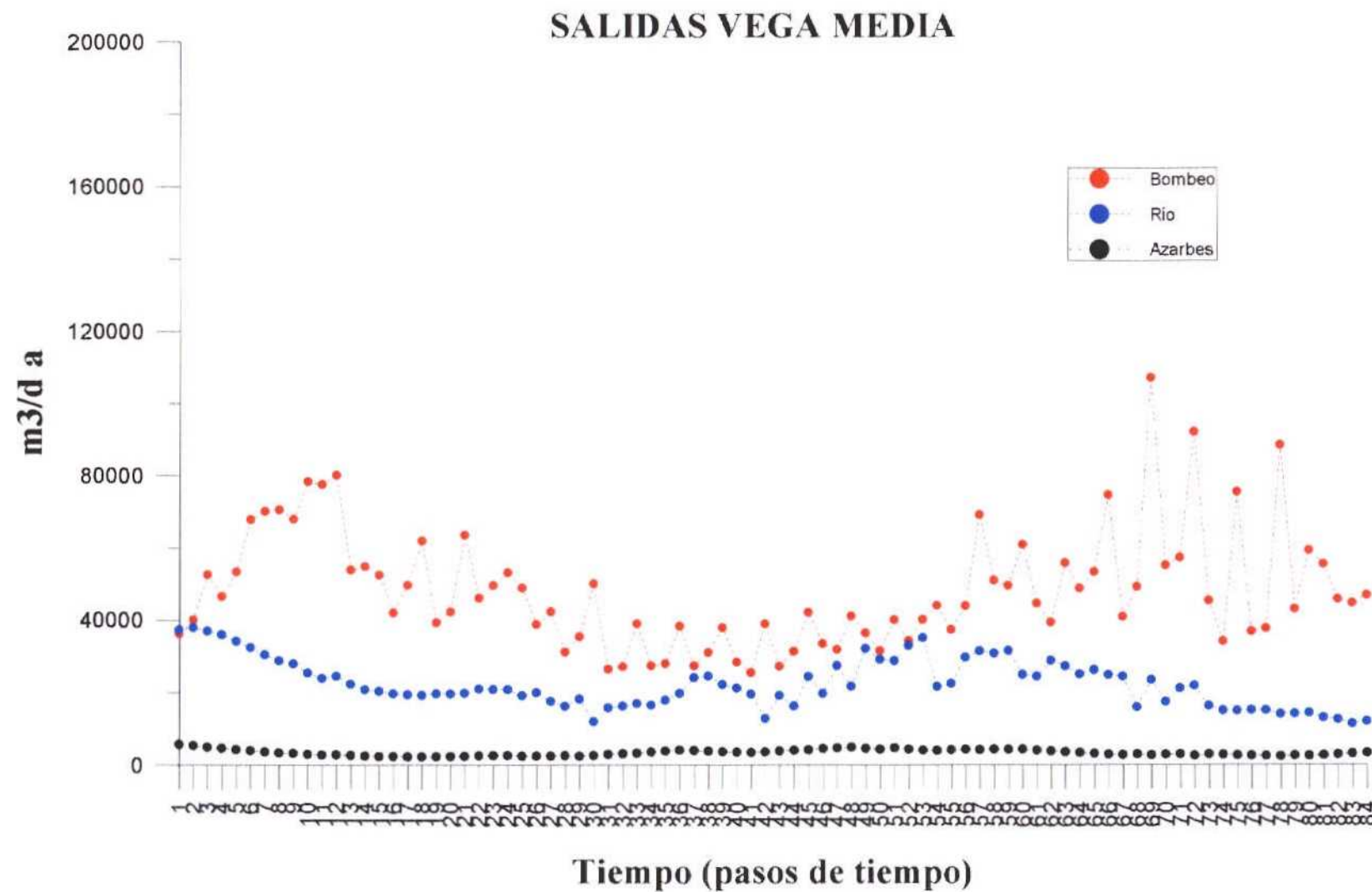


Figura 3.48. – Evolución temporal de las principales salidas simuladas en la Vega Media (1994-2001) (Fase 3).

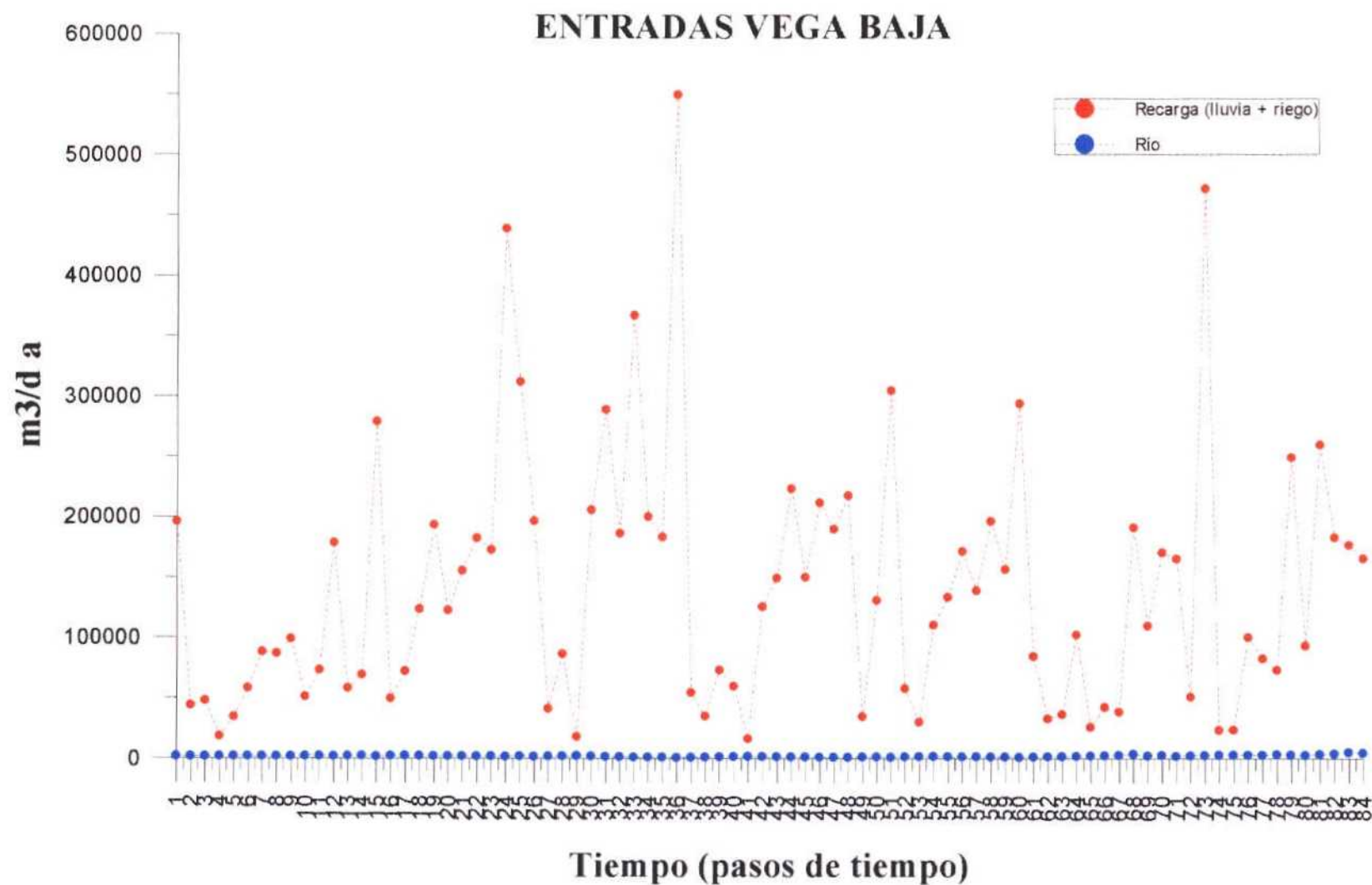


Figura 3.49. – Evolución temporal de las principales entradas simuladas en la Vega Baja (1994-2001) (Fase 3).

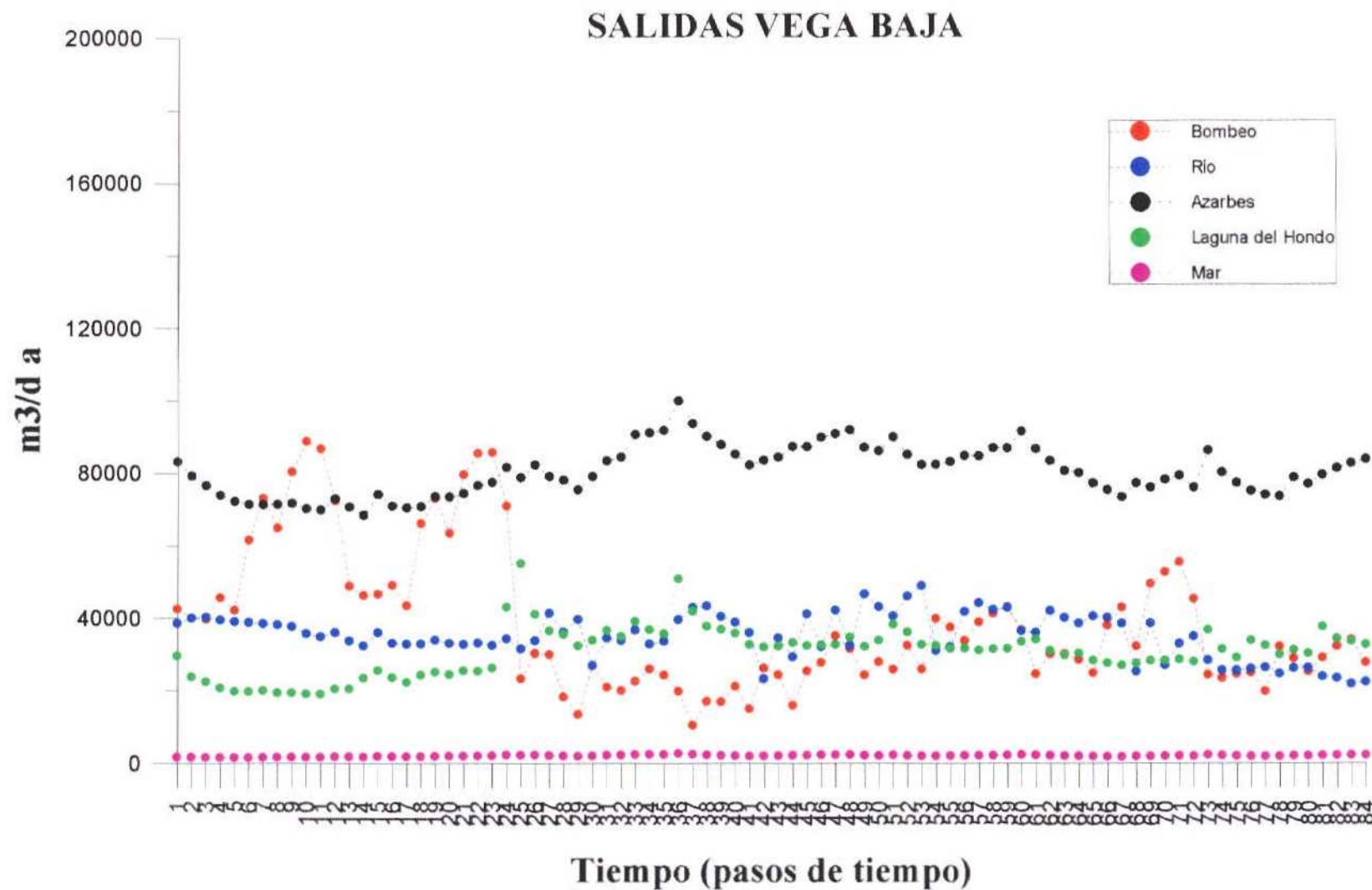


Figura 3.50. – Evolución temporal de las principales salidas simuladas en la Vega Baja (1994-2001) (Fase 3).

Así mismo, 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 1994/95, 1996/98 y 2000/2001 (Tabla 3.39)

Tabla 3.39 – Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Media (1994-2001)

	ENTRADAS		SALIDAS				VARIACIÓN
	RECARGA	RIO	VB	DRENES	RIO	BOMBEO	ALMACENAMIENTO
1994/95	10.20	19.82	7.26	1.46	11.44	22.55	-12.68
1995/96	18.56	22.27	10.39	0.90	7.41	18.53	-1.14
1996/97	24.43	23.43	12.13	1.10	6.27	13.18	-8.69
1997/98	21.22	22.73	13.36	1.47	7.70	12.06	-7.18
1998/99	21.47	20.86	12.90	1.57	10.66	16.37	5.25
1999/00	12.94	22.06	15.44	1.14	8.54	21.84	7.27
2000/01	20.72	25.43	12.40	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 la Laguna del Hondo 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 1994/95, 1997/98 y 1999/2000 (Tabla 3.40). En la Tabla 3.41 se presentan los resultados obtenidos para la Vega Media y Baja conjuntamente.

Tabla 3.40. – Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Baja (1994-2001)

	ENTRADAS			SALIDAS					VARIACIÓN
	RECARGA	RIO	VM	DRENES	RIO	BOMBEO	LAGUNAS	MAR	ALMACENAMIENTO
1994/95	29.65	0.69	7.26	26.91	13.91	22.45	1.13	0.62	-27.41
1995/96	58.30	0.72	10.39	26.87	12.19	23.09	7.03	0.73	-0.51
1996/97	80.16	0.55	12.13	30.90	12.81	8.40	14.28	0.85	25.60
1997/98	45.78	0.44	13.36	32.12	13.29	8.13	12.64	0.82	-7.42
1998/99	53.50	0.48	12.90	31.42	15.11	12.41	12.08	0.80	-4.92
1999/00	31.95	0.80	15.44	28.75	13.24	13.83	10.63	0.73	-18.99
2000/01	57.91	1.21	12.40	28.93	9.15	9.93	11.97	0.77	10.77

Tabla 3.41. – Entradas y salidas para la Vega Media y Baja indicando el cierre en el balance (1994-2001)

	ENTRADAS		SALIDAS				VARIACIÓN
	RECARGA	RIO	DRENES	RIO	BOMBEO	LAGUNAS Y MAR	ALMACENAMIENTO
1994/95	39.85	20.50	28.36	25.34	45.00	3.96	-42.30
1995/96	76.85	22.99	27.77	19.60	41.62	10.55	0.30
1996/97	104.59	23.98	31.99	19.09	21.58	19.37	36.54
1997/98	67.01	23.17	33.59	20.99	20.19	17.73	-2.32
1998/99	74.98	21.35	32.99	25.77	28.78	16.83	-8.04
1999/00	44.89	22.86	29.89	21.77	35.67	14.87	-34.46
2000/01	78.63	26.64	29.92	14.24	28.57	16.45	16.08

3.4.3.2.4. Calibración teniendo en cuenta la mejora del modelo numérico (Fase 4)

Esta última calibración se ha realizado utilizando el código VMODFLOW. 2.81.105 e incorporando todas las mejoras que se han ido comentando hasta el momento (geometría, recarga, condiciones de contorno,...). Para ello se han tomado como punto de partida los resultados obtenidos en estacionario (apartado 3.4.2.2).

Para la recarga se ha considerado la zonificación presentada en la Figura 3.9 aunque integrando las dos zonas de recarga definidas en el Campo de Elche en una sola zona. Los valores de conductancia para los diversos tramos del río, Laguna del Hondo, drenes (azarbes) y condición GHB (salidas al mar) se han obtenido de la calibración en régimen estacionario. Los valores y zonificación de la conductividad hidráulica inicialmente considerados son los presentados en la Tabla 3.10; Figuras 3.13 y 3.14. Como parámetros de almacenamiento iniciales se han considerado los de la Tabla 3.15 (apartado 3.3.6) con la zonificación anteriormente presentada en la Figura 3.15.

El proceso de calibración ha sido manual, comparando la evolución de los niveles observados con los calculados. La conductividad hidráulica ha sido ligeramente modificada durante la calibración en transitorio teniendo en cuenta que muchos de los puntos de observación no son coincidentes con los empleados en estacionario. Se han definido dos nuevas zonas de conductividad hidráulica, una para el acuífero profundo al N de la Vega Media (zona 7) y otra en el contacto entre los materiales triásicos (sierras de Callosa y Orihuela) y el cuaternario (Vega del Segura) (zona 5).

Los valores de permeabilidad son por lo general inferiores a los obtenidos en régimen estacionario, sobre todo los correspondientes al acuífero profundo. Por otro lado, se obtiene un mismo valor para la conductividad hidráulica horizontal del acuífero profundo en toda la Vega del Segura (Vega Media y Vega Baja) mientras que la permeabilidad vertical aumenta hacia la Vega Baja de acuerdo con el modelo conceptual (mayor número de niveles o tramos permeables). La zona 5 presenta una permeabilidad vertical mucho mayor a la horizontal, lo que parece coherente con la posible existencia de procesos de karstificación localizados preferentemente a favor de las fracturas que ponen en contacto los afloramientos triásicos con el cuaternario.

Los parámetros hidráulicos finalmente obtenidos se presentan en las Tablas 3.42 (conductividad hidráulica) y 3.15 (parámetros de almacenamiento; apartado 3.3.6). La distribución final de los mismos se presenta en las Figuras 3.51 (conductividad hidráulica) y 3.16 (parámetros de almacenamiento; apartado 3.3.6).

Tabla 3.42. Valores de conductividad hidráulica finalmente obtenidos en régimen transitorio durante la mejora del modelo (Fase 4)

	Capa	Zona	$K_x = K_y$	K_z
Vega Media (aluvial)	1	21	0.05	0.05
Vega Media (aluvial)		1	0.5	0.5
Vega Media (Trias)		4	1	1
Vega Baja (Trias)		13	0.01	0.01
Vega Baja (Trias)		5	0.2	50
Vega Baja (aluvial)		8	0.5	0.5
Vega Baja (aluvial+ Trias)		3	0.88	0.88
Vega Media (aluvial)	2	37	0.03	0.03
Vega Media (aluvial)		39	60	0.5
Vega Media (aluvial)		7	0.05	0.05
Vega Baja (aluvial+ Trias)		2	175	175
Campo de Elche (aluvial)		27	0.32	0.32
Vega Baja (aluvial)		32	60	30

Los resultados obtenidos a partir de los parámetros y variables comentados son razonables, observándose un ajuste de niveles aceptable y un balance coherente. No obstante, dichos resultados mejoran ligeramente al disminuir a la mitad la recarga en la Vega Baja y a 0.045 la conductancia en el último tramo de río (desde Orihuela hasta Guardamar de Segura). En la Figura 3.52 se presentan los niveles observados frente a los calculados para los pasos de tiempo intermedios 28, 37, 49, 61, 73 y 84.

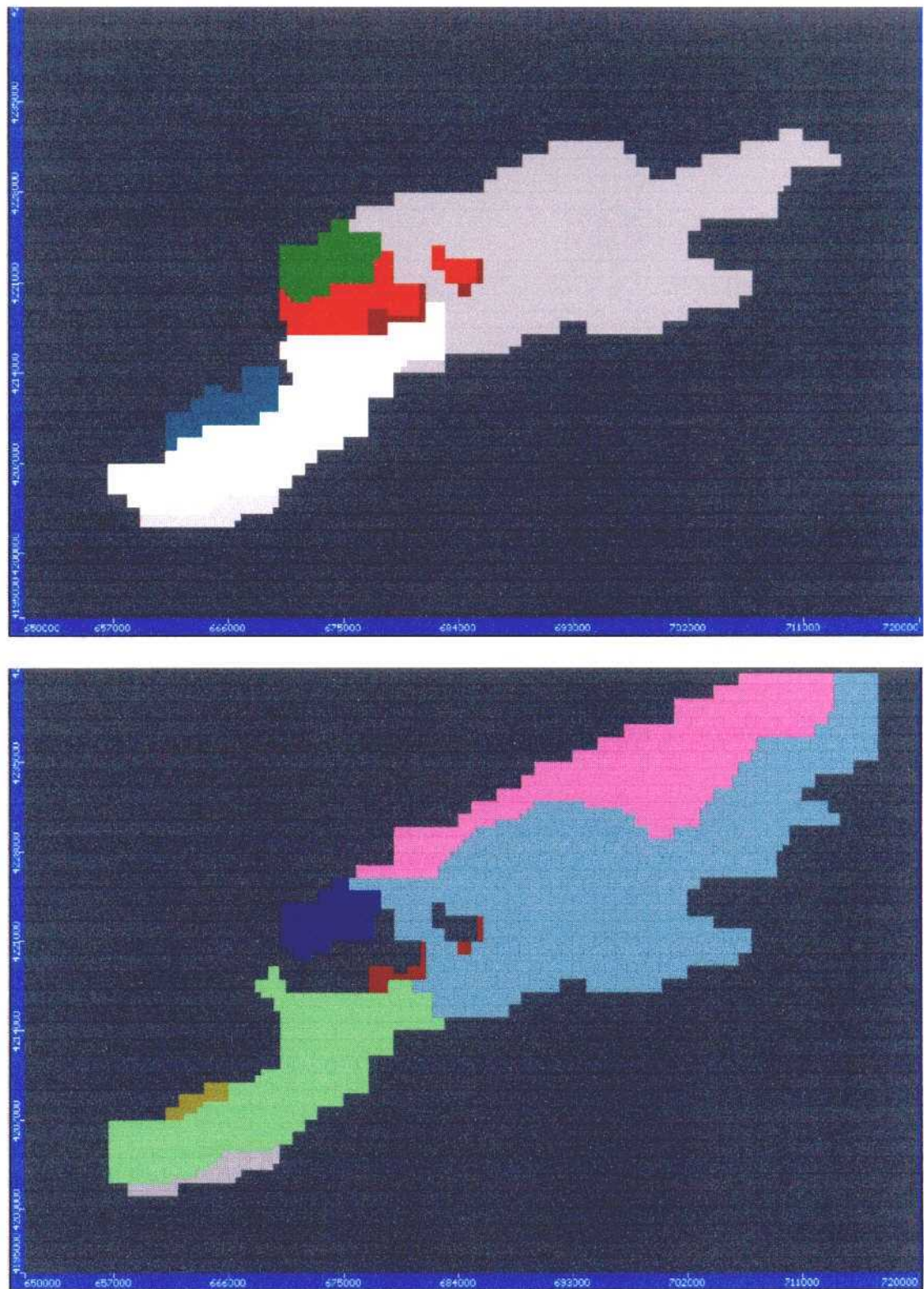
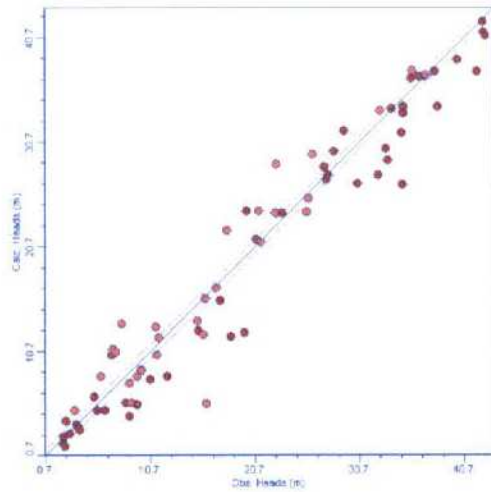
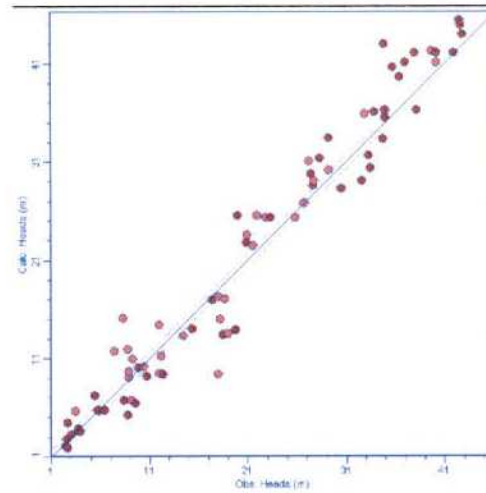


Figura 3.51 – Zonificación de la conductividad hidráulica en la mejora del modelo (Fase 4)

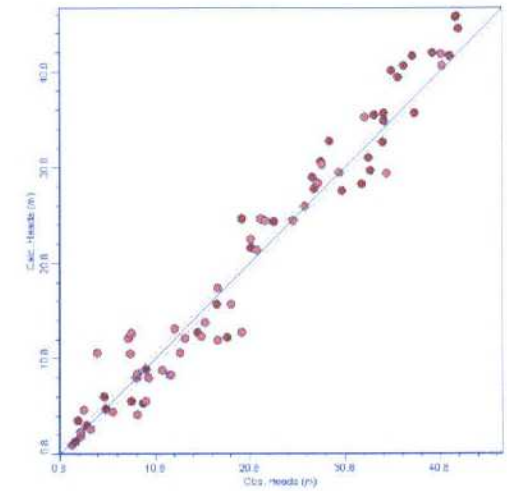
ENERO 1997 (PASO 28)



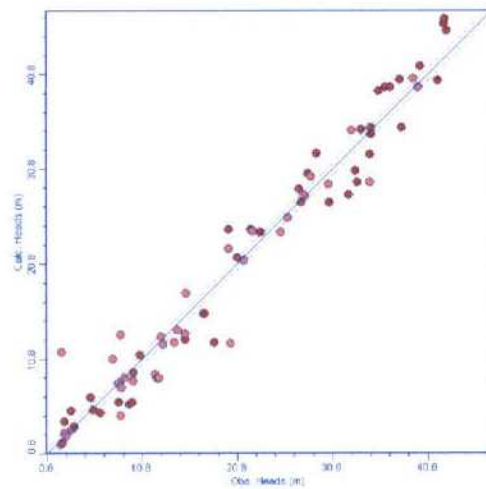
OCTUBRE 1997 (PASO 37)



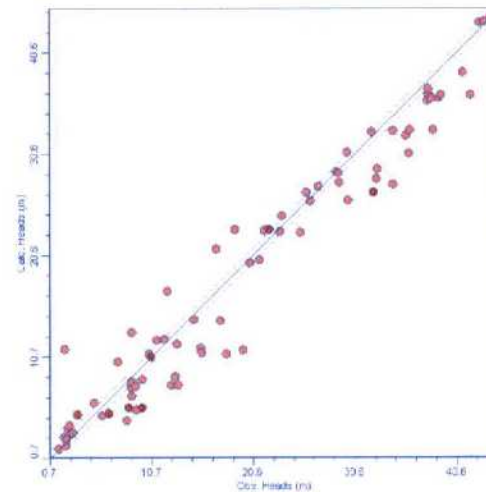
OCTUBRE 1998 (PASO 49)



OCTUBRE 1999 (PASO 61)



OCTUBRE 2000 (PASO 73)



SEPTIEMBRE 2001 (PASO 84)

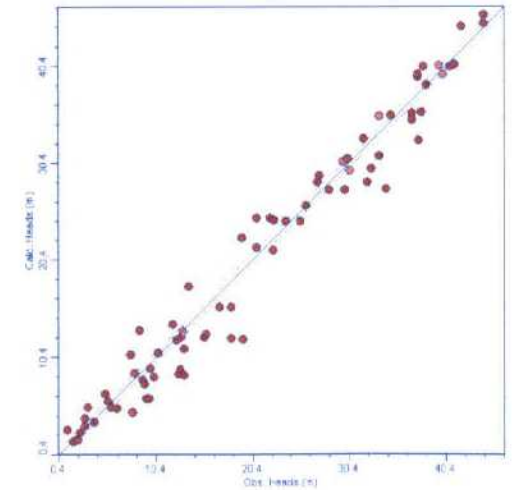


Figura 3.52- Comparación entre niveles observados y calculados correspondientes a los pasos de tiempo intermedios (Fase 4)

El error medio absoluto obtenido para los tiempos intermedios oscila entre 1,87 (septiembre 2001) y 2,39 m (octubre 2000). Los errores medios varían entre 0,16 (octubre 1999) y 1,22 m (octubre 2000). El error medio absoluto total obtenido para el acuífero superficial y materiales triásicos (1,82 m) es inferior con respecto al acuífero profundo (2,57 m) lo que se interpreta como debido a la mayor incertidumbre asociada a este último dado el aumento de tramos permeables hacia la Vega Baja.

El ajuste global obtenido entre los niveles observados y calculados durante el periodo de calibración (diciembre 1996 a septiembre 2001) permite observar cómo el modelo reproduce "razonablemente" la tendencia en la evolución temporal de los niveles. En la Figura 3.53 se compara la evolución temporal entre niveles observados y calculados para los 6 puntos en los que existe un registro periódico de datos. Durante los primeros pasos de tiempo el modelo no reproduce adecuadamente los niveles, tendiendo a quedar sistemáticamente por encima de los observados (sobre todo en 273660405 y 273660407).

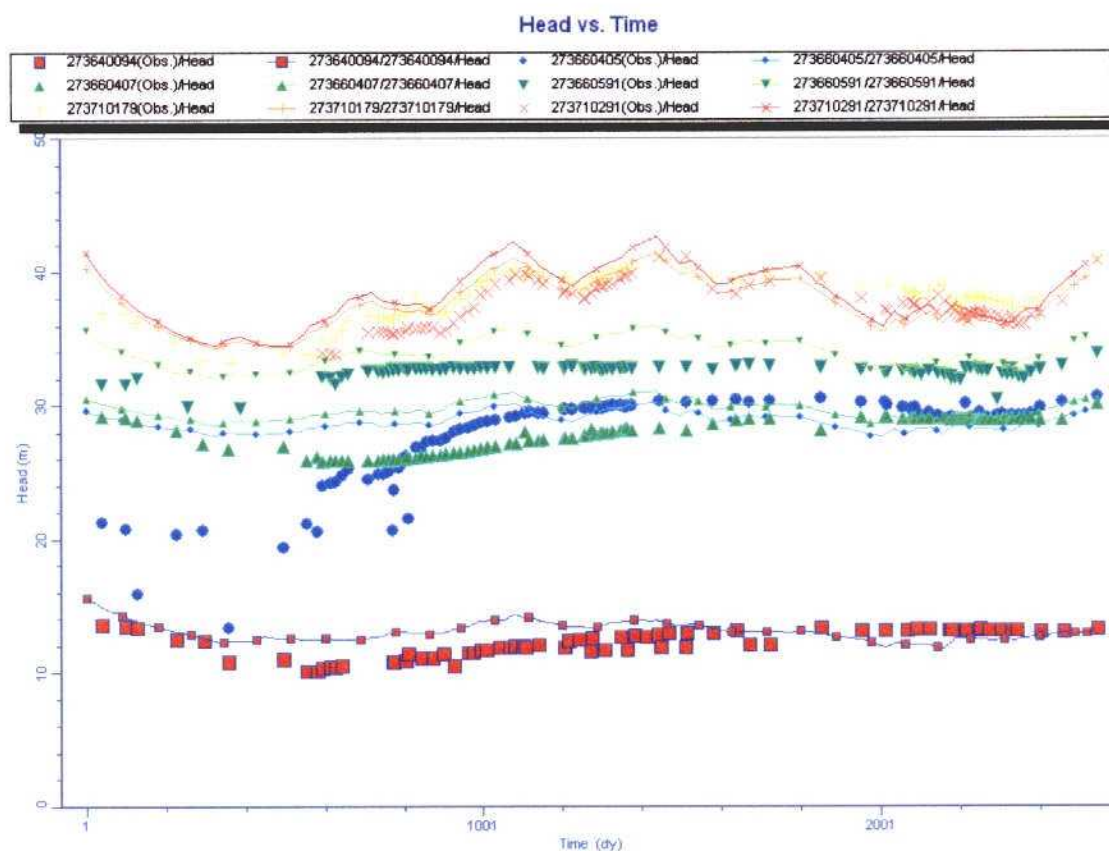


Figura 3.53.- Comparación entre niveles observados y calculados durante el periodo 1994-2001 en los puntos con control periódico de niveles (Fase 4).

Este hecho se interpreta como debido a que se han considerado como condiciones iniciales la piezometría obtenida en estacionario, es decir, representativa de un régimen poco influenciado, mientras que el inicio del periodo simulado corresponde a un importante periodo de explotación con un descenso continuado de niveles (Figura 3.39). Por otro lado, también influye que durante el periodo 1994-1996 se haya mantenido una lámina de agua en el río constante, dada la ausencia total de datos (lámina de agua y/o caudal circulante) como consecuencia de las obras de rectificación del cauce.

En las Figuras 3.54 a 3.59 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. 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 los azarbes y el río. Así mismo, 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 1994/95, 1998/99 y 1999/2000 (Tabla 3.43)

Tabla 3.43 – Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Media (1994-2001)

	ENTRADAS		SALIDAS				E-S	VARIACIÓN ALMACEN	CIERRE BALANCE
	RECARGA	RÍO	DRENES	BOMBEO	RÍO	VEGA BAJA			
1994/95	8.84	21.46	0.91	23.89	0.04	18.20	-12.75	12.74	-0.01
1995/96	16.08	25.14	0.71	19.40	0.00	19.36	1.75	-1.75	0.00
1996/97	21.17	18.10	2.46	13.45	0.32	18.93	4.12	-4.11	0.00
1997/98	18.44	16.19	3.45	12.25	0.45	18.98	-0.50	0.48	-0.02
1998/99	18.64	15.05	2.48	16.71	0.20	19.40	-5.09	5.03	-0.06
1999/00	11.24	21.85	0.66	22.31	0.00	19.13	-9.00	8.99	-0.01
2000/01	17.97	24.64	1.29	19.13	0.00	18.87	3.32	-4.12	-0.80

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 a través de la Laguna del Hondo, salidas al mar y, por último, por la descarga subterránea al río. Así mismo, se observa cómo, la variación en el almacenamiento es negativa, es decir, se produce un mayor consumo de reservas durante 1994/95 y 1999/00 (Tabla 3.44). En la Tabla 3.45 se presentan los resultados obtenidos para la Vega Media y Baja conjuntamente, observándose nuevamente un consumo de reservas en 1994/95, 1998/99 y 1999/2000

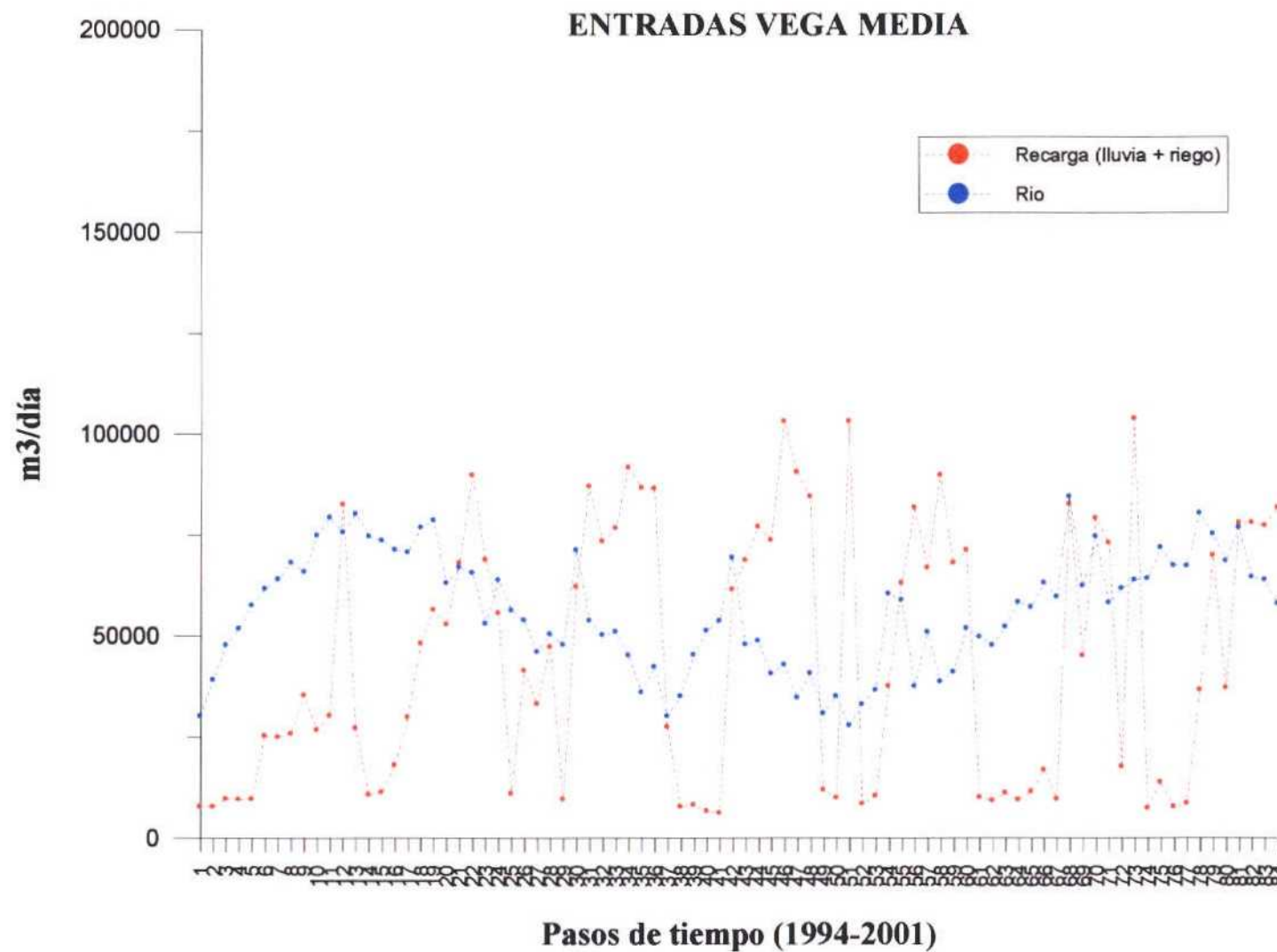


Figura 3.54. – Evolución temporal de las principales entradas simuladas en la Vega Media (1994-2001) (Fase 4)

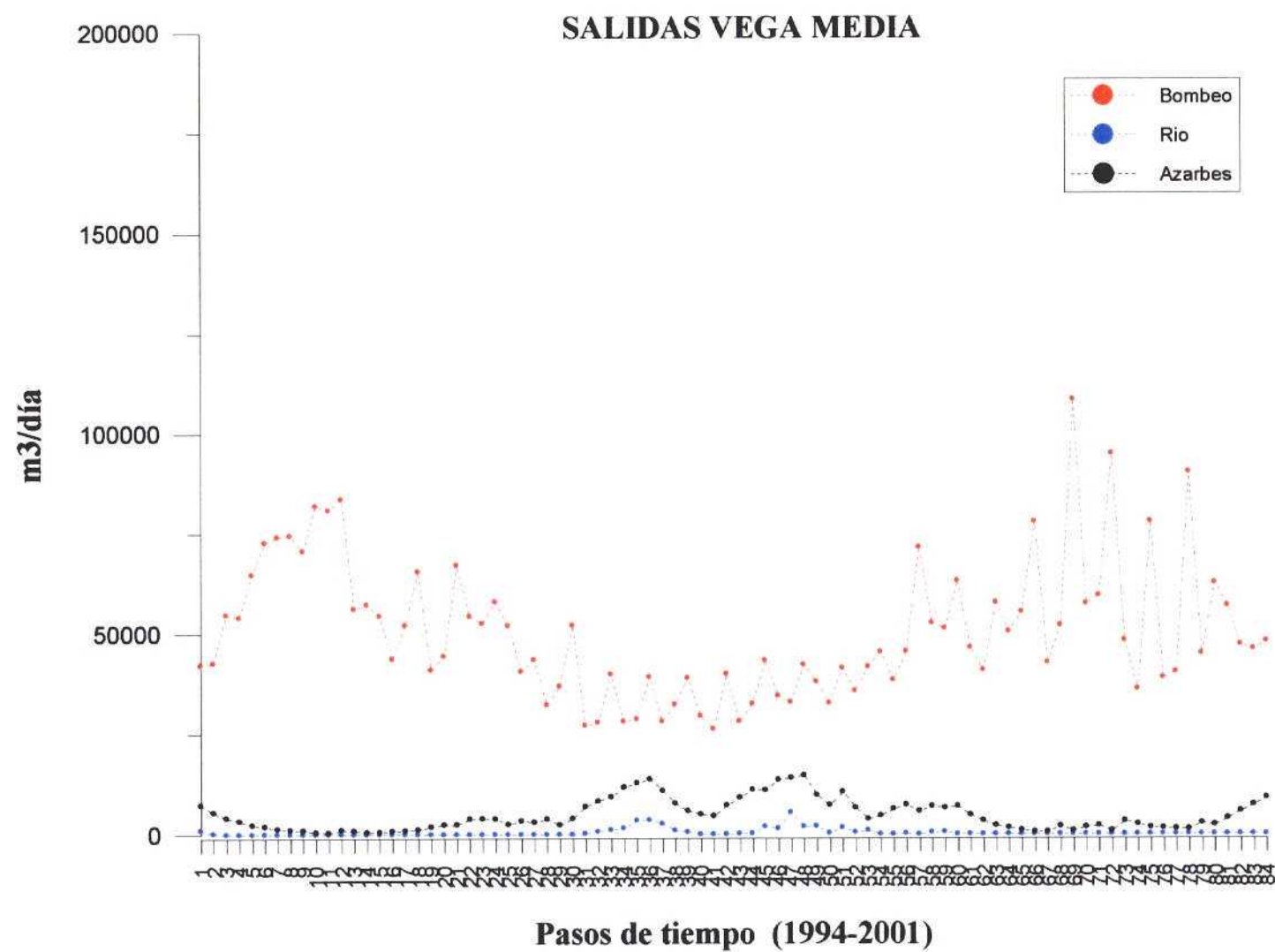


Figura 3.55. – Evolución temporal de las principales salidas simuladas en la Vega Media (1994-2001) (Fase 4)

VARIACIÓN ALMACENAMIENTO VEGA MEDIA

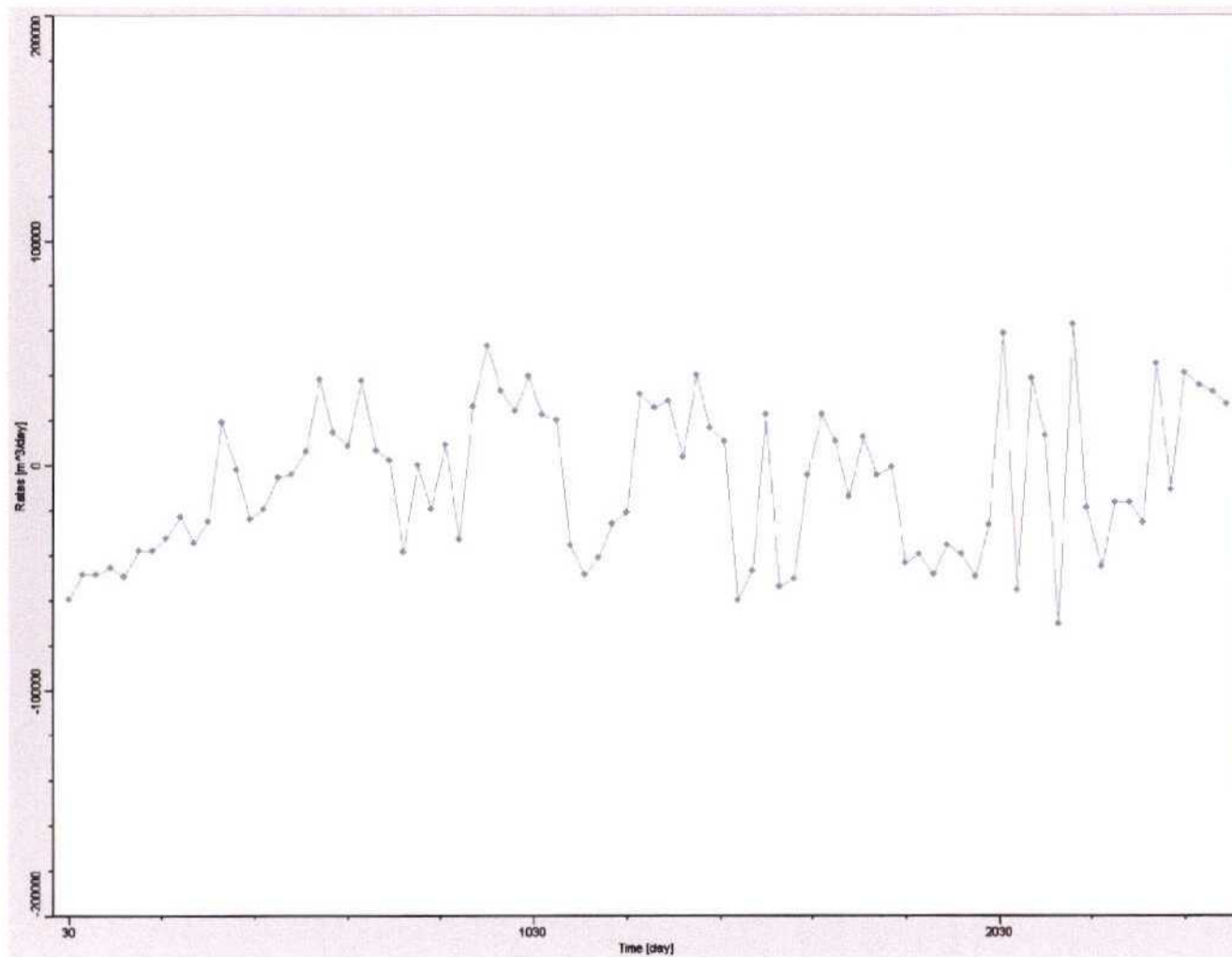


Figura 3.56. – Evolución temporal de la variación en el almacenamiento simulada en la Vega Media (1994-2001) (Fase 4)

