

62351



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España



JUNTA DE ANDALUCÍA
Consejería de Obras Públicas y Transportes

CONVENIO DE COLABORACIÓN CON LA
CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES
PARA EL DESARROLLO DEL PROGRAMA DE
ASISTENCIA EN
AGUAS SUBTERRÁNEAS
PARA ABASTECIMIENTOS

1996-2000

ACTIVIDAD Nº 15 PLAN DE INTEGRACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO DE ANDALUCÍA. SECTOR DE ACUÍFEROS EN RELACIÓN CON EL ABASTECIMIENTO DE LOS NÚCLEOS SITUADOS EN LA CUENCA DEL GUADALFEO Y SECTORES COSTEROS ADYACENTES (ALMUÑECAR, ALBUÑOL Y CASTELL DE FERRO) GRANADA.

Documento 15.1.- Actualización del conocimiento hidrogeológico de la Unidad 06.21 Motril-Salobreña y modelización matemática del acuífero. Memoria.



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España



JUNTA DE ANDALUCÍA
Consejería de Obras Públicas y Transportes

ACTIVIDAD Nº 15 PLAN DE INTEGRACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO DE ANDALUCÍA. SECTOR DE ACUÍFEROS EN RELACIÓN CON EL ABASTECIMIENTO DE LOS NÚCLEOS SITUADOS EN LA CUENCA DEL GUADALFEO Y SECTORES COSTEROS ADYACENTES (ALMUÑECAR, ALBUÑOL Y CASTELL DE FERRO) GRANADA.

Documento 15.1.- Actualización del conocimiento hidrogeológico de la Unidad 06.21 Motril-Salobreña y modelización matemática del acuífero. Memoria.

ÍNDICE

1. DATOS DE ENTRADA	12
1.1. GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO Y CONDICIONES EN LOS LÍMITES	12
1.1.1. Topografía.....	14
1.1.2. Sustrato.....	16
1.1.3. Espesores del acuífero	18
1.1.4. Discretización del dominio modelado	18
1.2. PARÁMETROS HIDRAÚLICOS.....	21
1.3. PIEZOMETRÍA.....	30
1.4. BALANCE HÍDRICO: COMPONENTES. BALANCES ESTABLECIDOS EN ANTERIORES TRABAJOS	37
1.5. RECARGA POR INFILTRACIÓN.....	39
1.5.1. Pluviometría y Temperaturas.....	39
1.5.2. Análisis de la demanda agrícola de agua	44
1.5.3. Cálculo de la recarga por infiltración al acuífero	52
1.6. RELACIÓN: ACUÍFERO – RED HIDROGRÁFICA. MANANTIALES.....	73
1.7. ENTRADAS SUBTERRÁNEAS POR EL ALUVIAL DEL RÍO GUADALFEO, BAJO EL AZUD DEL VÍNCULO	84
1.8. ENTRADAS POR ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.....	85
1.9. ENTRADAS LATERALES SUBTERRÁNEAS DESDE LA UNIDAD DE ESCALATE.....	88

1.10. EXPLOTACIONES POR BOMBEO	88
1.11. DESCARGAS AL MAR.....	92
2. CALIBRACIÓN	93
2.1. CALIBRACIÓN: PARÁMETROS	93
2.1.1. Permeabilidad	93
2.1.2. Coeficiente de Almacenamiento.....	96
2.1.3. Conexión hidráulica río-acuífero, C_R	97
2.1.4. Condición de contorno de Caudal Prefijado	98
2.1.5. Recarga por infiltración	99
2.2. CALIBRACIÓN: PIEZOMETRÍA	102
2.3. CALIBRACIÓN: BALANCE HÍDRICO.....	116
3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	132
3.1. PERMEABILIDAD, K	132
3.2. COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO.....	133
3.3. CONEXIÓN HIDRAÚLICA RÍO-ACUÍFERO, C_R Y CARGA HIDRAÚLICA EN EL RÍO.....	134
3.4. CONDICIÓN DE CONTORNO DE CAUDAL PREFIJADO.....	135
3.5. RECARGA POR INFILTRACIÓN.....	136
3.6. VALORACIÓN DE LOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN Y DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO.....	136
4. SIMULACIONES	137

4.1. CONSIDERACIONES SOBRE REGULACIÓN DE LA CUENCA	137
4.2. HIPÓTESIS DE SIMULACIÓN	139
4.3. HIPÓTESIS I	140
4.4. HIPÓTESIS II	148
5. RESUMEN Y CONCLUSIONES	157
5.1. ESTUDIO DE SÍNTESIS	157
5.2. MODELIZACIÓN DEL SISTEMA HIDROGEOLÓGICO	161
5.2.1. Calibración del modelo	161
5.2.2. Análisis de Sensibilidad	165
5.2.3. Simulaciones	166
5.3. CONCLUSIONES	167

INDICE DE FIGURAS

Figura F1. Sistema hidrogeológico modelizado: acuífero de Motril-Salobreña, afloramientos calizos y piedemontes	13
Figura F2. Mapa topográfico de la U.H. Motril-Salobreña	15
Figura F3. Mapa del sustrato de la U.H. Motril-Salobreña	17
Figura F4. Mapa de espesores de la U.H. Motril-Salobreña	19
Figura F5. Planta y secciones del modelo	20
Figura F6. Valores de Transmisividad ($m^2/día$) en puntos ensayados	23
Figura F7. Zonificación inicial de Permeabilidades	27
Figura F8. Zonificación inicial del Coeficiente de Almacenamiento	29
Figura F9. Puntos de observación utilizados para calibrar el modelo	34
Figura F10.a-b Piezometrías estacionales	35
Figura F10 c-d. Piezometrías estacionales	36
Figura F11. Estaciones meteorológicas en el ámbito del estudio	42
Figura F12 a. Correlación de variables meteorológicas: Precipitación	43
Figura F12 b. Correlación de variables meteorológicas: Temperatura	43
Figura F13. Usos agrícolas del suelo	51
Figura F14. Zonas de recarga por infiltración y pozos de control	54
Figura F15. Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del Suelo: agricultura, caña de azúcar	57

Figura F16. Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del Suelo: agricultura, cultivos tropicales	58
Figura F17. Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del Suelo: agricultura, huerta	59
Figura F18. Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del Suelo: sin uso agrícola.....	60
Figura F19. Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del Suelo: agricultura, caña de azúcar.....	61
Figura F20. Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del Suelo: agricultura, cultivos subtropicales	62
Figura F21. Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del Suelo: agricultura, huerta.....	63
Figura F22. Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del Suelo: sin uso agrícola	64
Figura F23. Excedentes superficiales mensuales medios en el azud del Vínculo (período: 1972/73-1997/98).....	75
Figura F24. Red hidrográfica y secciones de aforo en el río Guadalfeo	76
Figura F25. Zonas en que se evalúa la relación río-acuífero y las descarga por manantiales	83
Figura F26. Condición de contorno de caudal fijo en el modelo. Entradas.....	87

Figura F27. Pozos de bombeo considerados en el modelo.....	91
Figura F28. Piezometría calculada y líneas de flujo	103-104
Figura F29. Piezometría calculada y líneas de flujo. Secciones del modelo	105
Figura F30.a. Evolución del cono de bombeo en la confluencia del río Guadalfeo y rambla Molvizar.....	106
Figura F30.b. Evolución del cono de bombeo vecino al Peñón de Salobreña	107
Figura F31. Niveles calculados vs. observados. Análisis estadísticos de residuos	110-113
Figura F32. Balance Hídrico: Entradas/Salidas acumuladas del Sistema	118
Figura F33. Balance Hídrico: Evolución temporal de la recarga por infiltración	119
Figura F34. Balance Hídrico: Relación acuífero-aguas superficiales	121-125
Figura F35. Balance Hídrico: Relación acuífero-mar	127
Figura F36. Balance Hídrico: Evolución temporal del conjunto de los bombeos del sistema	129
Figura F37. Simulación Hipótesis I: Contraste entre piezometría resultante y de referencia	142-145
Figura F38. Diferencia entre las entradas y salidas del sistema para la Hipótesis I y para el año medio calibrado.....	146
Figura F39. Simulación Hipótesis II: Contraste entre piezometría resultante y de referencia	149-150
Figura F40. Simulación Hipótesis II: Variación en la relación acuífero- aguas superficiales	153-155

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro C1. Resultados para año medio del modelo del Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del suelo: agricultura, caña de azúcar	65
Cuadro C2. Resultados para año medio del modelo del Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del suelo: agricultura, cultivos subtropicales.....	66
Cuadro C3. Resultados para año medio del modelo del Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del suelo: agricultura, huerta	67
Cuadro C4. Resultados para año medio del modelo del Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del suelo: sin uso agrícola	68
Cuadro C5. Resultados para año medio del modelo del Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del suelo: agricultura, caña de azúcar.....	69
Cuadro C6. Resultados para año medio del modelo del Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del Suelo: agricultura, cultivos subtropicales	70
Cuadro C7. Resultados para año medio del modelo del Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del suelo: agricultura, huerta	71

Cuadro C8. Resultados para año medio del modelo del Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del suelo: sin uso agrícola.....72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla T1. Distribución altitudinal de superficies entre curvas de nivel dentro del acuífero Motril-Salobreña	14
Tabla T2. Valores de transmisividad-permeabilidad y coeficiente de almacenamiento obtenidos en el acuífero Motril-Salobreña por diferentes autores.....	21
Tabla T3. Balances hídricos del acuífero Motril-Salobreña estimados por distintos autores	38
Tabla T4. Características de las estaciones meteorológicas	41
Tabla T5. Demanda agrícola en el año 1988 y previsiones de incremento (horizontes 10 y 20 años) en la zona Motril-Salobreña	44
Tabla T6. Distribución mensual y anual de las demandas de agua (en hm³/año) según el Proyecto de la Presa de Rules (CHSE,1990)	45
Tabla T7. Zonas regadas, ahorros y déficit en el sector del Bajo Guadalfeo según el Plan hidrológico de la Cuenca del Sur en España (CHSE, 1995).....	46
Tabla T8. Distribución de los cultivos bajo regadío en los términos municipales de Motril, Salobreña y Molvizar, año agrícola 1996-97	47
Tabla T9. Comunidades de Regantes del sector Motril-Salobreña	48
Tabla T10. Resumen de las características de la distribución de cultivos en el acuífero Motril-Salobreña	49
Tabla T11. Distribución mensual media de las dotaciones de riego (m³/ha/año) para los cultivos de la Vega de Motril-Salobreña (valores orientativos).....	49
Tabla T12. Distribución de usos del suelo en el acuífero Motril-Salobreña	50
Tabla T13. Pozos de control en los modelos de Balance Hídrico	53

Tabla T14. Caudales excedentes en el azud del vínculo y caudales aforados	78
Tabla T15. Parámetros de condiciones de contorno de río y manantial	81
Tabla T16. Permeabilidades resultantes	96
Tabla T17. Coeficientes de almacenamiento resultantes	96
Tabla T18. Recarga resultante de la calibración del modelo (mm)	101
Tabla T19. Pozos con residuos de niveles superiores a 1 m	115
Tabla T20. Balance Hídrico: Evolución temporal de sus componentes	117
Tabla T21. Hipótesis II: Balance Hídrico, evolución temporal de sus componentes	151
Tabla T22. Recarga procedente del río Guadalfeo.....	152

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 5.I.1. Datos Piezométricos no tratados

Apéndice 5.I.2. Campañas Piezométricas

Apéndice 5.I.3. Datos piezométricos tratados

Apéndice 5.II.1. Descripción del Programa Visual BALAN v.1

Apéndice 5.II.2. Resultados de los modelos de Balance Hídrico

Apéndice 5.II.3.- Información inicial de Recarga para el modelo de acuífero de Motril-Salobreña

Apéndice 5.III.- Puntos de Explotación: características y regímenes de bombeo

Apéndice 5.IV.- Calibración: hidrogramas calculados y niveles datos en los puntos de observación

Introducción

El modelo matemático que se adjunta, forma parte de los trabajos previstos en el convenio de colaboración suscrito entre el ITGE y la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía. Esta introducción tiene como objetivo realizar una reseña, no exhaustiva, sobre los rasgos más relevantes del modelo de la U.H. 06.21 "Motril-Salobreña". Por ello, las consideraciones que se exponen son, fundamentalmente, cualitativas. Una reseña breve, detallada y rigurosa, en la que se cuantifican los distintos aspectos desarrollados en el estudio, sus conclusiones y propuestas, se encuentra en el Capítulo 5 de la memoria.

El trabajo de modelización presentado fue precedido por una labor de recopilación, análisis y síntesis de carácter exhaustivo, riguroso e integrador de toda la información existente. Los resultados de este trabajo se presentan en el Capítulo 1 de la Memoria.

La modelización numérica se realizó con el código en diferencias finitas Visual MODFLOW v. 2.81.105. El modelo numérico es tridimensional, con celdas de 200 m por 200 m y se discretizó el espesor saturado en tres capas de potencia variable. Con este último rasgo se procuró representar adecuadamente el acuitardo y el nivel semiconfinado existentes en la desembocadura del río Guadalfeo.

La calibración del modelo se realizó en régimen transitorio, para un año medio del sistema, correspondiente al período 1982-1998. No obstante, tanto para seleccionar dicho período como para definir los datos del año medio, se realizó una revisión y análisis de la evolución histórica de los datos: climatológicos; de ocupación, técnicas de laboreo y tipo de actividad agrícola; bombeos; régimen hídrico de la red hidrográfica; piezometría; etc. Ello permitió tener una aproximación de detalle diferenciada para los distintos componentes del sistema, acorde al conocimiento que se alcanzó en cada caso, pero persiguiéndose, a su vez, una representación numérica coherente e integrada de los mismos. Así se definieron, entre otros componentes, los niveles piezométricos estacionales medios, los bombeos mensuales medios o las entradas anuales medias al sistema (aluviales del río Guadalfeo y rambla de Molvizar, descarga de la U.H. de Escalate).