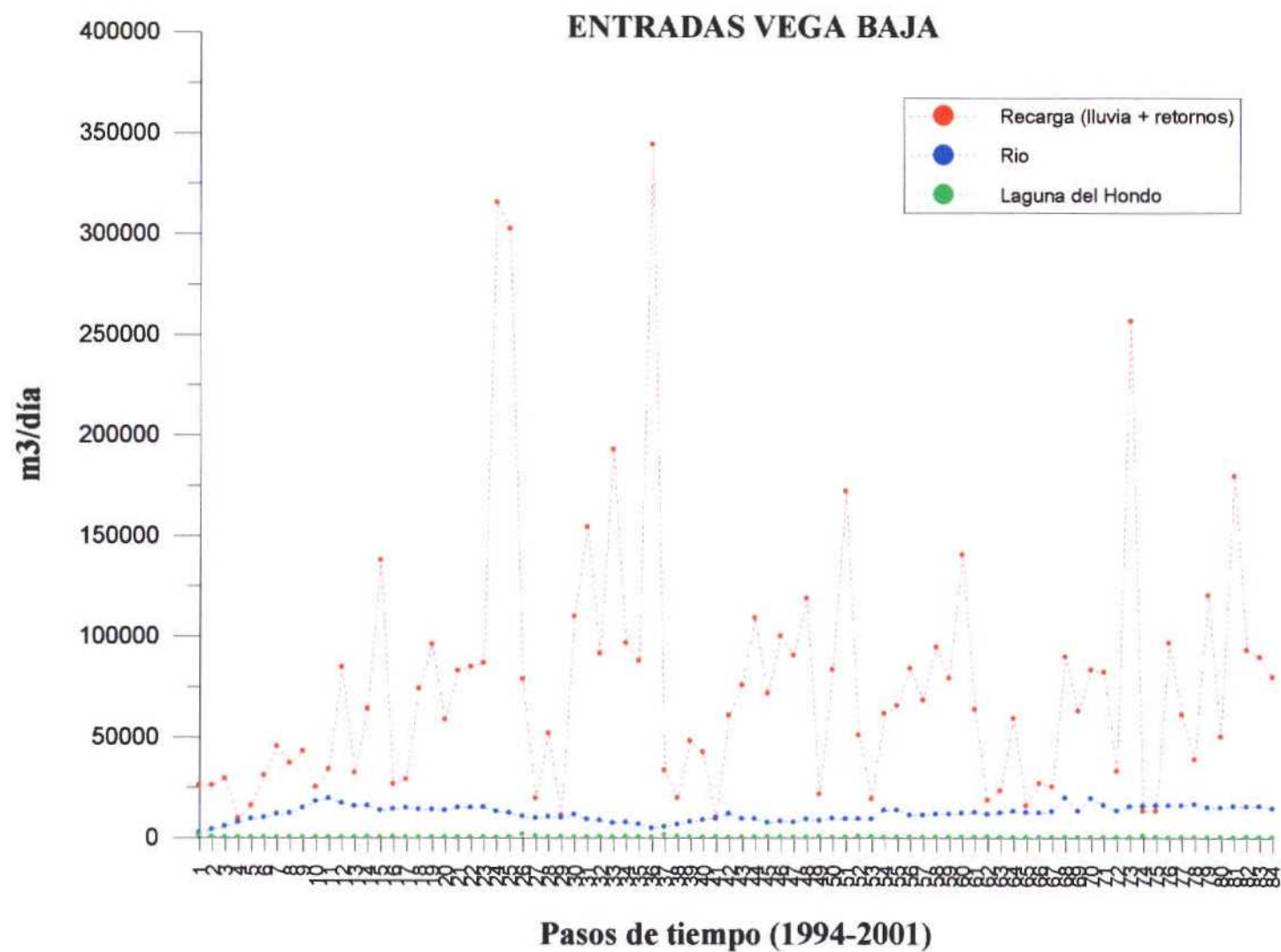


Figura 3.57. – Evolución temporal de las principales entradas simuladas en la Vega Baja (1994-2001) (Fase 4)

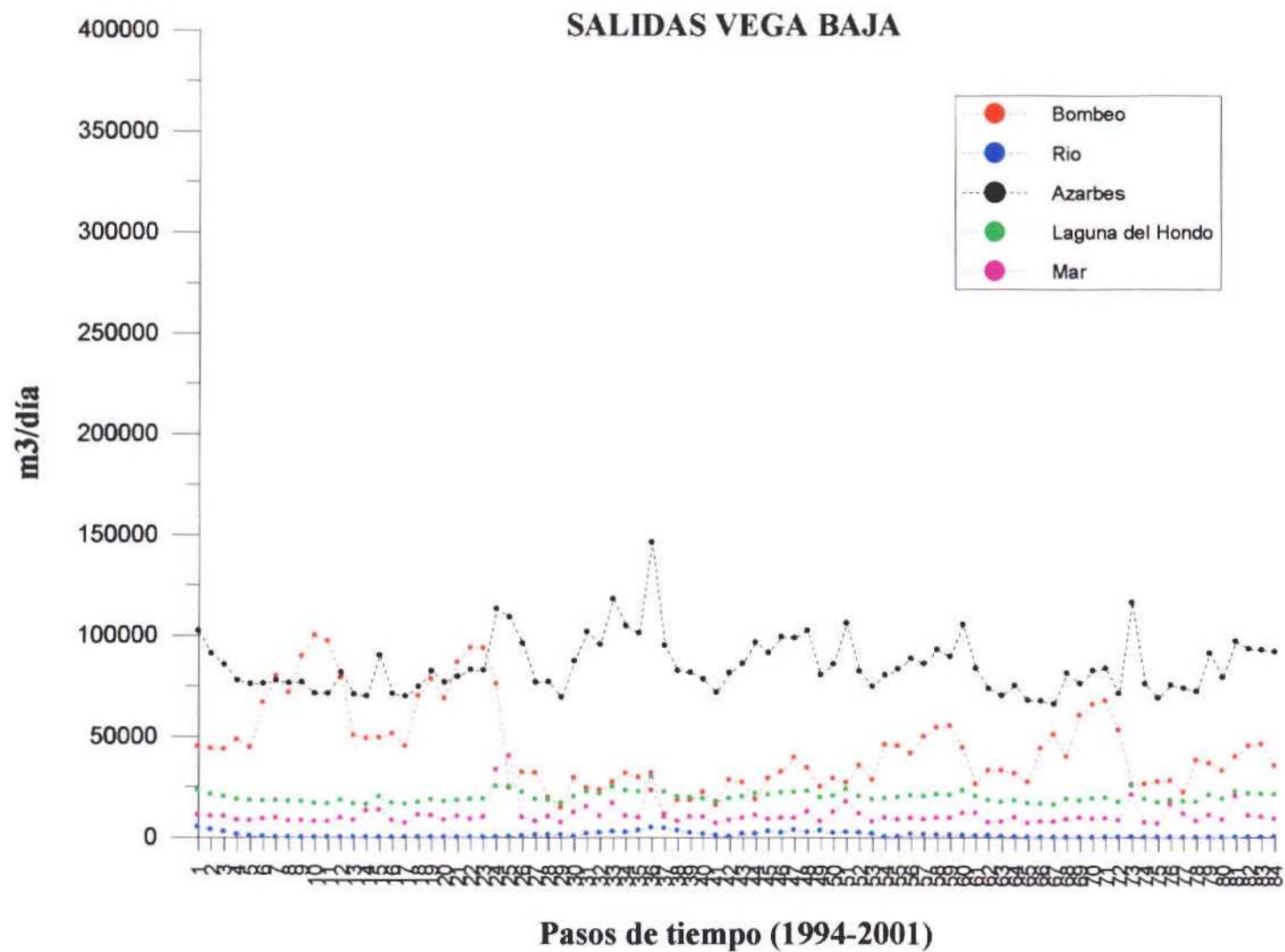


Figura 3.58. – Evolución temporal de las principales salidas simuladas en la Vega Baja (1994-2001) (Fase 4)

VARIACIÓN ALMACENAMIENTO VEGA BAJA

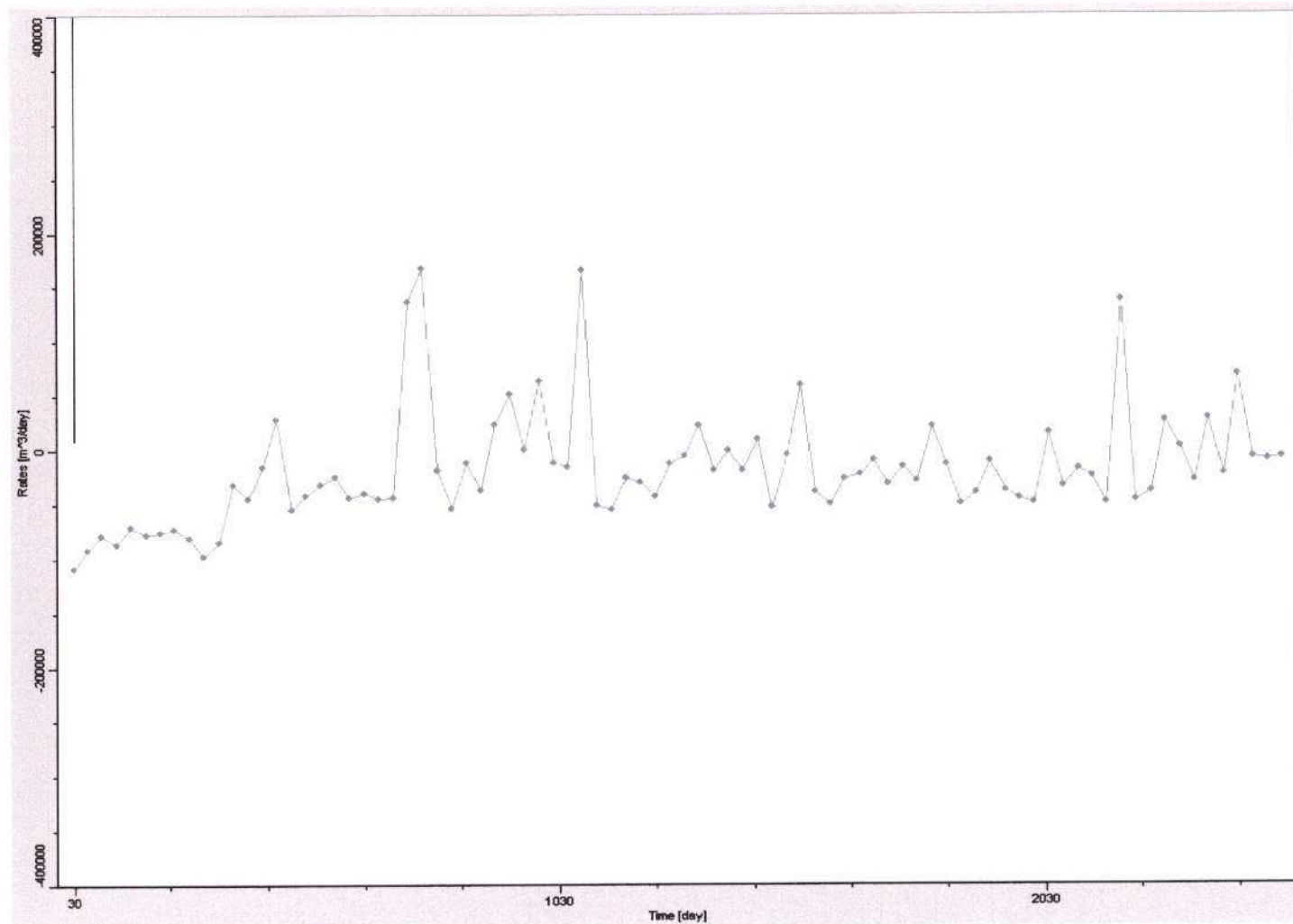


Figura 3.59. – Evolución temporal de la variación en el almacenamiento simulada en la Vega Baja (1994-2001) (Fase 4)

Tabla 3.44. – Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Baja (1994-2001)

	ENTRADAS				SALIDAS					E-S	VARIACIÓN ALMACEN	CIERRE BALANCE
	RECARGA	RIO	LAGUNA	V. MEDIA	AZARBES	BOMBEO	RIO	LAGUNA	MAR			
1994/95	12.15	3.96	0.14	18.20	28.87	24.22	0.43	6.73	3.24	-29.04	28.96	-0.08
1995/96	32.59	5.21	0.12	19.36	28.89	24.32	0.02	6.62	4.29	-6.87	6.81	-0.06
1996/97	46.15	3.24	0.18	18.93	35.49	9.35	0.69	7.98	5.46	9.53	-9.58	-0.05
1997/98	23.31	3.04	0.14	18.98	31.96	8.86	0.85	7.46	3.43	-7.08	7.01	-0.07
1998/99	28.16	3.93	0.13	19.40	31.65	14.41	0.57	7.43	3.74	-6.20	6.13	-0.07
1999/00	17.47	5.07	0.10	19.13	26.96	15.96	0.08	6.50	3.12	-10.85	10.77	-0.08
2000/01	32.71	5.59	0.14	18.87	30.83	12.11	0.04	7.25	4.21	2.85	-2.92	-0.07

Tabla 3.45. – Entradas y salidas para la Vega Media y Baja indicando el cierre en el balance (1994-2001)

	ENTRADAS			SALIDAS					E-S	VARIACIÓN ALMACEN	CIERRE BALANCE
	RECARGA	RIO	LAGUNA	AZARBES	BOMBEO	RIO	LAGUNA	MAR			
1994/95	20.99	25.42	0.14	29.78	48.11	0.47	6.73	3.24	-41.79	41.70	-0.09
1995/96	48.67	30.35	0.10	29.60	43.72	0.02	6.62	4.29	-5.13	5.06	-0.07
1996/97	67.32	21.34	0.17	37.95	22.80	1.01	7.98	5.46	13.64	-13.69	-0.06
1997/98	41.75	19.23	0.14	35.41	21.11	1.29	7.46	3.43	-7.57	7.49	-0.07
1998/99	46.80	18.98	0.13	34.13	31.12	0.71	7.43	3.74	-11.23	11.15	-0.08
1999/00	28.70	26.92	0.10	27.62	38.26	0.08	6.50	3.12	-19.85	19.76	-0.09
2000/01	50.68	30.22	0.13	32.12	31.24	0.04	7.25	4.21	6.17	-6.24	-0.07

3.4.3.2.5. Últimas modificaciones y calibración final (Fase 5)

A partir de los resultados obtenidos en régimen transitorio y a pesar de los escasos puntos de control disponibles al norte del dominio del modelo, se ha observado la necesidad de realizar unas últimas modificaciones que si bien no afectan de una manera significativa a los ajustes obtenidos, sí parecen más coherentes con el modelo conceptual. Dichas modificaciones han consistido fundamentalmente en:

a) Aumentar la extensión de la Capa 1 (Campo de Elche) dándole la misma discretización espacial que a la Capa 2. Ello resulta más coherente tanto con el modelo conceptual como con la distribución de los pozos de explotación considerados posteriormente en régimen transitorio (Figura 3.60)

b) Modificar la conductividad hidráulica al N de las sierras de Callosa y Orihuela (zonas 2 y 3), utilizando valores más coherentes con el resto de la Vega Baja y obteniendo una piezometría en este sector más razonable con el modelo conceptual. (Figura 3.60)

c) Modificar la geometría de la columna 57 en el contacto entre la Vega Baja y las sierras de Callosa y Orihuela. Dicha modificación se basa en un análisis de sensibilidad preliminar realizado sobre la versión anterior (fase 4) en el que se ponía de manifiesto una

sensibilidad muy acusada a dicha geometría en función de la conductividad hidráulica asignada a los materiales triásicos (zonas 5 y 13).

d) Incorporación de los cabezos triásicos existentes al NE de la sierra de Callosa suponiendo un subafloramiento de dichos materiales triásicos en el entorno de las sierras (Capa 2). Diferenciación por lo tanto de dos zonas de permeabilidad para el triásico: a) centro de las sierras y triásico aflorante (zona 13 = 1 m/día) y b) zona de contacto entre las sierras y la Vega Baja así como triásico subaflorante (zona 5 y 49 = 175 y 500 m/día respectivamente)

En la Figura 3.60 se presentan las modificaciones realizadas al N de la Vega Baja con respecto a la versión anterior (discretización espacial de la Capa 1 y distribución de las zonas de conductividad hidráulica en las Capas 1 y 2). En la Tabla 3.46 se presentan los valores de conductividad hidráulica finalmente considerados. Se han mantenido los mismos valores de recarga obtenidos en la versión anterior modificando ligeramente la distribución espacial de la misma al N del modelo (Figura 3.61).

Tabla 3.46. Valores de conductividad hidráulica finalmente obtenidos en régimen estacionario durante el ajuste final (m/día).

	Capa	Zona	Kx = Ky	Kz
Vega Media (aluvial)	1	21	0.05	0.05
Vega Media (aluvial)		1	0.5	0.5
Vega Baja (aluvial)		8	0.5	0.5
Vega Media (Trias)		4	1	1
Vega Baja (Trias aflorante)		13	1	1
Vega Baja (Trias aflorante)		49	175	175
Campo de Elche (aluvial)		45	0.32	0.32
Vega Media (aluvial)		2	39	60
Vega Media (aluvial)	37		0.03	0.03
Vega Media (aluvial)	7		0.05	0.05
Vega Baja (Trias subaflorante)	5		500	500
Vega Baja (aluvial N sierras)	46		0.5	0.5
Vega Baja (aluvial)	32		60	30
Campo de Elche (aluvial)	27		0.32	0.32

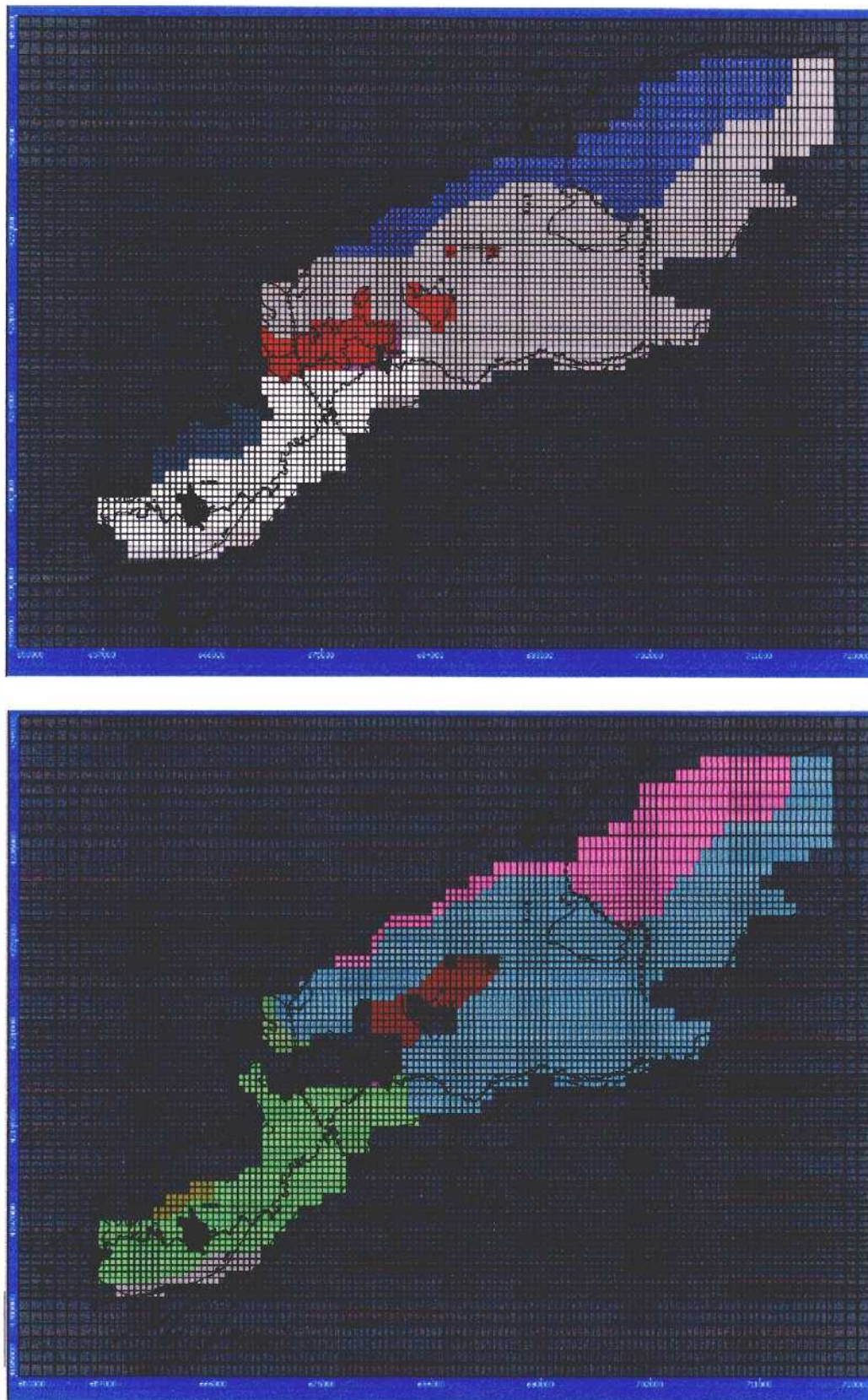


Figura 3.60.- Modificaciones realizadas al N de la Vega Baja (discretización espacial de la Capa 1 y distribución de las zonas de conductividad hidráulica en las Capas 1 y 2)

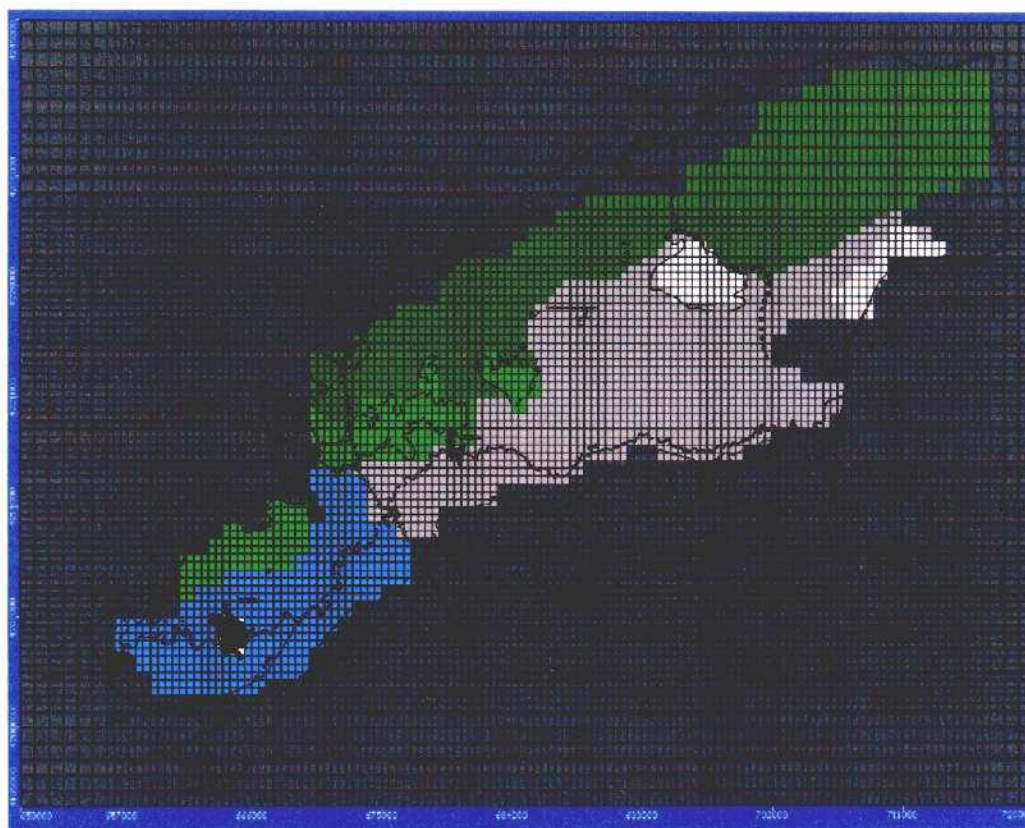
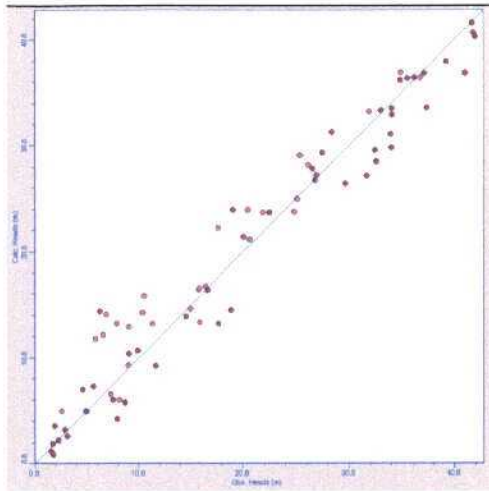


Figura 3.61.- Modificaciones realizadas en al distribución espacial de la recarga al N de la Vega Baja

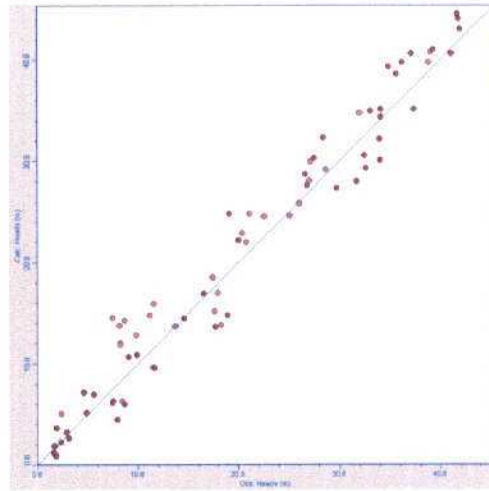
En la Figura 3.62 se presentan los niveles observados frente a los calculados para los pasos de tiempo intermedios 28, 37, 49, 61, 73 y 84. El error medio absoluto obtenido para los tiempos intermedios oscila entre 1,76 (septiembre 2001) y 2,21 m (octubre 1997). Los errores medios varían entre - 0,04 (septiembre 2001) y 0,78 m (octubre 1997). El ajuste global obtenido entre los niveles observados y calculados durante el periodo de calibración (diciembre 1996 a septiembre 2001) permite observar cómo el modelo reproduce "razonablemente" la tendencia en la evolución temporal de los niveles.

En la Figura 3.63 se compara la evolución temporal entre niveles observados y calculados para los 6 puntos en los que existe un registro periódico de datos. Durante los primeros pasos de tiempo el modelo no reproduce adecuadamente los niveles, tendiendo a quedar sistemáticamente por encima de los observados (sobre todo en 273660405 y 273660407). Este hecho se interpreta como debido a que se han considerado como condiciones iniciales la piezometría obtenida en estacionario, es decir, representativa de un régimen poco influenciado, mientras que el inicio del periodo simulado corresponde a un importante periodo de explotación con un descenso continuado de niveles (Figura 3.39)

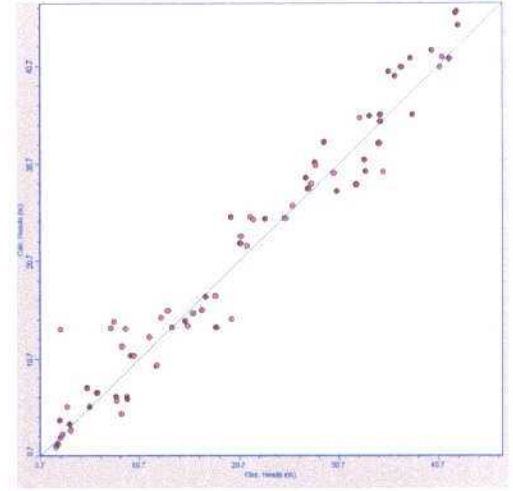
ENERO 1997 (PASO 28)



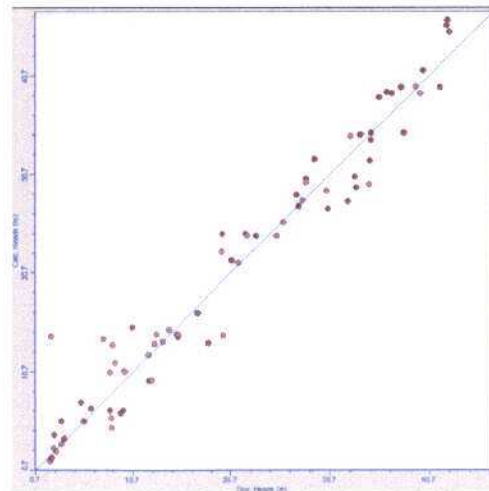
OCTUBRE 1997 (PASO 37)



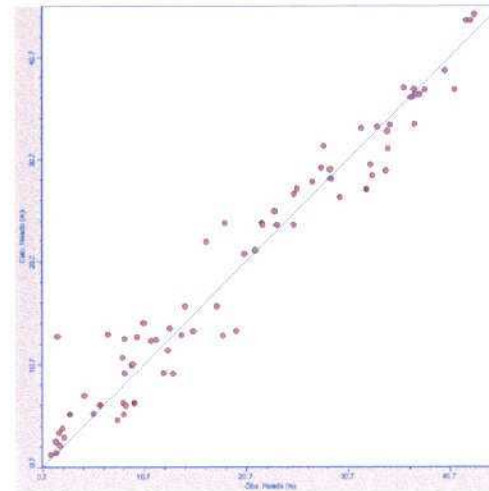
OCTUBRE 1998 (PASO 49)



OCTUBRE 1999 (PASO 61)



OCTUBRE 2000 (PASO 73)



SEPTIEMBRE 2001 (PASO 84)

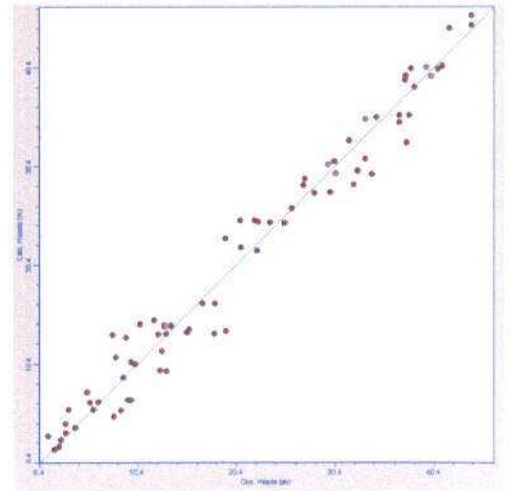


Figura 3.62- Comparación entre niveles observados y calculados correspondientes a los pasos de tiempo intermedios (Fase 5)

Por otro lado, también influye que durante el periodo 1994-1996 se haya mantenido una lámina de agua en el río constante, dada la ausencia total de datos (lámina de agua y/o caudal circulante) como consecuencia de las obras de rectificación del cauce.

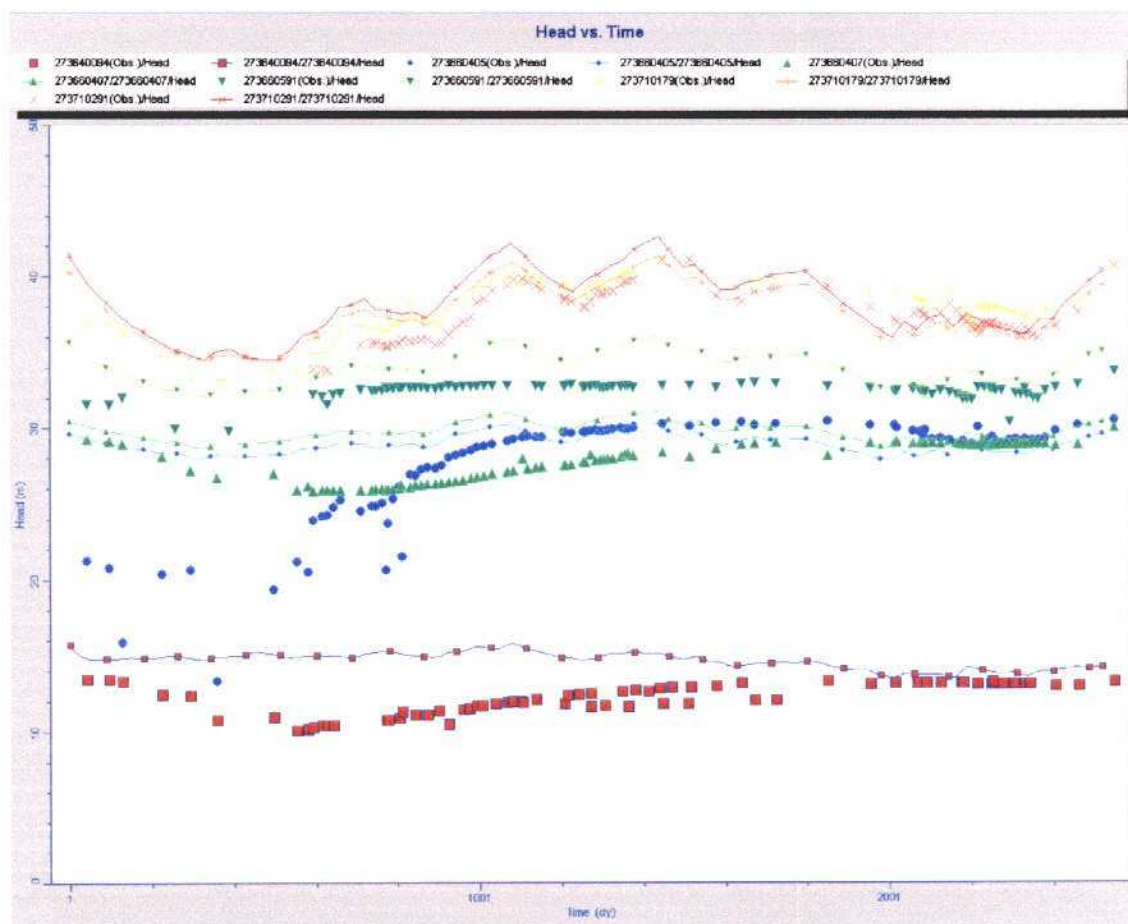


Figura 3.63.- Comparación entre niveles observados y calculados durante el periodo 1994-2001 en los puntos con control periódico de niveles (Fase 5).

En las Figuras 3.64 a 3.69 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. 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 los azarbes y el río. Así mismo, 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 1994/95, 1998/99 y 1999/2000 (Figura 3.66 y Tabla 3.47)

ENTRADAS VEGA MEDIA

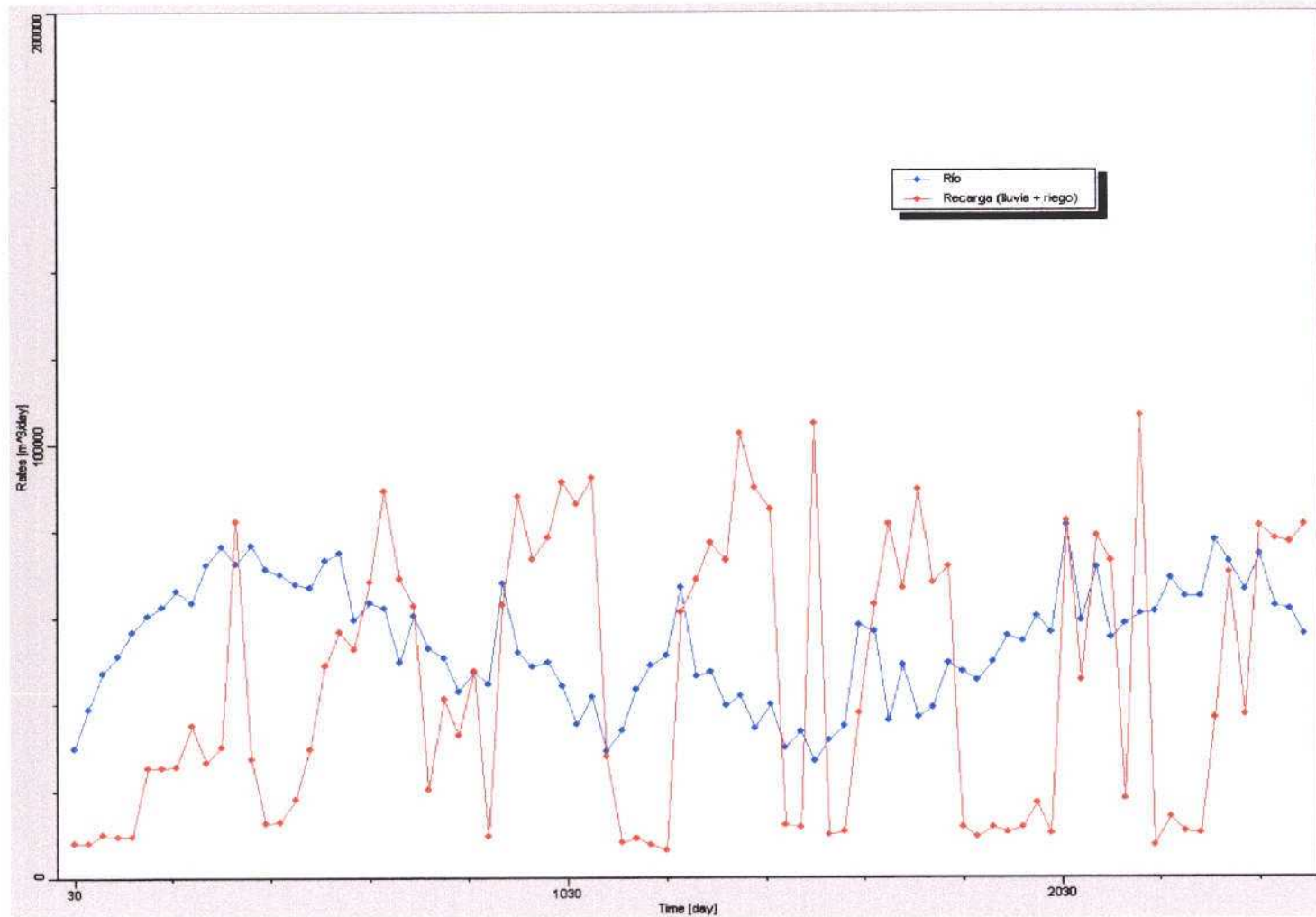


Figura 3.64. – Evolución temporal de las principales entradas simuladas en la Vega Media (1994-2001) (Fase 5)

SALIDAS VEGA MEDIA

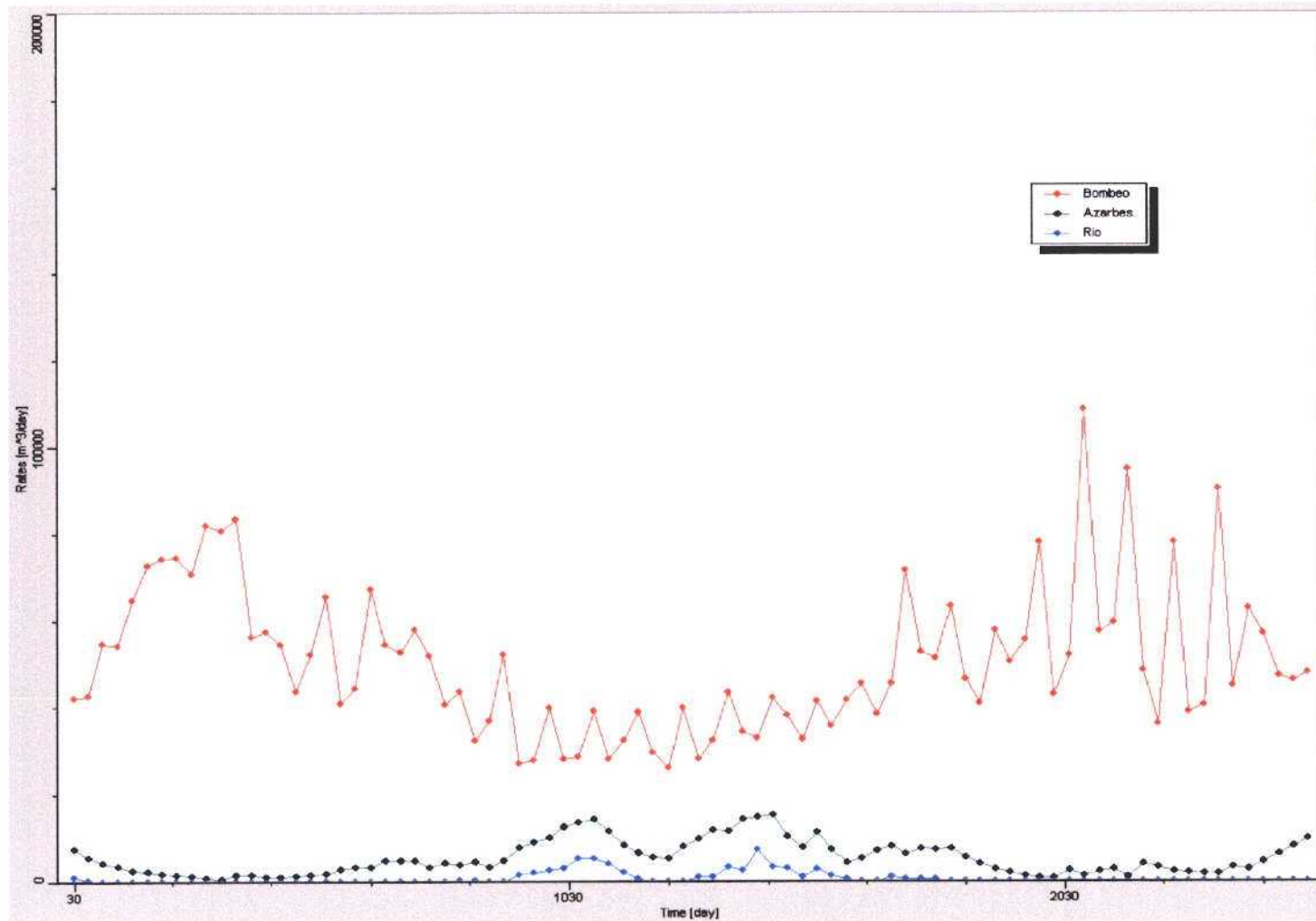


Figura 3.65. – Evolución temporal de las principales salidas simuladas en la Vega Media (1994-2001) (Fase 5)

VARIACIÓN ALMACENAMIENTO VEGA MEDIA

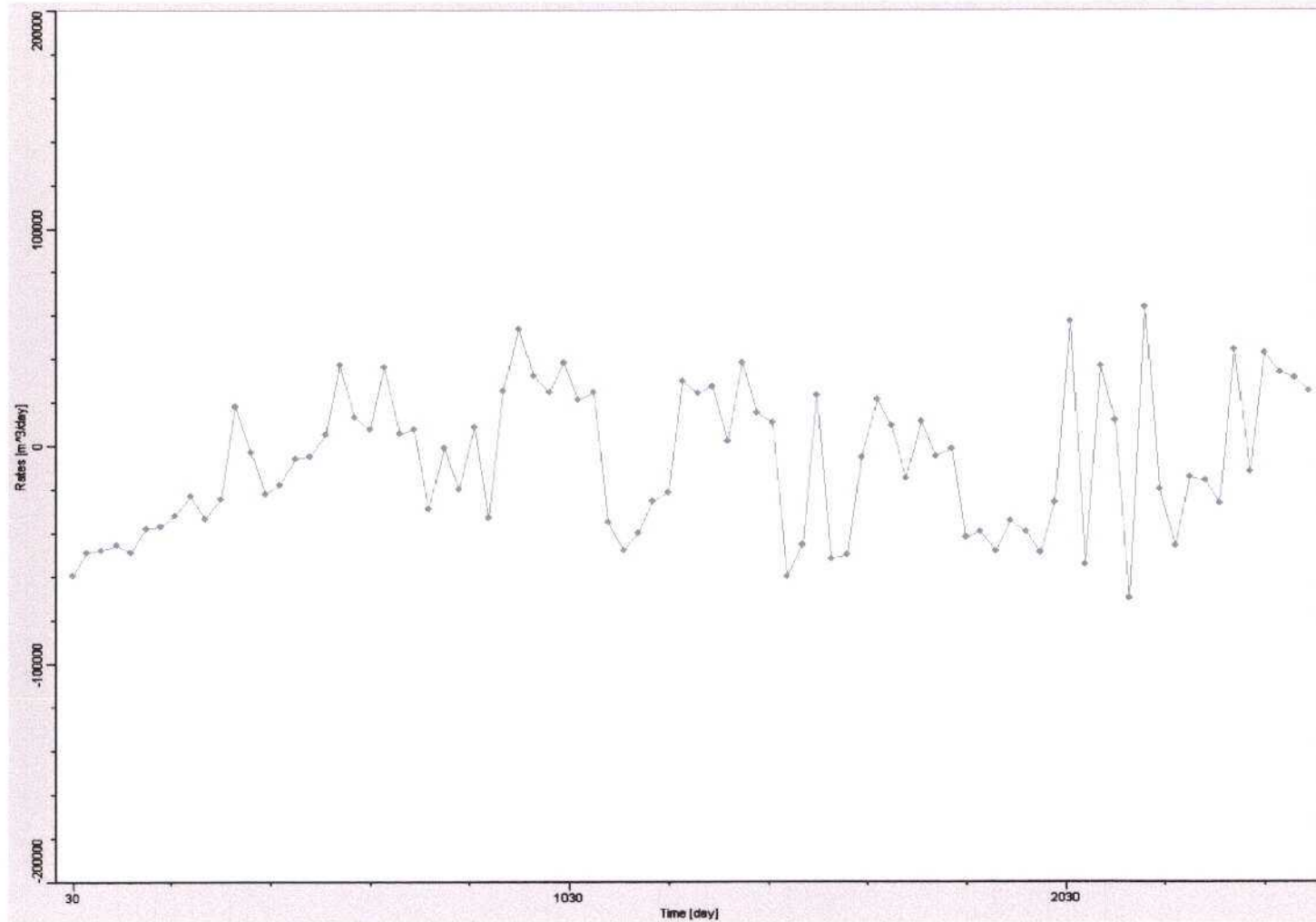


Figura 3.66. – Evolución temporal de la variación en el almacenamiento en la Vega Media (1994-2001) (Fase 5)