En las labores de premodelización, para caracterizar la recarga por infiltración, integrando los distintos procesos y orígenes que intervienen, se aplicó el código Viasual BALAN v.1 Este se ejecutó en 8 modelos sintéticos, que representaban los distintos tipos de cultivos en las zonas de influencia de las estaciones meteorológicas existentes en el área. Los resultados alcanzados, si bien no brindaron un ajuste plenamente satisfactorio, si ofrecen un carácter orientativo en la posterior labor de modelización.

El modelo elaborado presenta las siguientes novedades:

- Representación de los afloramientos calizos y los piedemonte, integrándolos con el acuífero de Motril-Salobreña en un sistema hidrogeológico único.
- Representación del acuitardo y del nivel semiconfinado del acuífero.
- Representación de las relaciones con el sistema de todos los cursos de la red hidrográfica de la zona.
- Un primer avance de los efectos sobre el acuífero de la futura presa de Rules mediante la simulación de las hipótesis I y II.
- Cuantificación de las descargas de los manantiales del Peñón de Salobreña.

La calibración y el análisis de sensibilidad del modelo se describen en los Capítulos 2 y 3, respectivamente, de la memoria. Los resultados alcanzados en la calibración son plenamente satisfactorios y ofrecen una aproximación al conocimiento del medio. Por ello brindan una base consistente para abordar una discusión acerca de las distintas conceptualizaciones que se han realizado del sistema. Algunas de las aportaciones de este trabajo a destacar son:

- La actividad humana es un factor esencial en este sistema de flujo. Las entradas mayoritarias del sistema son el retorno del regadío en la recarga por infiltración y la recarga inducida por bombeos en las márgenes del Guadalfeo.
- La entrada evaluada, de forma rigurosa, para el aluvial del Guadalfeo es sensiblemente menor que las valoraciones hechas hasta el momento.

- La cuantificación obtenida de la descarga de los manantiales del Peñón de Salobreña resulta plausible.
- El modelo puso de manifiesto la incertidumbre existente en el conocimiento sobre el acuitado y el nivel semiconfinado de la desembocadura del río Guadalfeo y los recursos entrantes por el aluvial de la rambla de Molvizar.

Las simulaciones se realizaron para estudiar los posibles efectos de la presa de Rules sobre este sistema acuífero, definiéndose para ello dos hipótesis. Las simulaciones se describen en el Capítulo 4 de la Memoria. En la Hipótesis I se elimina la entrada por el aluvial del río Guadalfeo y se simula un año manteniendo las restantes condiciones. La Hipótesis II es igual a la I pero se impone que el caudal circulante por el río Guadalfeo no exceda los $9.1 \text{ hm}^3/\text{año}$, el cual es el caudal ecológico definido en el diseño de la presa. Las dos hipótesis sólo contemplan la simulación de un año, el siguiente al comienzo de funcionamiento del embalse, que se trataría de un año de transición hacia un nuevo equilibrio del acuífero. Sobre las nuevas situaciones de equilibrio se ofrecen hipótesis plausibles. No obstante, en rigor, el modelo no ha llegado a simular los nuevos escenarios posibles que puedan alcanzarse.

En las hipótesis simuladas no se tienen en cuenta las posibles variaciones en los retornos de riego por mejora de la eficiencia de los mismos, lo que está previsto en el Plan Hidrológico, ni cambios de hábitos o en la superficie de los distintos cultivos. Ello es debido a la inexistencia de una planificación y ordenación futura de la explotación agrícola en la zona. Asimismo, no se simula una gestión conjunta de los recursos hidráulicos de la zona (embalse-acuífero), tal como se propone en el Plan Hidrológico. Ello se debe a que una gestión conjunta se basa en reglas de operación, las cuales deben estar definidas y ser conocidas, si se va a simular sólo el acuífero o, si se persigue su definición, se deberá elaborar un modelo de gestión conjunta que comprenda todos los elementos del sistema hídrico (presa, acuíferos, fuentes, centros de consumo, etc). Ambas situaciones se encuentran fuera del alcance de este Estudio.

1. DATOS DE ENTRADA

1.1. GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO Y CONDICIONES EN LOS LÍMITES

La unidad hidrogeológica Motril-Salobreña ocupa una superficie de 46.7 km², algo mayor que la que figura en los documentos oficiales anteriores (42 km²) donde no se incluye parte de las terrazas aluviales del sector del Puntalón. Los materiales estrictamente aluviales, más recientes, ocupan una superficie de 36 km², en tanto que el resto corresponde a los piedemonte de Molvizar y El Puntalón. Ver Figura F1.

El sustrato y bordes del acuífero están constituidos por materiales alpujárrides de varios mantos de cabalgamiento. La mayor parte de los materiales acuíferos reposan discordantemente sobre metapelitas alpujárrides de baja permeabilidad. Al norte del piedemonte de Molvizar, el acuífero detrítico se pone en contacto directo con el carbonatado de Escalate que actúa como alimentador de aquel. En el sector suroccidental existen también materiales carbonáticos sobre los que se asienta la ciudad de Salobreña cuya potencia en profundidad se desconoce si bien se considera que tales materiales forman parte del acuífero detrítico jugando un papel de elemento colector más transmisivo habida cuenta de la existencia de manantiales en el borde sur (por diferencia de permeabilidad con los detríticos). Por último, el borde meridional del sistema es el mar Mediterráneo que es considerado como un límite permeable de potencial prácticamente constante.

En el sector de la desembocadura se ha constatado la existencia de un acuífero profundo (acuífero multicapa) con cierto grado de confinamiento. Algunas de las perforaciones que se han realizado en la zona han sido surgentes. Este tipo de estructura hidrogeológica es común a la casi totalidad de las desembocaduras de los ríos en la cuenca mediterránea.