ENTRADAS VEGA BAJA

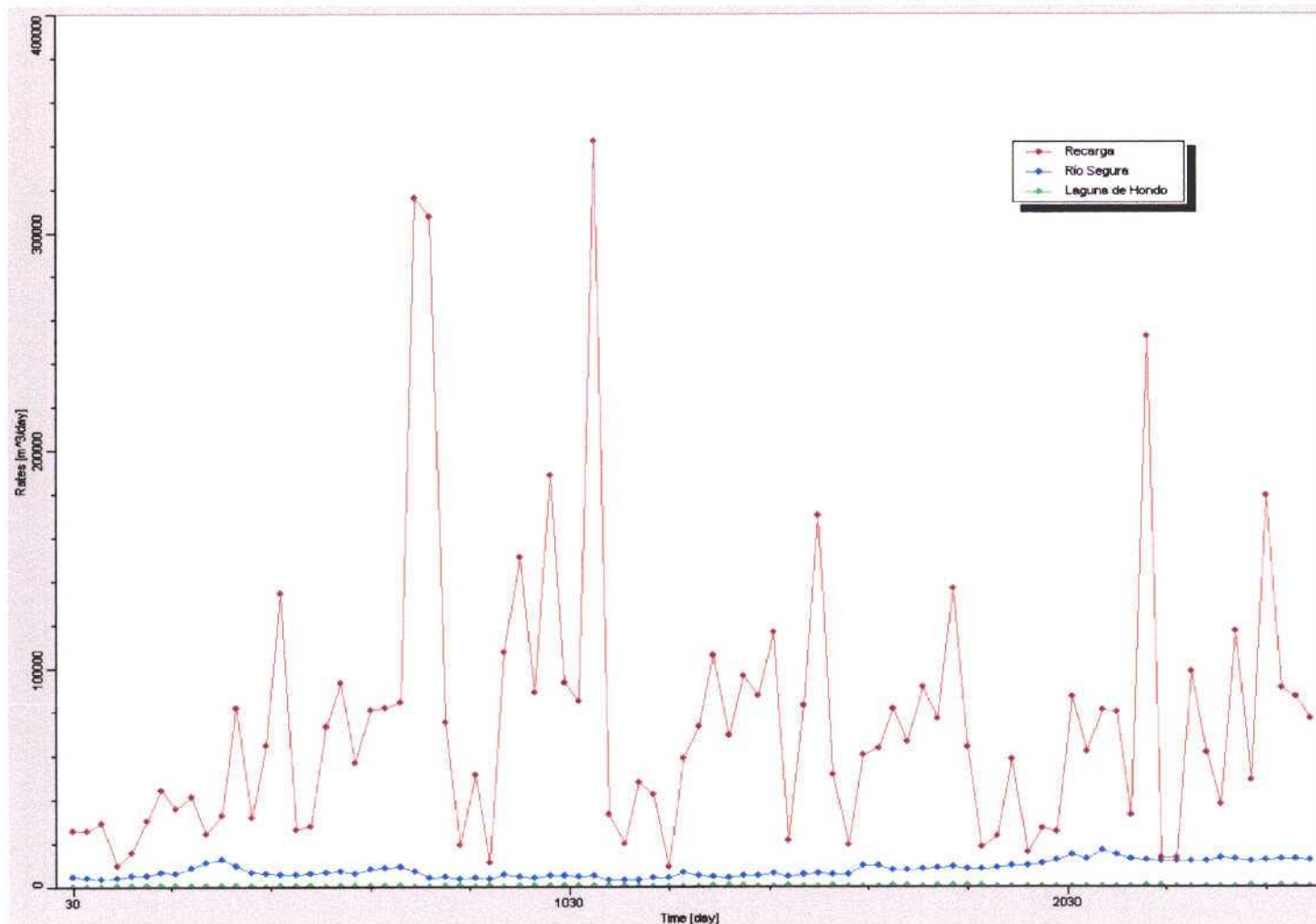


Figura 3.67. – Evolución temporal de las principales entradas simuladas en la Vega Baja (1994-2001) (Fase 5)

SALIDAS VEGA BAJA

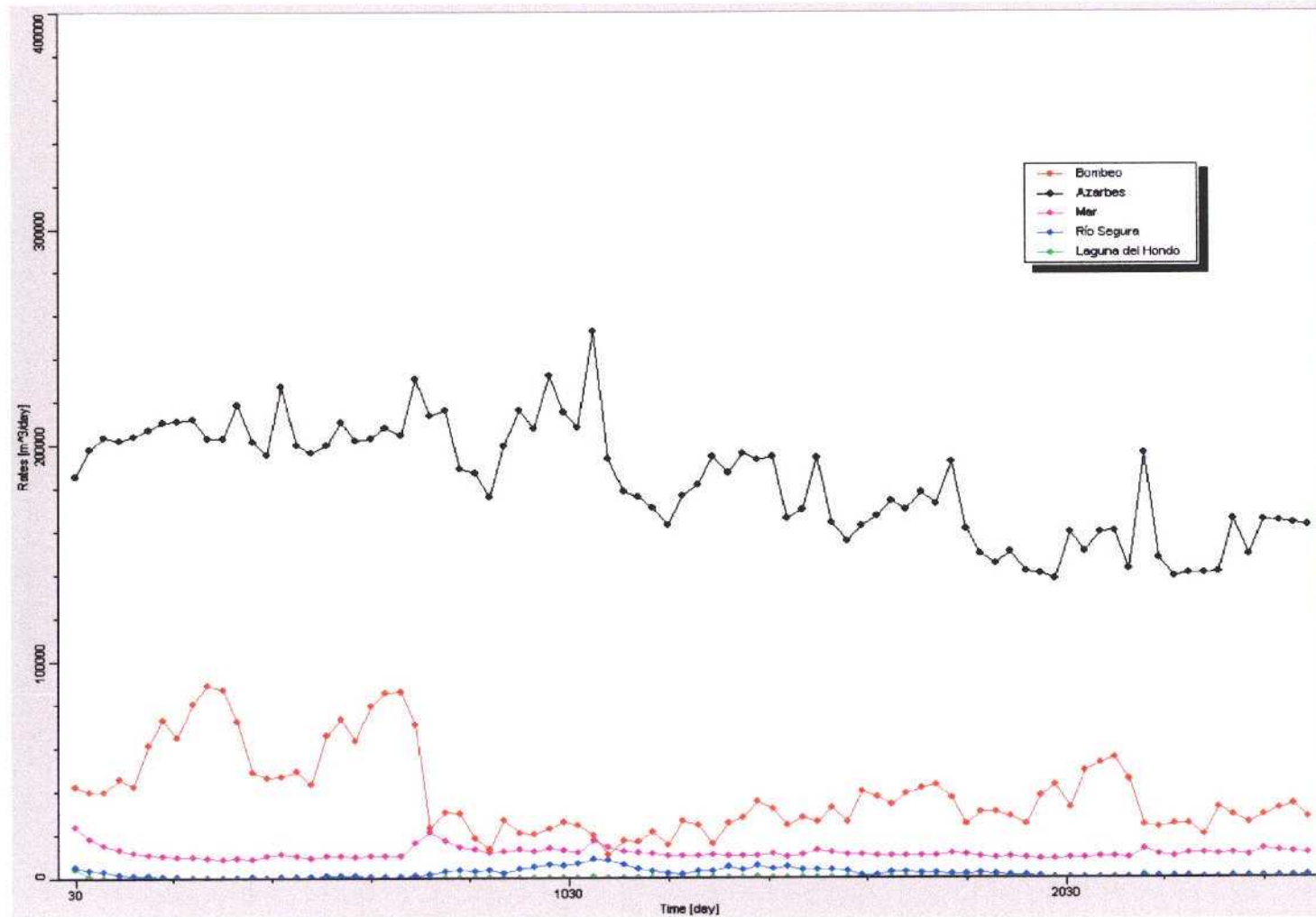


Figura 3.68. – Evolución temporal de las principales salidas simuladas en la Vega Baja (1994-2001) (Fase 5)

VARIACIÓN ALMACENAMIENTO VEGA BAJA

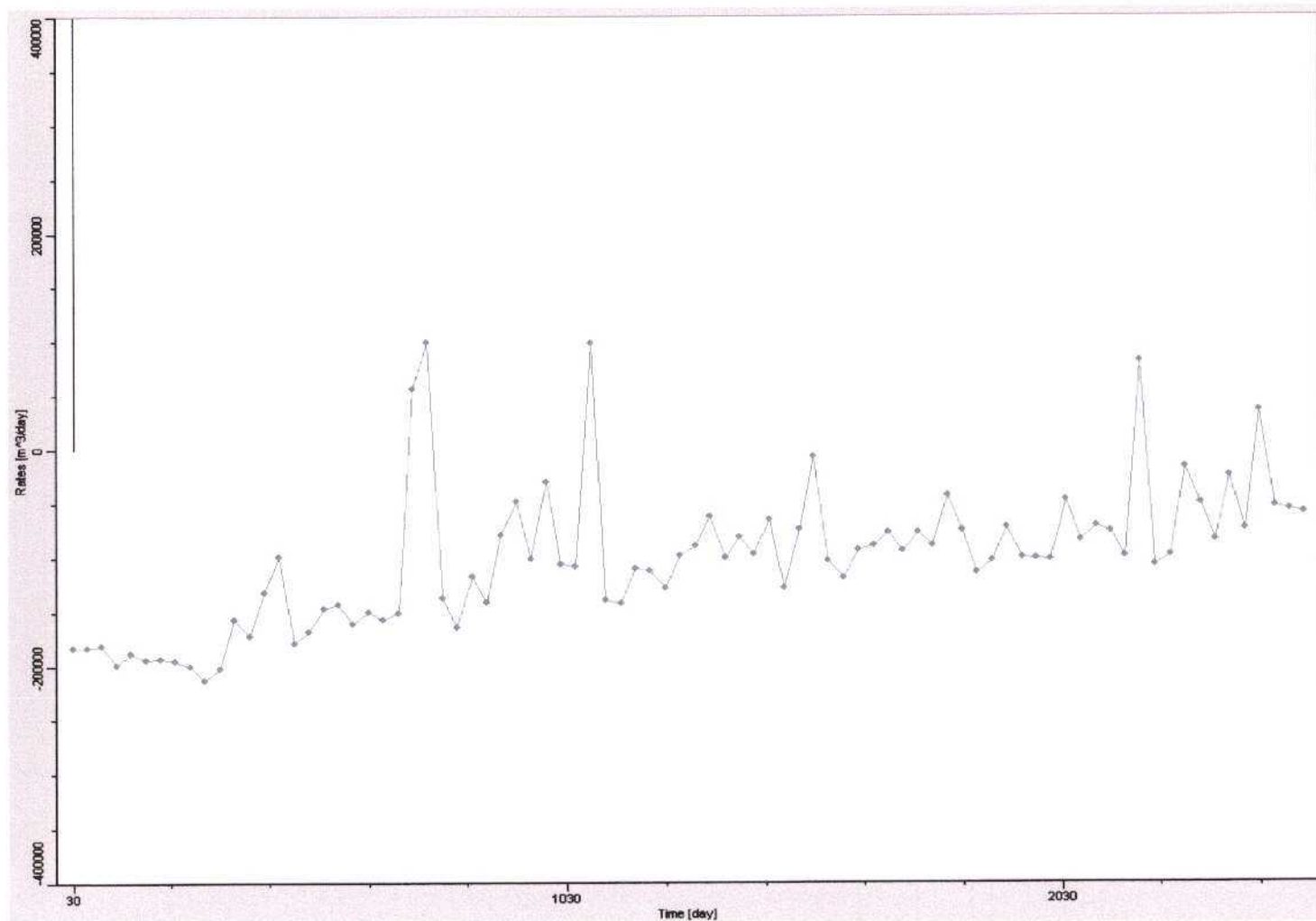


Figura 3.69. – Evolución temporal de la variación en el almacenamiento en la Vega Baja (1994-2001) (Fase 5)

Tabla 3.47. – Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Media (1994-2001)

	ENTRADAS		SALIDAS				E-S	VARIACIÓN ALMACEN	CIERRE BALANCE
	RECARGA	RIO	DRENES	BOMBEO	RIO	VEGA BAJA			
1994/95	8.86	20.90	0.98	23.89	0.04	17.71	-12.87	12.68	-0.19
1995/96	16.41	23.97	0.93	19.66	0.00	17.98	1.82	-1.72	0.09
1996/97	21.72	17.38	2.72	13.55	0.59	17.80	4.44	-4.32	0.12
1997/98	18.49	15.70	3.66	12.34	0.72	18.18	-0.72	0.75	0.03
1998/99	18.80	14.51	2.67	16.90	0.31	18.58	-5.15	5.14	-0.01
1999/00	11.36	20.96	0.77	22.56	0.00	18.15	-9.17	9.00	-0.17
2000/01	18.29	23.85	1.45	19.31	0.00	18.15	3.22	-3.16	0.06

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, salidas al mar, descarga subterránea al río y, por último, descarga a través de la Laguna del Hondo. Si se comparan estos últimos resultados con los obtenidos en la fase anterior (Tabla 3.44) se observa, en general, una mayor descarga a través de los azarbes (descarga mucho menor, prácticamente despreciable, a través de la Laguna del Hondo), una disminución progresiva del agua descargada por los azarbes (desde unos 74 a 56 hm³/año) (Tabla 3.45) y un predominio de las salidas frente a las entradas a lo largo de todo el periodo simulado, tendiendo a disminuir hacia 2001 (Tabla 3.48 y Figura 3.69)

Tabla 3.48. – Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Baja (1994-2001)

	ENTRADAS				SALIDAS					E-S	VARIACIÓN ALMACEN	CIERRE BALANCE
	RECARGA	RIO	LAGUNA	V. MEDIA	AZARBES	BOMBEO	RIO	LAGUNA	MAR			
1994/95	11.88	2.39	0.13	17.71	73.77	22.05	0.50	0.18	4.35	-68.75	68.81	0.06
1995/96	32.18	2.50	0.11	17.98	74.40	22.70	0.24	0.03	3.64	-48.23	48.25	0.02
1996/97	45.67	1.60	0.11	17.80	75.44	8.20	1.56	0.04	4.98	-25.06	25.04	-0.02
1997/98	22.84	1.62	0.09	18.18	66.21	7.94	1.46	0.02	3.87	-36.77	36.73	-0.04
1998/99	27.60	2.64	0.09	18.58	62.00	12.13	0.93	0.02	3.74	-29.83	29.88	0.05
1999/00	17.20	4.16	0.07	18.15	53.92	13.53	0.23	0.02	3.27	-31.39	31.37	-0.02
2000/01	32.30	4.37	0.07	18.15	56.24	9.69	0.14	0.04	3.94	-15.16	15.24	0.08

Estos resultados suponen una descarga despreciable a través de la Laguna del Hondo, lo cual resulta razonable. No obstante, se ha considerado una segunda hipótesis en la que se ha tenido en cuenta el papel de la laguna aumentando significativamente su conductancia de acuerdo con los resultados anteriormente presentados en estacionario. En este caso, el ajuste de niveles obtenido es prácticamente el mismo, modificándose únicamente el balance en la Vega Baja. La evolución de las entradas, salidas y variación en el almacenamiento a lo largo del periodo simulado (1994-2001) para la Vega Baja según esta hipótesis se presenta en la Tabla 3.46 y Figuras 3.70, 3.71 y 3.72.

ENTRADAS VEGA BAJA

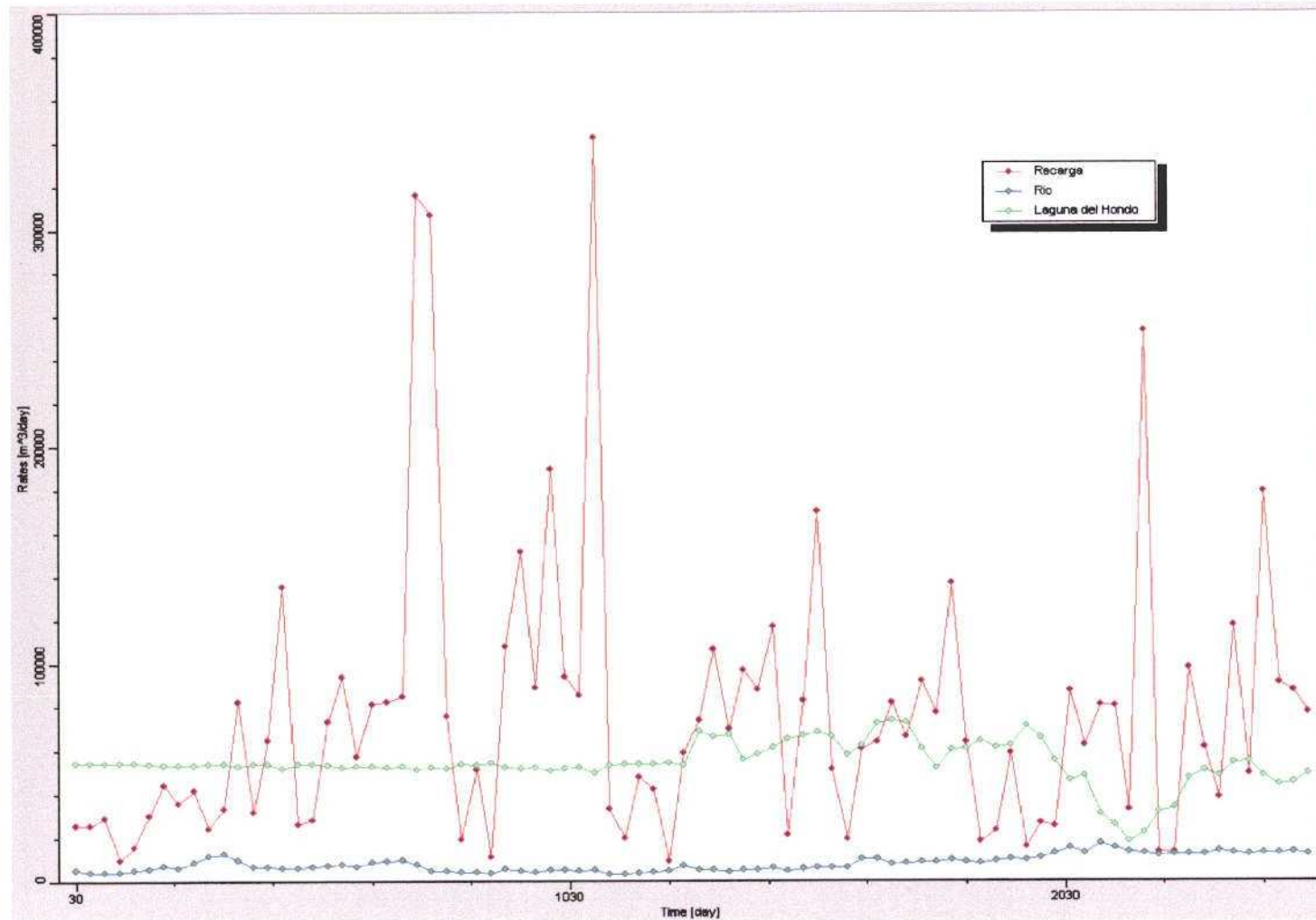


Figura 3.70. – Evolución temporal de las principales entradas simuladas en la Vega Baja (1994-01) suponiendo descarga por Laguna del Hondo (Fase 5)

SALIDAS VEGA BAJA

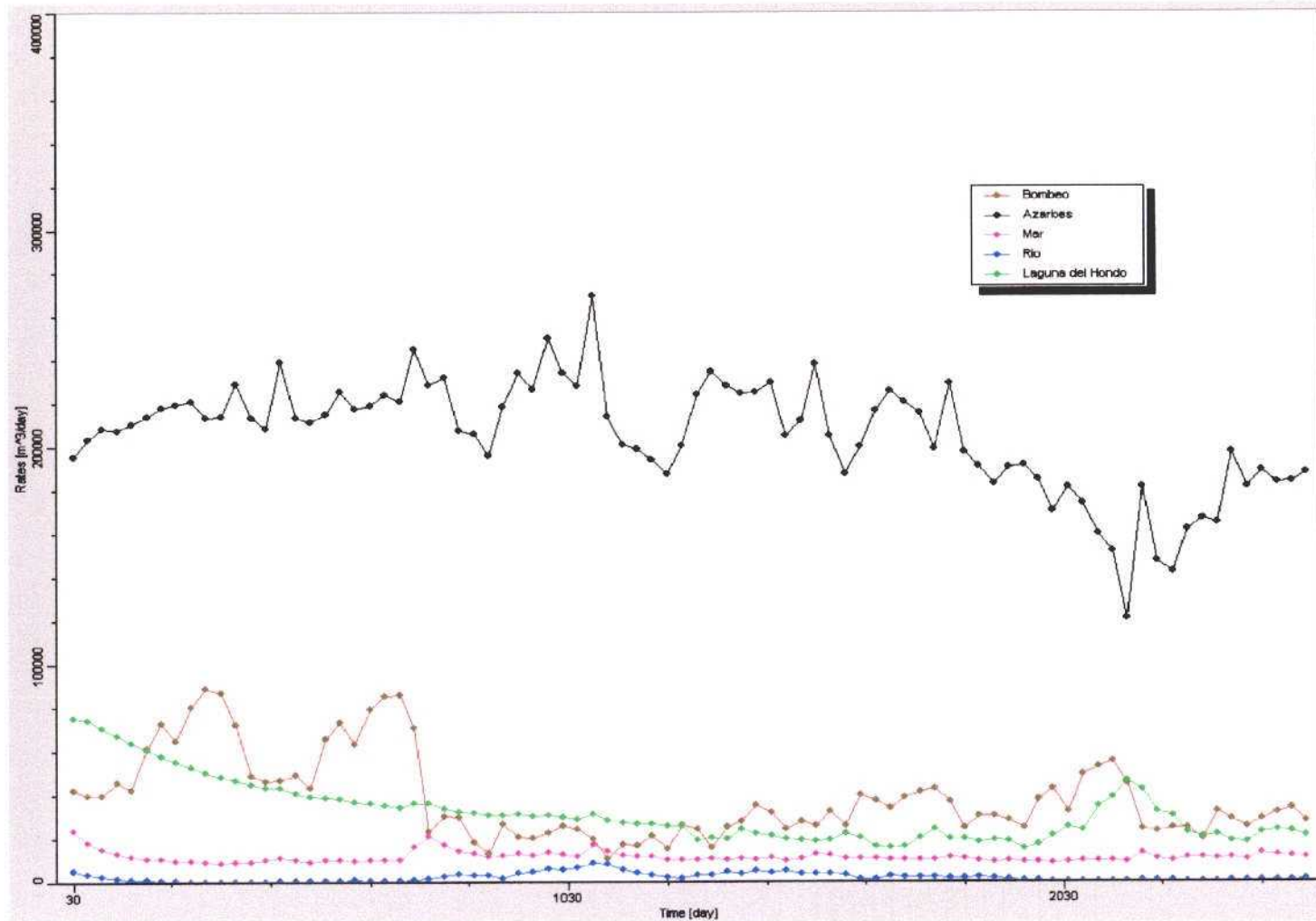


Figura 3.71. – Evolución temporal de las principales salidas simuladas en la Vega Baja (1994-01) suponiendo descarga por Laguna del Hondo (Fase 5)

VARIACIÓN ALMACENAMIENTO VEGA BAJA

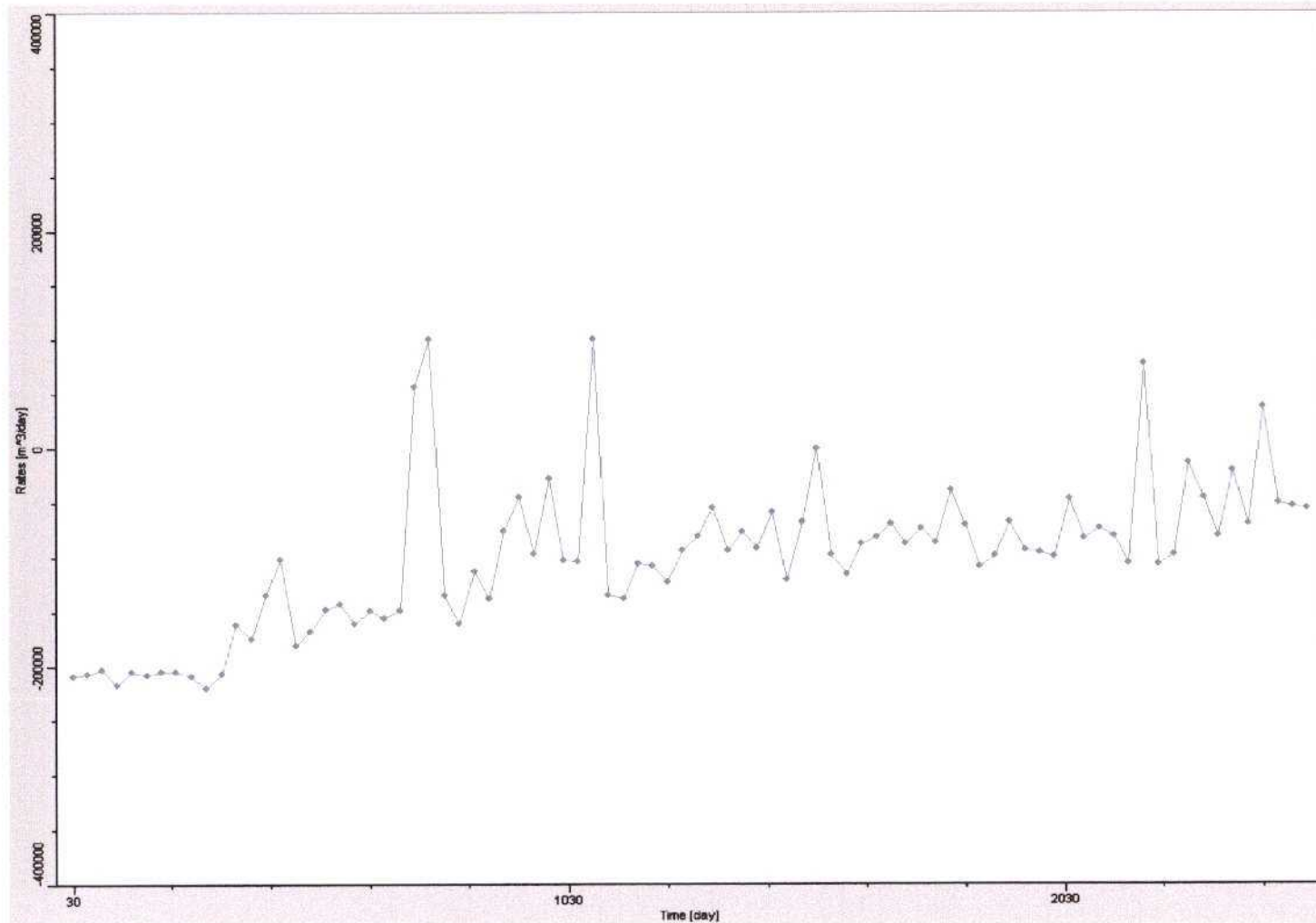


Figura 3.72. – Evolución temporal de la variación en el almacenamiento en la Vega Baja (1994-01) suponiendo descarga por Laguna del Hondo (Fase 5)

Tabla 3.49.- Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Baja (1994-2001) suponiendo descarga por la Laguna del Hondo.

	ENTRADAS				SALIDAS					E-S	VARIACIÓN ALMACEN	CIERRE BALANCE
	RECARGA	RIO	LAGUNA	V. MEDIA	AZARBES	BOMBEO	RIO	LAGUNA	MAR			
1994/95	11.88	2.48	19.29	17.74	76.68	22.05	0.48	21.64	4.36	-73.82	73.87	0.05
1995/96	32.18	2.59	18.98	18.02	79.61	22.70	0.22	13.95	3.66	-48.37	48.40	0.03
1996/97	45.67	1.64	18.75	17.82	81.95	8.20	1.50	11.24	5.00	-24.01	24.00	-0.01
1997/98	22.84	1.67	20.95	18.20	76.84	7.94	1.42	8.55	3.89	-34.98	34.94	-0.04
1998/99	27.68	2.71	23.31	18.60	76.62	12.13	0.92	6.87	3.76	-28.00	28.05	0.05
1999/00	17.20	4.23	18.28	18.18	62.90	13.53	0.22	8.87	3.29	-30.92	30.91	-0.01
2000/01	32.30	4.46	15.83	18.18	62.65	9.69	0.14	8.84	3.95	-14.50	14.57	0.07

Los resultados obtenidos suponiendo esta hipótesis indican que la Laguna del Hondo pasa de comportarse como una zona de descarga a una zona de recarga del acuífero (exceptuando el periodo comprendido entre julio y noviembre del 2000; ver Figura 3.73). No obstante, conviene recordar que sólo se conoce la lámina de la laguna a partir del mes de abril de 1998, observándose como a partir de este momento (Tabla 3.49) la descarga por la laguna disminuye significativamente. Por otro lado, se sigue observando una disminución en el agua drenada por los azarbes, así como un predominio de las salidas frente a las entradas a lo largo de todo el periodo simulado.

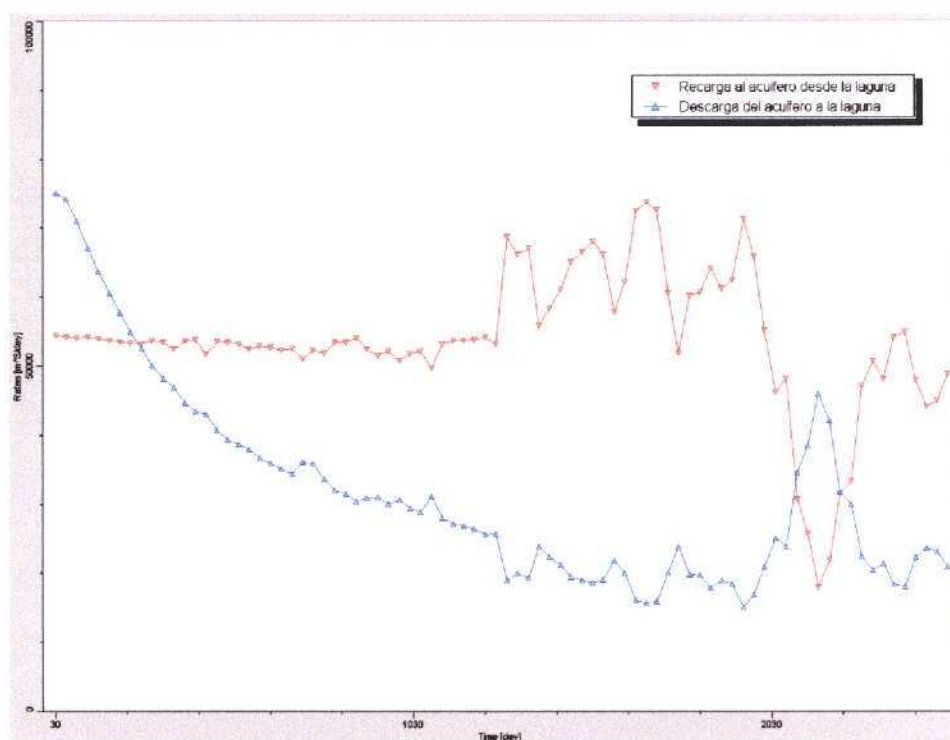


Figura 3.73. – Evolución de la recarga/descarga del acuífero a la Laguna del Hondo (1994-2001)

3.4.3.3 Discusión y conclusiones

- La calibración del modelo numérico en régimen transitorio permite obtener unos resultados considerados como razonables, ajuste de niveles aceptable y balance coherente, aunque condicionados por un elevado número de simplificaciones e hipótesis adoptadas debido principalmente al elevado número de elementos y parámetros implicados en el funcionamiento del acuífero, las importantes acciones y modificaciones realizadas con respecto a las condiciones naturales y 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 final realizada (fase 5) permiten obtener unos caudales de infiltración desde el río en la Vega Media más razonables (entre 14 y 24 hm³/año), 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 finalmente obtenido para el aluvial en la Vega Media y Baja oscila entre los 0,05 y 0,5 m/día para el acuífero superficial y en torno a los 60 m/día para el acuífero profundo. La conductividad hidráulica vertical en el acuífero profundo varía entre 0,03 y 30 m/día, aumentando hacia la Vega Baja en coherencia con el mayor número de materiales permeables afectados. Para los materiales triásicos se diferencian dos zonas de conductividad hidráulica, una aproximadamente correspondiente con el triásico aflorante ($K = 1$ m/día) y otra con el triásico subaflorante ($K = 175$ a 500 m/día). La porosidad eficaz o coeficiente de almacenamiento obtenido para el acuífero superficial se encuentra en torno a 0,02. El coeficiente de almacenamiento para el acuífero profundo es $2,8 \times 10^{-4}$ en ambas vegas.
- El error medio absoluto obtenido para los tiempos intermedios oscila entre 1,76 (septiembre 2001) y 2,21 m (octubre 1997). Los errores medios varían entre -0,04 (septiembre 2001) y 0,78 m (octubre 1997). El ajuste global obtenido entre los niveles observados y calculados durante el periodo de calibración (diciembre 1996 a septiembre

2001) permite observar cómo el modelo reproduce “razonablemente” la tendencia en la evolución temporal de los niveles.

- 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 los azarbes y el río. Se observa una variación en el almacenamiento negativa y, por tanto, se deduce un cierto consumo de reservas durante los años 1994/95, 1998/1999 y 1999/2000, en coherencia con los periodos de sequía más importantes existentes durante el periodo simulado.

- 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, salidas al mar, descarga subterránea al río y, por último, descarga a través de la Laguna del Hondo (prácticamente despreciable). Se observa además una disminución progresiva del agua descargada por los azarbes (desde unos 74 a 56 hm³/año) y un predominio de las salidas frente a las entradas a lo largo de todo el periodo simulado, tendiendo a disminuir hacia 2001.

- Si se considera una descarga subterránea en la Laguna del Hondo en condiciones naturales (régimen estacionario) de acuerdo con los valores de evaporación presentados en el modelo conceptual, la laguna pasa de comportarse como una zona de descarga a una zona de recarga del acuífero (exceptuando el periodo comprendido entre julio y noviembre del 2000). Por otro lado, se sigue observando una disminución en el agua drenada por los azarbes así como un predominio de las salidas frente a las entradas a lo largo de todo el periodo simulado.

3.5 INCERTIDUMBRE Y VALIDEZ DEL MODELO NUMÉRICO

El modelo numérico realizado supone un avance considerable que permite mejorar el conocimiento acerca del funcionamiento hidrogeológico de la Vega Media y Baja del Segura. Se trata de una herramienta que integra y sintetiza una elevada densidad de información así como los resultados de un elevado número de estudios previos realizados (ITGE-DPA, 1996; ITGE-DPA, 1997; ITGE-DPA, 2000; IGME-CTOT, 2001; IGME-CHS-DPA, 2002)

Se trata de un modelo numérico de carácter regional, cuyo objetivo ha sido simular diversas hipótesis de funcionamiento hidrogeológico. Dichas hipótesis son necesarias teniendo en cuenta la elevada incertidumbre asociada o relacionada con los siguientes aspectos: a) desconocimiento de algunos términos principales del balance (relación río-acuífero, descarga por azarbes, salidas al mar...), b) incertidumbre asociada a la recarga por infiltración de retornos de riego, c) escasa o nula información sobre la geometría en profundidad del acuífero (muro de los afloramientos triásicos y acuífero profundo), d) elevada heterogeneidad del medio, e) escasa o nula información previa disponible en relación con los parámetros hidráulicos y f) representatividad de los puntos de control y datos de observación, al tratarse en su mayor parte de pozos de explotación de características constructivas desconocidas.

A pesar de todo ello, el proceso de modelación numérica ha permitido revisar, mejorar y ampliar el modelo hidrogeológico conceptual, así como obtener para unos parámetros hidráulicos razonables, ajustes de niveles aceptables y balances coherentes aunque condicionados, evidentemente, por el elevado número de simplificaciones e hipótesis adoptadas teniendo en cuenta las incertidumbres anteriormente comentadas.

Una de las limitaciones o hipótesis más importantes planteadas y que debe ser tenida muy en cuenta al interpretar los resultados obtenidos es el hecho de no considerar la probable intrusión marina existente en la Vega Baja. Dicha limitación se encuentra estrechamente relacionada con el código numérico empleado, el cual no permite simular flujos de densidad variable. Por lo tanto, en todo momento se presupone la inexistencia de intrusión marina, interpretando que la presencia de un elevado número de niveles permeables (arenas y gravas) de escaso espesor intercalados con niveles poco permeables (limos y arcillas) favorece la presencia de cuñas poco penetrantes. No obstante, se considera esencial y prioritario, la realización de estudios detallados sobre la intrusión marina, ya que ésta podría influir significativamente en el funcionamiento hidrodinámico del acuífero en la Vega Baja.

Estas incertidumbres hacen que, como todo modelo numérico, el modelo numérico realizado deba presentar un carácter dinámico, con continuas revisiones y mejoras, probando nuevas líneas o alternativas de calibración e incorporando más datos e información a medida que ésta se vaya generando. Ello permitirá aproximarse progresivamente a la situación real para poder utilizar el modelo eficazmente como una herramienta para la gestión de los recursos hídricos subterráneos. Por el momento resulta difícil proceder a una validación del modelo numérico, dado que las simplificaciones adoptadas durante la validación presentarán las mismas o similares incertidumbres a las del modelo numérico.

Con respecto a éste último aspecto, actualmente, el modelo permite simular diversas hipótesis de funcionamiento así como diversos escenarios climáticos y/o de explotación a escala regional y de forma cualitativa. Es decir, obteniendo un abanico o rango de posibilidades sin olvidar la estrecha relación existente entre los resultados obtenidos y las simplificaciones e hipótesis necesariamente adoptadas. Sin embargo, el modelo numérico no ha sido planteado ni desarrollado para analizar escenarios puntuales de explotación restringidos en el espacio y/o en el tiempo, ni para evaluar efectos específicos localizados como, por ejemplo, los descensos del nivel piezométrico en el casco urbano de la ciudad de Murcia. Para ello, sería necesario disponer de un mayor conocimiento hidrogeológico así como de información previa de detalle coherente con una discretización espacial y temporal ajustada a los objetivos concretos planteados.

4. SIMULACIÓN NUMÉRICA DE DIVERSOS ESCENARIOS DE EXPLOTACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA VEGA BAJA DEL SEGURA

4.1 INTRODUCCIÓN

A partir del modelo numérico realizado en la Vega Media y Baja del Segura, la Diputación Provincial de Alicante (DPA) ha propuesto la realización de diversas simulaciones bajo distintos escenarios de explotación de las aguas subterráneas con objeto de evaluar, en la medida de lo posible, las implicaciones de dicha explotación en el comportamiento y funcionamiento del acuífero.

En el modelo numérico realizado se integran todos los datos, estudios y modelos numéricos parciales existentes hasta el momento tanto en la Vega Media (IGME-CTOT, 2001; IGME-CHS, 2001) como en la Vega Baja del Segura (ITGE-DPA, 1996; ITGE-DPA, 1997; ITGE-DPA, 2000). El código numérico empleado ha sido el MODFLOW (McDonald y Harbaugh, 1988) en su versión Visual MODFLOW 2.81.105 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.

La realización del modelo numérico se ha realizado 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, eligiendo como referencia el periodo 1973-75. Posteriormente, se ha realizado un análisis de sensibilidad y simulado el modelo en régimen transitorio para el periodo comprendido entre octubre de 1994 y septiembre de 2001, considerando un paso de tiempo mensual.

La calibración del modelo numérico en régimen transitorio ha permitido obtener unos primeros resultados considerados como razonables, ajuste de niveles aceptable y balance coherente, aunque sensiblemente condicionados por las simplificaciones e hipótesis adoptadas como consecuencia del elevado número de elementos y parámetros implicados, las importantes acciones y modificaciones realizadas con respecto a las condiciones naturales y la escasa información previa o datos disponibles.

Las simulaciones realizadas y los resultados obtenidos en este apartado se encuentran fuertemente condicionados tanto por las limitaciones y simplificaciones de modelo numérico realizado como por el elevado número de hipótesis establecidas al plantear los diversos escenarios de explotación.

El apartado comienza presentando el contexto en el que se han realizado las diversas simulaciones. Se explican las incertidumbres asociadas al modelo numérico en general y al área de estudio en particular, así como las hipótesis y simplificaciones adoptadas al plantear diversos escenarios de explotación de las aguas subterráneas. A continuación, se simula el flujo subterráneo a partir de la piezometría obtenida en régimen transitorio para septiembre de 2001, suponiendo que durante los próximos años la distribución espacial y temporal de la recarga y de las extracciones es la misma que la evaluada para el periodo 1994-2001 y manteniendo tanto las condiciones de contorno como los parámetros hidráulicos obtenidos en régimen transitorio (Escenario Inicial). Posteriormente, se realizan las simulaciones propuestas por la Diputación de Alicante representando y comentados los principales resultados obtenidos.

4.2 CONTEXTO DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS

Con objeto de valorar y evaluar adecuadamente los resultados obtenidos y presentados en este apartado, es necesario tener en consideración tanto las incertidumbres relacionadas con el modelo numérico empleado como las asociadas a las hipótesis o simplificaciones adoptadas al definir los diversos escenarios de simulación o explotación.

4.2.1. Modelo numérico y zona de estudio

Como se ha comentado previamente, el modelo numérico empleado para simular el flujo subterráneo en la Vega Media y Baja del Segura presenta una serie de limitaciones e incertidumbres relacionadas fundamentalmente con: a) desconocimiento de algunos términos principales del balance (relación río-acuífero, descarga por azarbes, salidas al mar...), b) incertidumbre asociada a la recarga por infiltración de retornos de riego, c) escasa o nula

información sobre la geometría en profundidad del acuífero (muro de los afloramientos triásicos y acuífero profundo), d) elevada heterogeneidad del medio, e) escasa o nula información previa disponible en relación con los parámetros hidráulicos y f) representatividad de los puntos de control y datos de observación, al tratarse en su mayor parte de pozos de explotación de características constructivas desconocidas. Por otro lado, conviene recordar que el modelo numérico realizado presenta un carácter regional y que no se ha tenido en cuenta la probable existencia de intrusión marina, la cual podría influir significativamente en el funcionamiento hidrodinámico del acuífero en la Vega Baja.

4.2.2. Escenarios o simulaciones propuestas: hipótesis iniciales

Con objeto de aprovechar el modelo numérico actualmente disponible y simplificar los trabajos o estudios complementarios necesarios, para todas los escenarios y simulaciones realizadas se han tenido en cuenta las hipótesis y/o simplificaciones siguientes:

- Considerar los parámetros hidráulicos obtenidos durante la calibración en régimen transitorio como representativos, a pesar de las hipótesis, limitaciones e incertidumbres asociadas.
- Mantener la misma función de recarga y explotación por bombeo estimada o evaluada para el periodo 1994-2001. Es decir, suponer que durante la simulación se mantiene la variabilidad espacial y temporal tanto en la recarga (infiltración de agua de lluvia más retornos de riego) como en las extracciones por bombeo.
- Mantener el resto de condiciones de contorno para simular los azarbes, las lagunas, el río y las salidas al mar. Es decir, suponer la misma lámina de agua en el río que la estimada para el periodo 1994-2001 y mantener la conductancia para los azarbes, laguna del hondo y salidas al mar.
- Iniciar las simulaciones considerando como condiciones iniciales la piezometría obtenida en régimen transitorio para septiembre de 2001 (último paso de tiempo simulado)

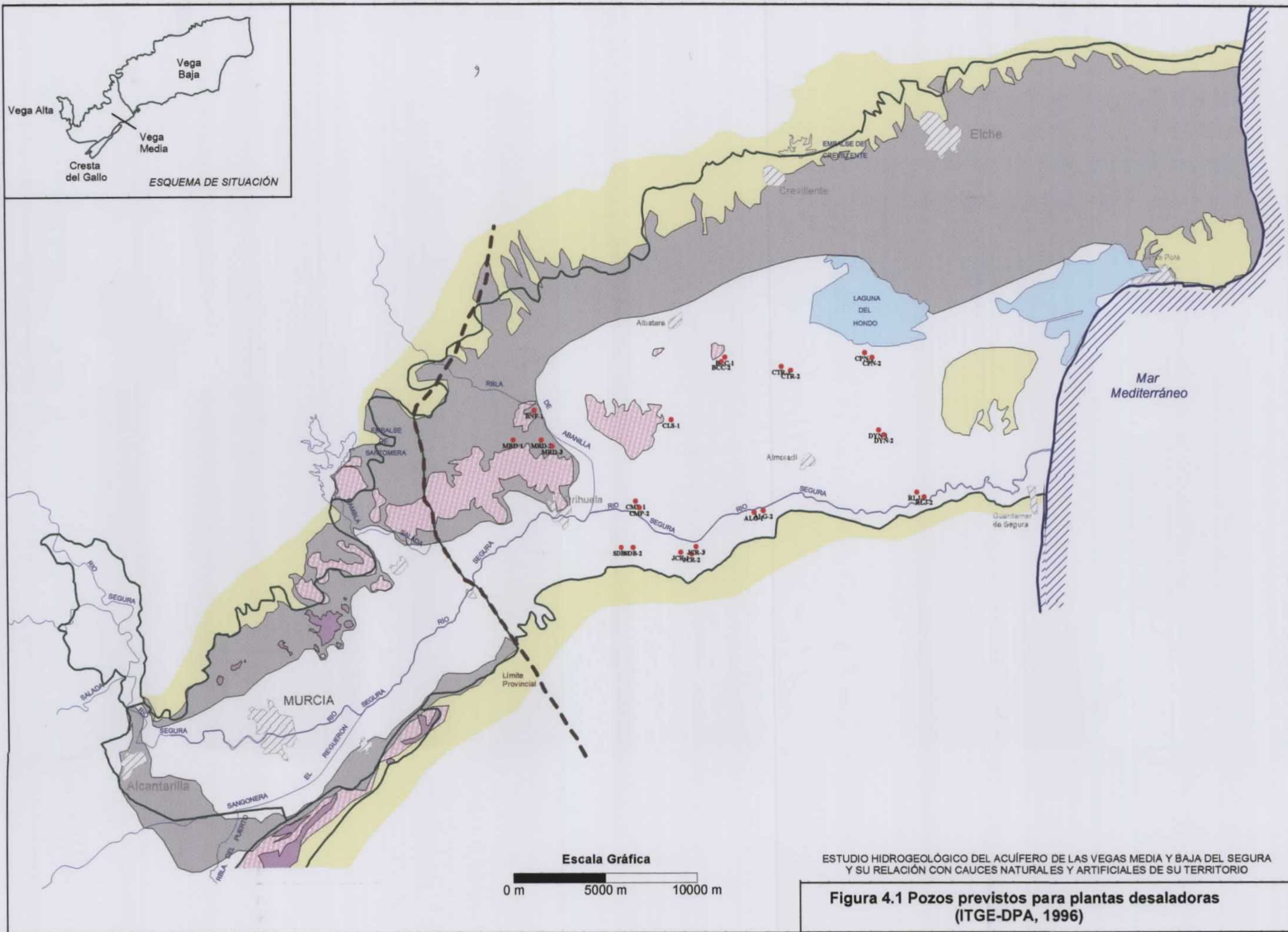
4.3 ESCENARIOS Y SIMULACIONES REALIZADAS: RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se presentan siete escenarios distintos, uno inicial o de referencia denominado como "Escenario 1" y otros seis en los que se tienen en cuenta distintas actuaciones (pozos de explotación y regímenes de bombeo, ó zanja drenante). En todos los escenarios, a excepción de los escenarios 1 y 7, se ha previsto un bombeo adicional tanto en el Pozo "Los Cabezos" (caudal promedio de 500 l/s; unos 16 hm³/año) como en los pozos para la instalación de las plantas desaladoras previstas en el "*Estudio de los recursos salobres en la zona sur de la Provincia de Alicante*" (ITGE-DPA, 1996) (caudal promedio total de unos 32 hm³/año). La distribución de estos últimos pozos y los caudales promedio inicialmente considerados se presentan en la Figura 4.1 y Tabla 4.1, respectivamente.

Tabla 4.1 – Pozos y caudales introducidos en el modelo numérico para simular las plantas desaladoras previstas (ITGE-DPA, 1996).

CAPTACIÓN	SECTOR	X UTM	Y UTM	Q (m3/día)
BNF-1	Benferri	678750	4223150	6000
BCC-1		689200	4226000	2160
BCC-2		689000	4225750	2160
CTR-1	Catral	692250	4225500	2160
CTR-2	Catral	692750	4225300	2160
CPN-1		696750	4226250	2160
CPN-2		697150	4226000	2160
CLS-1	Callosa de Segura	686250	4222650	4320
DYN-1	Daya Nueva	697500	4222100	2160
DYN-2	Daya Nueva	697800	4221850	2160
MRD-1	La Murada-La Matanza	677589	4221560	8640
MRD-2	La Murada-La Matanza	679134	4221560	8640
MRD-3	La Murada-La Matanza	679715	4221217	8640
CMP-1	La Campaneta	684300	4218250	2160
CMP-2	La Campaneta	684500	4217900	2160
RLJ-1	Rojales	699600	4218750	2160
RLJ-2	Rojales	700000	4218500	2160
SDB-1	Sto Domingo de Bigastro	683500	4215750	4320
SDB-2	Sto Domingo de Bigastro	684150	4215750	4320
JCR-1	Jacarilla	686750	4215500	4320
JCR-2	Jacarilla	687350	4215400	4320
JCR-3	Jacarilla	687600	4215800	4320
ALG-1	Algorfa	690750	4217650	2160
ALG-2	Algorfa	691250	4217750	2160

Para cada uno de estos escenarios se han realizado distintas simulaciones teniendo en cuenta diversas hipótesis de funcionamiento tales como una disminución de la recarga del 25% o la existencia de una descarga significativa por la Laguna del Hondo.



Para cada una de las simulaciones realizadas se presenta: a) evolución de los niveles piezométricos en toda la Vega Baja, b) evolución de los niveles piezométricos en el sector de "Los Cabezos", c) evolución de las salidas en la Vega Baja, d) evolución en la variación de almacenamiento en la Vega Baja, y e) evolución de la descarga del acuífero a la Laguna del Hondo.

4.3.1 Escenario 1 (Inicial)

En este primer escenario se simulan únicamente los pozos previamente considerados en régimen transitorio, cambiando las condiciones iniciales y utilizando la piezometría correspondiente a septiembre de 2001. Las simulaciones realizadas en este escenario han sido las siguientes:

Simulación 1_1: considerando pozos, azarbes y río.

Simulación 1_2: no considerando pozos, azarbes ni río.

Simulación 1_3: considerando un 25 % de recarga.

Simulación 1_4: considerando pozos, azarbes y río (descarga Laguna del Hondo).

Simulación 1_5: no considerando pozos, azarbes ni río (descarga Laguna del Hondo).

Simulación 1_6: considerando un 25 % de recarga y descarga Laguna del Hondo.

Los resultados obtenidos en las simulaciones correspondientes a este escenario, además de servir como referencia para escenarios posteriores, permiten realizar un análisis de sensibilidad del modelo en régimen transitorio. En primer lugar, se observa que al no considerar ni pozos, ni azarbes, ni río (Simulación_1_2), los niveles piezométricos tienden lógicamente a aumentar, en torno a unos 7 m de media aproximadamente (Figura 4.5), en el sector de los cabezos los niveles ascienden entre los 4 y 8 m aproximadamente (Figura 4.6). Con respecto al balance, las salidas al mar aumentan hasta unos 25 hm³/año (Figura 4.7) y además, la variación en el almacenamiento resulta positiva (predominan las entradas frente a las salidas) a lo largo de todo el periodo simulado (Figura 4.8). Por otro lado, si consideramos una recarga del 25% manteniendo pozos, azarbes y río (Simulación_1_3) los niveles descienden en torno a 1 - 2 m (Figuras 4.9 y 4.10) y disminuyen las salidas tanto por los azarbes como por el río. Finalmente, si se tiene en cuenta una descarga significativa por la Laguna del Hondo, se observa como al no considerarse ni pozos, ni azarbes, ni río la descarga por la laguna aumenta hasta unos 36 hm³/año (Simulación 1_5).

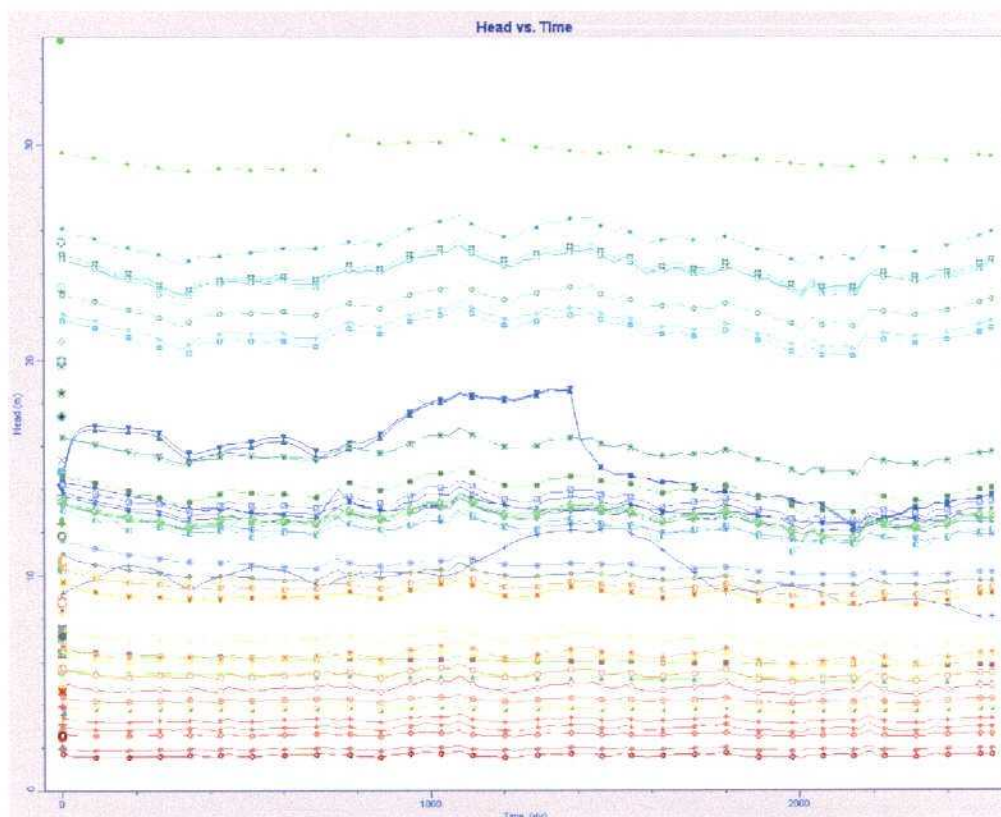


Figura 4.2. - Evolución de niveles piezométricos en la Vega Baja (Simulación_1_1)

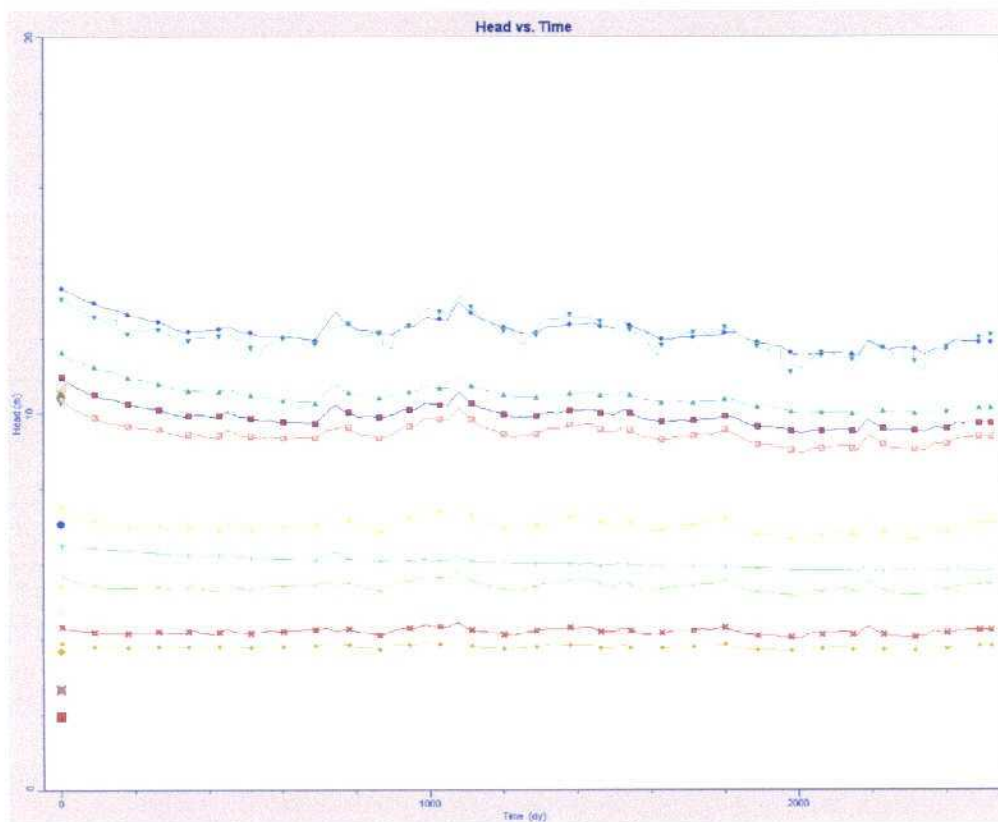


Figura 4.3. - Evolución de niveles piezométricos en el sector de Los Cabezos (Simulación_1_1)

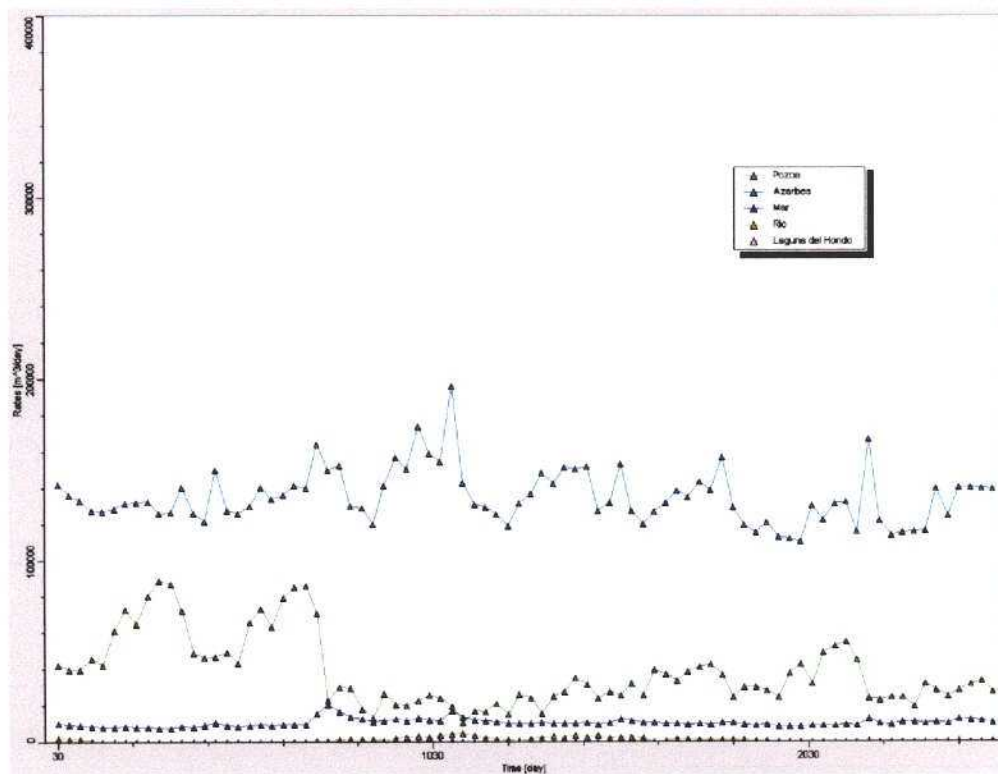


Figura 4.4. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_1_1)

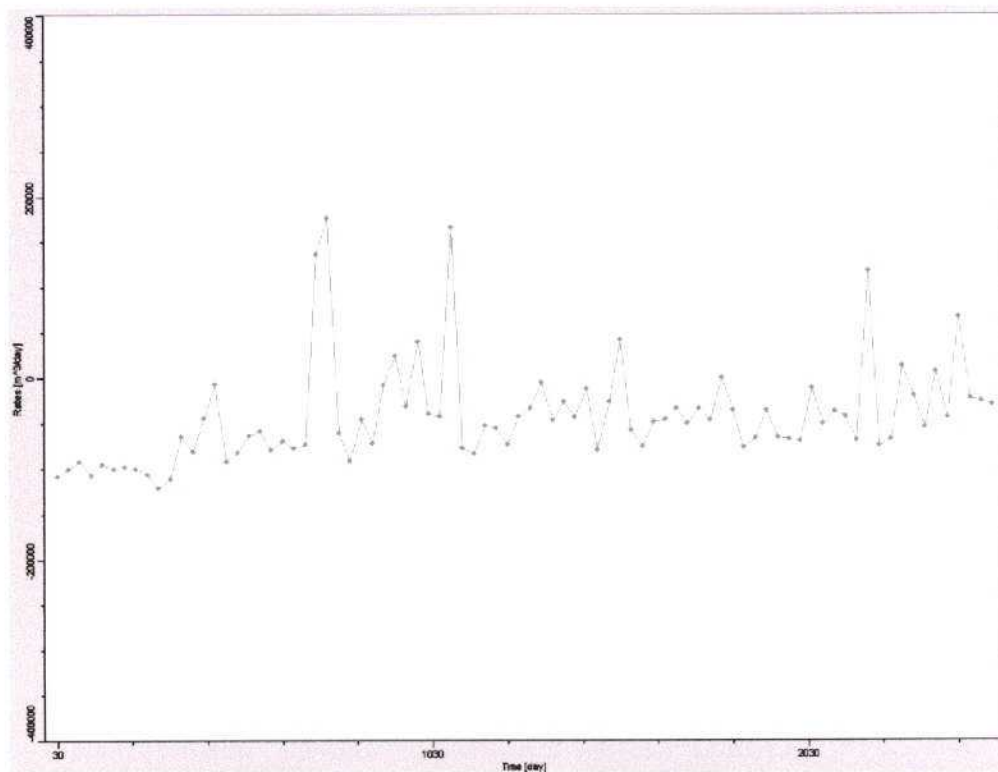


Figura 4.5. - Evolución de la variación de almacenamiento en la Vega Baja (Simulación_1_1)

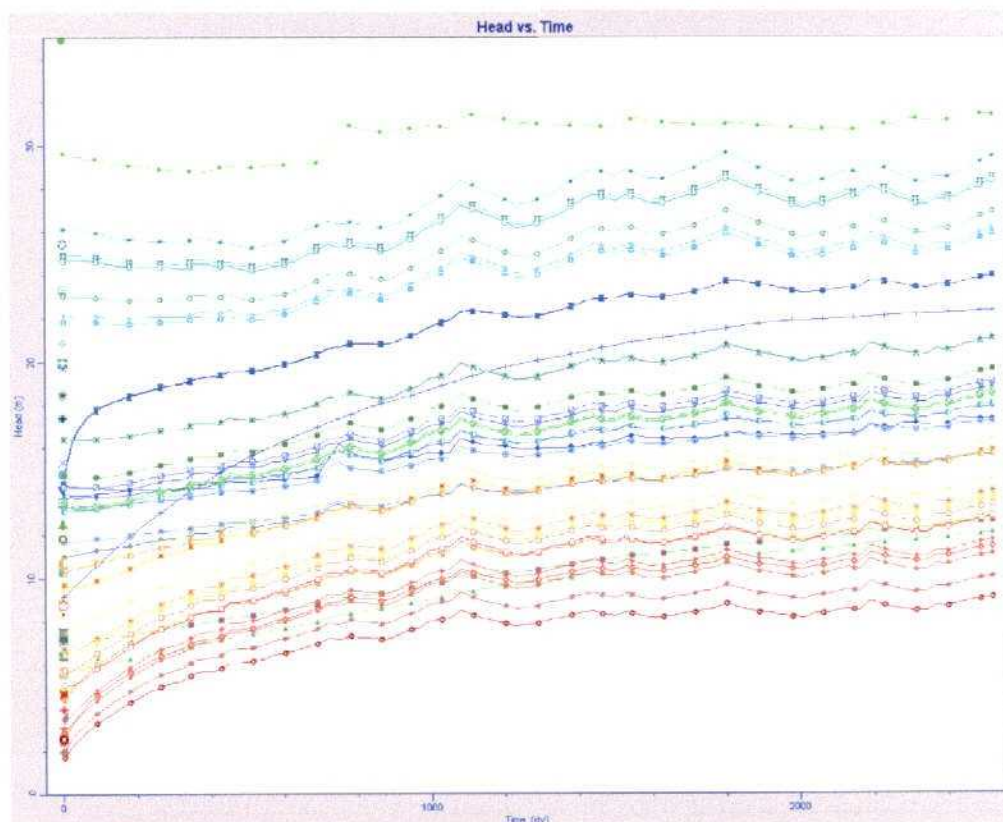


Figura 4.6. - Evolución de niveles piezométricos en la Vega Baja (Simulación_1_2)

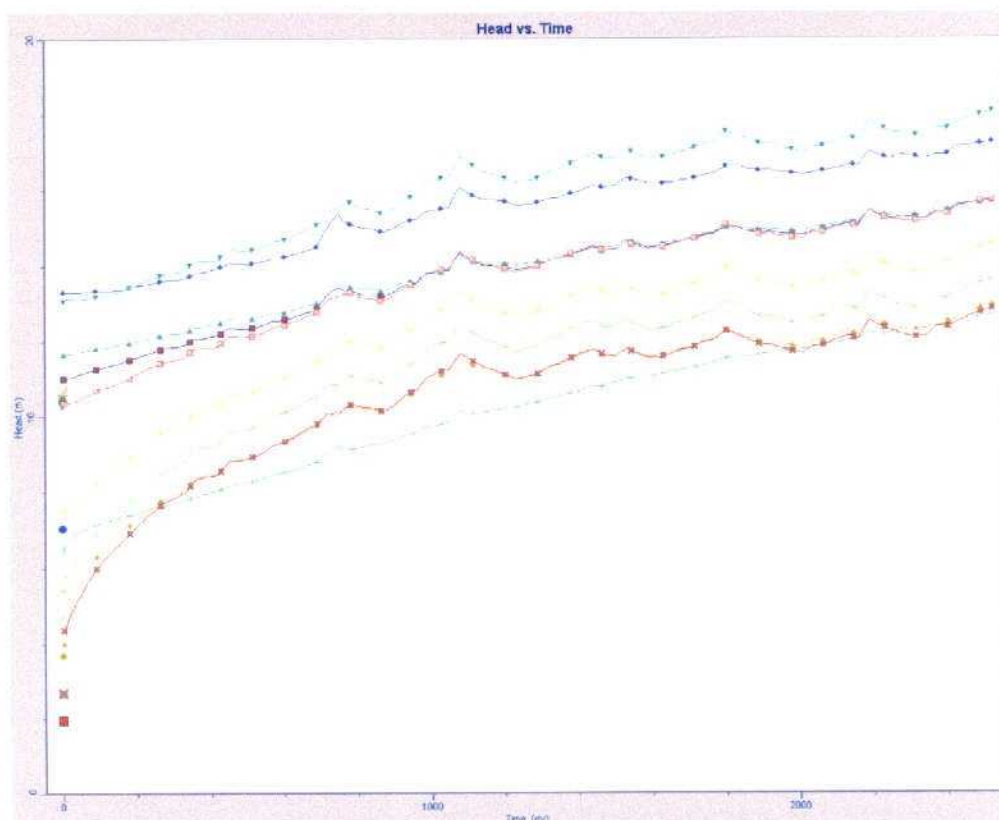


Figura 4.7. - Evolución de niveles piezométricos en el sector de Los Cabezos (Simulación_1_2)

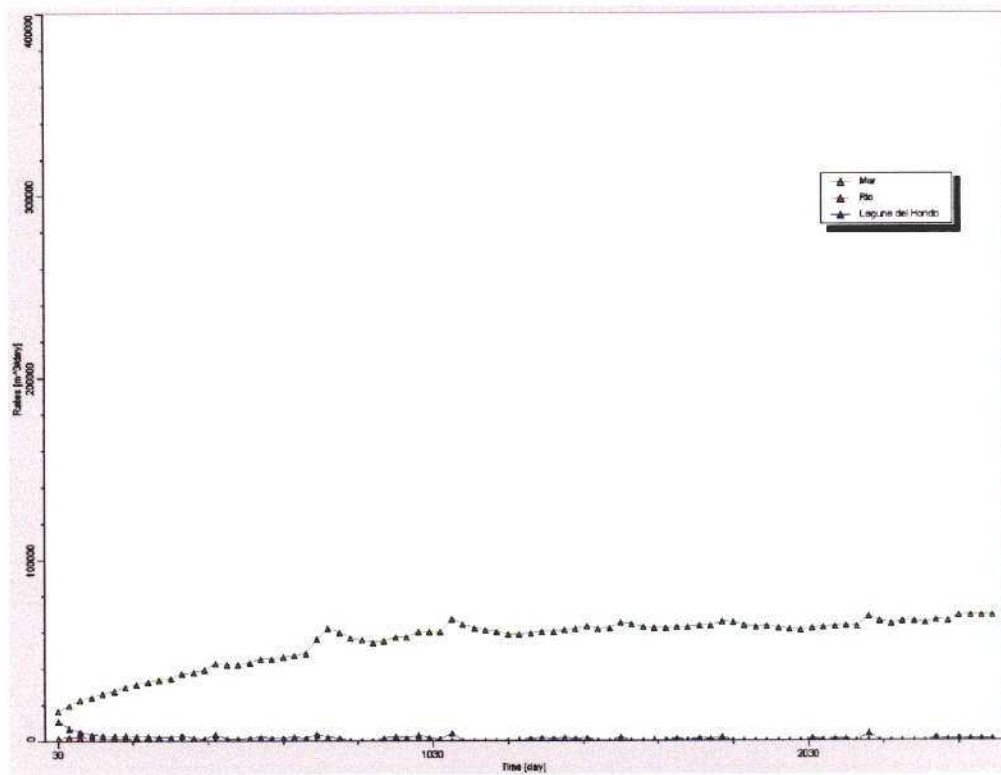


Figura 4.8. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_1_2)

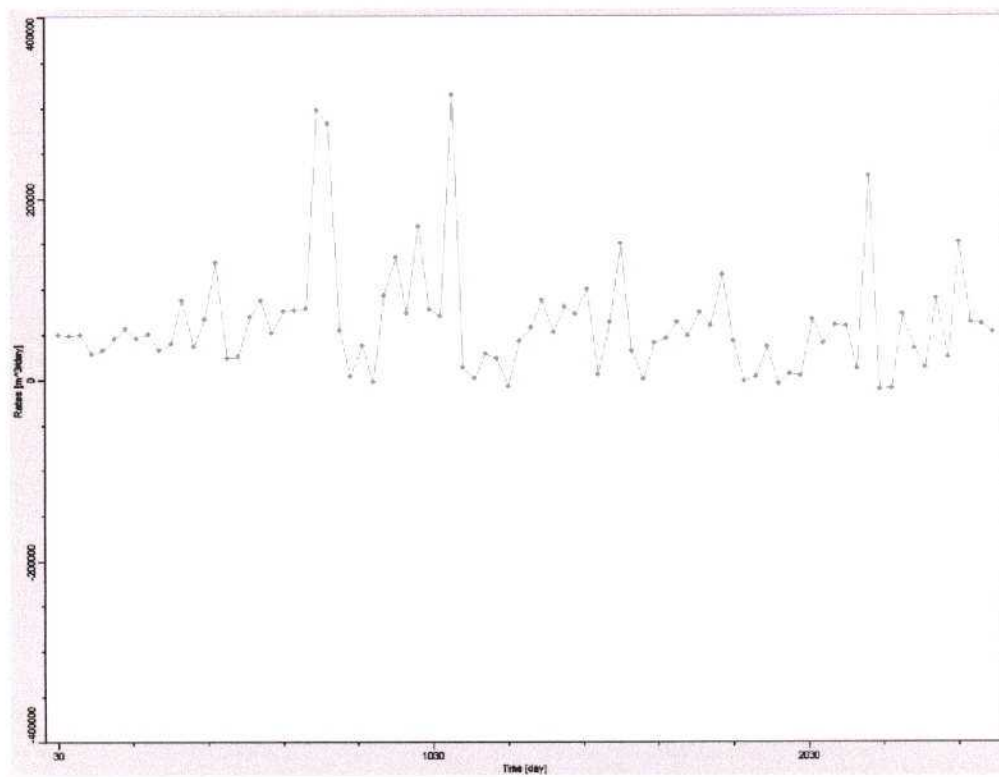


Figura 4.9. - Evolución de la variación de almacenamiento en la Vega Baja (Simulación_1_2)

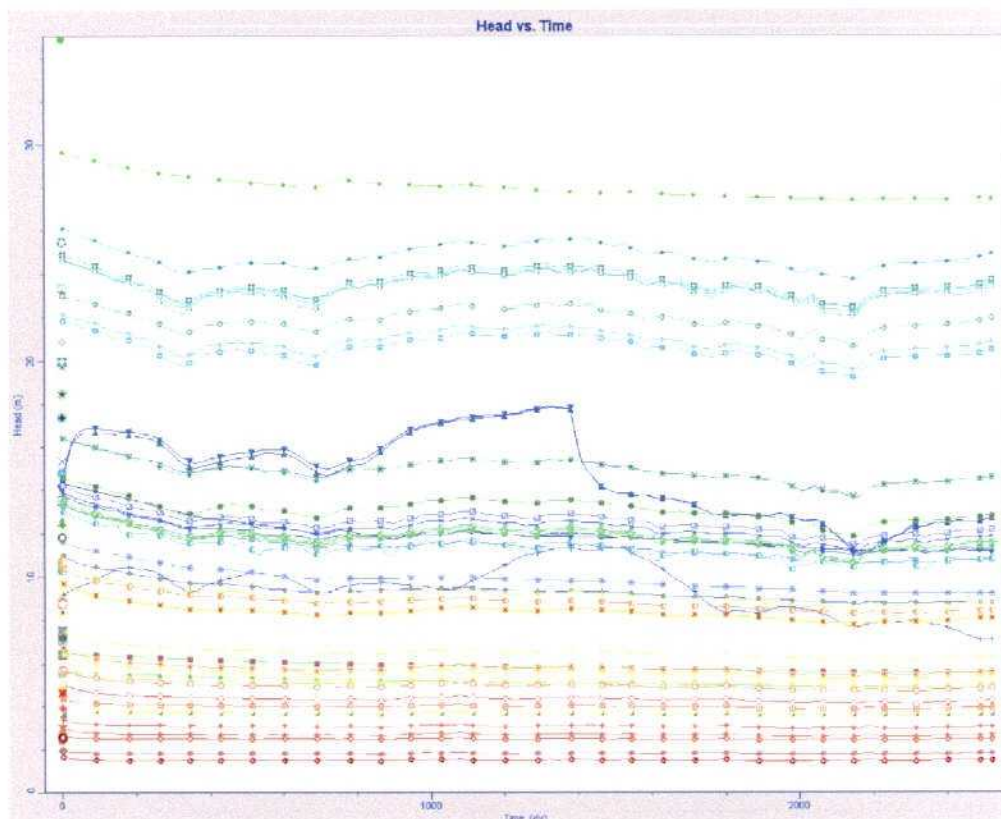


Figura 4.10. - Evolución de niveles piezométricos en la Vega Baja (Simulación_1_3)

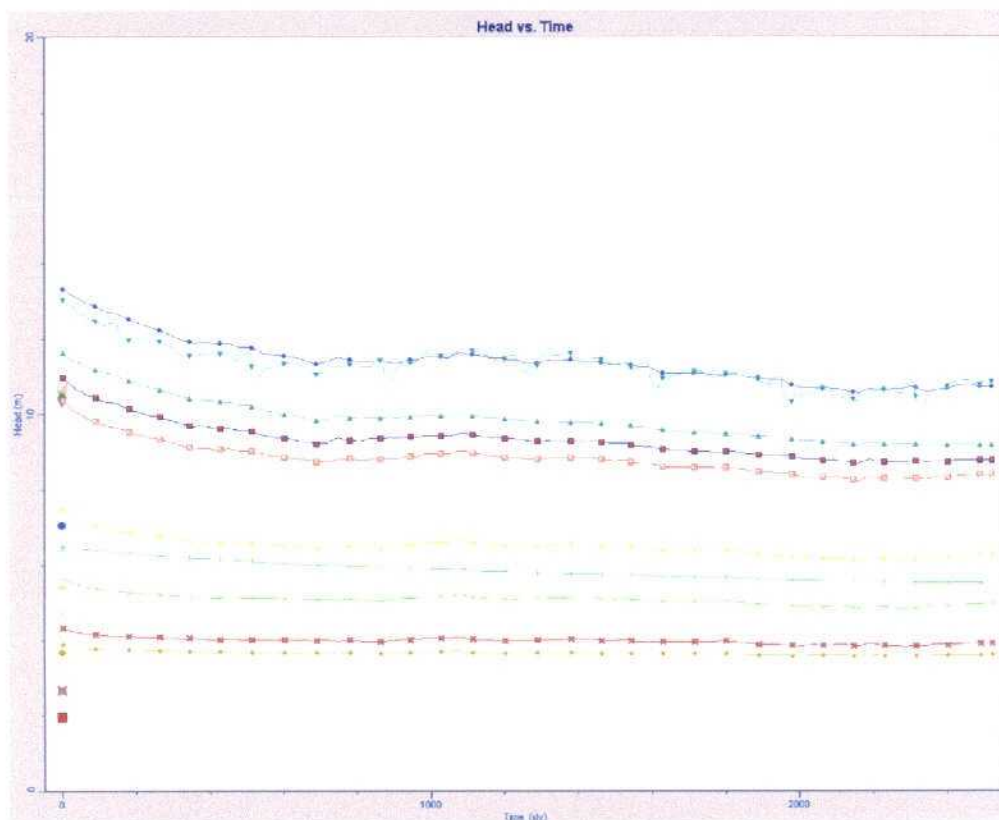


Figura 4.11. - Evolución de niveles piezométricos en el sector de Los Cabezos (Simulación_1_3)

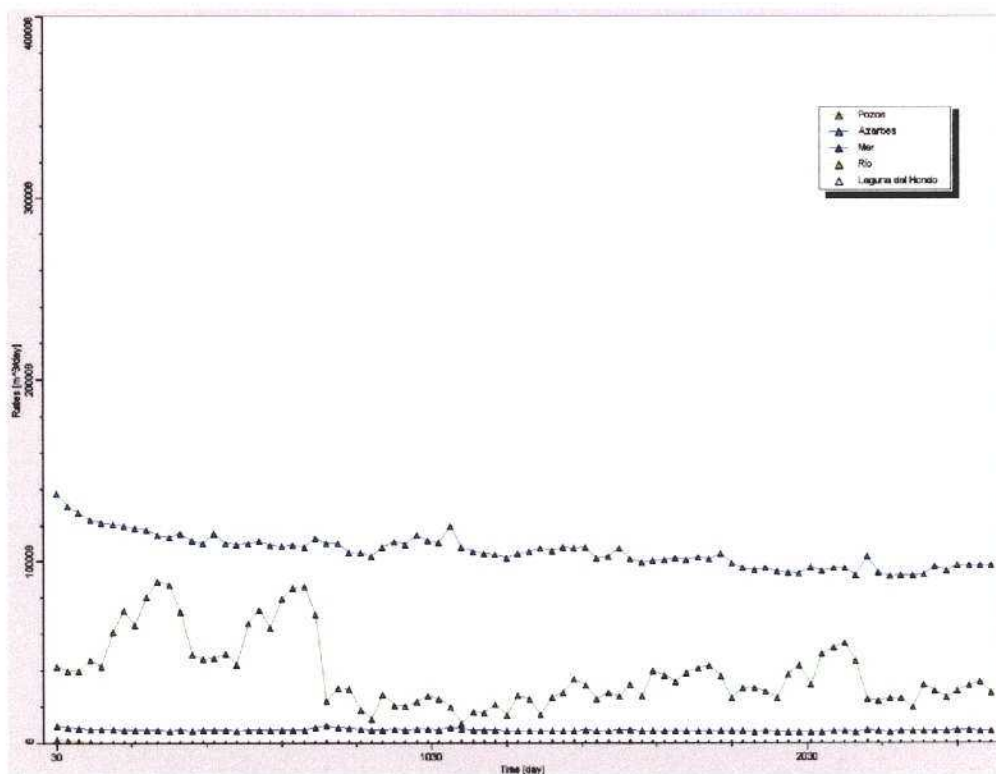


Figura 4.12. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_1_3)

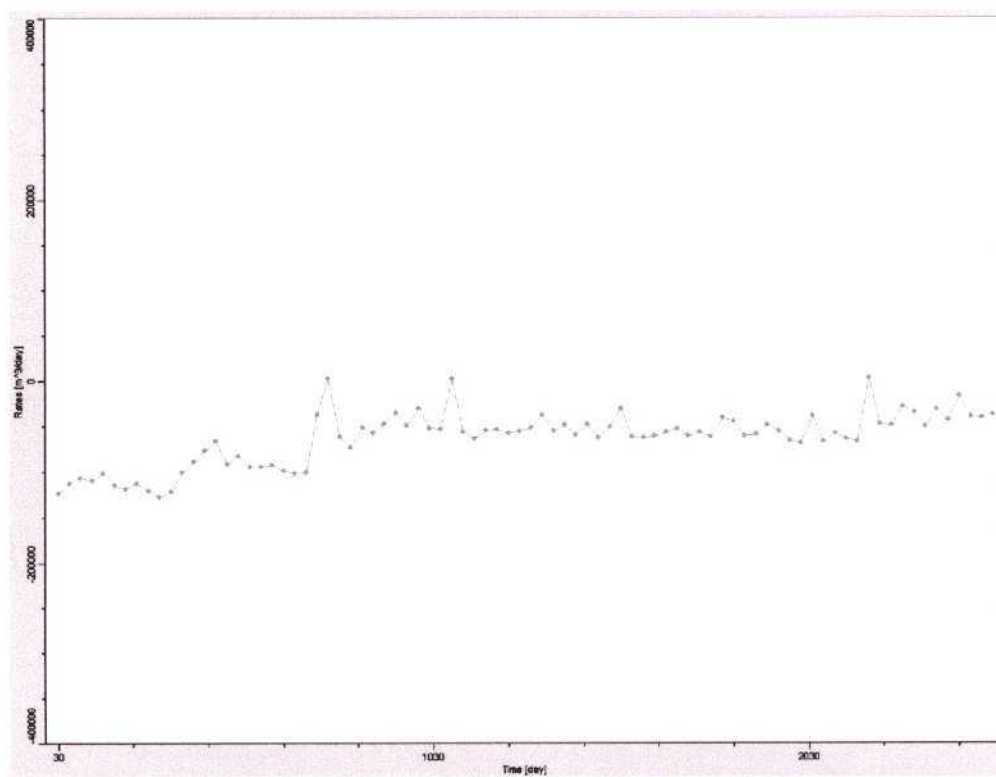


Figura 4.13. - Evolución de la variación de almacenamiento en la Vega Baja (Simulación_1_3)

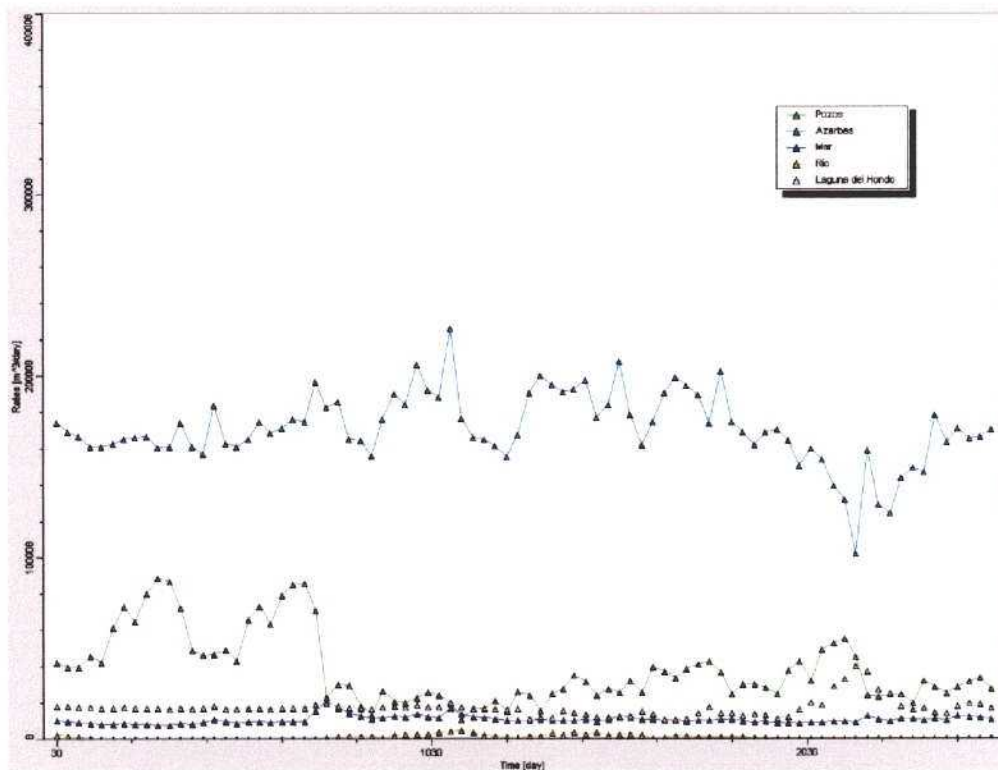


Figura 4.14. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_1_4)

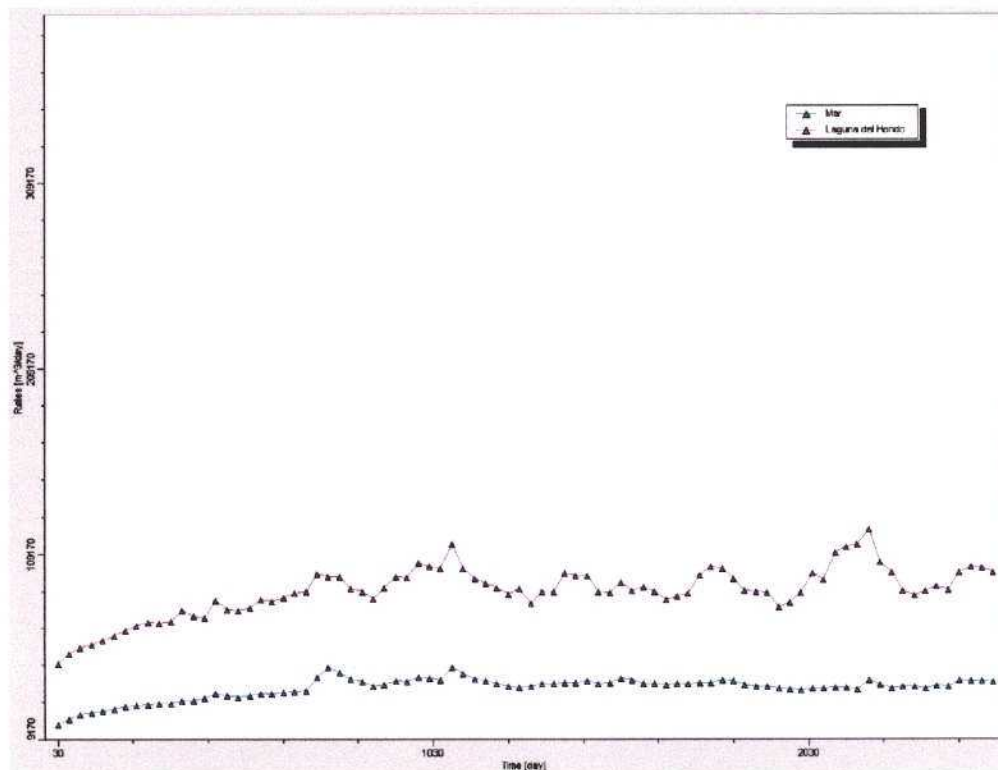


Figura 4.15. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_1_5)

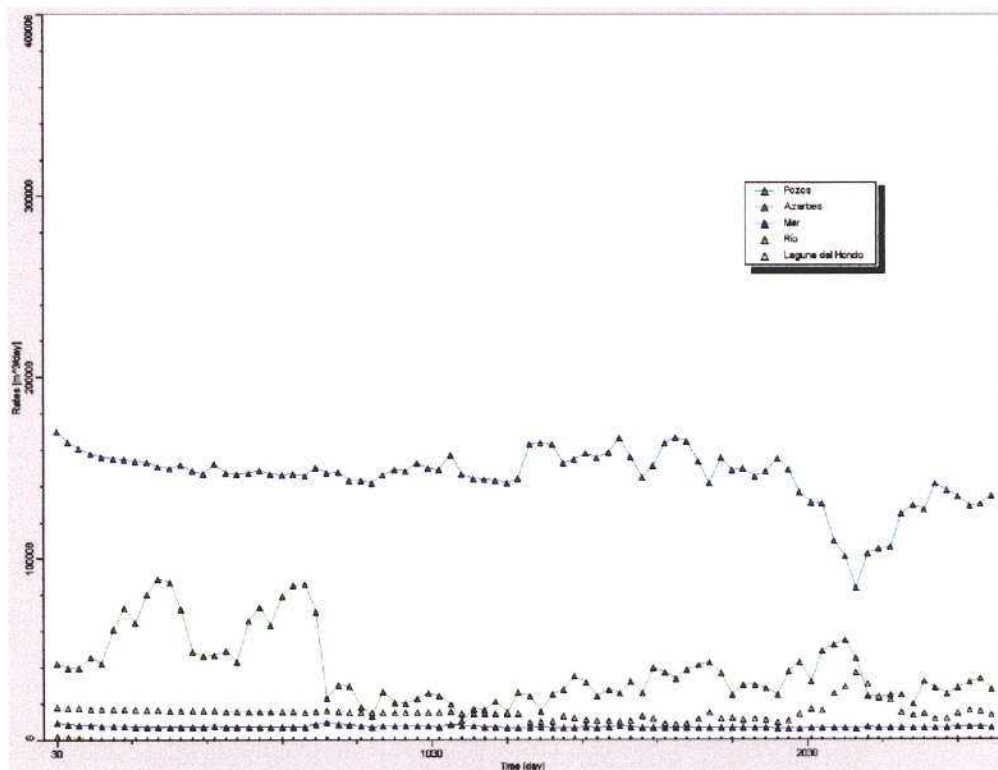


Figura 4.16. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_1_6)

Tabla 4.1b.- Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Baja (Simulación 1_1)

AÑO	ENTRADAS				SALIDAS					E-S	VARIACIÓN ALMACEN	CIERRE BALANCE
	RECARGA	RIO	LAGUNA	V. MEDIA	AZARBES	BOMBEO	RIO	LAGUNA	MAR			
1	11.88	5.13	0.06	18.94	47.39	22.05	0.18	0.06	2.95	-36.62	36.57	-0.05
2	32.18	5.65	0.07	19.34	49.08	22.70	0.02	0.07	3.44	-18.07	18.05	-0.02
3	45.67	3.77	0.09	18.86	54.37	8.20	0.70	0.09	4.86	0.17	-0.19	-0.02
4	22.84	3.55	0.08	18.98	49.77	7.94	0.83	0.08	3.79	-16.96	16.88	-0.08
5	27.68	4.47	0.08	19.23	48.92	12.13	0.57	0.08	3.67	-13.91	13.89	-0.02
6	17.20	5.40	0.06	18.77	43.57	13.53	0.10	0.06	3.21	-19.04	18.99	-0.05
7	32.30	5.80	0.07	18.63	47.23	9.69	0.04	0.07	3.89	-4.12	4.15	0.03

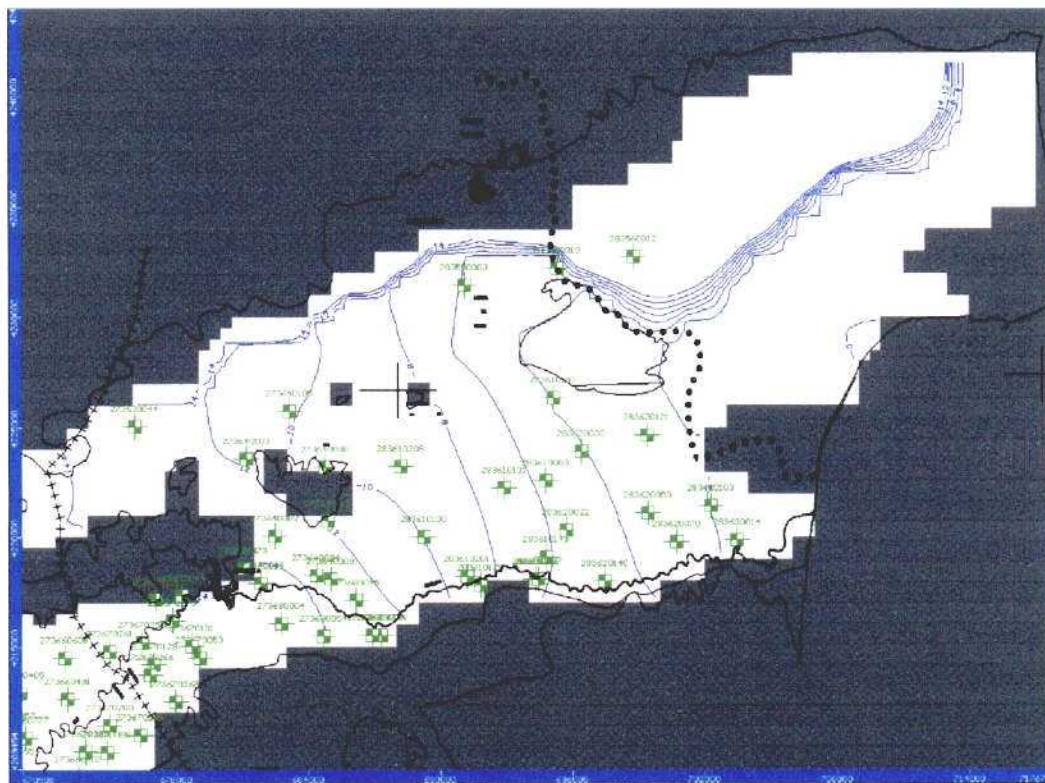


Figura 4.16b. – Isoplethas correspondientes al último paso de tiempo para la Simulación_1_1

4.3.2 Escenario 2: “Los Cabezos” y plantas desaladoras (bombeo constante y continuo)

En este escenario además de considerar el bombeo evaluado durante el periodo 1994-2001 (régimen transitorio) se tiene en cuenta un bombeo adicional tanto en el Pozo “Los Cabezos” como en los pozos previstos para la instalación de las plantas desaladoras. En este caso, se supone un bombeo constante y continuo durante todo el periodo simulado. En el Pozo “Los Cabezos” se considera un caudal de 500 l/s mientras que el caudal para los pozos previstos para desalación es de 32 hm³/año (ver Tabla 4.1). Las simulaciones realizadas en este escenario han sido las siguientes:

Simulación 2_1: considerando pozos, azarbes y río.