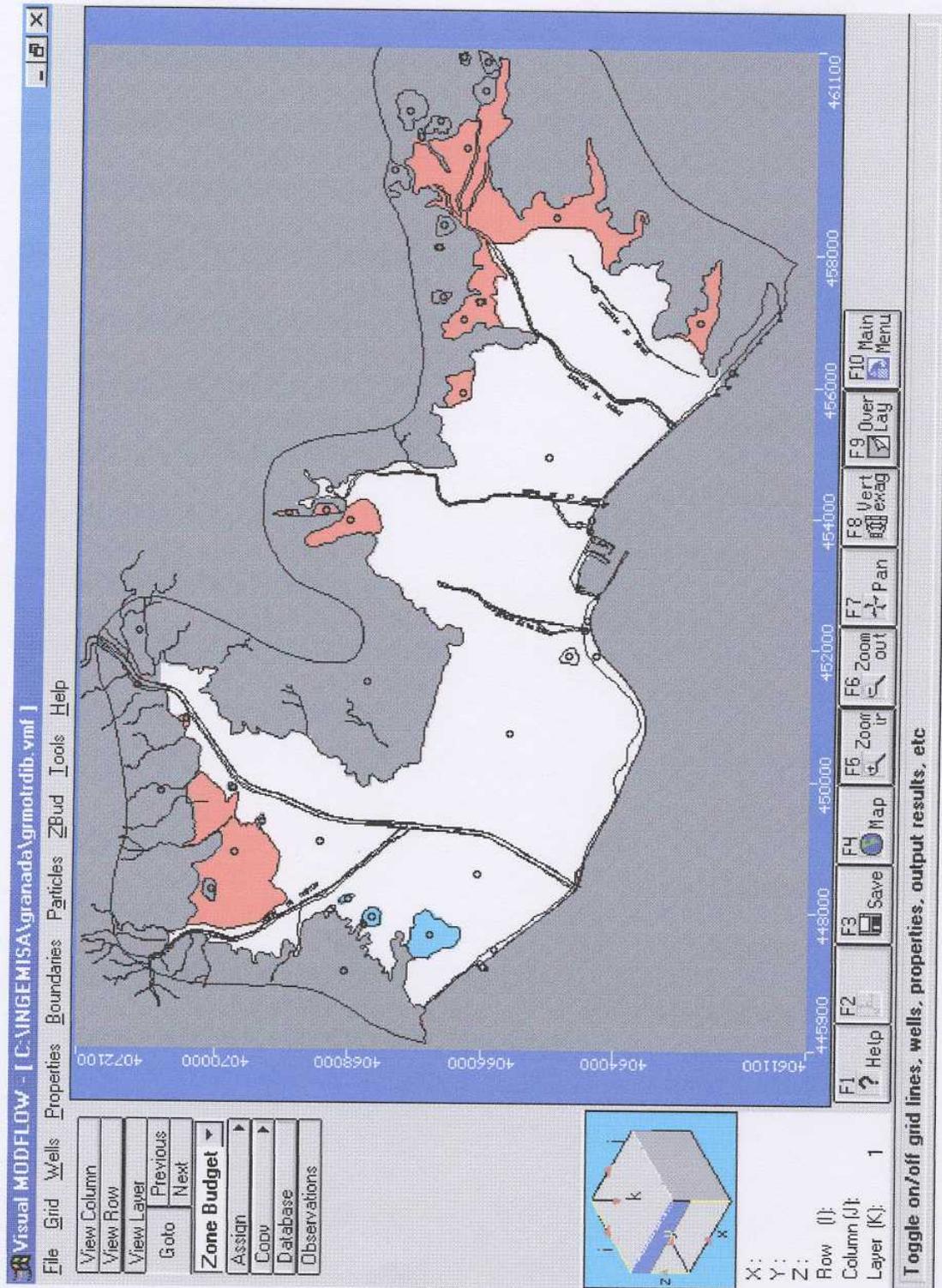


Figura F1. Sistema Hidrogeológico modelizado: acuífero de Motril-Salobreña, afloramientos calizos y piedemonte

1. 1. 1. Topografía

En llanuras aluviales como la que nos ocupa es de sumo interés disponer de una topografía detallada del sector, especialmente en los puntos donde se van a realizar las calibraciones. En este Proyecto se ha partido de la cartografía existente a escala 1:25.000 que permite obtener curvas de nivel de equidistancia 10 m, las cuales se digitalizaron.

Tras un análisis en ARC/INFO se han obtenido las coordenadas UTM de un buen número de puntos de cada curva de nivel. A este listado se le han añadido las coordenadas y cota de los puntos de agua del sector. Finalmente, con ayuda del módulo de interpolación de SURFER, mediante krigeaje, se ha generado un nuevo plano topográfico del sector con la virtud de que, en los puntos de agua nivelados, se respeta su cota lo que permite trabajar con valores absolutos, es decir, niveles piezométricos (Figura F2).

En el caso de los cauces se han localizado, además de su trazado las cotas de los puntos más bajos de los mismos con ayuda de los mapas topográficos 1:10.000.

En la Tabla T1 se pueden observar las superficies ocupadas entre las cotas que se indican. La superficie total de acuífero es de 46.69 km² y su perímetro es de 85.55 km.

Distribución altitudinal de superficies	Sup. (km ²)
De 0 a 50 m	34.960
De 50 a 100 m	8.804
De 100 a 150 m	1.850
De 150 a 200 m	0.763
> 200 m	0.310
Total acuífero Motril-Salobreña	46.686

Tabla T1. Distribución altitudinal de superficies entre curvas de nivel dentro del acuífero Motril-Salobreña.