Simulación 2_2: considerando un 25 % de recarga.

Simulación 2_3: considerando descarga Laguna del Hondo

Simulación 2_4: considerando un 25 % de recarga y descarga Laguna del Hondo.

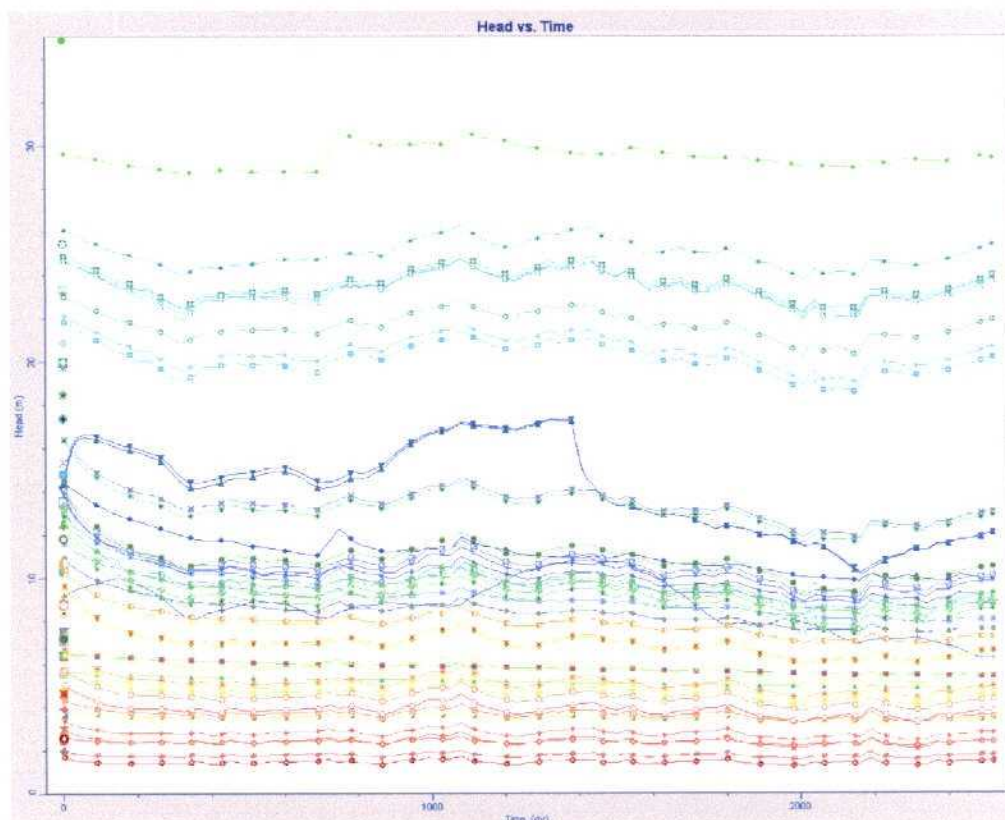


Figura 4.17. - Evolución de niveles piezométricos en la Vega Baja (Simulación_2_1)

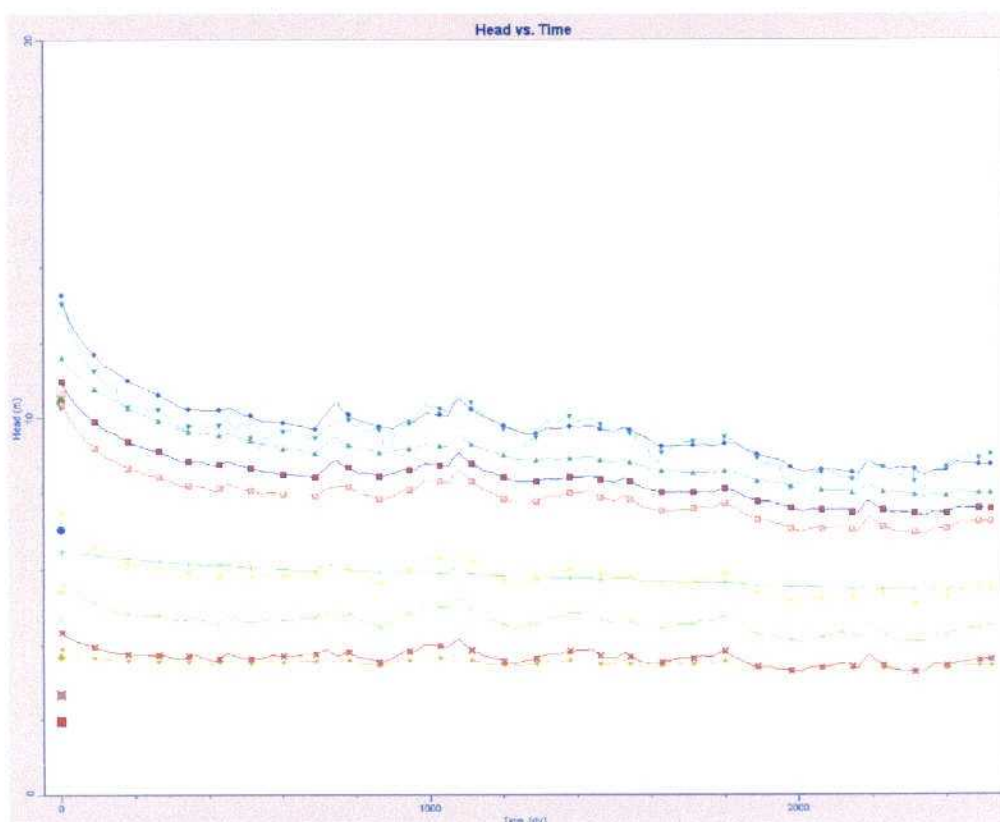


Figura 4.18. - Evolución de niveles piezométricos en el sector de Los Cabezos (Simulación_2_1)

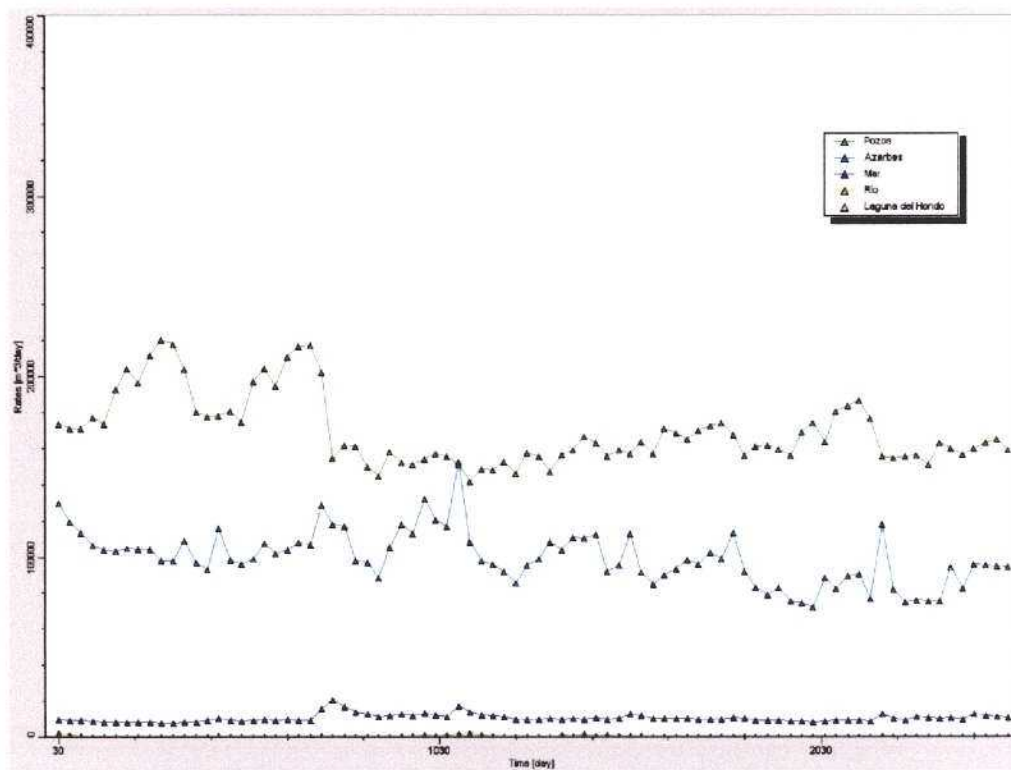


Figura 4.19. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_2_1)

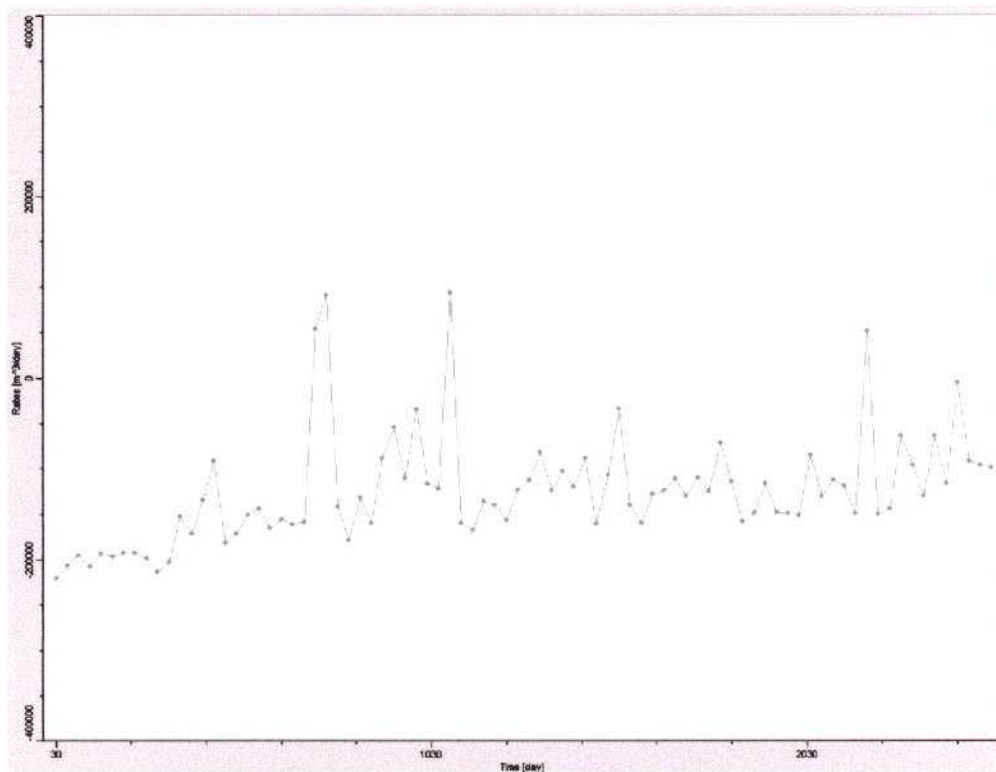


Figura 4.20. - Evolución de la variación de almacenamiento en la Vega Baja (Simulación_2_1)

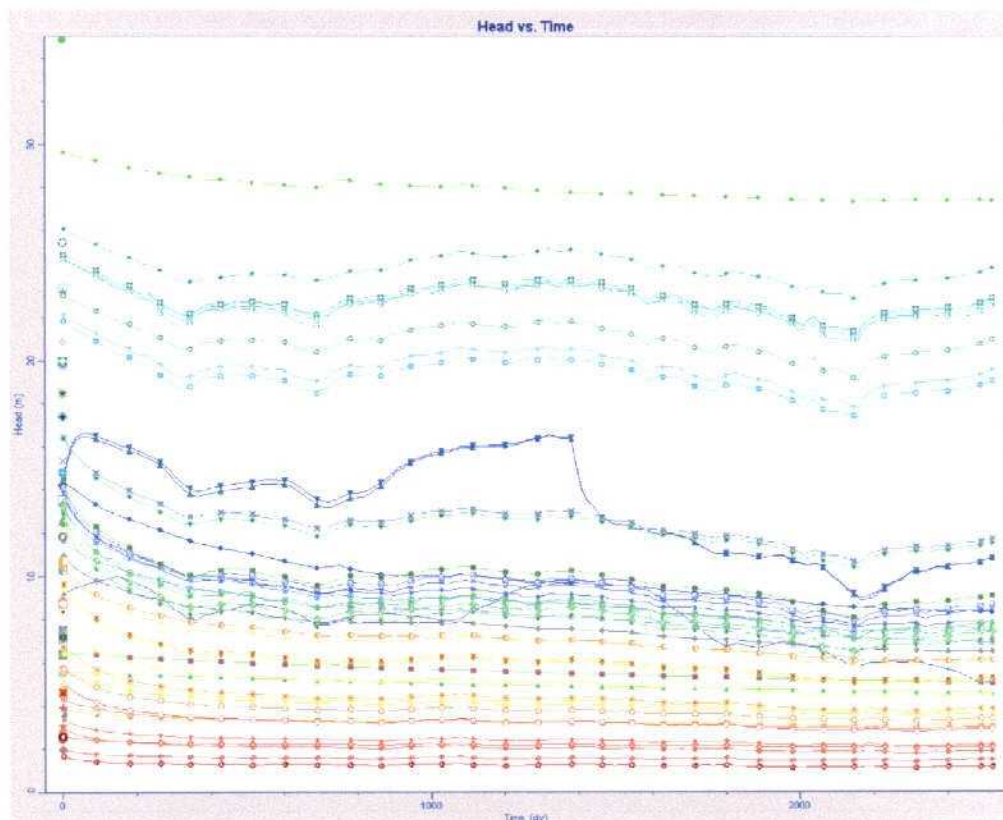


Figura 4.21. - Evolución de niveles piezométricos en la Vega Baja (Simulación_2_2)

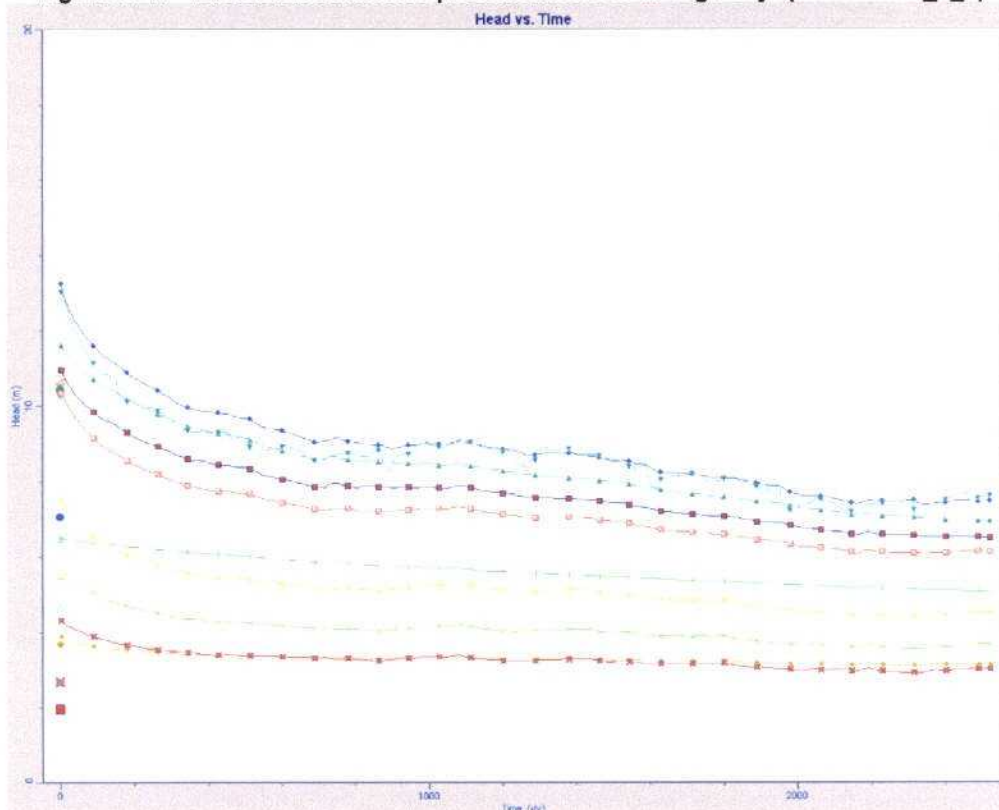


Figura 4.22. - Evolución de niveles piezométricos en el sector de Los Cabezos (Simulación_2_2)

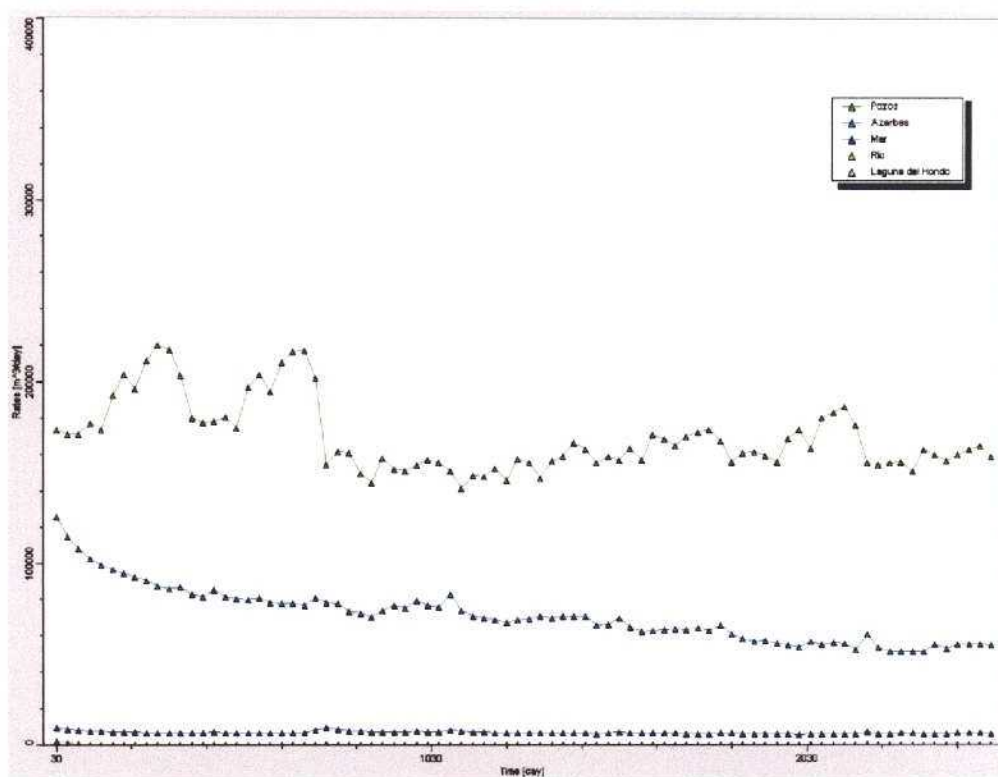


Figura 4.23. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_2_2)

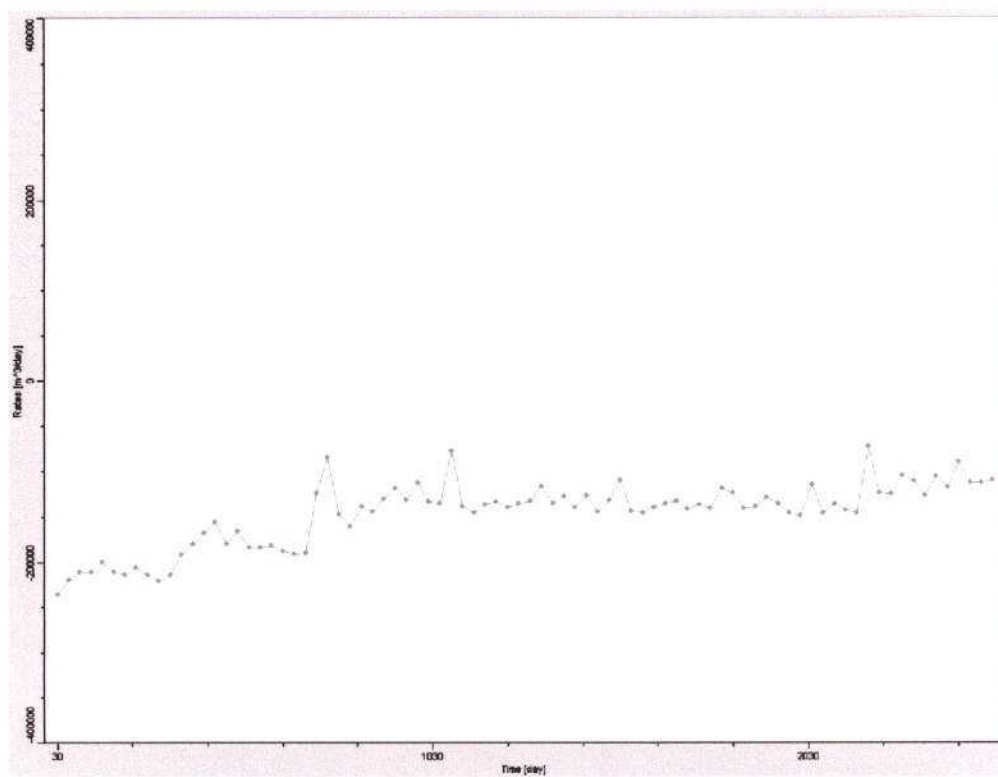


Figura 4.24. - Evolución de la variación de almacenamiento en la Vega Baja (Simulación_2_2)

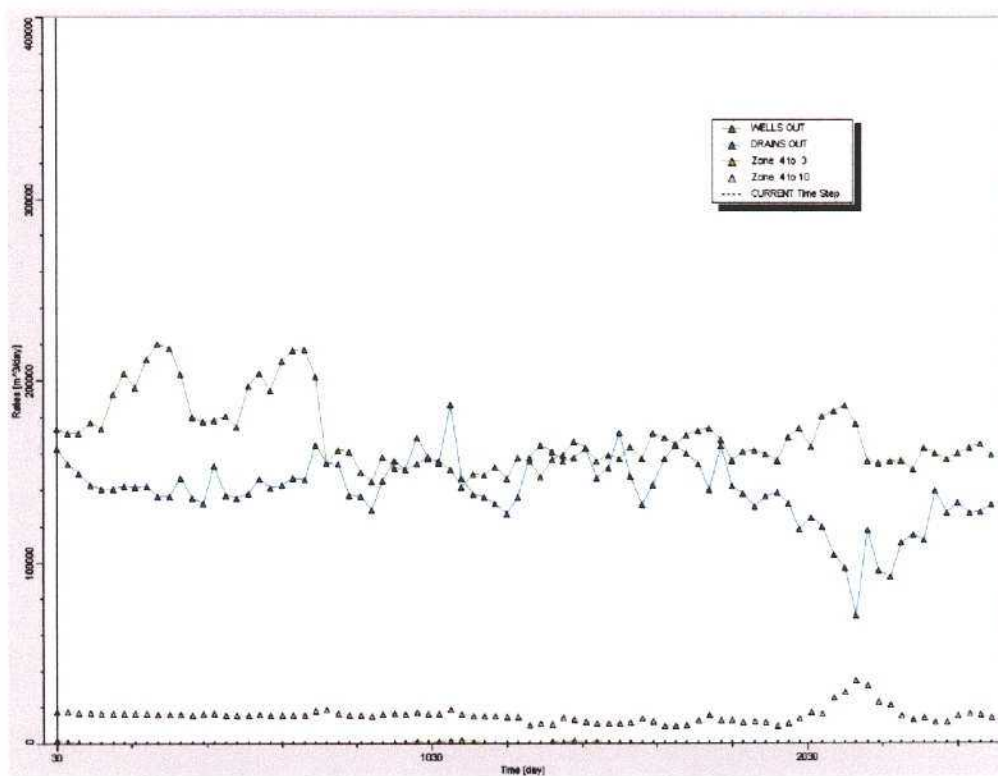


Figura 4.25. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_2_3)

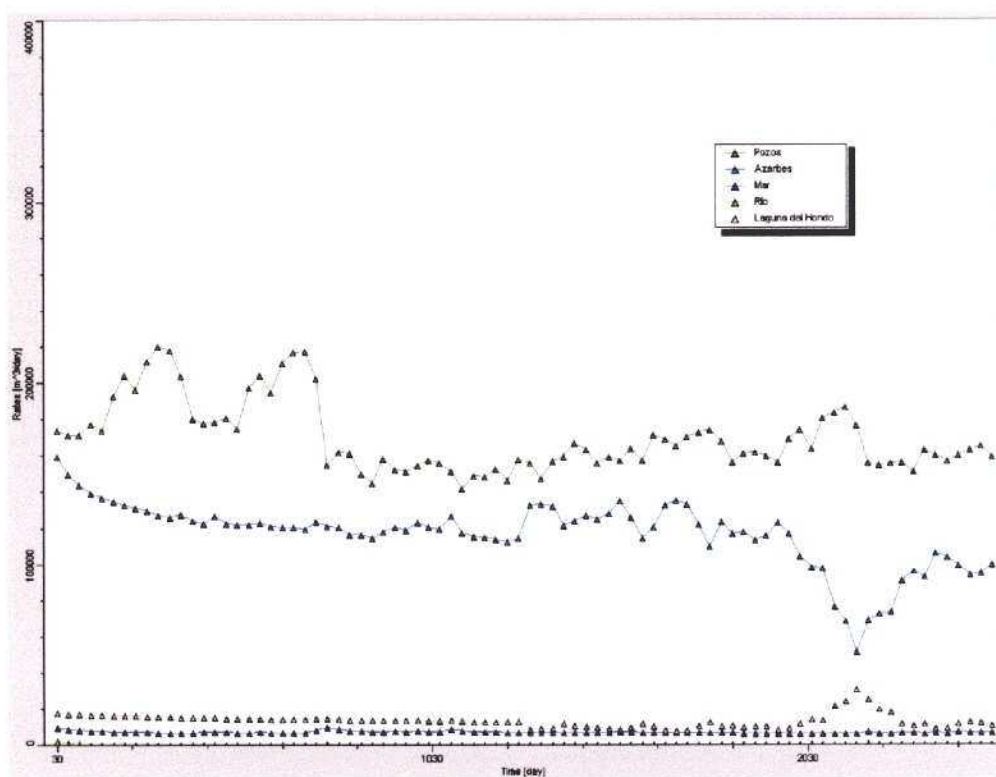


Figura 4.26. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_2_4)

Los resultados obtenidos en las simulaciones correspondientes a este escenario, ponen de manifiesto un descenso significativo en los niveles piezométricos aguas abajo de la población de Orihuela (de 3 a 5 m en el sector de Los Cabezos). Los descensos son menos significativos a medida que nos acercamos al mar (Figuras 4.17 y 4.18). Con respecto al balance, el drenaje por los azarbes disminuye hasta unos 34 hm³/año (Figura 4.19) y la variación en el almacenamiento se hace todavía más negativa (Figura 4.20) (Simulación_2_1). Por otro lado, si consideramos una recarga del 25% los niveles descienden todavía algo más aguas abajo de la población de Orihuela (de 4 a 6 m en el sector de Los Cabezos; Figura 4.22) y el drenaje por los azarbes disminuye hasta unos 20 hm³/año (Figura 4.23) (Simulación_2_2). Finalmente, si se tiene en cuenta una descarga significativa por la Laguna del Hondo, el agua descargada por la laguna disminuye a unos 5 hm³/año (Simulación_2_3). Si, además, se considera una recarga del 25 %, los azarbes pasan de drenar 48 a 36 hm³/año y el agua descargada por la laguna disminuye hasta unos 3 hm³/año (Simulación_2_4, Figura 4.26)

Tabla 4.1c.- Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Baja (Simulación 2_1)

AÑO	ENTRADAS				SALIDAS					E-S	VARIACIÓN ALMACEN	CIERRE BALANCE
	RECARGA	RIO	LAGUNA	V. MEDIA	AZARBES	BOMBEO	RIO	LAGUNA	MAR			
1	11.88	7.34	0.08	20.22	38.77	69.31	0.13	0.01	2.90	-71.60	71.54	-0.06
2	32.18	8.35	0.07	21.16	37.60	69.96	0.03	0.04	3.39	-49.26	49.23	-0.03
3	45.67	6.41	0.09	20.72	41.26	55.46	0.13	0.05	4.81	-28.82	28.86	0.04
4	22.84	6.38	0.09	20.81	36.54	55.20	0.23	0.01	3.73	-45.59	45.56	-0.03
5	27.68	6.98	0.09	21.27	35.01	59.39	0.11	0.02	3.60	-42.11	42.15	0.04
6	17.20	7.40	0.08	21.24	29.49	60.79	0.00	0.02	3.13	-47.51	47.51	0.00
7	32.30	8.99	0.08	20.91	31.70	56.95	0.00	0.05	3.81	-30.23	30.25	0.02

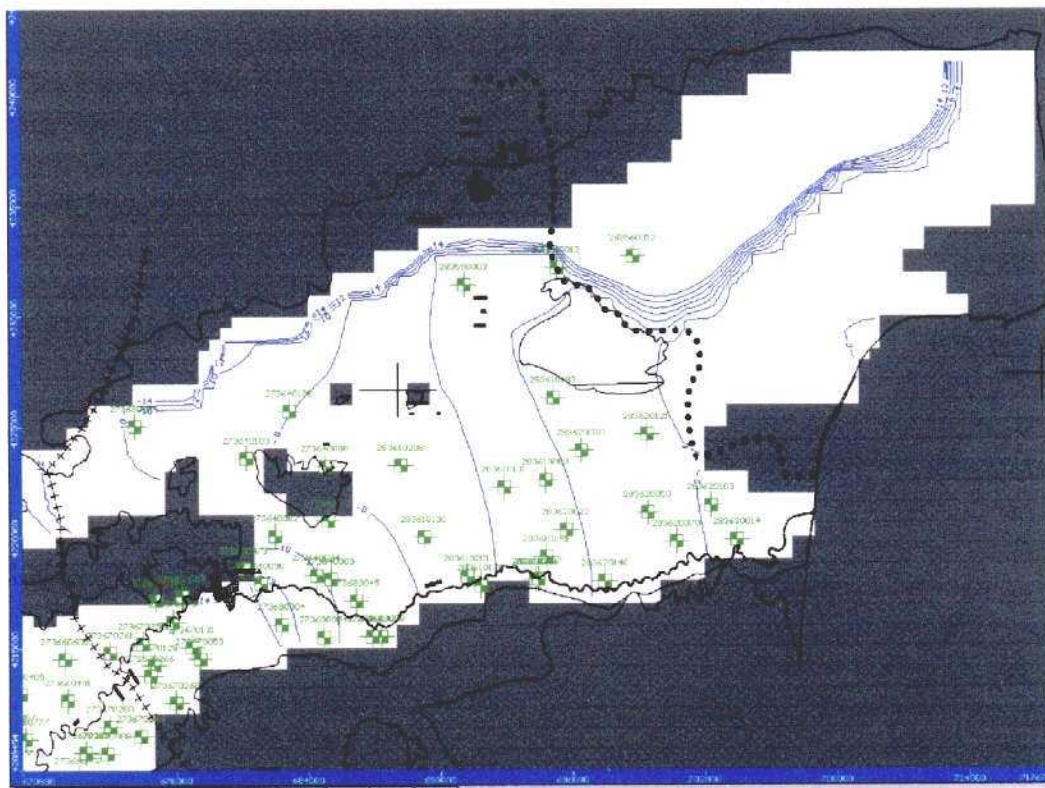


Figura 4.26b. – Isoplezas correspondientes al último paso de tiempo para la Simulación_2_1

4.3.3 Escenario 3: “Los Cabezos” y plantas desaladoras (bombeo no constante y continuo)

En este escenario además de considerar el bombeo evaluado durante el periodo 1994-2001 (régimen transitorio) se tiene en cuenta un bombeo adicional tanto en el Pozo “Los Cabezos” como en los pozos previstos para la instalación de las plantas desaladoras. En este caso, se supone un bombeo no constante y continuo durante todo el periodo simulado. Para ello se ha supuesto que durante los dos primeros años los pozos adicionales extraen el 100% del caudal previsto (500 l/s en “Los Cabezos” y 32 hm³/año en las plantas desaladoras) mientras que a partir del segundo año sólo extraen el 50% de dicho caudal. Las simulaciones realizadas para este escenario han sido las siguientes:

Simulación 3_1: considerando pozos, azarbes y río.

Simulación 3_2: considerando un 25 % de recarga.

Simulación 3_3: considerando descarga Laguna del Hondo

Simulación 3_4: considerando un 25 % de recarga y descarga Laguna del Hondo.

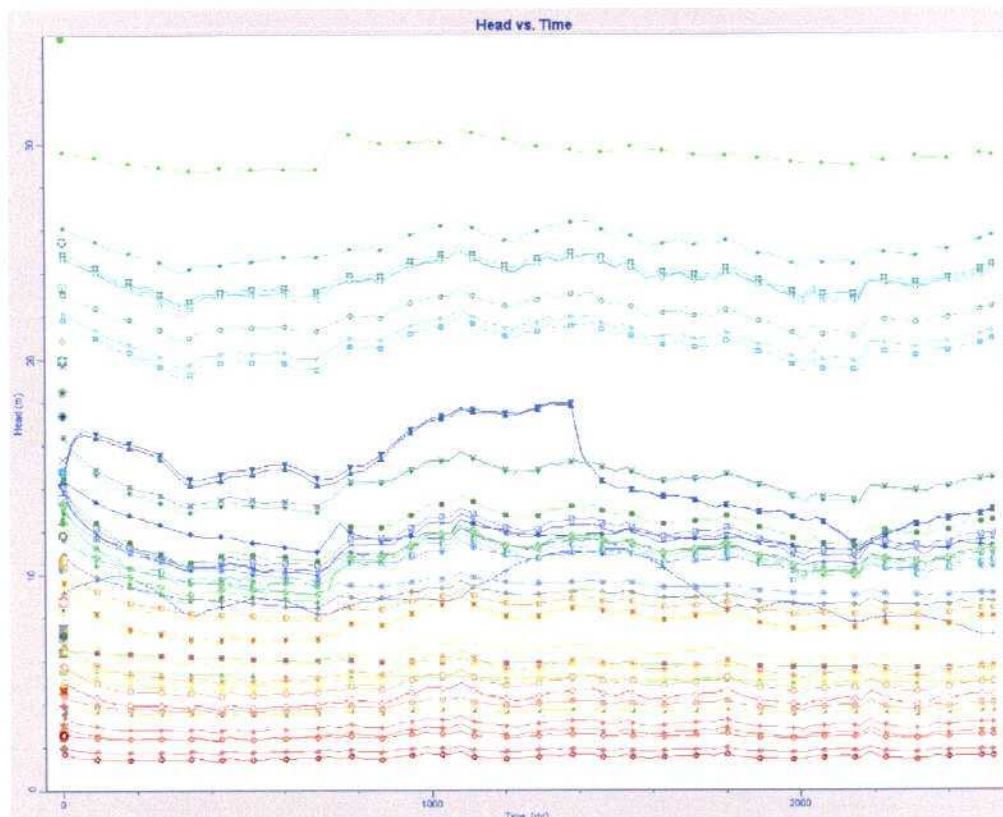


Figura 4.27. - Evolución de niveles piezométricos en la Vega Baja (Simulación_3_1)

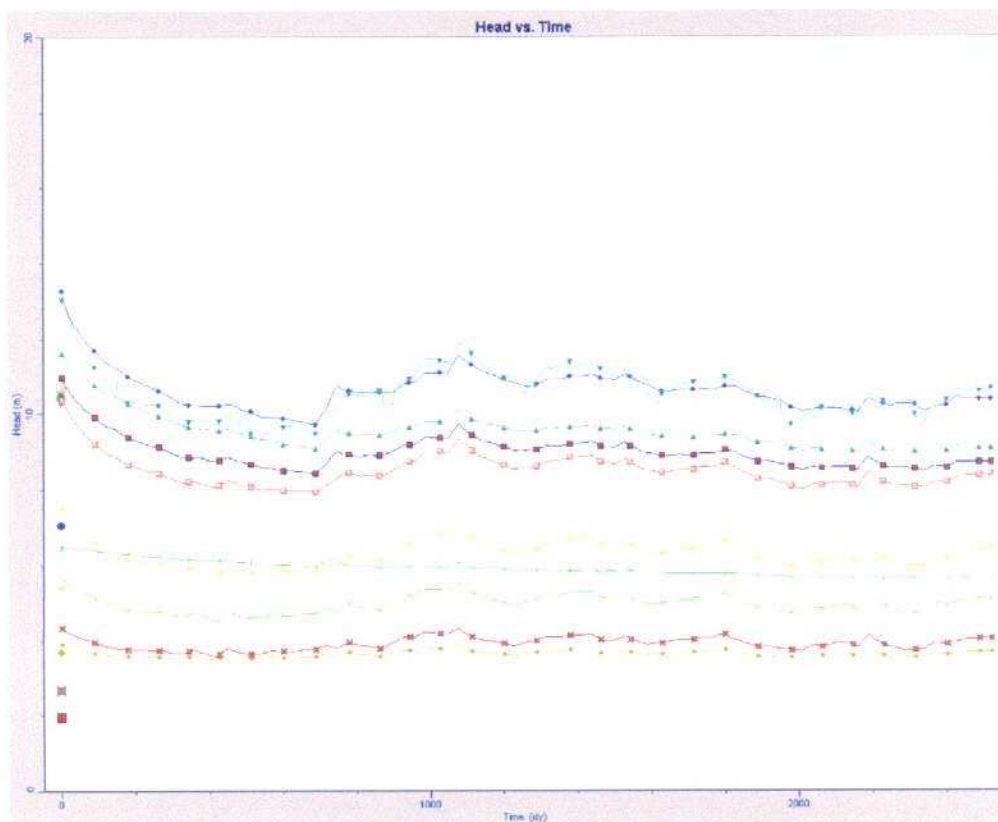


Figura 4.28. - Evolución de niveles piezométricos en el sector de Los Cabezos (Simulación_3_1)

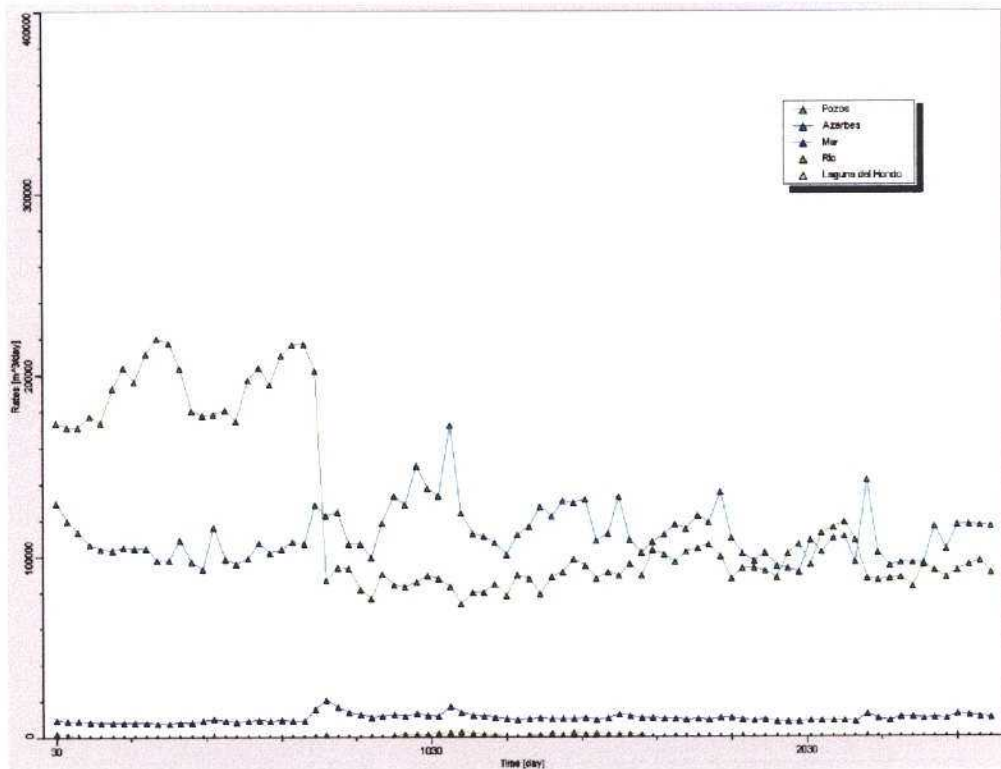


Figura 4.29. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_3_1)

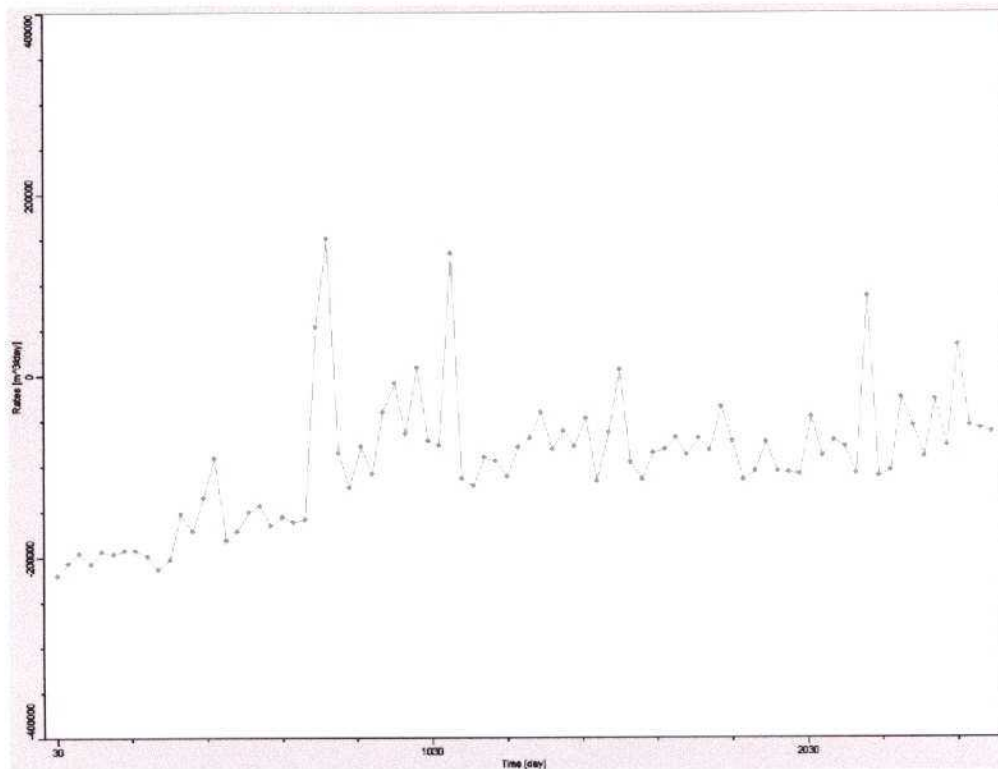


Figura 4.30. - Evolución de la variación de almacenamiento en la Vega Baja (Simulación_3_1)

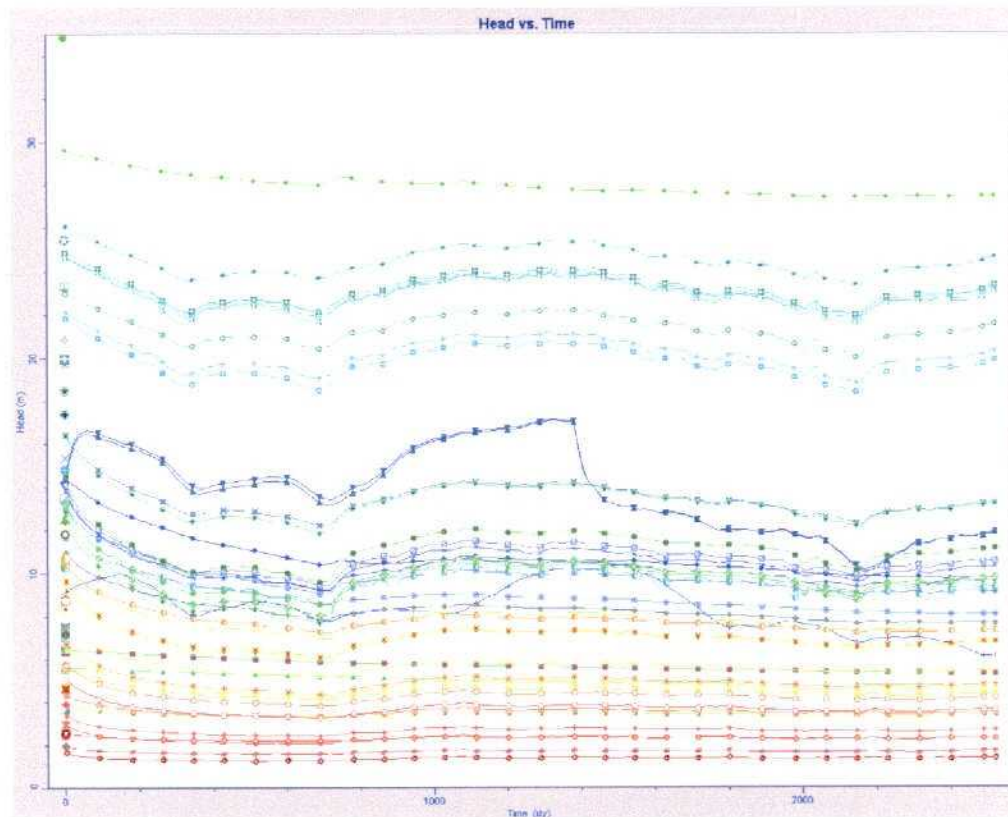


Figura 4.31. - Evolución de niveles piezométricos en la Vega Baja (Simulación_3_2)

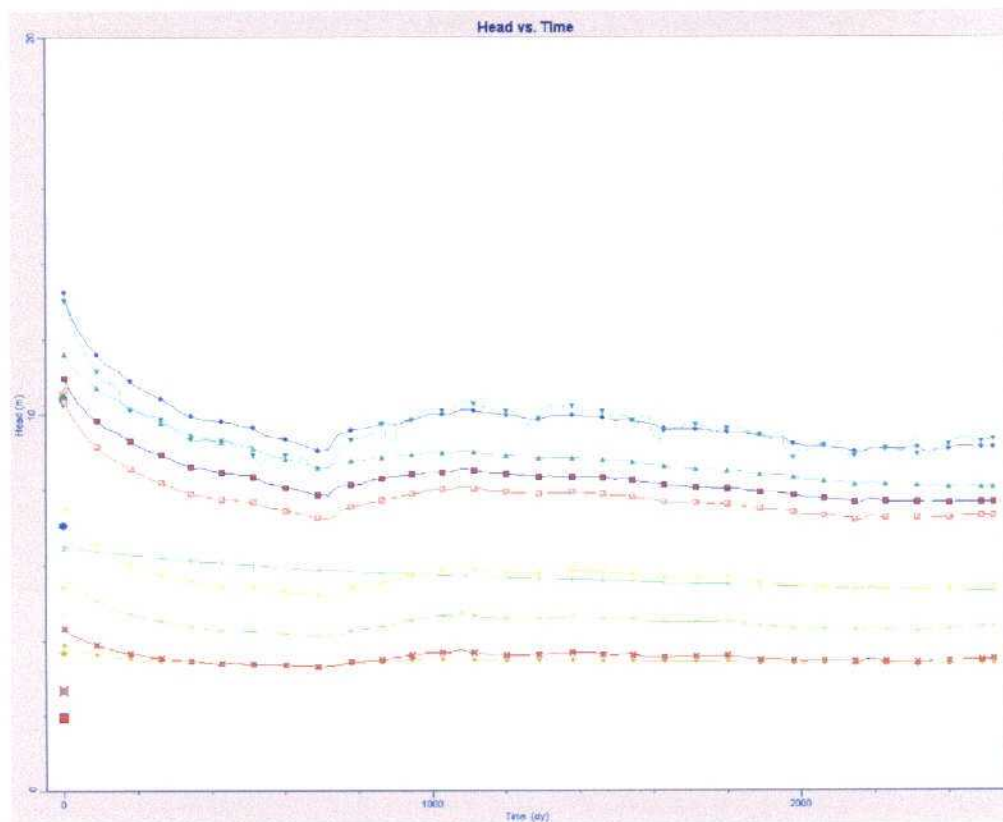


Figura 4.32. - Evolución de niveles piezométricos en el sector de Los Cabezos (Simulación_3_2)

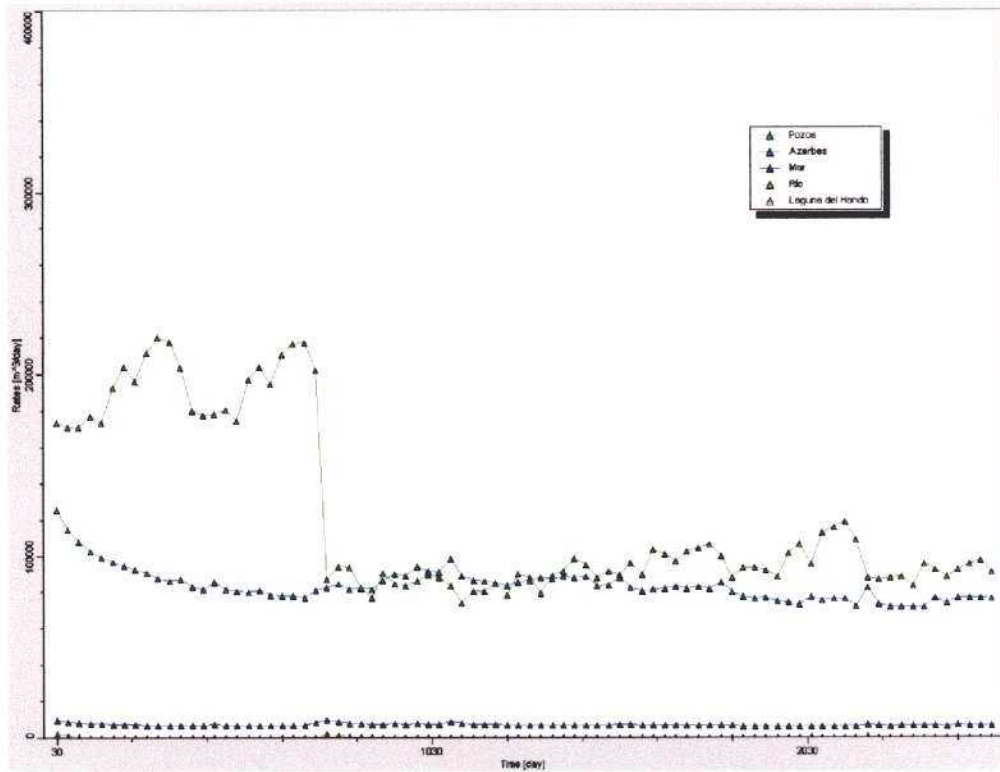


Figura 4.33. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_3_2)

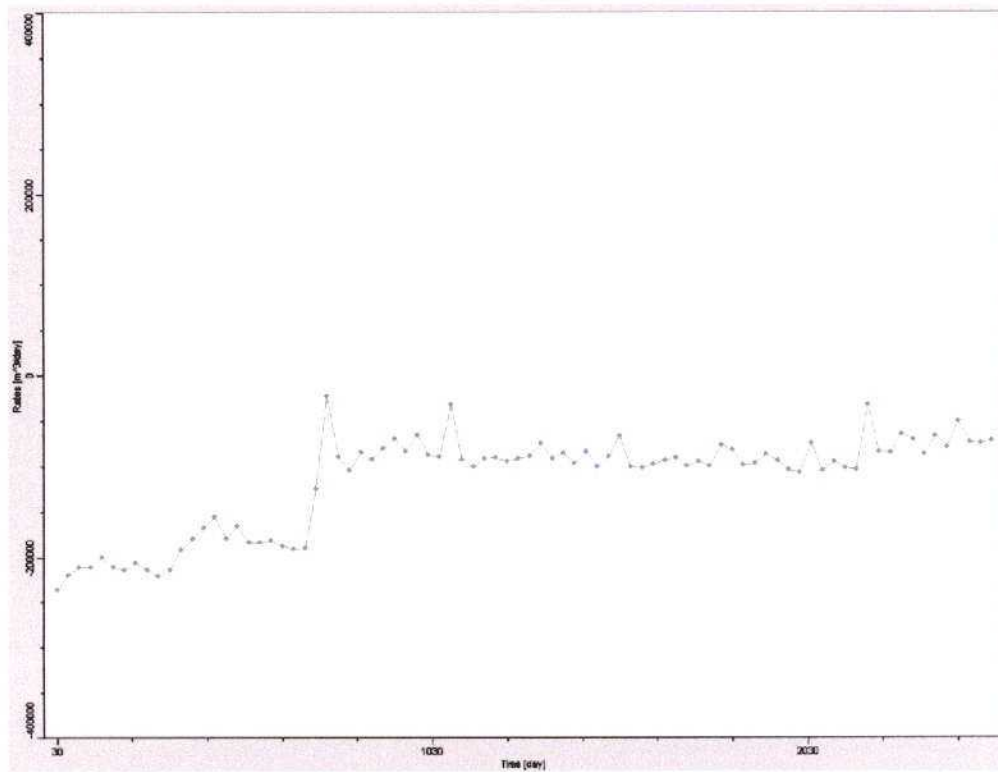


Figura 4.34. - Evolución de la variación de almacenamiento en la Vega Baja (Simulación_3_2)

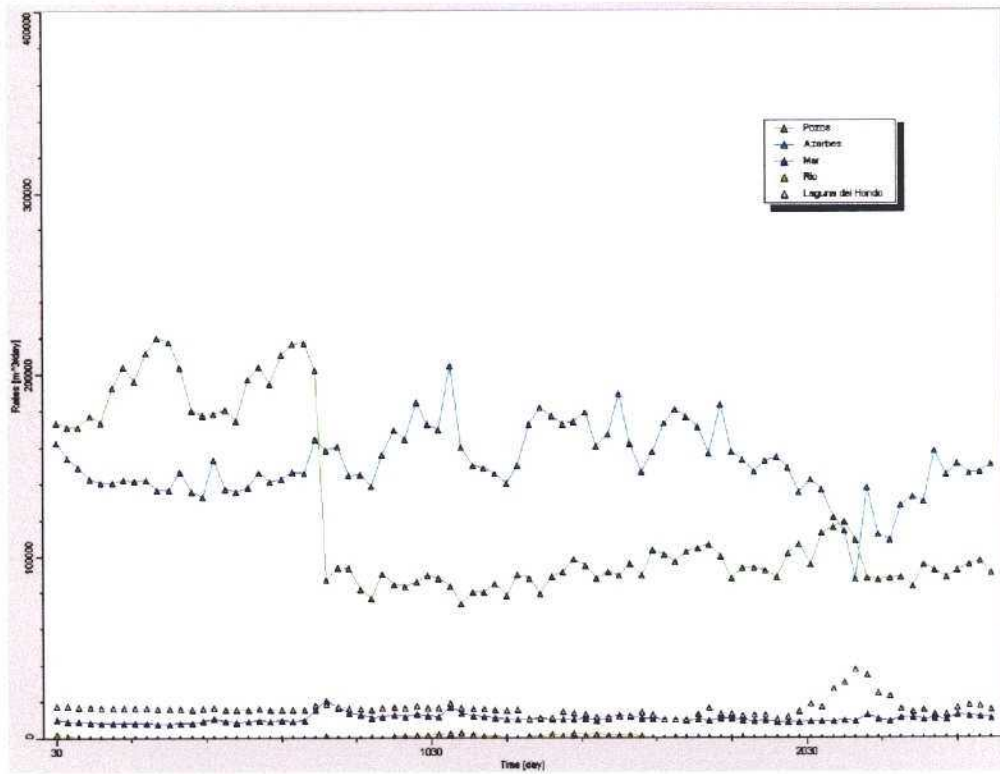


Figura 4.35. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_3_3)

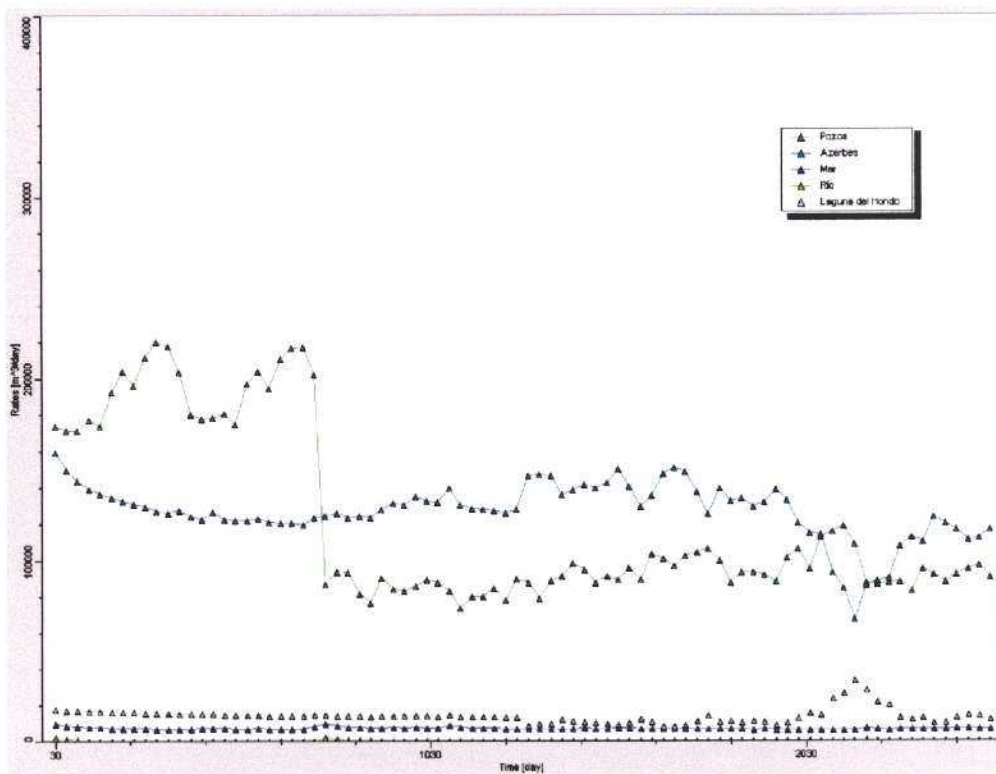


Figura 4.36. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_3_4)

Los resultados obtenidos en las simulaciones correspondientes a este escenario, ponen de manifiesto un descenso significativo en los niveles piezométricos aguas abajo de la población de Orihuela, aunque algo menor con respecto al escenario anterior (de 2 a 2,5 m en el sector de Los Cabezos). Los descensos son menos significativos a medida que nos acercamos al mar (Figuras 4.27 y 4.28). Con respecto al balance, el drenaje por los azarbes disminuye hasta unos 42 hm³/año (Figura 4.29), valor superior a los 36 hm³/año obtenidos en el escenario anterior, mientras que la variación en el almacenamiento tiende a ser menos negativa a partir del segundo año. Por otro lado, si consideramos una recarga del 25% los niveles descienden todavía algo más aguas abajo de la población de Orihuela (de 3 a 4 m en el sector de Los Cabezos; Figura 4.32) y el drenaje por los azarbes disminuye hasta unos 28 hm³/año (Figura 4.33), caudal mayor con respecto a los 20 hm³/año obtenidos en el escenario anterior. Finalmente, si se tiene en cuenta una descarga significativa por la Laguna del Hondo, el agua descargada por la laguna disminuye a unos 5 hm³/año (Simulación 3_3). Si, además, se considera una recarga del 25 %, los azarbes pasan de drenar 55 a 42 hm³/año y el agua descargada por la laguna disminuye hasta unos 4,5 hm³/año (Simulación 3_4, Figura 4.36).

Tabla 4.1d.- Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Baja (Simulación 3_1)

AÑO	ENTRADAS				SALIDAS					E-S	VARIACIÓN ALMACEN	CIERRE BALANCE
	RECARGA	RIO	LAGUNA	V. MEDIA	AZARBES	BOMBEO	RIO	LAGUNA	MAR			
1	11.88	7.34	0.08	20.22	38.77	69.31	0.12	0.01	2.90	-71.59	71.54	-0.05
2	32.18	8.35	0.07	21.16	37.60	69.96	0.01	0.04	3.39	-49.24	49.23	-0.01
3	45.67	5.39	0.09	20.02	45.94	31.06	0.35	0.05	4.84	-11.07	11.10	0.03
4	22.84	5.02	0.08	19.85	42.67	30.79	0.47	0.02	3.76	-29.92	29.91	-0.01
5	27.68	5.76	0.08	20.14	41.74	34.98	0.29	0.02	3.64	-27.01	27.06	0.05
6	17.20	6.46	0.07	19.84	36.55	36.38	0.02	0.02	3.18	-32.58	32.57	-0.01
7	32.30	7.42	0.07	19.61	39.45	32.54	0.01	0.05	3.86	-16.51	16.52	0.01

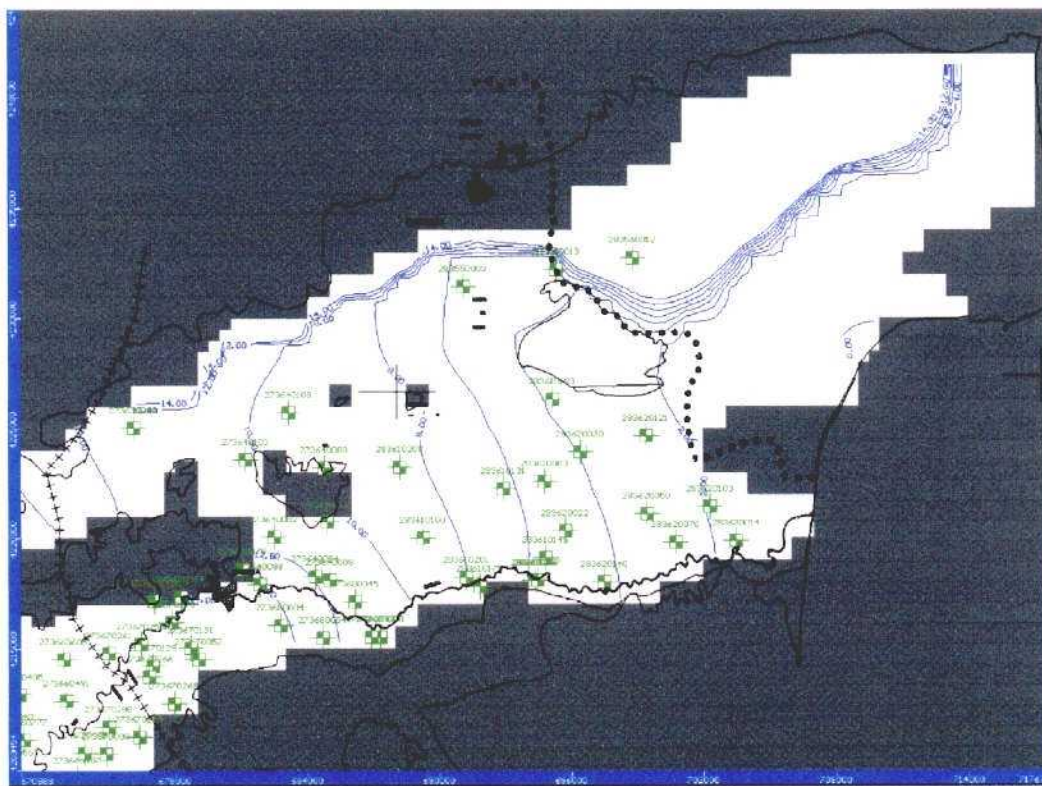


Figura 4.36b. – Isopiezas correspondientes al último paso de tiempo para la Simulación_3_1

4.3.4 Escenario 4: “Los Cabezos” y plantas desaladoras (bombeo constante y no continuo)

En este escenario además de considerar el bombeo evaluado durante el periodo 1994-2001 (régimen transitorio) se tiene en cuenta un bombeo adicional tanto en el Pozo “Los Cabezos” como en los pozos previstos para la instalación de las plantas desaladoras. En este caso, se supone un bombeo constante pero sólo durante los dos primeros años (500 l/s en “Los Cabezos” y 32 hm³/año en las plantas desaladoras). Las simulaciones realizadas para este escenario han sido las siguientes:

Simulación 4_1: considerando pozos, azarbes y río.

Simulación 4_2: considerando un 25 % de recarga.

Simulación 4_3: considerando descarga Laguna del Hondo

Simulación 4_4: considerando un 25 % de recarga y descarga Laguna del Hondo.

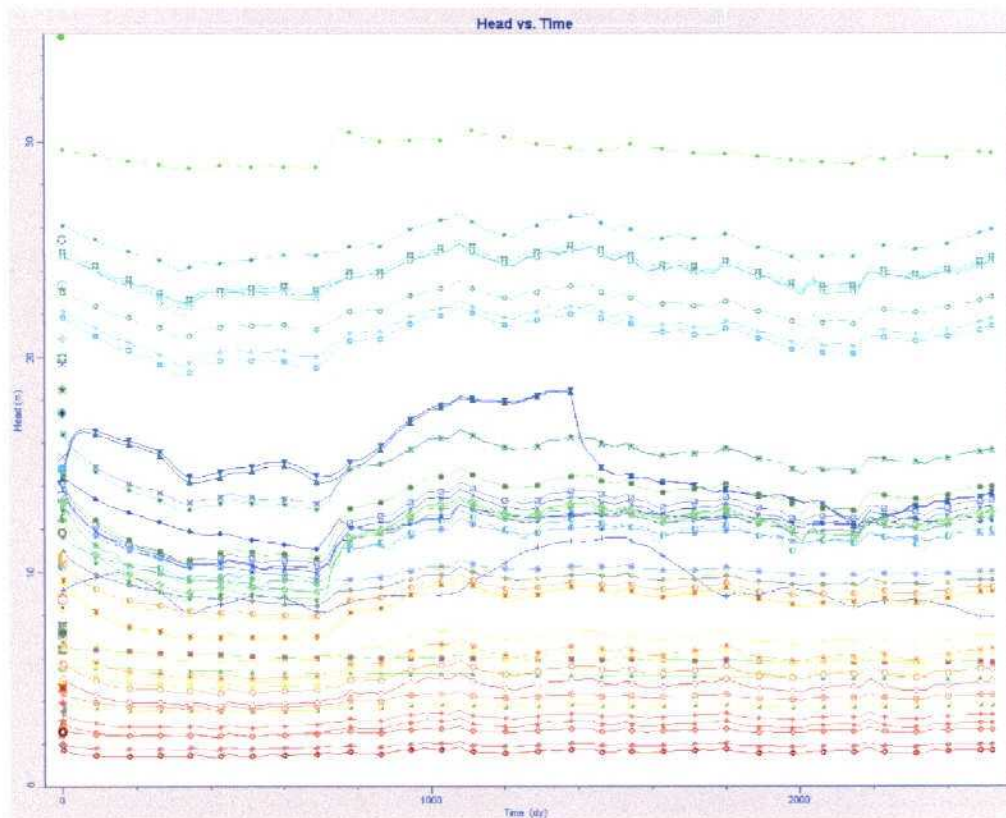


Figura 4.37. - Evolución de niveles piezométricos en la Vega Baja (Simulación_4_1)

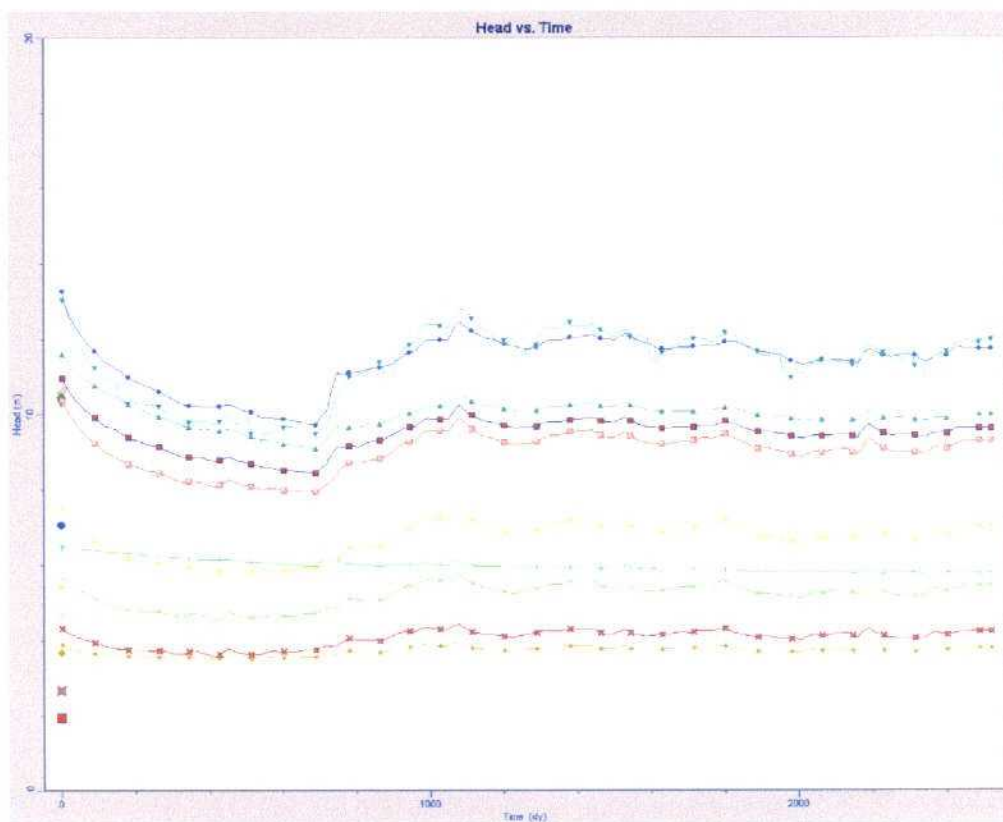


Figura 4.38. - Evolución de niveles piezométricos en el sector de Los Cabezos (Simulación_4_1)

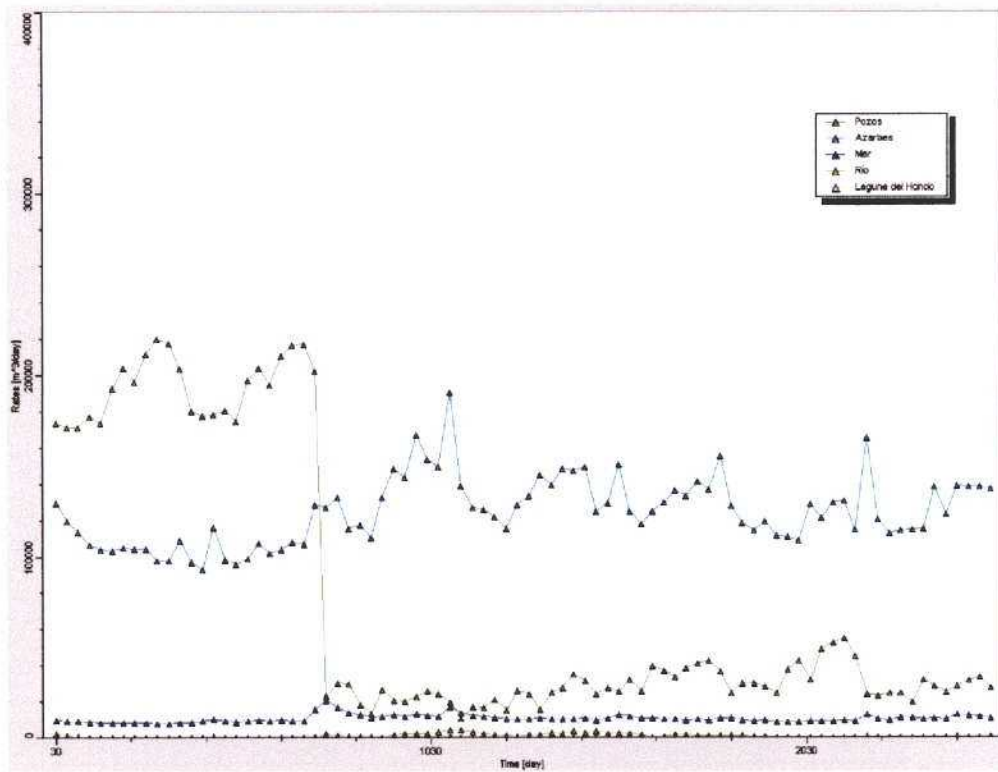


Figura 4.39. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_4_1)

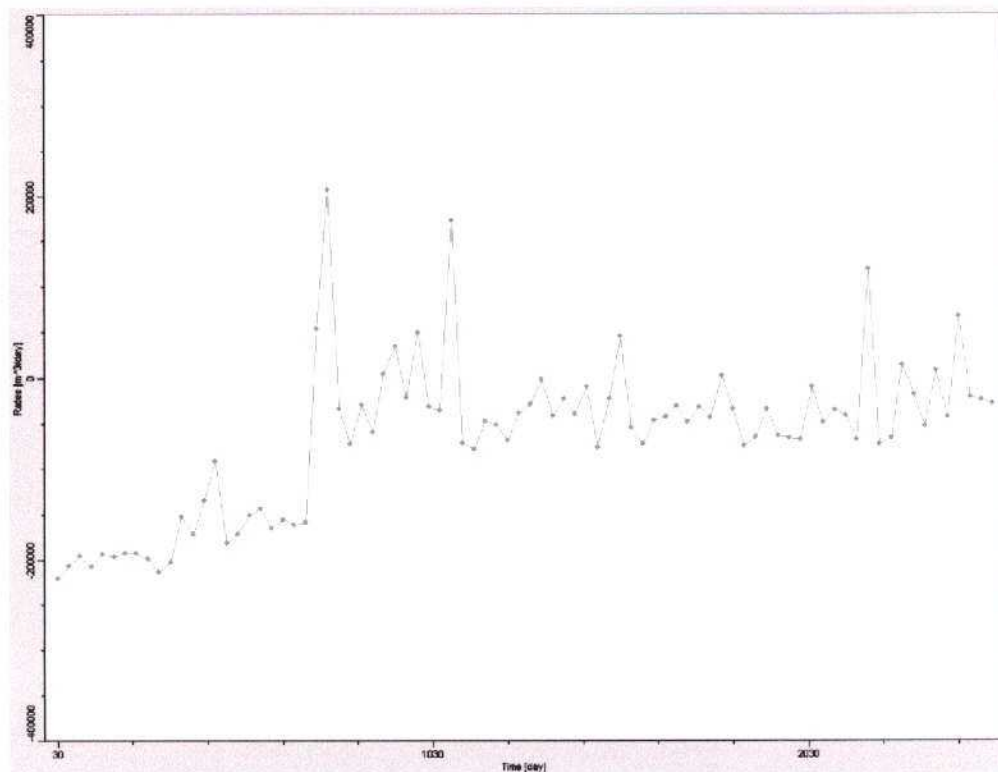


Figura 4.40. - Evolución de la variación de almacenamiento en la Vega Baja (Simulación_4_1)

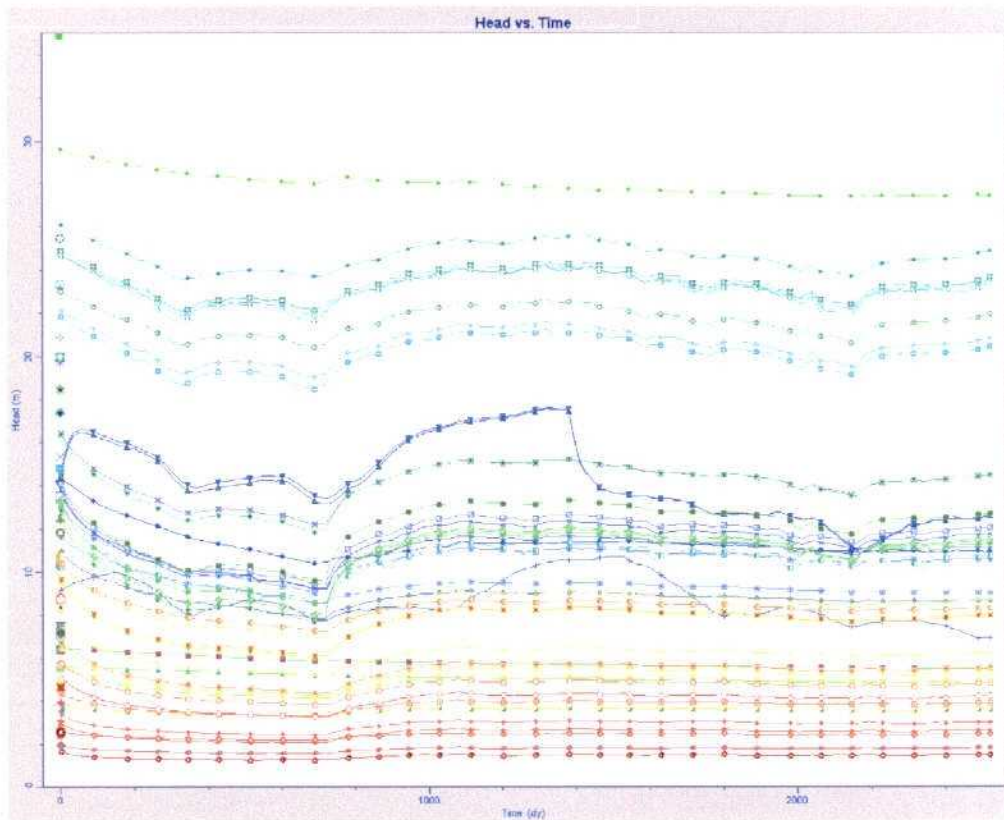


Figura 4.41. - Evolución de niveles piezométricos en la Vega Baja (Simulación_4_2)

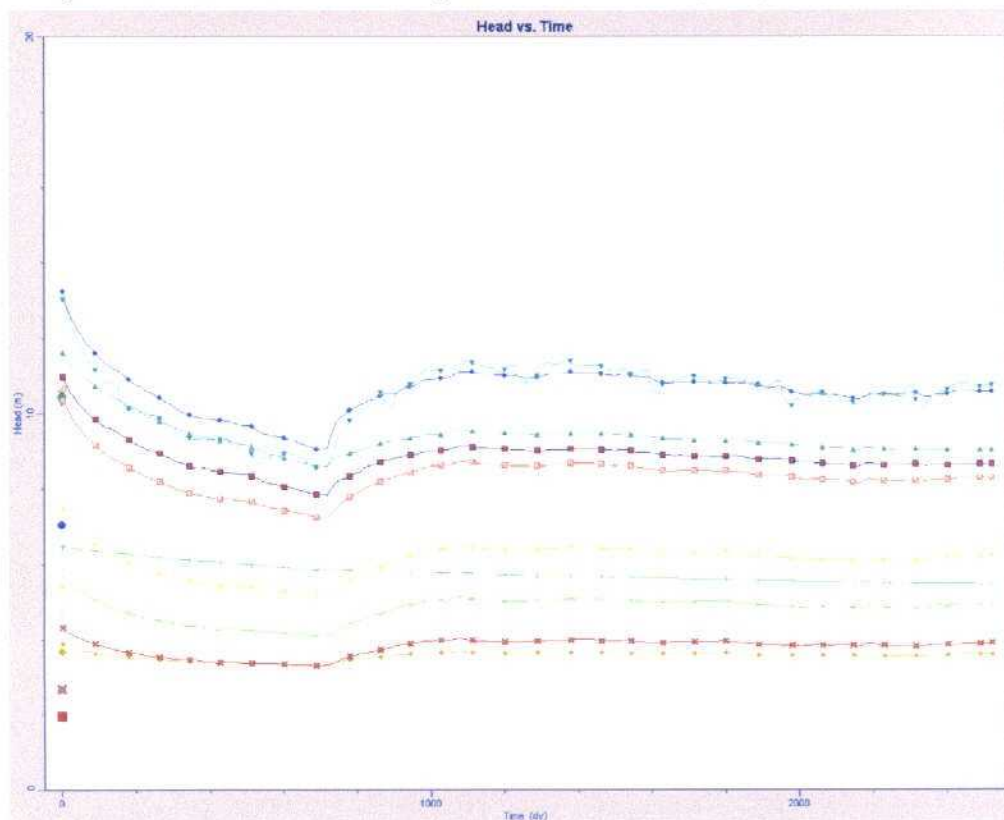


Figura 4.42. - Evolución de niveles piezométricos en el sector de Los Cabezos (Simulación_4_2)

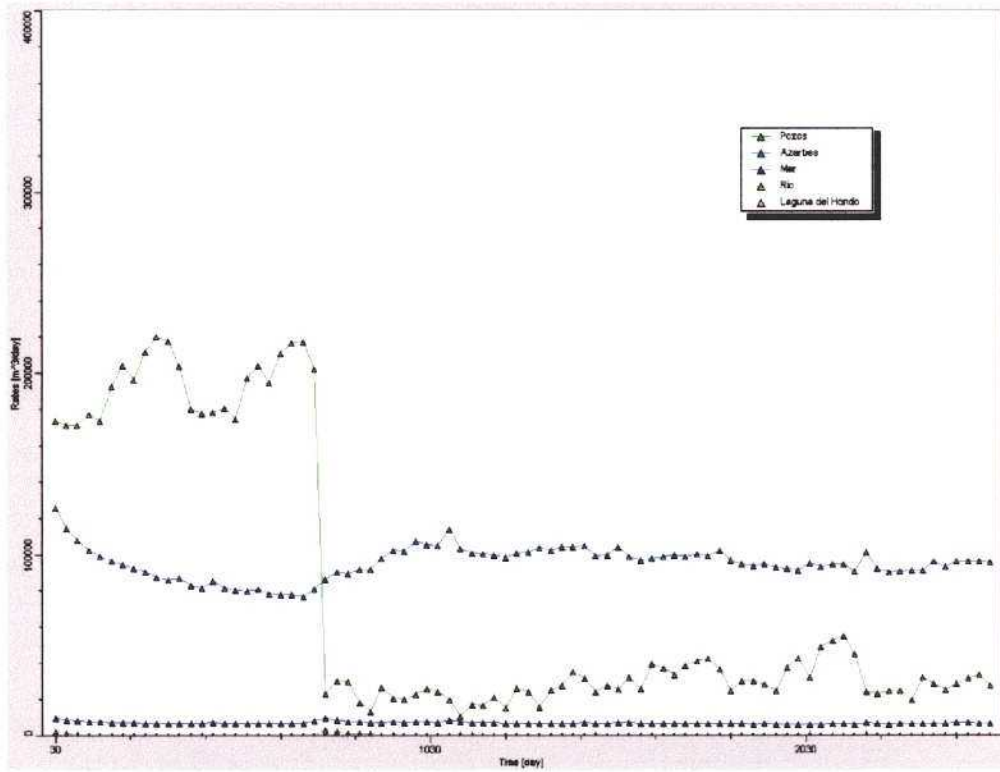


Figura 4.43. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_4_2)

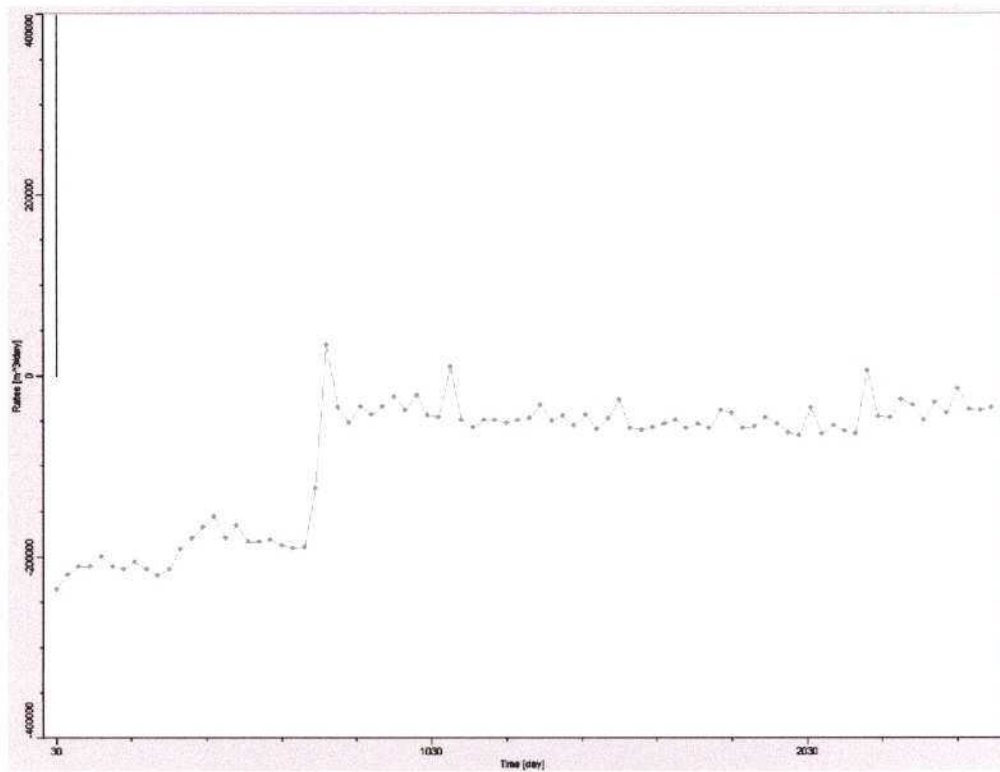


Figura 4.44. - Evolución de la variación de almacenamiento en la Vega Baja (Simulación_4_2)

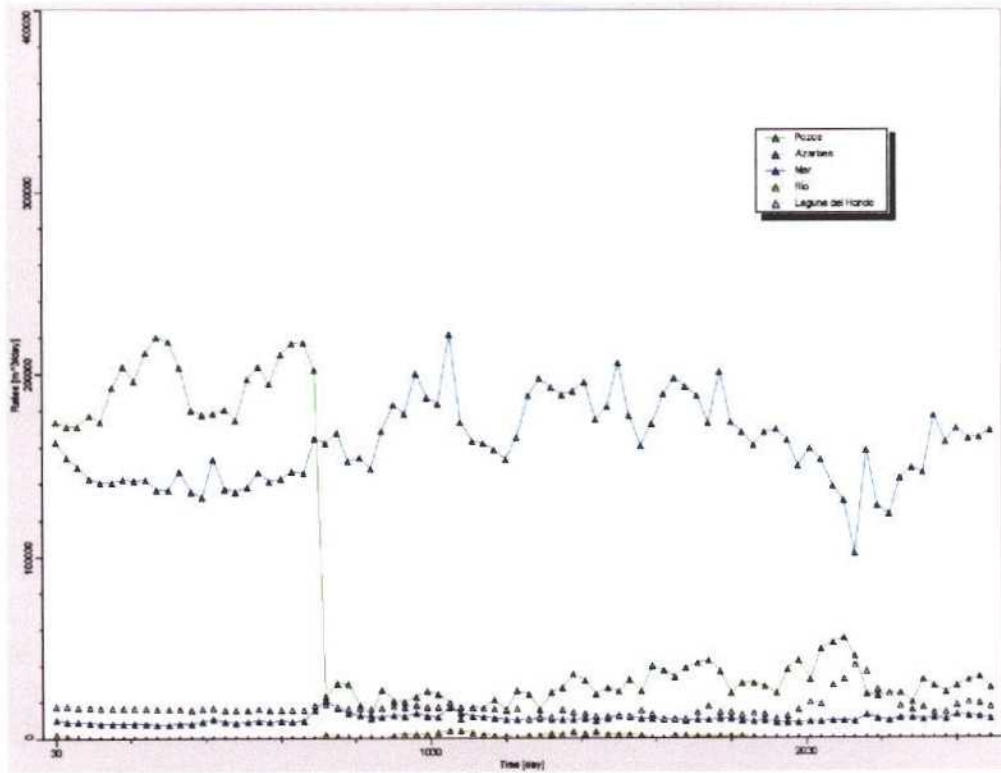


Figura 4.45. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_4_3)

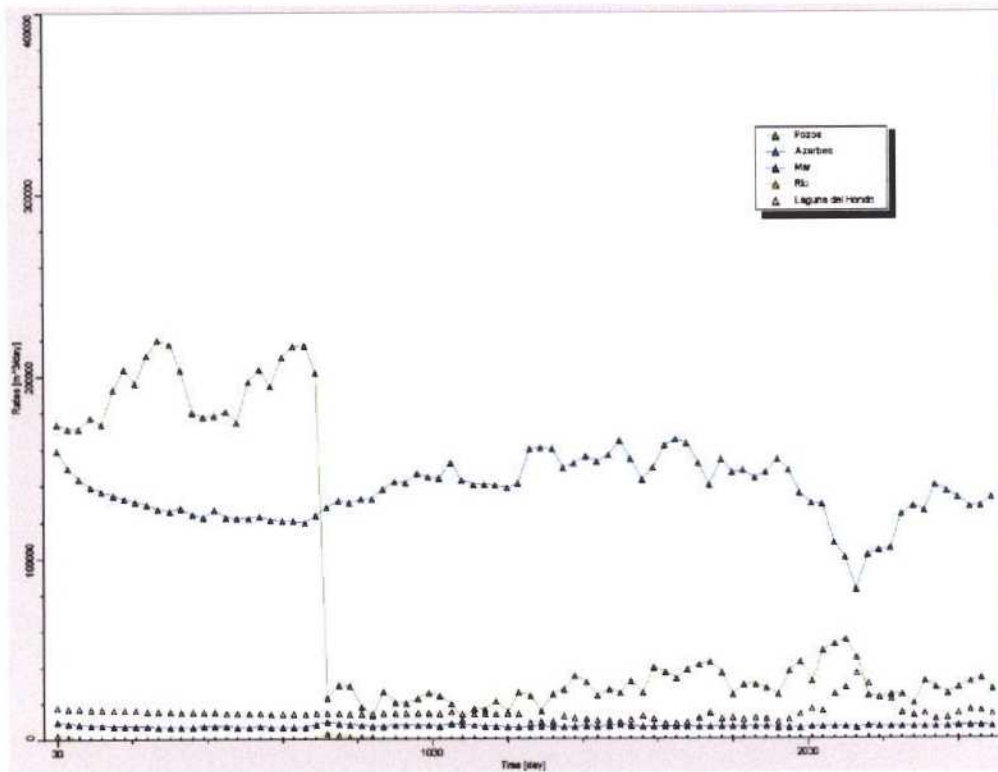


Figura 4.46. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_4_4)

Los resultados obtenidos en las simulaciones correspondientes a este escenario, ponen de manifiesto un descenso significativo en los niveles piezométricos aguas abajo de la población de Orihuela, similar aunque ligeramente menor con respecto al escenario anterior (Figuras 4.37 y 4.38). Con respecto al balance, el drenaje por los azarbes aumenta hasta unos 50 hm³/año (Figura 4.39), mientras que la variación en el almacenamiento tiende a ser menos negativa a partir del segundo año. Por otro lado, si consideramos una recarga del 25% los niveles descienden todavía algo más aguas abajo de la población de Orihuela, aunque menos si se compara con el escenario anterior (Figuras 4.41 y 4.42). El drenaje por los azarbes disminuye hasta unos 35 hm³/año (Figura 4.43), valor superior a los 28 hm³/año obtenidos en el escenario anterior. Finalmente, si se tiene en cuenta una descarga significativa por la Laguna del Hondo, el agua descargada por la laguna disminuye a unos 6 hm³/año (Simulación 4_3; Figura 4.45) ligeramente superior a los 5 hm³/año obtenidos en el escenario anterior. Si, además, se considera una recarga del 25 %, los azarbes pasan de drenar 48 hm³/año y el agua descargada por la laguna disminuye hasta unos 5 hm³/año (Simulación 4_4, Figura 4.46).