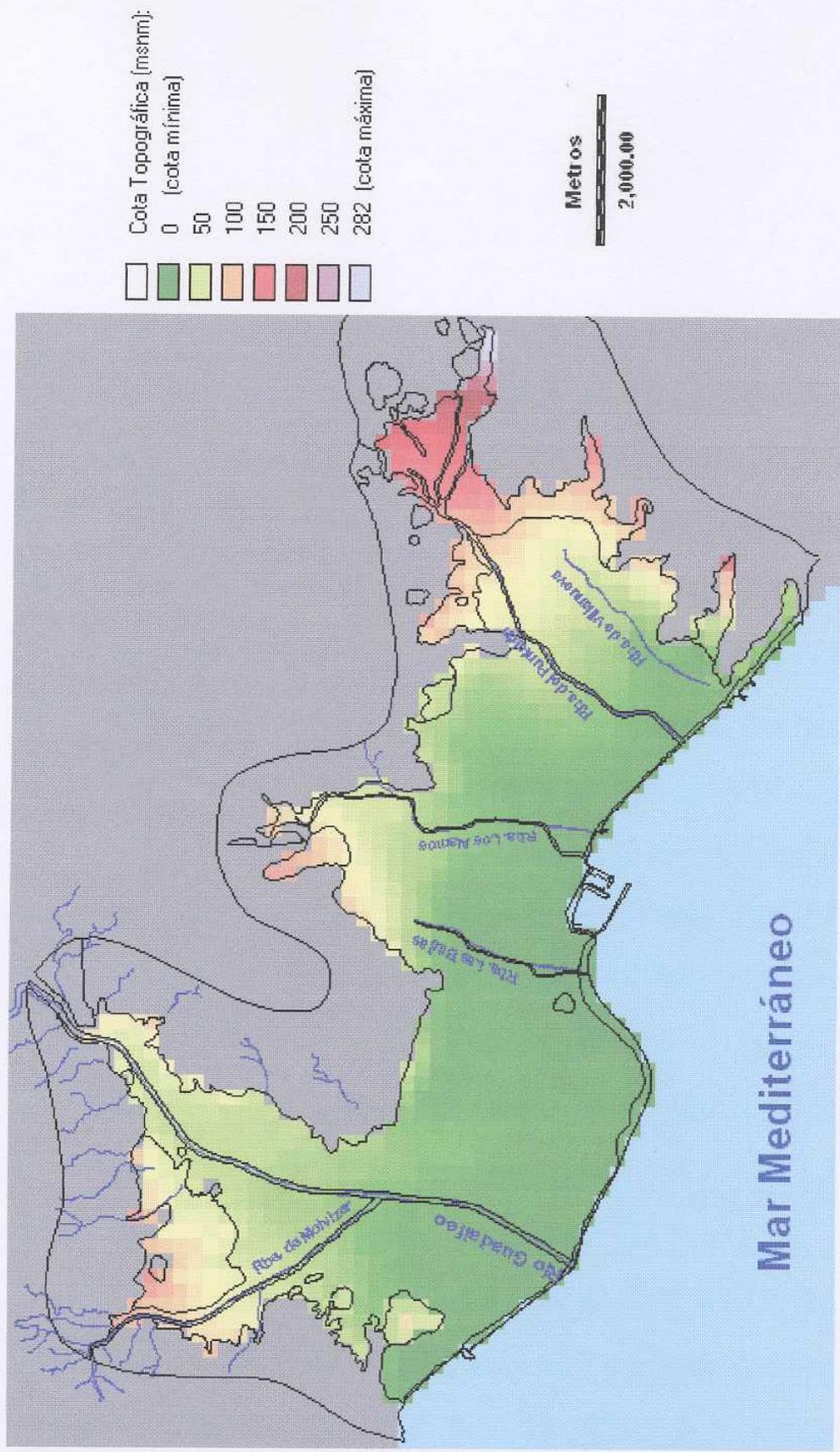


Figura F1. Mapa topográfico de la U.H. Motril-Salobreña

1. 1. 2. Sustrato

Los datos relativos al sustrato del acuífero proceden de los diferentes estudios realizados en el sector. El mapa del sustrato se ha generado a partir de toda la información puntual disponible (sondeos mecánicos y geofísica) tras un proceso de interpolación por krigeaje (Figura F3).

Entre los estudios recientes se han tenido especialmente en cuenta los datos procedentes de los siguientes: a) sondeos de investigación, captaciones y geofísica realizada por INGEMISA para la Confederación Hidrográfica del Sur de España pertenecientes al Plan de Emergencia de 1995, b) datos geofísicos recogidos por el estudio IDRENA para el ITGE (1988), c) datos geofísicos del trabajo de la DGOH-JA (1992) realizado por INGEMISA, y d) geofísica de la Tesis de Licenciatura de Soto (1998).

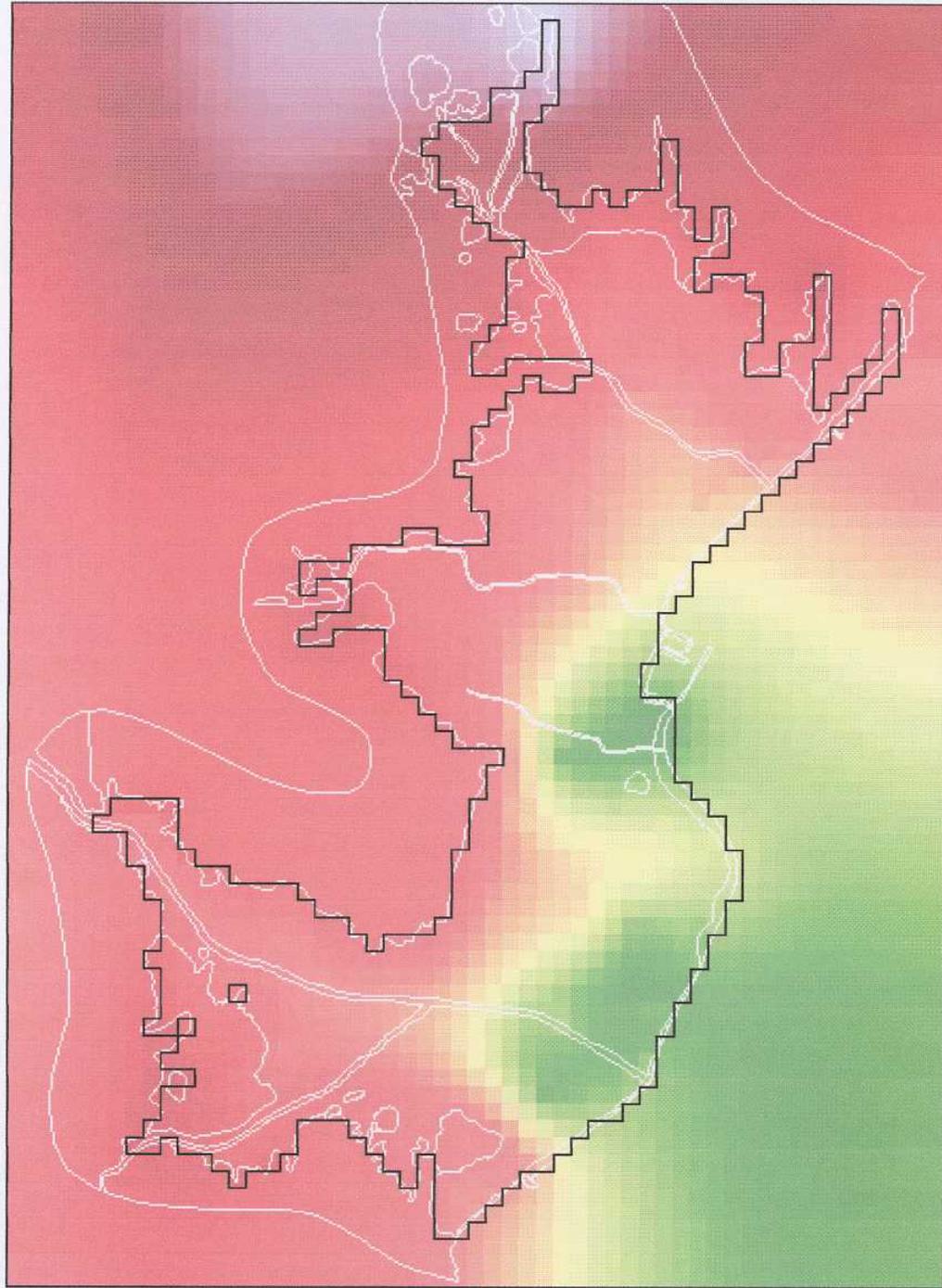


Figura F3. Mapa del sustrato de la U.H. Motril-Salobreña

1. 1. 3. Espesores del acuífero

A partir del mapa topográfico y del sustrato se ha obtenido un mapa de isoespesores que refleja con claridad la geometría del acuífero (Figura F4). Las mayores potencias se encuentran en el sector de la desembocadura del río Guadalfeo donde se superan los 220 m en tanto que los menores espesores se localizan en las proximidades de los bordes.

1. 1. 4. Discretización del dominio modelado

Se define un modelo tridimensional del acuífero mediante la discretización del mismo en tres capas de espesor variable. Cada capa se encuentra compuesta por 1189 elementos de 200m por 200m. La superficie en planta del acuífero es de 47,56 km².

El espesor mínimo que se definió para el modelo fue de 10 m. Ello se efectuó para evitar que se secaran celdas, con el consiguiente perjuicio en la estabilidad numérica del mismo. Las celdas afectadas se encuentran en la periferia del modelo, en las zonas de los conos de deyección de las ramblas del Puntalón y Molvizar.

La capa media del modelo se definió para poder representar adecuadamente la geometría del acuitardo que impone condiciones de confinamiento al acuífero profundo en la desembocadura del río Guadalfeo. Debido a ello el espesor de dicha capa es variable adecuándose al correspondiente valor conocido o estimado del acuitardo. Fuera del área de desarrollo del acuitardo, la capa media representa al acuífero.

Se aplicó el SIG raster Idrisi para abordar las tareas de preproceso para:

- La discretización de las interpolaciones obtenidas con SUFER para las superficies de la topografía y el sustrato.
- la adaptación de la superficie discretizada del sustrato al requerimiento del espesor mínimo.
- la definición de las superficies que definen la capa media

En la Figura F5 a - c, se exponen: una planta del modelo, dos cortes: N-S y E-O.

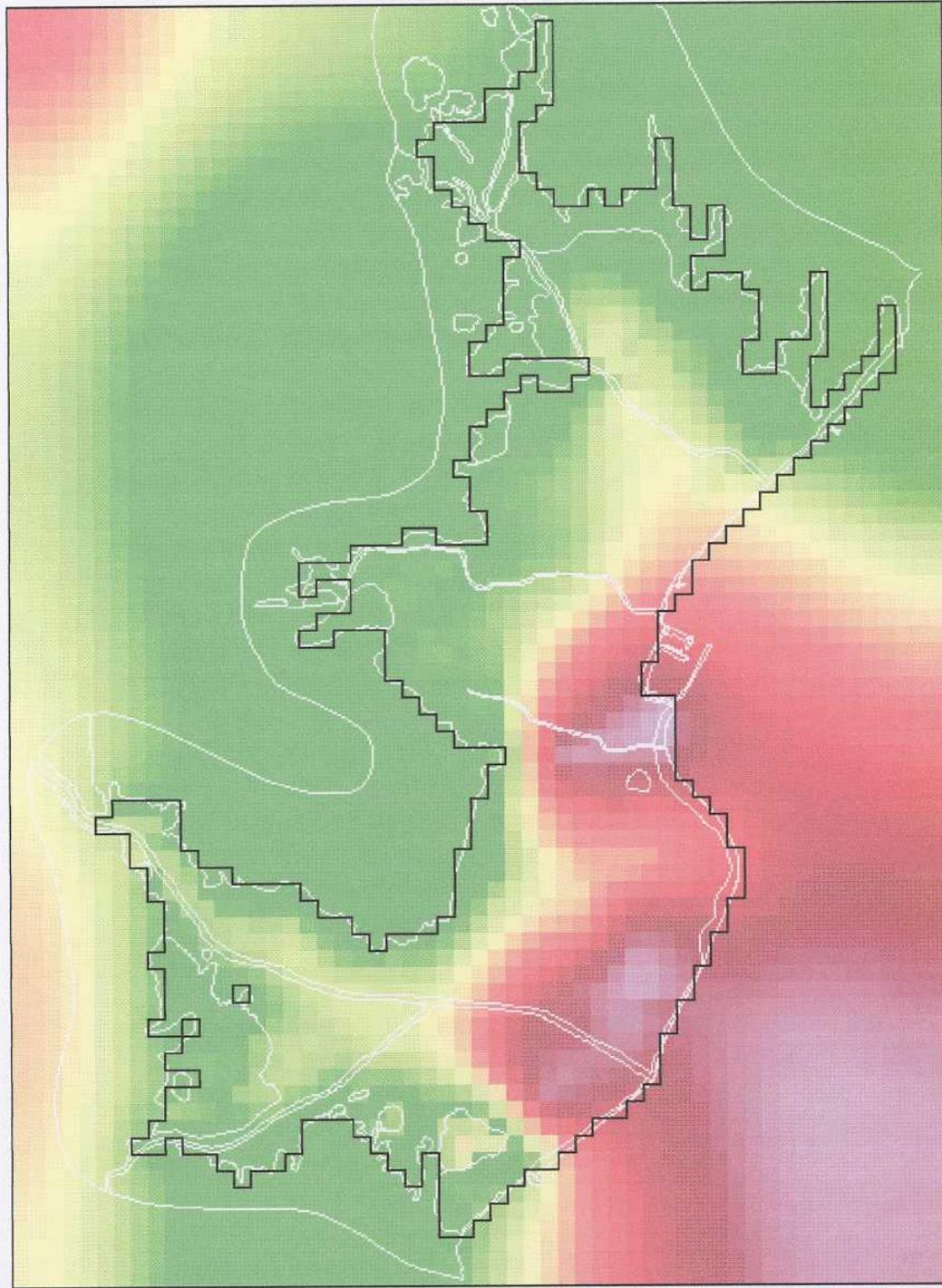
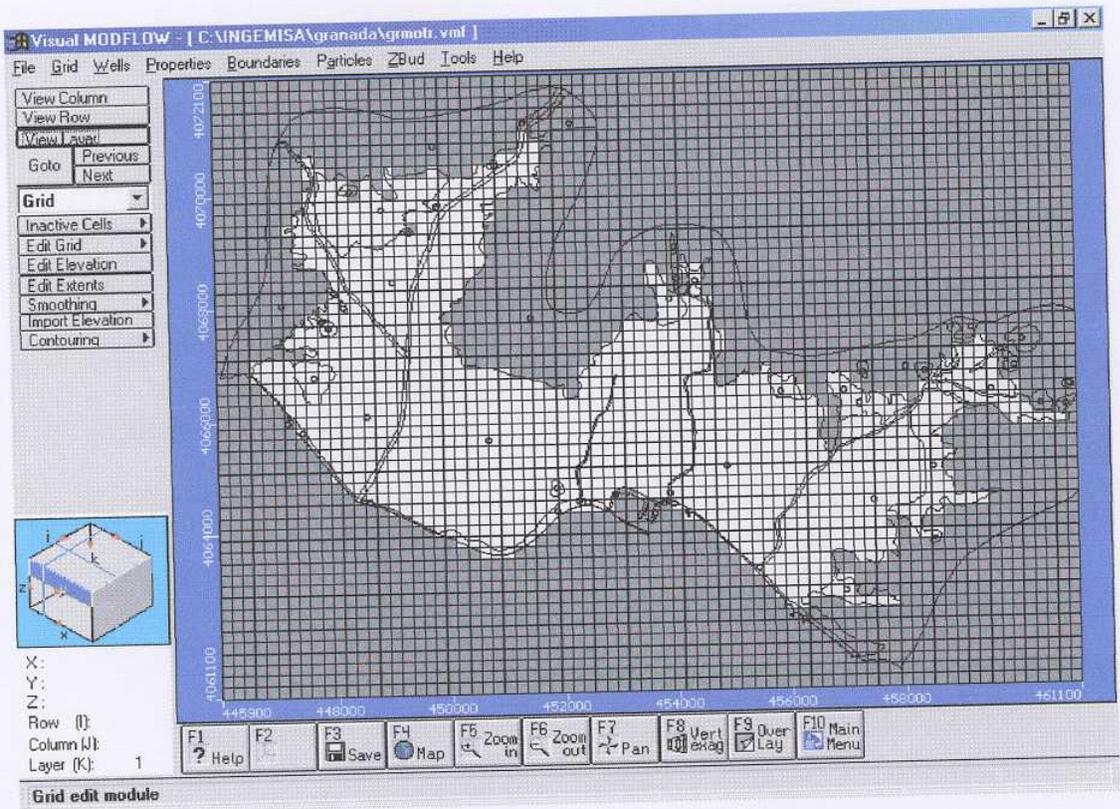
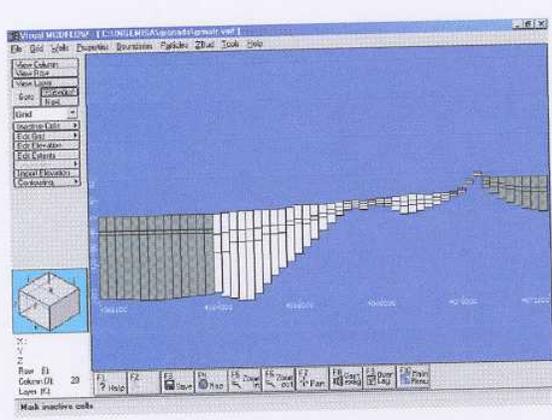