Tabla 4.1e.- Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Baja (Simulación 4_1)

AÑO	ENTRADAS				SALIDAS					E-S	VARIACIÓN ALMACEN	CIERRE BALANCE
	RECARGA	RIO	LAGUNA	V. MEDIA	AZARBES	BOMBEO	RIO	LAGUNA	MAR			
1	11.88	7.34	0.08	20.22	38.77	69.31	0.12	0.01	2.90	-71.59	71.54	-0.05
2	32.18	8.35	0.07	21.16	37.60	69.96	0.00	0.04	3.39	-49.23	49.23	0.00
3	45.67	4.50	0.08	19.45	50.57	8.20	0.58	0.05	4.85	5.45	-5.38	0.07
4	22.84	3.86	0.08	19.09	48.58	7.94	0.76	0.02	3.78	-15.21	15.21	0.00
5	27.68	4.64	0.08	19.29	48.10	12.13	0.53	0.02	3.67	-12.76	12.88	0.12
6	17.20	5.49	0.06	18.81	43.08	13.53	0.09	0.02	3.21	-18.37	18.36	-0.01
7	32.30	5.91	0.07	18.66	46.72	9.69	0.04	0.05	3.88	-3.44	3.50	0.06

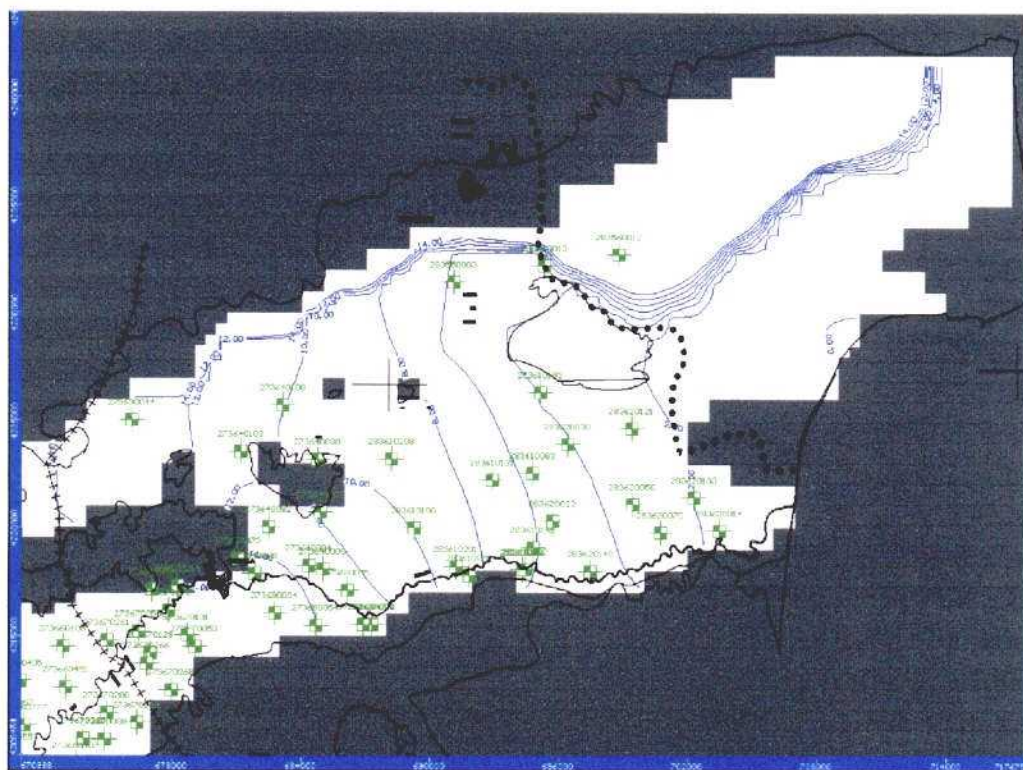


Figura 4.46b. – Isopiezas correspondientes al último paso de tiempo para la Simulación_4_1

4.3.5 Escenario 5: “Los Cabezos” y plantas desaladoras (bombeo variable según demanda y continuo)

En este escenario además de considerar el bombeo evaluado durante el periodo 1994-2001 (régimen transitorio) se tiene en cuenta un bombeo adicional tanto en el Pozo “Los Cabezos” como en los pozos previstos para la instalación de las plantas desaladoras. En este caso, se supone un bombeo variable para todo el periodo simulado según la distribución mensual de la demanda obtenida durante 1994-96. Dicha distribución se ha obtenido calculando el porcentaje correspondiente a cada mes a partir de la suma total del caudal bombeado durante el periodo 1994-96 (Tabla 4.2) y aplicando dicho porcentaje a los caudales previstos tanto para las plantas desaladoras (Tabla 4.1) como para el pozo “Los Cabezos” (500 l/s) (Tabla 4.3). Las simulaciones realizadas para este escenario han sido las siguientes:

Simulación 5_1: considerando pozos, azarbes y río.

Simulación 5_2: considerando un 25 % de recarga.

Simulación 5_3: considerando descarga Laguna del Hondo

Simulación 5_4: considerando un 25 % de recarga y descarga Laguna del Hondo.

Tabla 4.2 – Porcentajes mensuales obtenidos a partir del bombeo evaluado durante el periodo 1994-96.

FECHA	PASOS DE TIEMPO (MODELO)		m ³ /mes	%
oct-94	0	30	1276851	2.84
nov-94	30	60	1202089	2.67
dic-94	60	90	1193022	2.65
ene-95	90	120	1371873	3.05
feb-95	120	150	1268505	2.82
mar-95	150	180	1847609	4.11
abr-95	180	210	2193390	4.88
may-95	210	240	1947198	4.33
jun-95	240	270	2411709	5.37
jul-95	270	300	2664875	5.93
ago-95	300	330	2602585	5.79
sep-95	330	360	2173207	4.83
oct-95	360	390	1468276	3.27
nov-95	390	420	1392101	3.10
dic-95	420	450	1401236	3.12
ene-96	450	480	1477000	3.29
feb-96	480	510	1306169	2.91
mar-96	510	540	1985188	4.42
abr-96	540	570	2197431	4.89
may-96	570	600	1905892	4.24
jun-96	600	630	2390790	5.32
jul-96	630	660	2567826	5.71
ago-96	660	690	2575517	5.73
sep-96	690	720	2132013	4.74
		Total	44952352	

Tabla 4.3 – Caudales obtenidos al aplicar los porcentajes mensuales anteriores a las pozos previstos para las plantas desaladoras y al Pozo "Los Cabezos".

FECHA	PASOS DE TIEMPO (MODELO)		BNF-1	BCC1-BCC2-CTR1-CTR2-CPN1-CPN2-DYN1-DYN2	CLS1-SDB1-SDB2-JCR1-JCR2-JCR3	MRD1-MRD2-MRD3	LOS CABEZOS
oct-94	0	30	-4090	-1472	-2945	-5890	-29450
nov-94	30	60	-3851	-1386	-2773	-5545	-27725
dic-94	60	90	-3822	-1376	-2752	-5503	-27516
ene-95	90	120	-4395	-1582	-3164	-6328	-31641
feb-95	120	150	-4064	-1463	-2926	-5851	-29257
mar-95	150	180	-5919	-2131	-4261	-8523	-42614
abr-95	180	210	-7026	-2529	-5059	-10118	-50589
may-95	210	240	-6238	-2246	-4491	-8982	-44911
jun-95	240	270	-7726	-2781	-5562	-11125	-55625
jul-95	270	300	-8537	-3073	-6146	-12293	-61464
ago-95	300	330	-8337	-3001	-6003	-12005	-60027
sep-95	330	360	-6962	-2506	-5012	-10025	-50124
oct-95	360	390	-4703	-1693	-3386	-6773	-33865
nov-95	390	420	-4459	-1605	-3211	-6422	-32108
dic-95	420	450	-4489	-1616	-3232	-6464	-32319
ene-96	450	480	-4731	-1703	-3407	-6813	-34066
feb-96	480	510	-4184	-1506	-3013	-6025	-30126
mar-96	510	540	-6359	-2289	-4579	-9157	-45787
abr-96	540	570	-7039	-2534	-5068	-10136	-50682
may-96	570	600	-6105	-2198	-4396	-8792	-43958
jun-96	600	630	-7659	-2757	-5514	-11028	-55142
jul-96	630	660	-8226	-2961	-5923	-11845	-59225
ago-96	660	690	-8250	-2970	-5940	-11881	-59403
sep-96	690	720	-6830	-2459	-4917	-9835	-49174

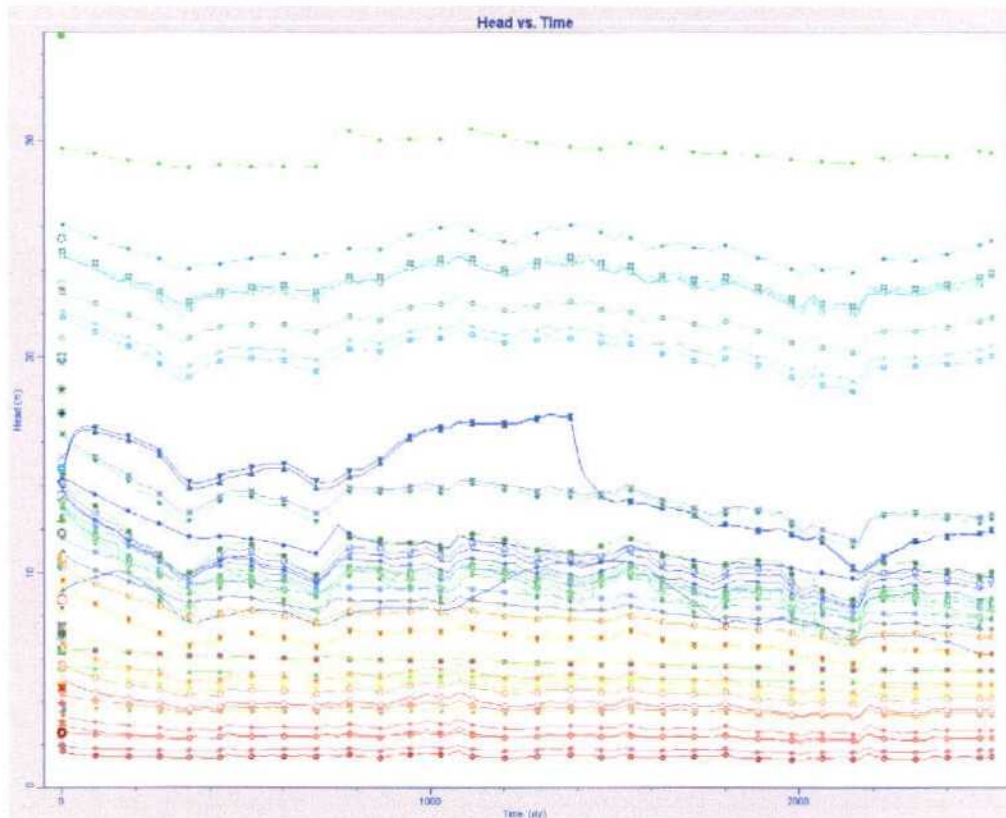


Figura 4.47. - Evolución de niveles piezométricos en la Vega Baja (Simulación_5_1)

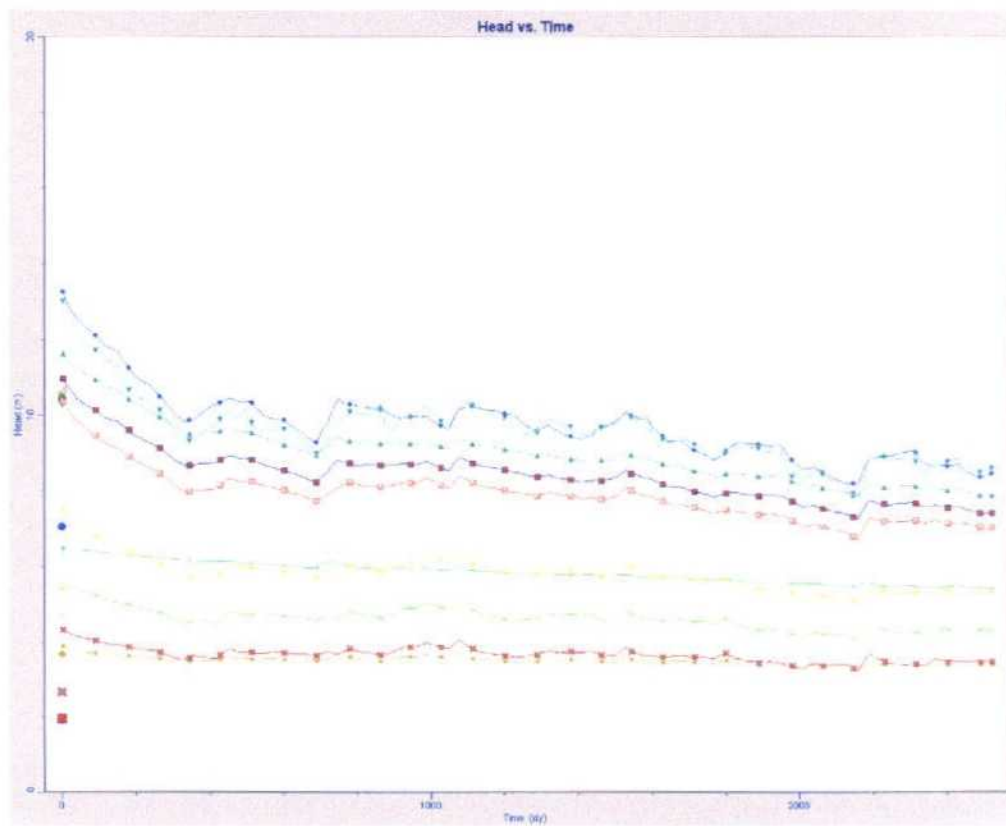


Figura 4.48. - Evolución de niveles piezométricos en el sector de Los Cabezos (Simulación_5_1)

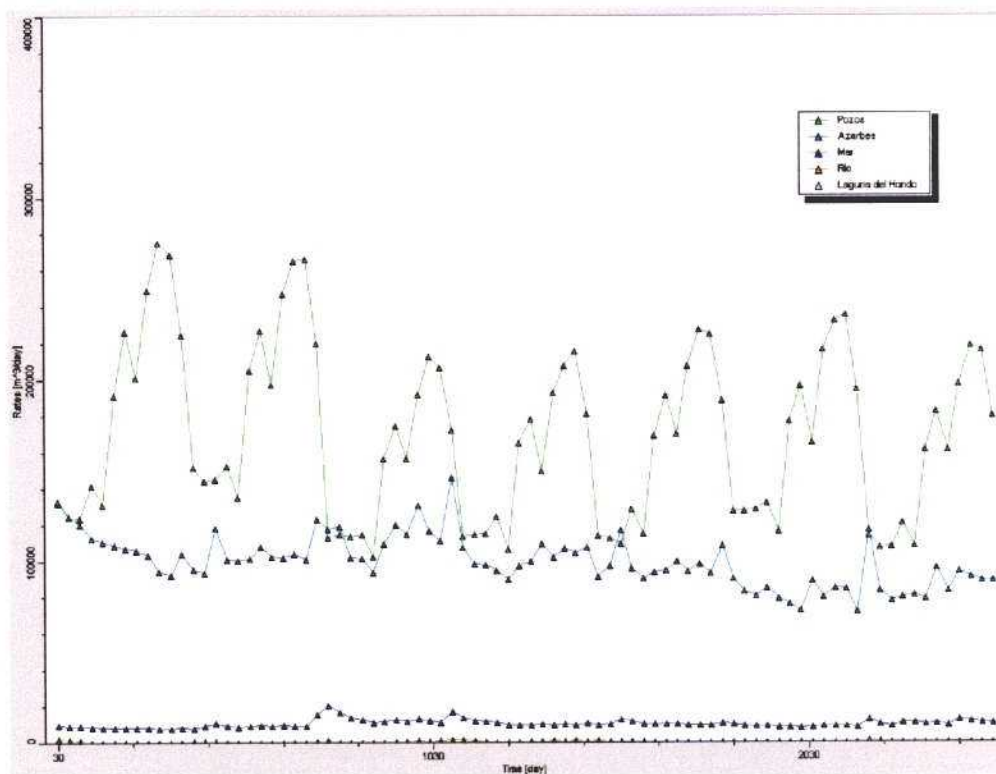


Figura 4.49. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_5_1)

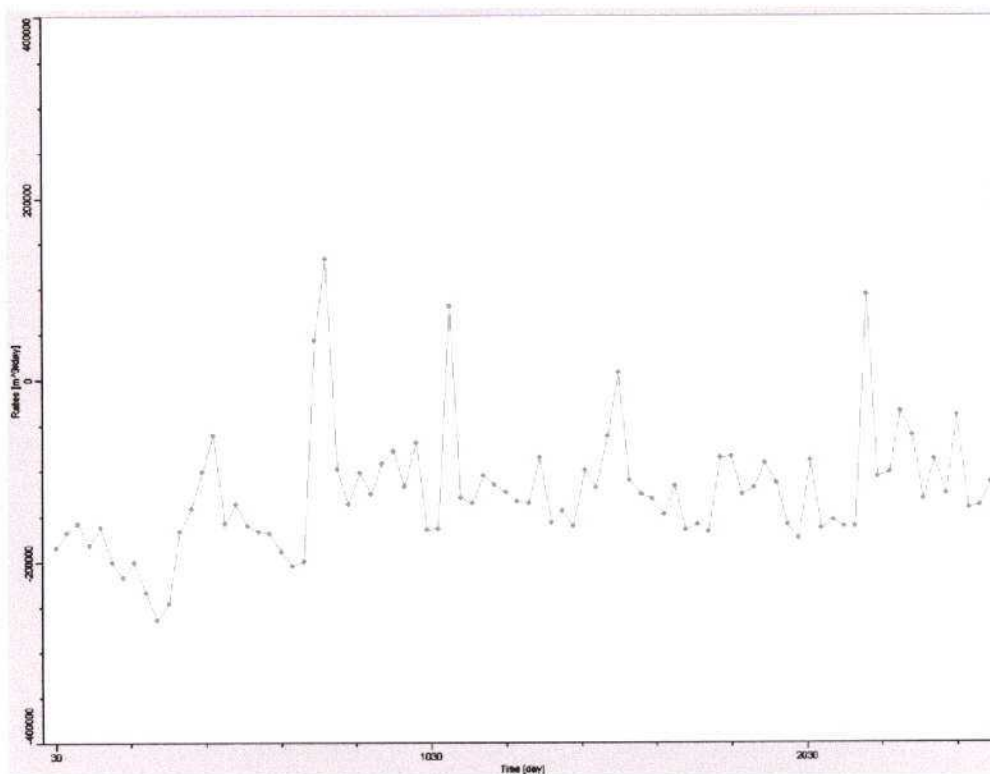


Figura 4.50. - Evolución de la variación de almacenamiento en la Vega Baja (Simulación_5_1)

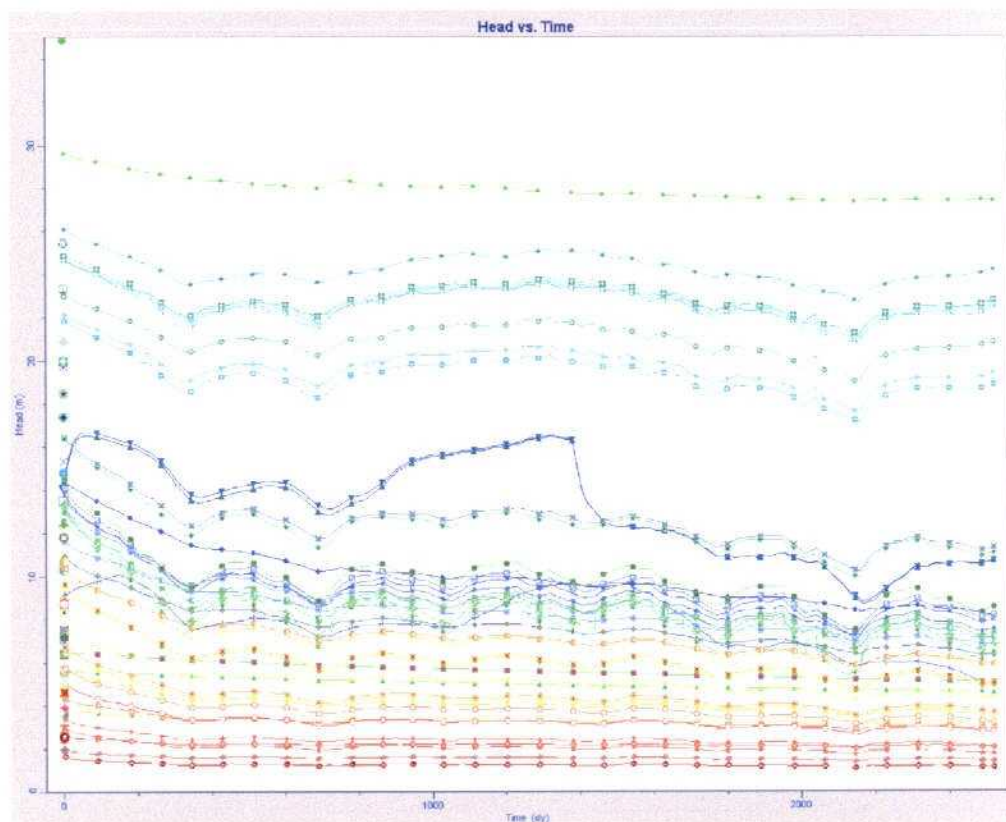


Figura 4.51. - Evolución de niveles piezométricos en la Vega Baja (Simulación_5_2)

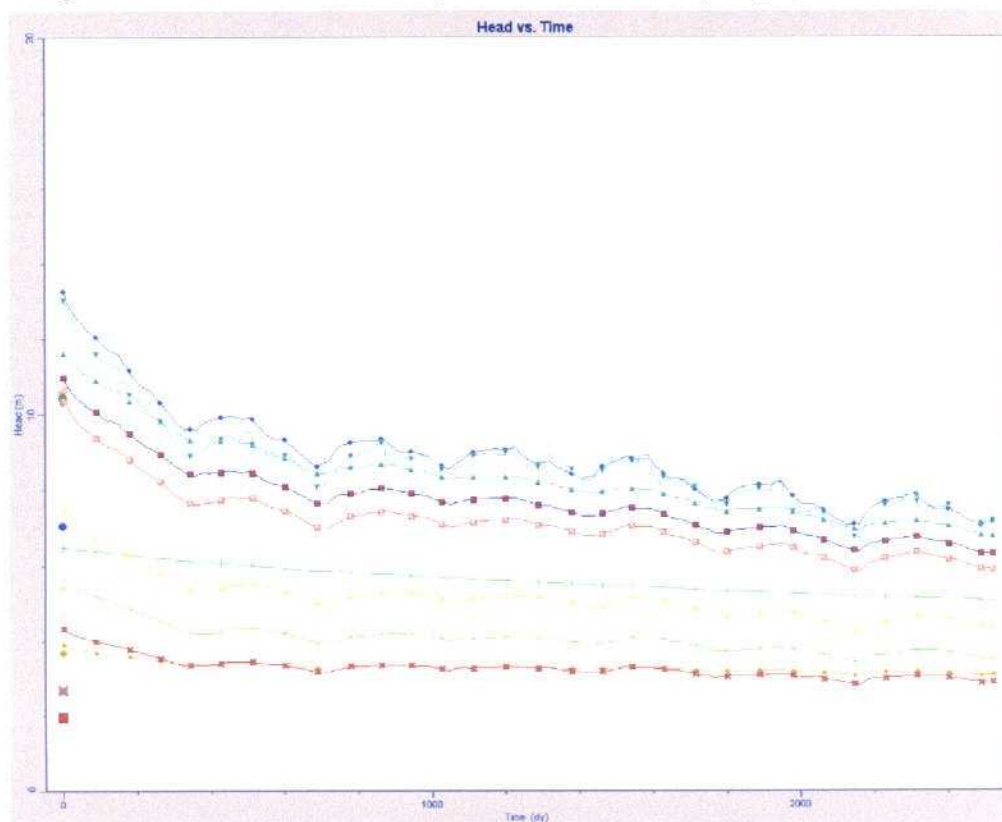


Figura 4.52. - Evolución de niveles piezométricos en el sector de Los Cabezos (Simulación_5_2)

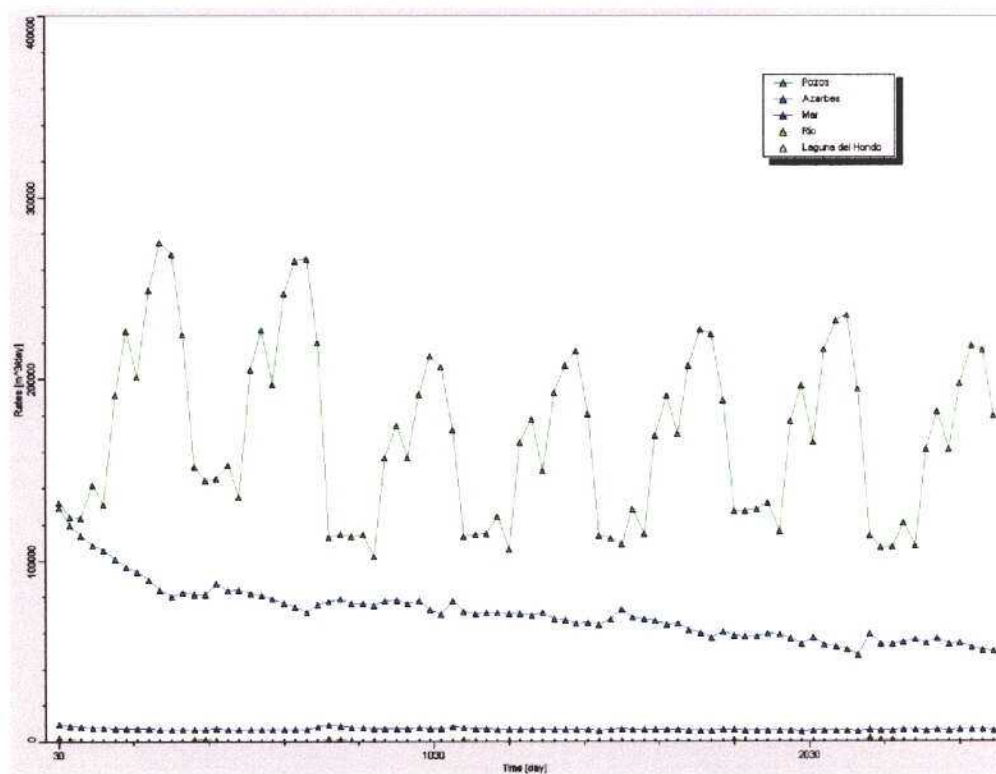


Figura 4.53. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_5_2)

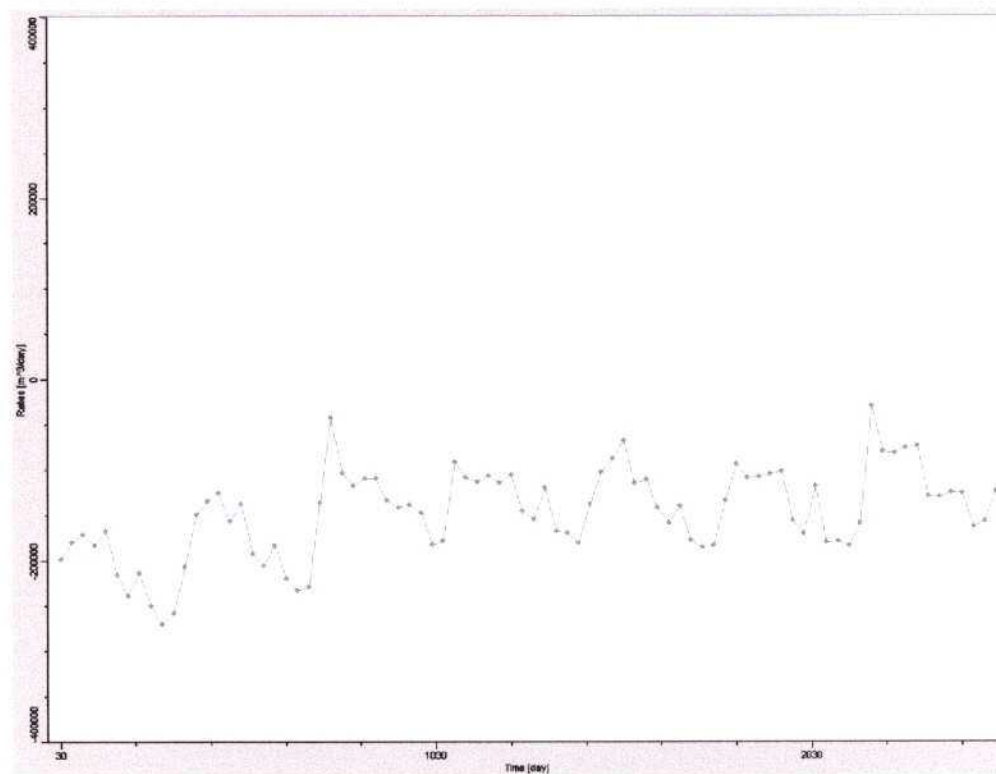


Figura 4.54. - Evolución de la variación de almacenamiento en la Vega Baja (Simulación_5_2)

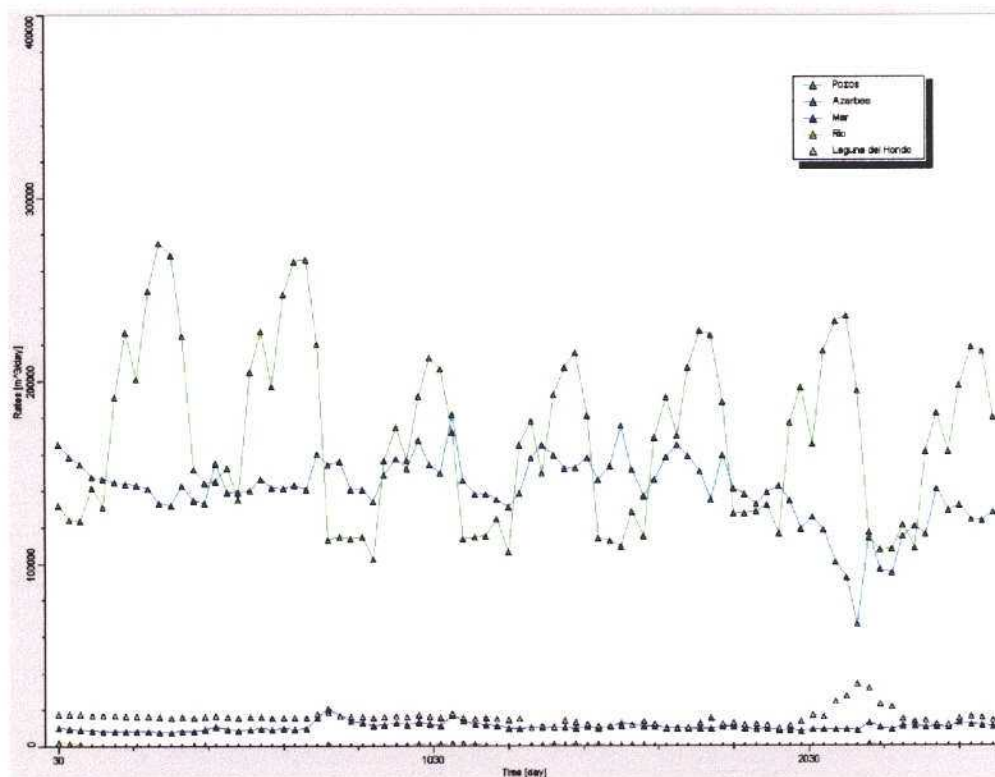


Figura 4.55. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_5_3)

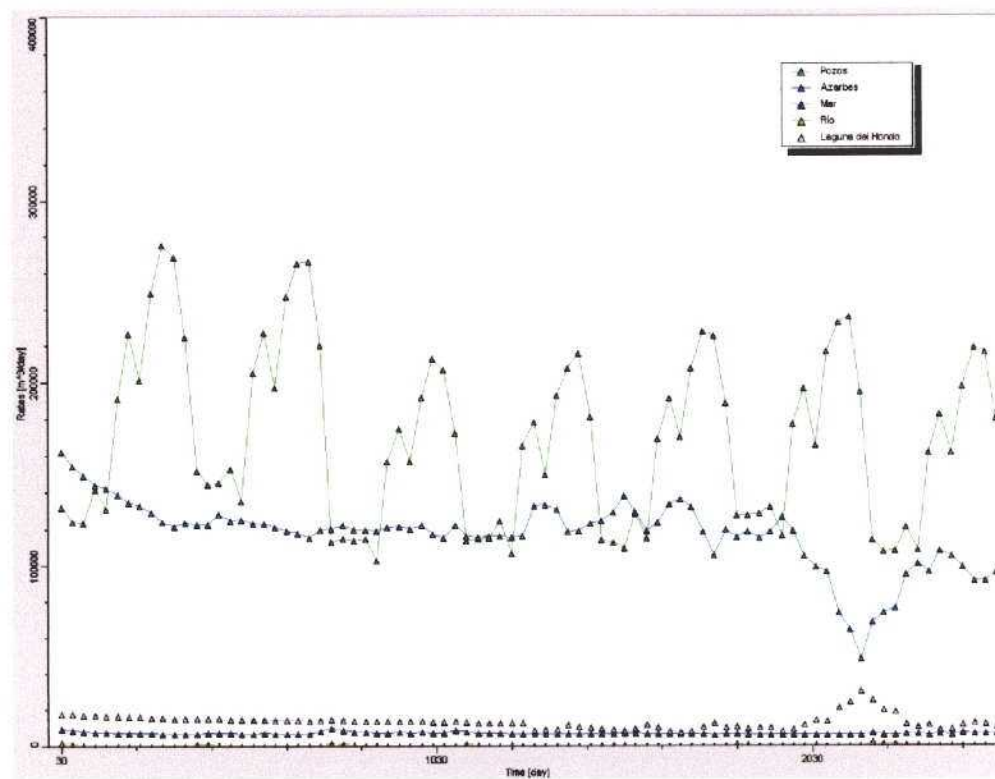


Figura 4.56. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_5_4)

Los resultados obtenidos en las simulaciones correspondientes a este escenario, ponen de manifiesto un descenso significativo en los niveles piezométricos aguas abajo de la población de Orihuela, del mismo orden del obtenido para el escenario 2 (de 3 a 5 m en el sector de Los Cabezos). En este caso, a diferencia de los resultados obtenidos para el escenario 2, se observan unas mayores oscilaciones piezométricas de acuerdo con la variabilidad mensual considerada para el bombeo (Figuras 4.47 y 4.48). Con respecto al balance, el drenaje por los azarbes disminuye hasta unos 32 hm³/año (Figura 4.49) y la variación en el almacenamiento también refleja la variabilidad mensual introducida en el bombeo (Figura 4.50). Por otro lado, si consideramos una recarga del 25% los niveles descienden todavía algo más aguas abajo de la población de Orihuela (de 4 a 6 m en el sector de Los Cabezos; Figura 4.52) y el drenaje por los azarbes disminuye hasta unos 18 hm³/año (Figura 4.53) (Simulación_5_2). Finalmente, si se tiene en cuenta una descarga significativa por la Laguna del Hondo, el agua descargada por la laguna disminuye a unos 5 hm³/año (Simulación 5_3). Si, además, se considera una recarga del 25 %, los azarbes pasan de drenar 35 hm³/año y el agua descargada por la laguna disminuye hasta unos 4 hm³/año (Simulación 5_4, Figura 4.56).

Tabla 4.4.- Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Baja (Simulación 5_1)

AÑO	ENTRADAS				SALIDAS					E-S	VARIACIÓN ALMACEN	CIERRE BALANCE
	RECARGA	RIO	LAGUNA	V. MEDIA	AZARBES	BOMBEO	RIO	LAGUNA	MAR			
1	11.88	7.20	0.08	20.13	39.41	68.63	0.13	0.01	2.90	-71.79	71.71	-0.08
2	32.18	8.42	0.07	21.23	37.46	70.64	0.04	0.03	3.38	-49.65	49.64	-0.01
3	45.67	6.44	0.09	20.71	41.40	54.78	0.20	0.05	4.81	-28.33	28.33	0.00
4	22.84	6.41	0.09	20.84	36.42	55.88	0.21	0.01	3.73	-46.07	46.04	-0.03
5	27.68	6.95	0.09	21.24	35.20	58.71	0.11	0.02	3.61	-41.69	41.66	-0.03
6	17.20	7.42	0.08	21.27	29.35	61.47	0.01	0.02	3.13	-48.01	47.99	-0.02
7	32.30	9.05	0.08	20.87	31.88	56.27	0.05	0.05	3.81	-29.76	29.79	0.03

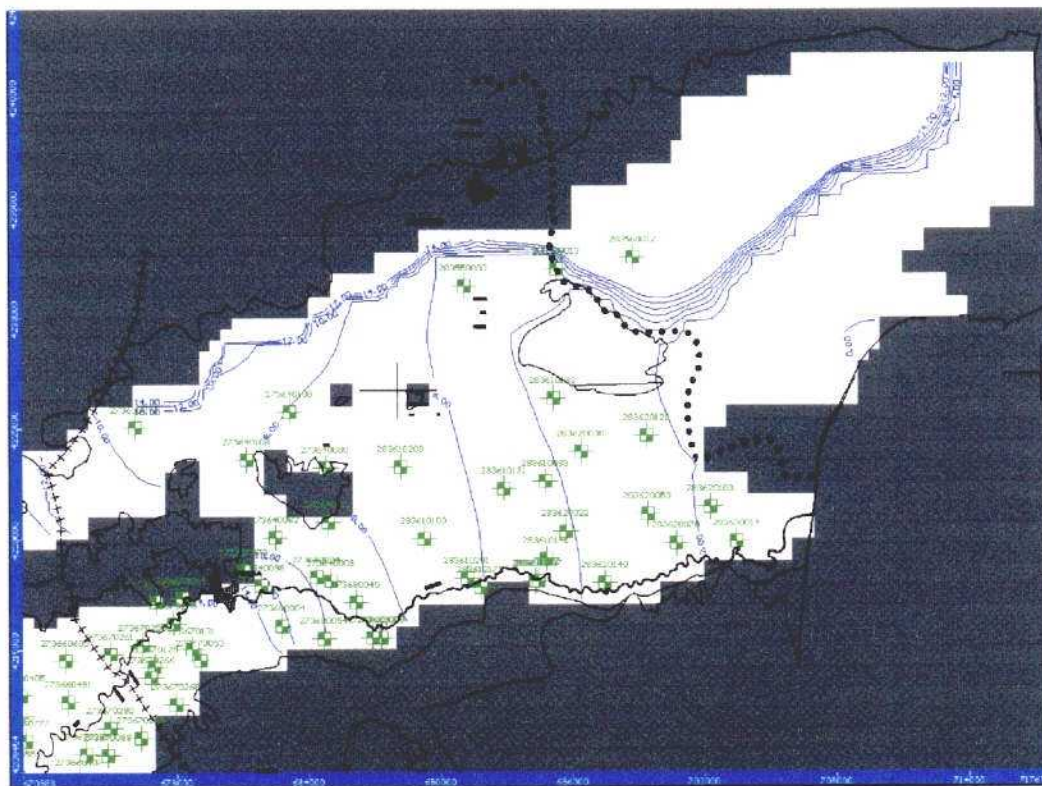


Figura 4.56b. – Isoplethas correspondientes al último paso de tiempo para la Simulación_5_1

4.3.6 Escenario 6: “Los Cabezos” y plantas desaladoras (bombeo variable según demanda no continuo)

En este escenario además de considerar el bombeo evaluado durante el periodo 1994-2001 (régimen transitorio) se tiene en cuenta un bombeo adicional tanto en el Pozo “Los Cabezos” como en los pozos previstos para la instalación de las plantas desaladoras. En este caso, se supone un bombeo variable según la distribución mensual de la demanda (Tablas 4.2 y 4.3) sólo durante los dos primeros años de simulación. Las simulaciones realizadas para este escenario han sido las siguientes:

Simulación 6_1: considerando pozos, azarbes y río.

Simulación 6_2: considerando un 25 % de recarga.

Simulación 6_3: considerando descarga Laguna del Hondo

Simulación 6_4: considerando un 25 % de recarga y descarga Laguna del Hondo.