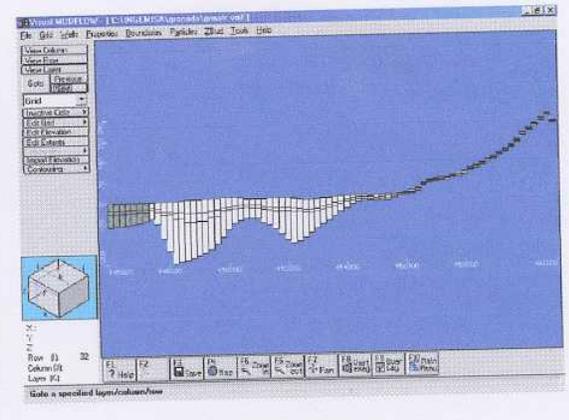
Figura F4. Mapa de espesores de la U.H. Motril-Salobreña



a. Malla del modelo. Nivel: 1



b. Malla del Modelo. Columna: 20



c. Malla del Modelo. Fila: 32

Figura F5. Planta y secciones del modelo

1. 2. PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Entre los primeros datos sobre las características hidráulicas del acuífero figuran los de Castillo (1975). Este autor obtiene la transmisividad en cinco ensayos de bombeo realizados en el sector occidental y sus datos son recogidos por la mayor parte de los trabajos posteriores. En IGME (1989) figuran los resultados de tres ensayos de bombeo realizados en abril de 1986. Por último, los datos más recientes sobre la permeabilidad y coeficiente de almacenamiento del acuífero corresponden a los obtenidos en los ensayos de bombeo realizados en el estudio de la Confederación Hidrográfica del Sur de España (Plan de Emergencia, 1995). Todos los datos reseñados anteriormente se exponen en la Tabla T2.

Punto	Y (UTM)	Y (UTM)	Z (m s.n.m.)	T (m ² /día)	K (m/día)	S (%)	Fuente
1944-4-0004	450999	4070120	48.77	6300			Castillo (1975)
1944-4-0014	449477	4068337	15.00	4300			Castillo (1975)
1944-4-0016	449526	4068262	28.71	10400			Castillo (1975)
1944-4-0062	451800	4073110	85	19560	248	21.70%	P-01 (Emerg. 1995)
1944-8-0007	446744	4066983	8.00	2250			Castillo (1975)
1944-8-0094	452709	4086140	10.00	648		0.39%	IGME (1989). N.T.
1944-8-0106	449064	4065618	8.5	2172		0.04%	IGME (1989). N.T.
1944-8-0113	449270	4066315	14.4	4000 a	35	0.82%	P-07 (Emerg. 1995)
1944-8-0115	449200	4065995	12.1	6200 a	50	1.50%	P-08 (Emerg. 1995)
1944-8-0116	449064	4065618	8.5	9000	61		P-09 (Emerg. 1995)
1944-8-0117	448860	4065310	7.5	5535	40		P-10 (Emerg. 1995)
2044-5-0060	455589	4063821	8.00	532		0.04%	IGME (1989). N.T.

Tabla T2. Valores de transmisividad-permeabilidad y coeficiente de almacenamiento obtenidos en el acuífero Motril-Salobreña por diferentes autores.

En la Figura F6 se sitúan los valores de transmisividad y permeabilidad obtenidos en las distintas campañas. En caso de no haberse evaluado la permeabilidad en los ensayos, la misma se aproximó adoptando como tramo de ensayo a la profundidad del pozo. Se puede observar que:

- Los valores más altos de permeabilidad, hasta 1182 m/día, se localizan en el sector septentrional del acuífero, en las inmediaciones del río Guadalfeo, entre el azud del Vínculo y la afluencia de la rambla de Molvizar.
- La permeabilidad disminuye siguiendo aguas abajo el curso del río Guadalfeo. En la vecindad del último kilómetro de su cauce antes de su desembocadura, los valores de k oscilan entre los 30 m/día y los 50m/día.
- La permeabilidad disminuye hacia el Este. Desde los 850 m/día, en la vecindad de Salobrefña, cercano al borde del acuífero en su extremo occidental, a 35m/día en el centro del mismo, junto a la rambla de Los Alamos, y 20 m/día junto a la rambla del Puntalón, en el extremo oriental del acuífero.