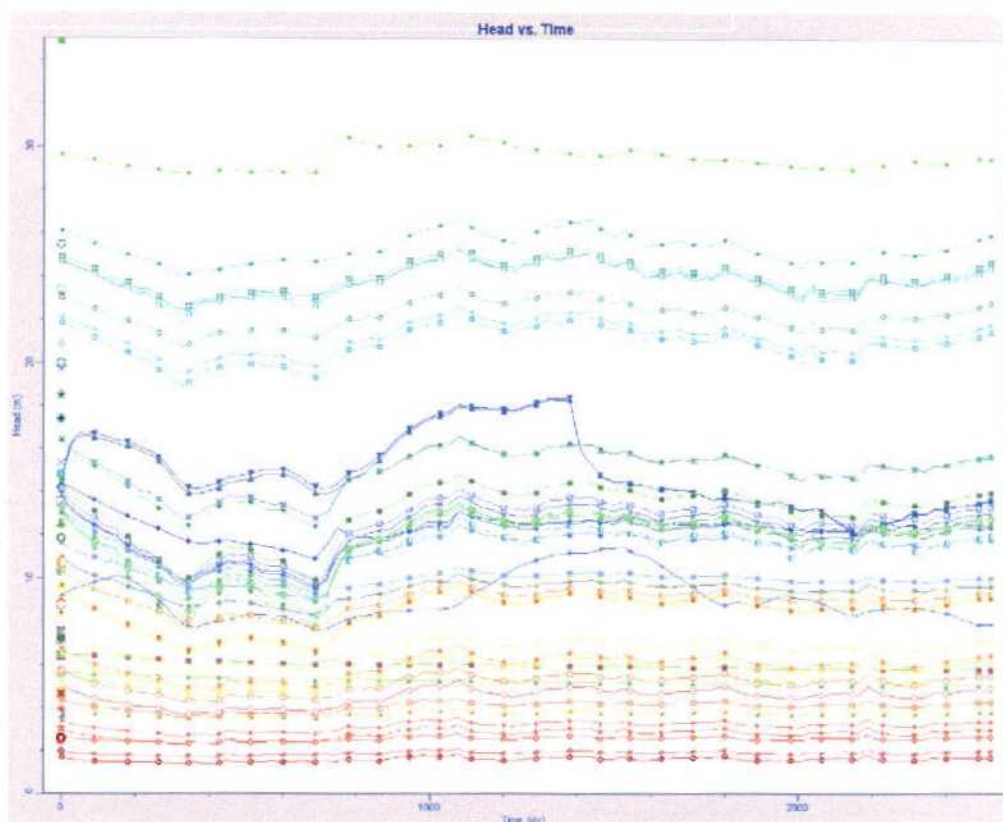


Figura 4.57. - Evolución de niveles piezométricos en la Vega Baja (Simulación_6_1)

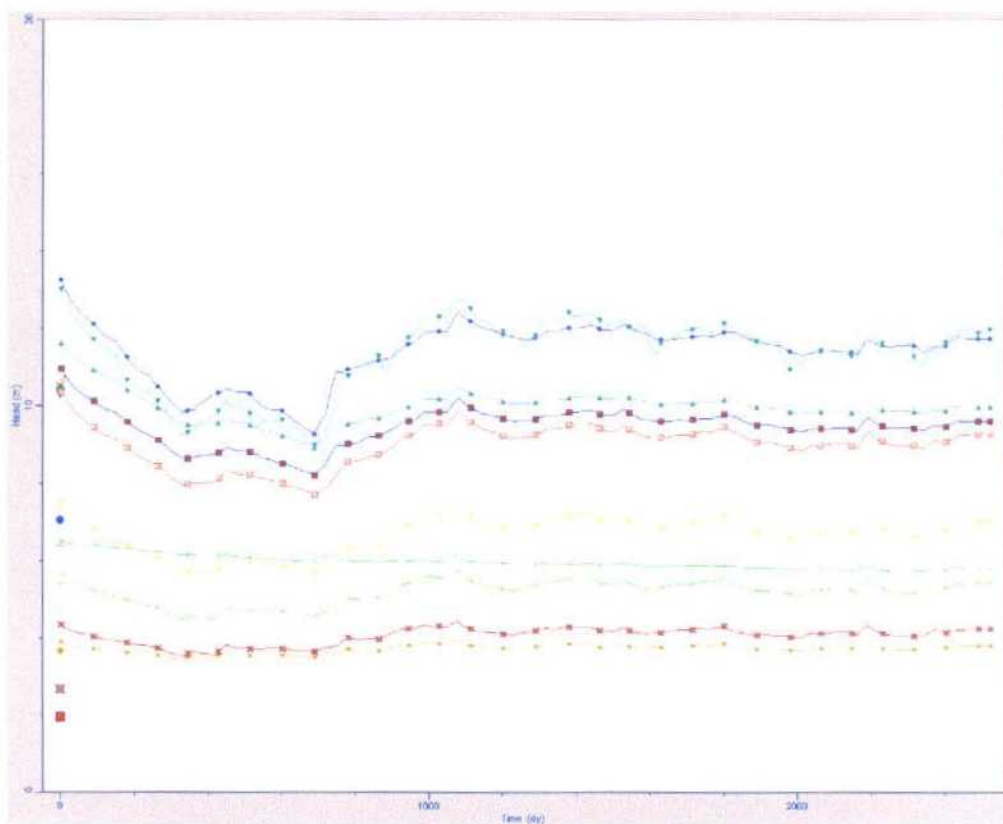


Figura 4.58. - Evolución de niveles piezométricos en el sector de Los Cabezos (Simulación_6_1)

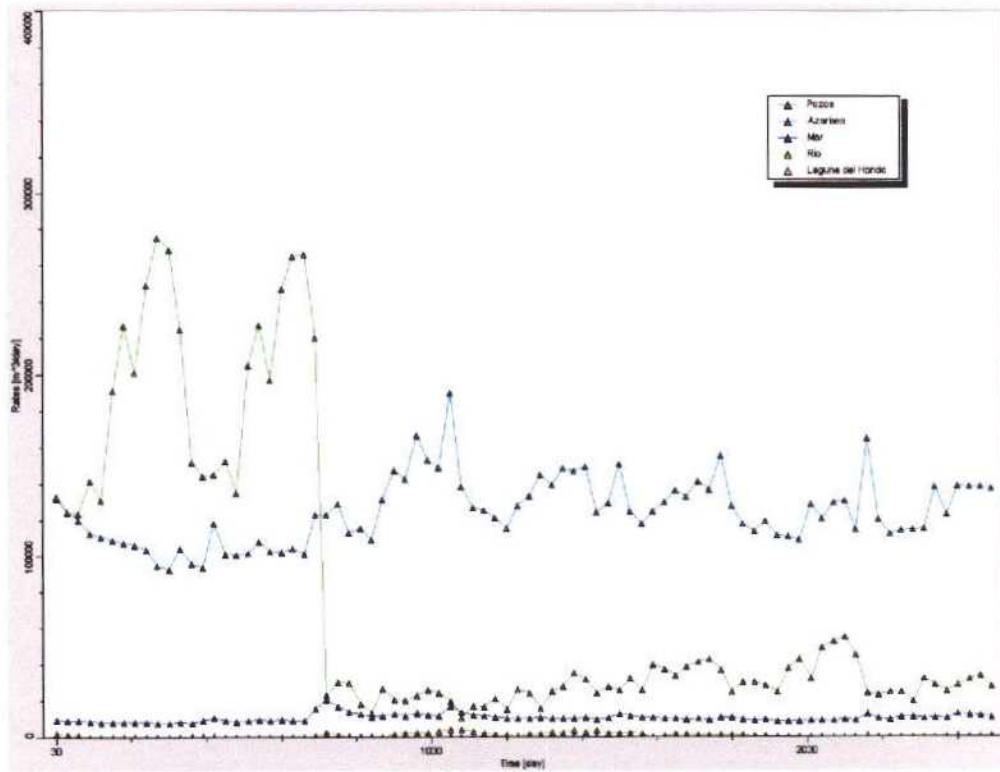


Figura 4.59. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_5_1)

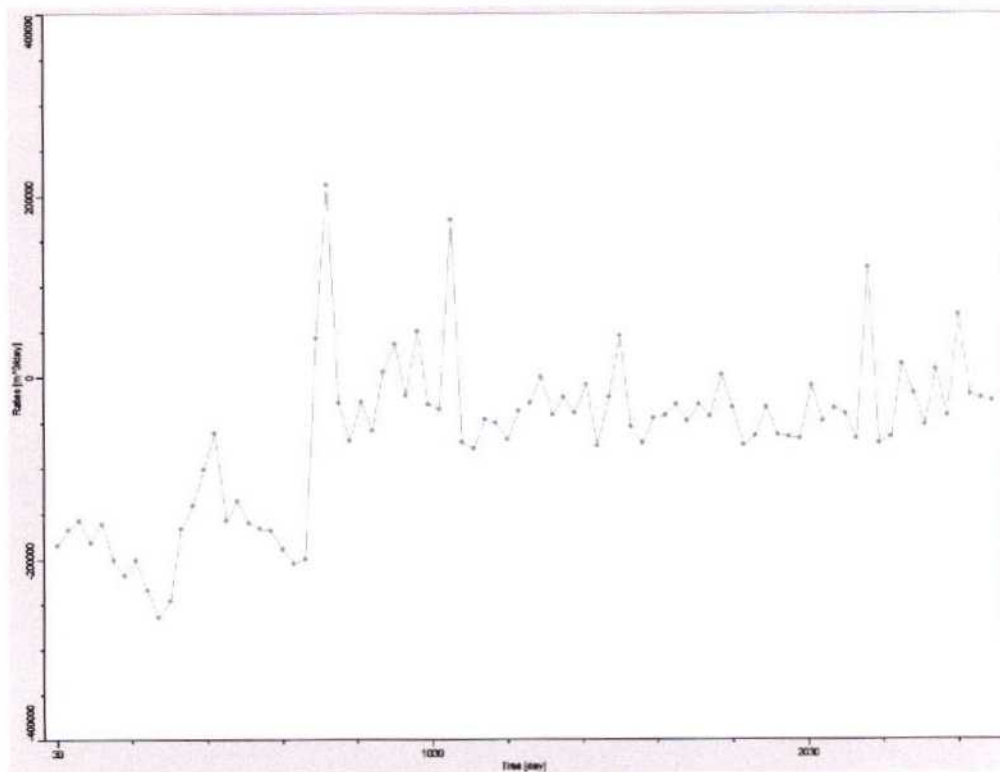


Figura 4.60. - Evolución de la variación de almacenamiento en la Vega Baja (Simulación_6_1)

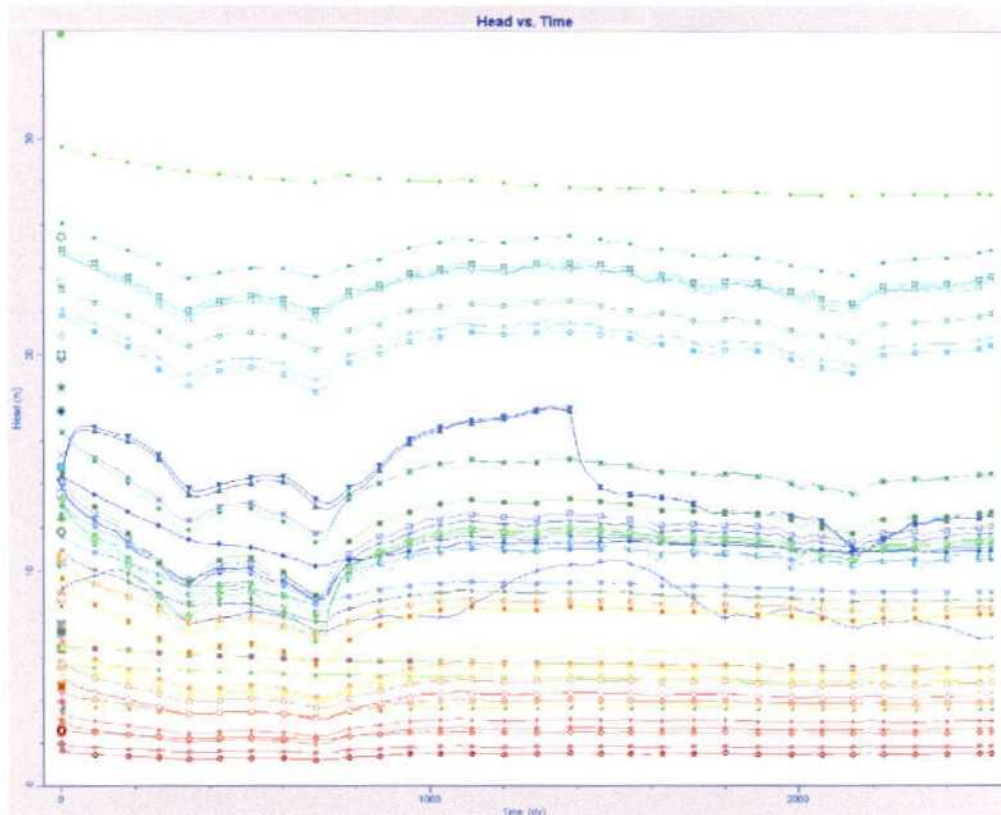


Figura 4.61. - Evolución de niveles piezométricos en la Vega Baja (Simulación_6_2)

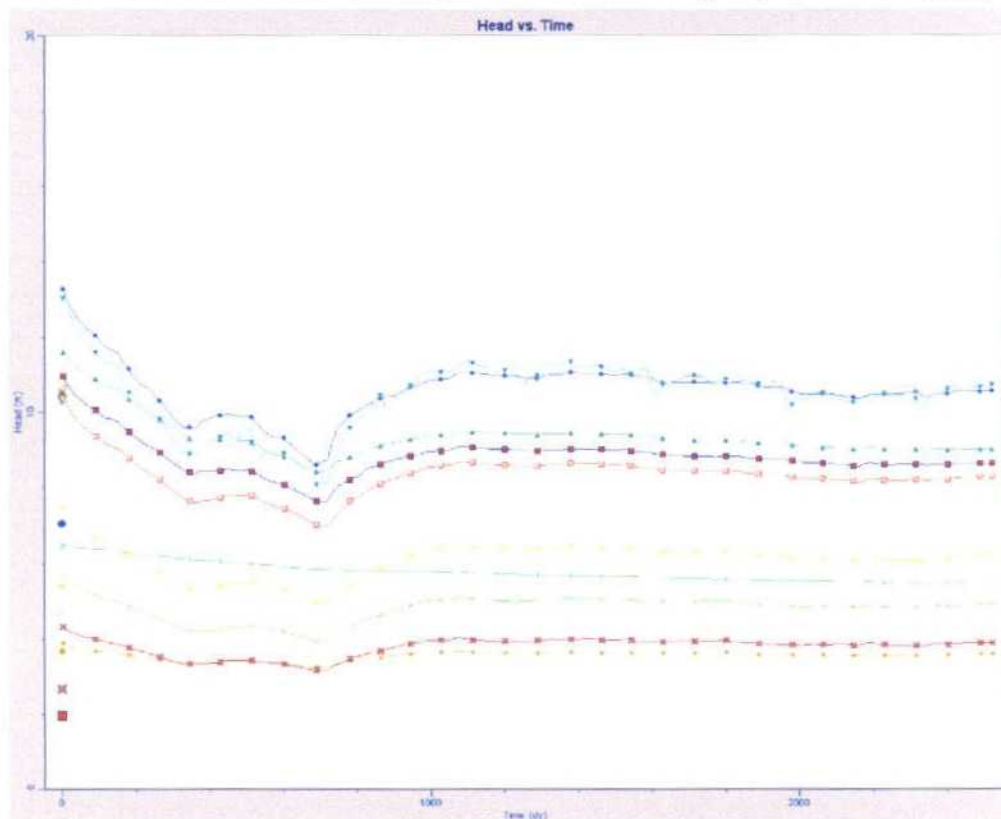


Figura 4.62. - Evolución de niveles piezométricos en el sector de Los Cabezos (Simulación_6_2)

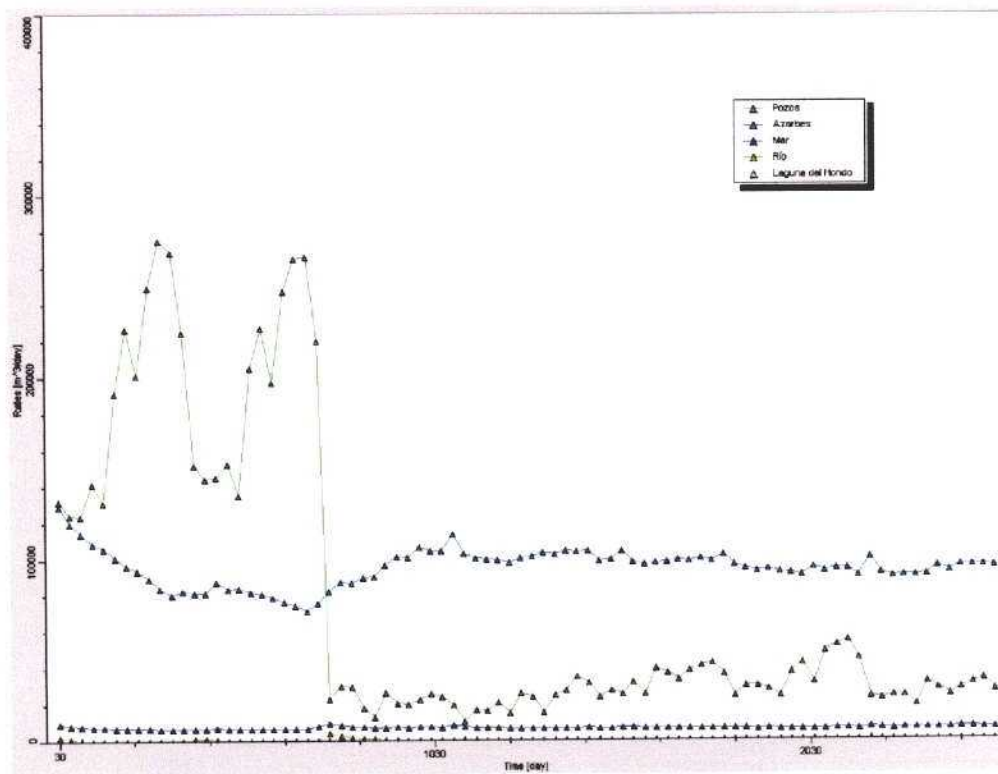


Figura 4.63. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_6_2)

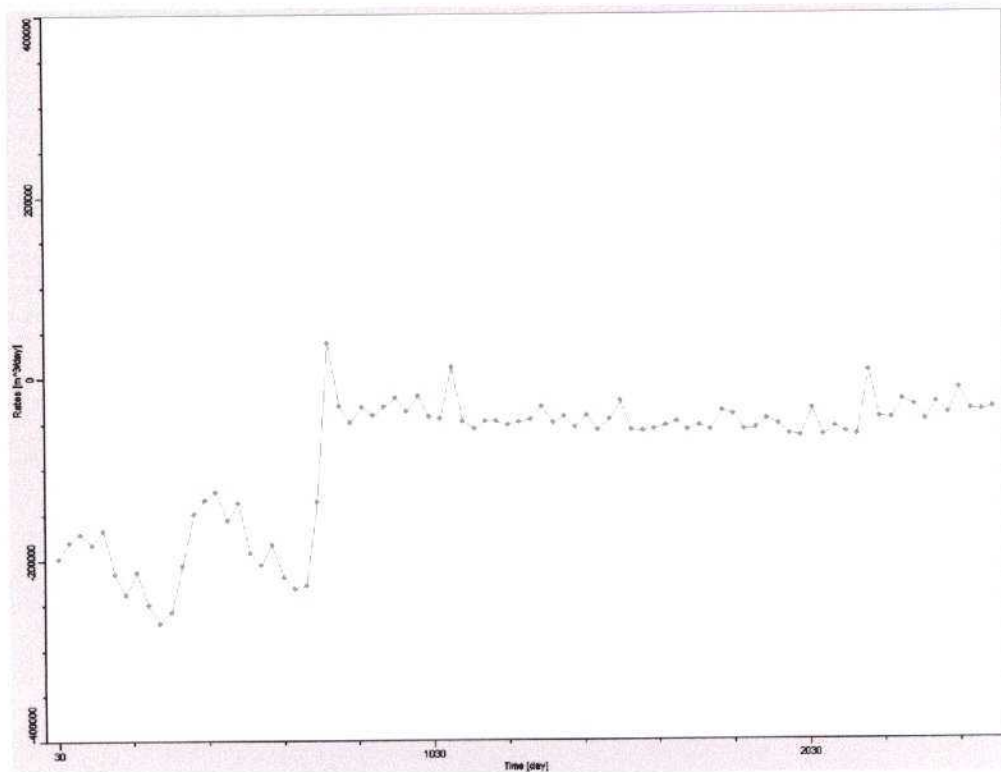


Figura 4.64. - Evolución de la variación de almacenamiento en la Vega Baja (Simulación_5_2)

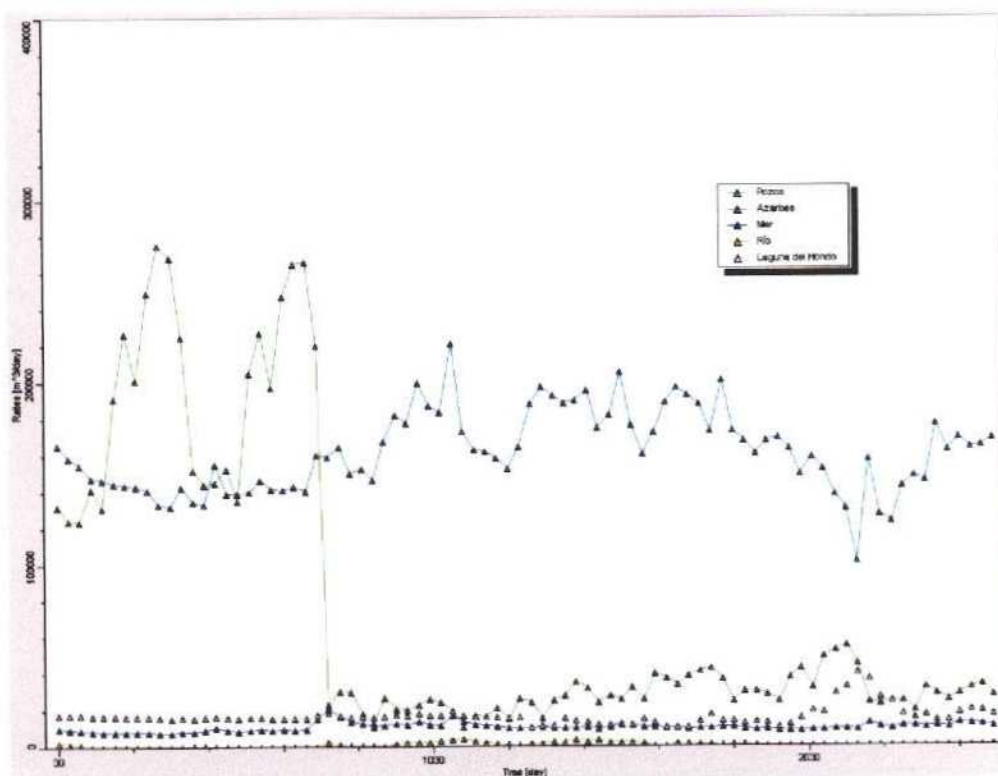


Figura 4.65. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_6_3)

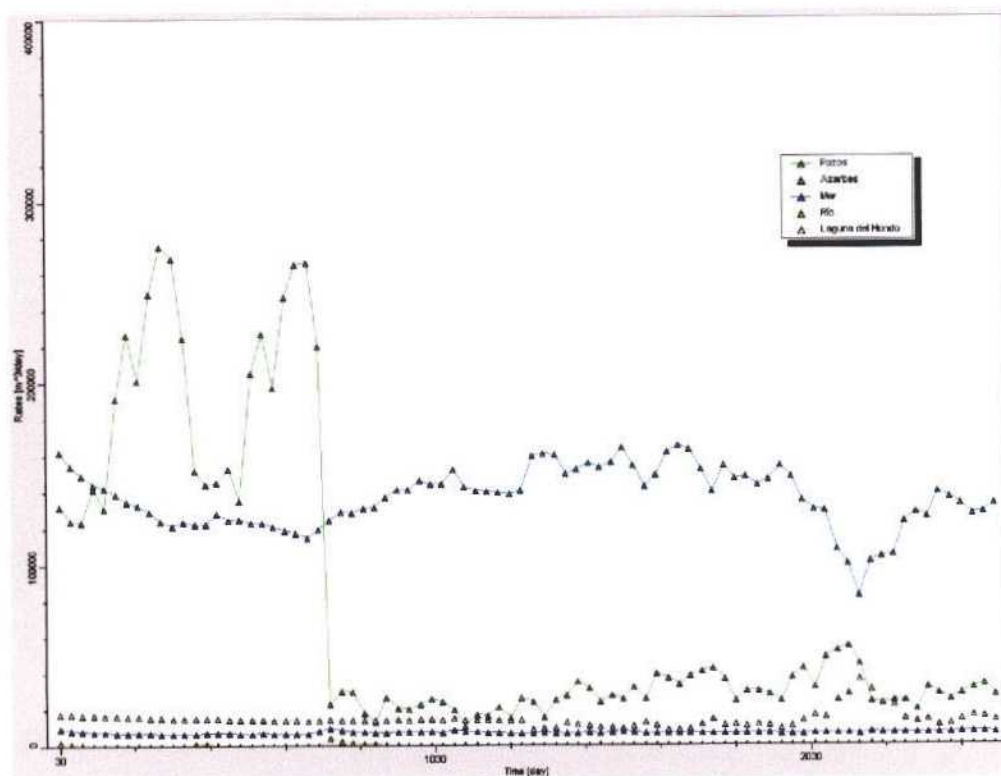


Figura 4.66. - Evolución de las salidas en la Vega Baja (Simulación_6_4)

Los resultados obtenidos en las simulaciones correspondientes a este escenario, ponen de manifiesto un descenso significativo en los niveles piezométricos durante los dos primeros años de simulación aguas abajo de la población de Orihuela, al igual que en el escenario 4. En este caso, sin embargo, se obtiene un descenso ligeramente mayor (del orden de unos -0.5 m por debajo de lo simulado en el escenario 4 para el paso de tiempo 23; Figuras 4.57 y 4.58). Con respecto al balance, el drenaje por los azarbes aumenta hasta unos 50 hm³/año (Figura 4.59) al igual que en el escenario 2. Sin embargo, si se compara el agua drenada en el paso de tiempo 23 (agosto del segundo año simulado), los azarbes drenan menos (~ 26 hm³/año) con respecto al escenario 2 (~ 39 hm³/año). La variación en el almacenamiento tiende lógicamente a ser menos negativa a partir del segundo año. Por otro lado, si consideramos una recarga del 25%, los niveles aguas abajo de la población de Orihuela descienden todavía algo más (del orden de 1 m para el último paso de tiempo; Figuras 4.61 y 4.62). El drenaje por los azarbes disminuye hasta unos 35 hm³/año para el último paso de tiempo, al igual que en el escenario 2. Sin embargo, si se compara el agua drenada en el paso de tiempo 23 (agosto del segundo año simulado), los azarbes drenan menos (~ 26 hm³/año) con respecto al escenario 2 (~ 28 hm³/año). Finalmente, si se tiene en cuenta una descarga significativa por la Laguna del Hondo, el agua descargada por la laguna disminuye a unos 6 hm³/año (Simulación 6_3; Figura 6.45) al igual que en el escenario 2. Si, además, se considera una recarga del 25 %, los azarbes pasan de drenar 48 hm³/año y el agua descargada por la laguna disminuye hasta unos 5 hm³/año (Simulación 6_4, Figura 4.56).

Tabla 4.5.- Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Baja (Simulación 6_1)

AÑO	ENTRADAS				SALIDAS					E-S	VARIACIÓN ALMACEN	CIERRE BALANCE
	RECARGA	RIO	LAGUNA	V. MEDIA	AZARBES	BOMBEO	RIO	LAGUNA	MAR			
1	11.88	7.20	0.08	20.13	39.41	68.63	0.13	0.01	2.90	-71.79	71.71	-0.08
2	32.18	8.42	0.07	21.23	37.46	70.64	0.03	0.03	3.38	-49.64	49.64	0.00
3	45.67	4.62	0.08	19.56	50.05	8.20	0.60	0.06	4.85	6.17	-6.10	0.07
4	22.84	3.88	0.08	19.10	48.50	7.94	0.75	0.02	3.78	-15.09	15.09	0.00
5	27.68	4.66	0.08	19.30	48.13	12.13	0.53	0.02	3.67	-12.76	12.80	0.04
6	17.20	5.50	0.06	18.82	43.04	13.53	0.09	0.02	3.21	-18.31	18.30	-0.01
7	32.30	5.92	0.07	18.67	46.69	9.69	0.04	0.05	3.88	-3.39	3.46	0.07

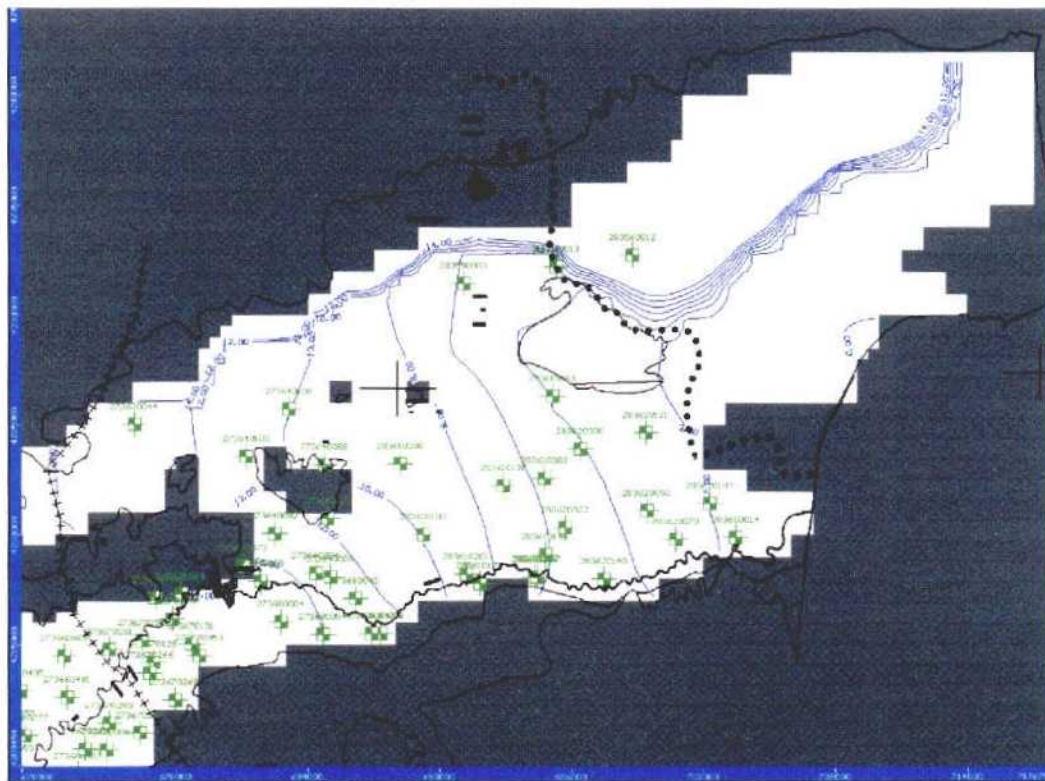


Figura 4.66b. – Isopiezas correspondientes al último paso de tiempo para la Simulación_6_1

4.3.7 Escenario 7: Dren o zanja drenante en la desembocadura del río Segura

En este escenario además de considerar el bombeo evaluado durante el periodo 1994-2001 (régimen transitorio) se tiene en cuenta una posible actuación consistente en la realización de una zanja drenante de 1000 m de longitud y -5 m de cota, dispuesta perpendicularmente a los azarbes principales, en las proximidades de la desembocadura del río Segura. Las simulaciones realizadas para este escenario han sido las siguientes:

Simulación 7_0: considerando pozos, azarbes y río en condiciones actuales

Simulación 7_1: considerando pozos, azarbes y río con zanja drenante

Simulación 7_2: considerando un 25 % de recarga.

Simulación 7_3: considerando descarga Laguna del Hondo.

Simulación 7_4: considerando Simulación 5_1 con zanja drenante.

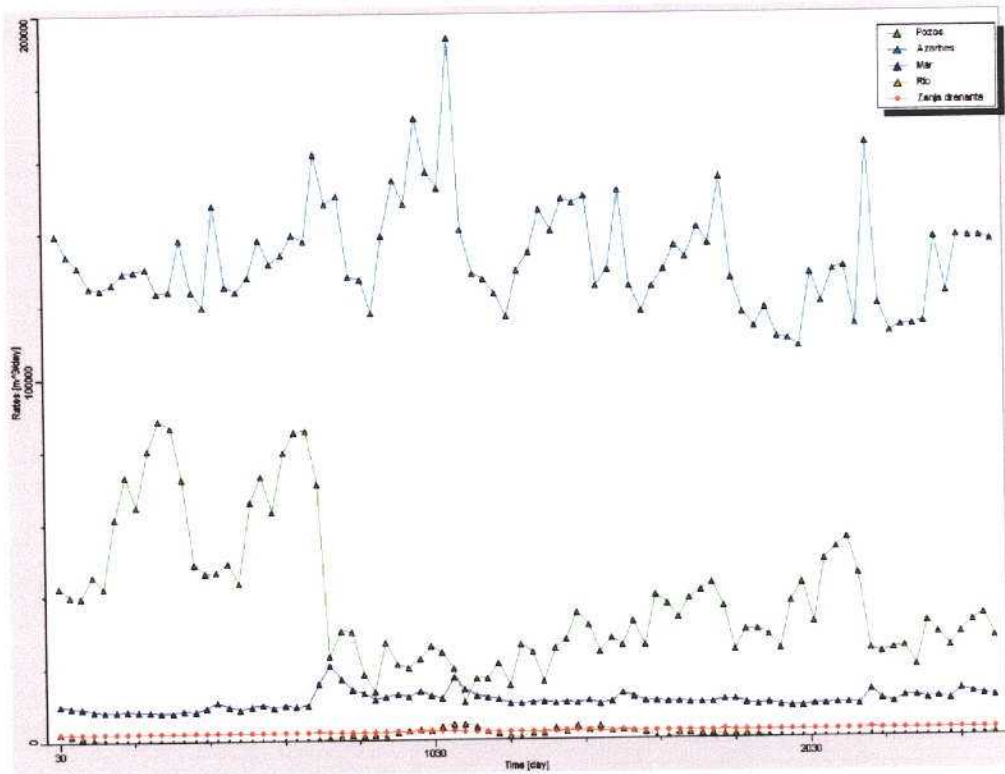


Figura 4.67. - Evolución de las salidas en la Vega Baja sin zanja drenante (Simulación_7_0)

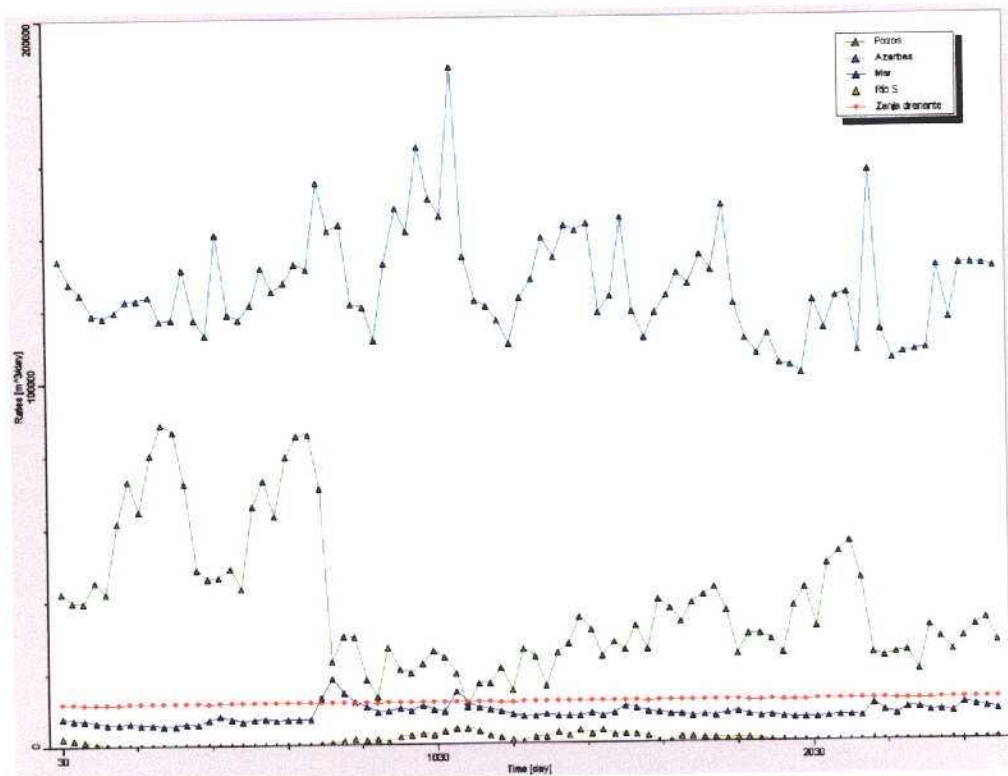


Figura 4.68. - Evolución de las salidas en la Vega Baja con zanja drenante (Simulación_7_1)

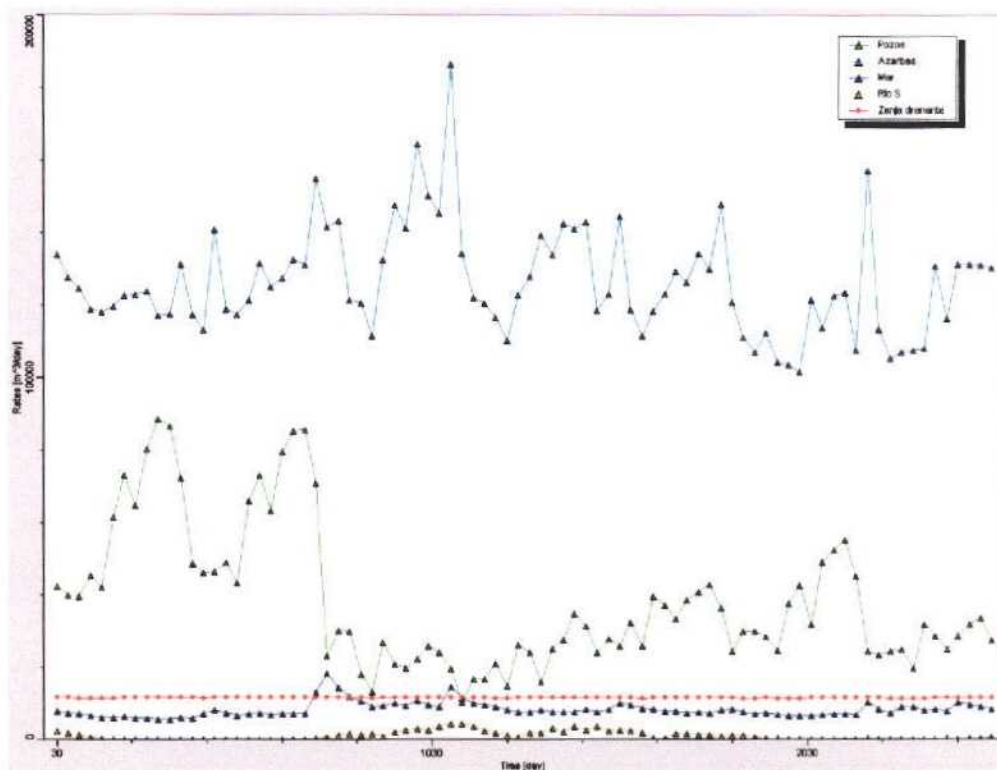


Figura 4.69. - Evolución de las salidas en la Vega Baja con zanja drenante y pozos previstos en "Los Cabezos" y plantas desaladoras con caudal continuo según demanda (Simulación_7_4)

Los resultados obtenidos en las simulaciones correspondientes a este escenario ponen de manifiesto una diferencia de unos 3 a 4 $\text{hm}^3/\text{año}$ según se considere (Simulación_7_1) o no (Simulación_7_0) la zanja drenante (Figuras 4.67 y 4.68). Es decir, la zanja permitiría drenar unos 3 a 4 $\text{hm}^3/\text{año}$. Ello supondría un descenso de unos 50 a 47,5 $\text{hm}^3/\text{año}$ en el agua drenada por los azarbes situados aguas arriba de la zanja y una disminución del agua descargada al mar de unos 4 a 2 $\text{hm}^3/\text{año}$. Por otro lado, tanto si se considera una recarga del 25% (Simulación_7_2) como si se considera una descarga significativa por la Laguna del Hondo (Simulación_7_3) la zanja permitiría drenar aproximadamente el mismo caudal. Si por último, se tienen en cuenta los pozos y caudales previstos en el escenario 5 (pozo "Los Cabezos" y plantas desaladoras con bombeo continuo durante toda la simulación según la demanda; simulación_5_1) la zanja permitiría drenar aproximadamente el mismo caudal aunque algo menor (unos 3,3 $\text{hm}^3/\text{año}$; Simulación_7_4 y Figura 4.69). Ello supondría un descenso de unos 32 a 29 $\text{hm}^3/\text{año}$ en el agua drenada por los azarbes situados aguas arriba de la zanja y una disminución del agua descargada al mar de unos 4 a 3 $\text{hm}^3/\text{año}$.

Tabla 4.6.- Principales entradas y salidas simuladas en la Vega Baja (Simulación 7_1)

AÑO	ENTRADAS				SALIDAS						E-S	VARIACIÓN ALMACEN	CIERRE BALANCE
	RECARGA	RIO	LAGUNA	V. MEDIA	AZARBES	BOMBEO	RIO	LAGUNA	MAR	ZANJA			
1	11.86	5.22	0.06	18.94	44.33	22.05	0.18	0.01	2.03	4.11	-36.63	36.62	-0.01
2	32.15	5.74	0.07	19.34	45.93	22.70	0.02	0.04	2.53	4.13	-18.05	18.05	0.00
3	45.63	3.86	0.09	18.86	51.18	8.20	0.70	0.05	3.96	4.14	0.21	-0.20	0.01
4	22.81	3.64	0.08	18.98	46.64	7.94	0.83	0.02	2.87	4.13	-16.92	16.90	-0.02
5	27.65	4.55	0.08	19.24	45.76	12.13	0.57	0.02	2.75	4.13	-13.84	13.90	0.06
6	17.18	5.49	0.06	18.77	40.47	13.53	0.10	0.02	2.29	4.11	-19.02	19.01	-0.01
7	32.27	5.89	0.07	18.63	44.08	9.69	0.04	0.05	2.97	4.13	-4.10	4.15	0.05

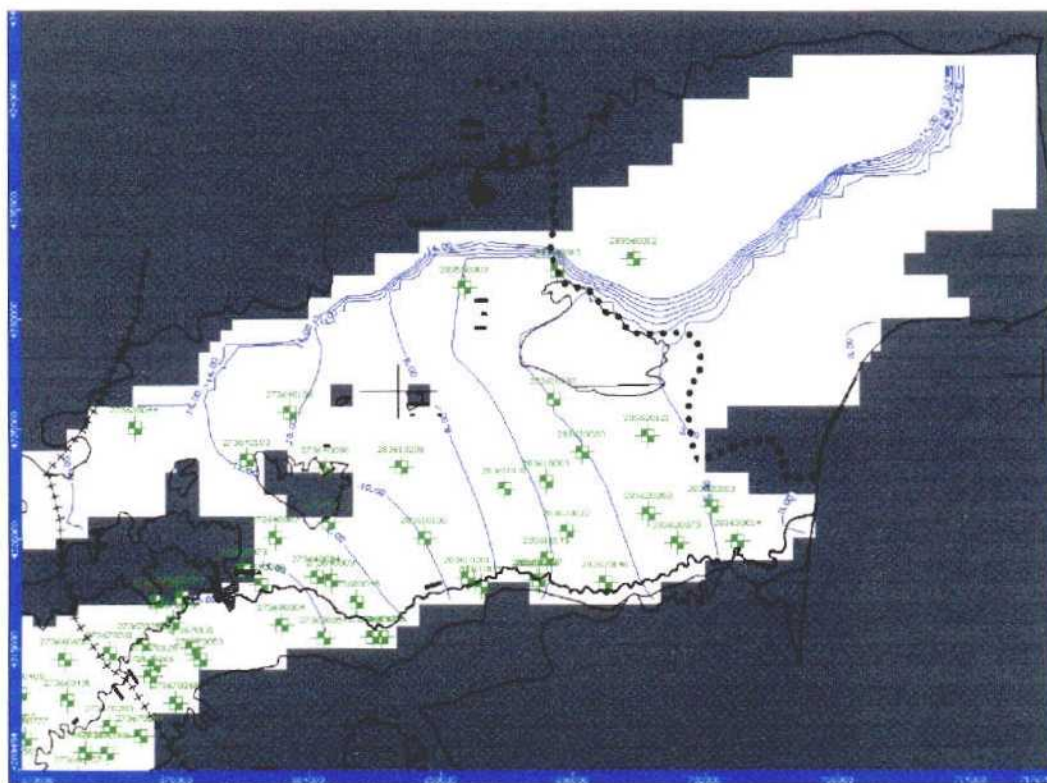


Figura 4.70. – Isopiezas correspondientes al último paso de tiempo para la Simulación_7_1

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aragón, R. 2003. Las aguas subterráneas de la cuenca del Segura: problemática y oportunidades. *Hidropres*, 39, 52-62.

Gumiel, J.C., García-Aróstegui, J. L., Hornero, J., Aragón, R., Fabregat, V., Fernández-Grillo, A.I. y Moreno, M. 2001. Evaluación mediante teledetección de superficies agrícolas y estimación de demandas de agua en la Vega Media del Segura (Murcia). VII Simposio de Hidrogeología. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, XXIII, 71-81. AEH-IGME. Madrid.

IGME. 1978. Las Vegas Media y Baja del Segura. Investigación hidrogeológica de la cuenca baja del Segura. Plan Nacional de Investigación de las Aguas Subterráneas. Informe inédito.

IGME-CHS-CTOT (2002). Estudio hidrogeológico de la unidad Vega Media y Baja del Segura. Informe inédito.

IGME-COPOT. 2001. Estudio geotécnico del subsuelo del área metropolitana de Murcia. Análisis de la subsidencia por descenso del nivel freático. Modelos Geotécnicos del terreno y diagnosis del problema. Informe inédito.

IGME. 1988. Informe técnico para la declaración provisional de acuífero sobreexplotado relativa al acuífero de la Cresta del Gallo (Murcia). Informe inédito.

ITGE. 1990. Racionalización y optimización de las redes de control hidrogeológico de la cuenca del Segura. Informe inédito.

ITGE-CPTOP. 2000. Estudio geotécnico e hidrogeológico para el análisis, prevención y corrección de la patología derivada de los cambios en el subsuelo de la ciudad de Murcia. Informe inédito.

ITGE-DPA (1996). Estudio de los recursos subterráneos de agua salobre en la zona sur de la Provincia de Alicante. Previabilidad de gestión de la salmuera de rechazo mediante ISP.

ITGE-DPA (1997). Estudio de los recursos subterráneos de agua salobre en la zona sur de la Provincia de Alicante (II Fase).

ITGE-DPA (2000). Estudio de los recursos subterráneos de agua salobre en la zona sur de la Provincia de Alicante (III Fase).

IGME-DPA (2002). Modelo de flujo subterráneo del acuífero de la Vega Media y Baja del Segura. Informe inédito.

McDonal, M.C. and Harbaugh, A.W., 1988. Modflow, a modular three-dimensional finite difference groundwater flow model. U.S. Geological Survey. Open-file report 83-875, Chapter A1. Washington, D.C

Mulas, J., Aragón, R., Martínez, M., Lambán, J., García-Aróstegui, J. L., Fernández Grillo, A. I., Hornero, J., Rodríguez, J. y Rodríguez, J. M. 2003. Geotechnical and hydrogeological analysis of land subsidence in Murcia (Spain). Proc. 1ª International Conference on Groundwater in Geological Engineering. Bled (Slovenia). Petric M., Pezdic, J., Trcek, B., Veselic, M. (eds). RMZ. Materials and Geoenvironment. Groundwater in Geological Engineering; Vol. 50 (1), 249-252. Ljubljana (Slovenia).