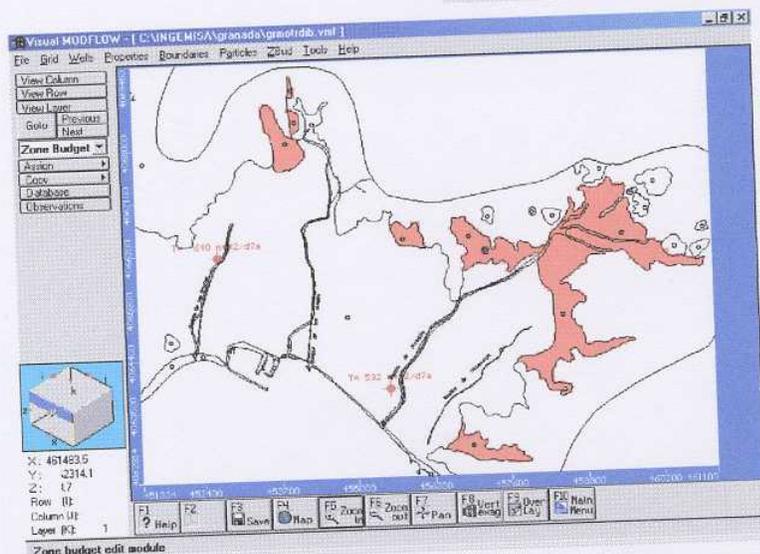
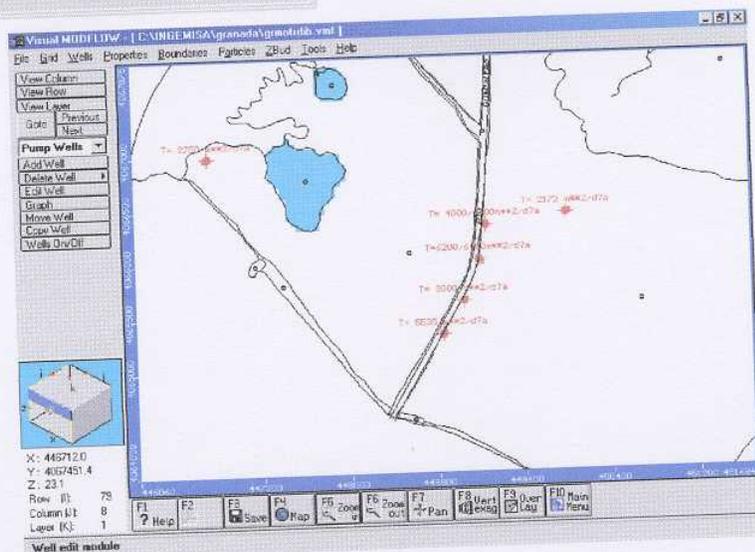
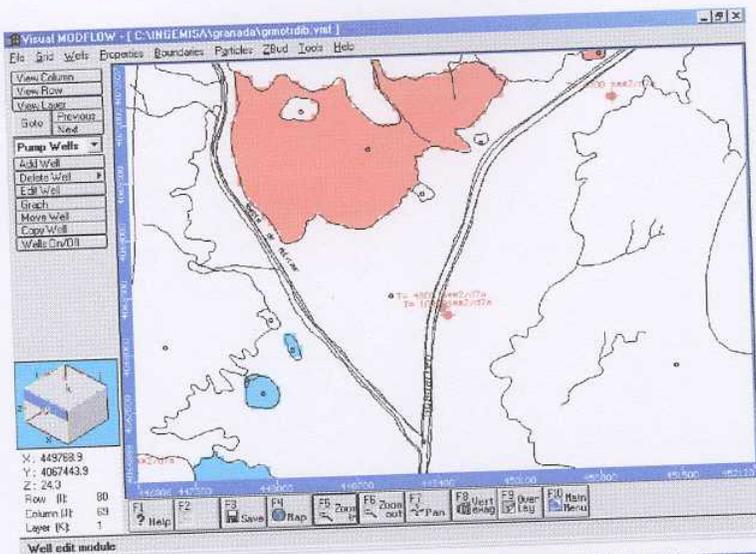


Figura F6. Valores de Transmisividad ($m^2/día$) en puntos ensayados

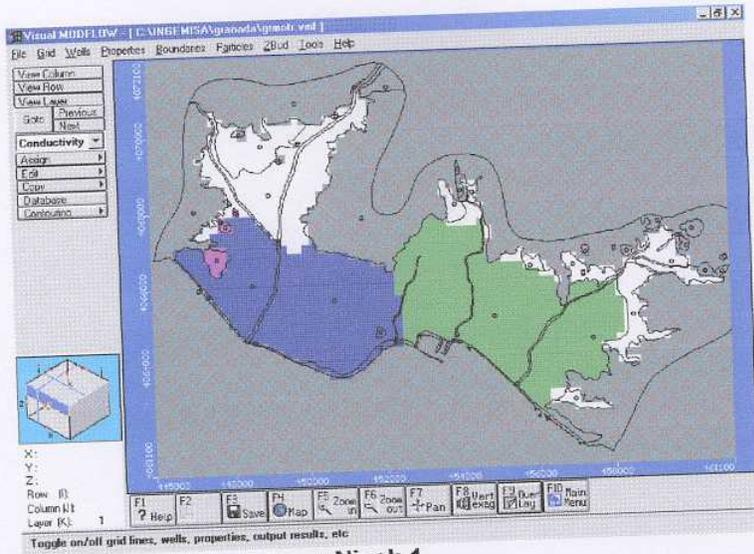
Este análisis espacial resulta algo simplista y se basa en escasos datos, que se hallan heterogéneamente distribuidos en el dominio. Otra características de los datos es que la mayor parte proceden de ensayos ejecutados en las adyacencias de cursos de la red hidrográfica. Este hecho sugiere que las permeabilidades obtenidas pueden ser superiores a los valores medios que puede ofrecer el acuífero, debido a la mayor conductividad hidráulica de los materiales aluviales en la cercanía de los ríos y ramblas de la zona. Se supone que los pozos ensayados se encontraban ranurados en su totalidad.

No obstante, a pesar de las consideraciones expuestas en el párrafo anterior, los datos ofrecen la coherencia suficiente como para definir con solvencia la zonificación inicial de permeabilidades y asignarles valores a las zonas definidas. La definición de las zonas se basó no sólo en criterios hidrogeológicos, sino que se consideró también que cada una de las mismas estuviera respaldada por un número conveniente de datos piezométricos. Se procuró con ello brindar consistencia a los parámetros resultantes del proceso de calibración. La zonificación se puede observar para cada capa del modelo en la Figura F7 a-c. Se definen 6 zonas de permeabilidad que se corresponden con:

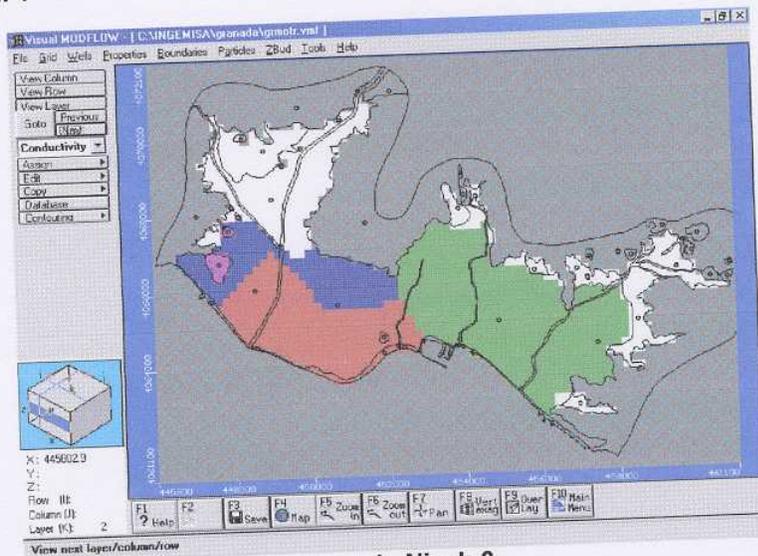
- Zona 1: comprende a los materiales más permeables del modelo y se corresponde con los piedemonte de la zona, entre ellos los de Molvizar, y El Puntalón, y los materiales de borde del acuífero. Los datos de referencia proceden de ensayos en las inmediaciones del río Guadalfeo. Los datos piezométricos, con la excepción del punto 2044-5-0042, se encuentran en las cuencas del Guadalfeo y de la rambla de Molvizar, en el extremo Oeste del modelo. Los valores adoptados inicialmente son: $k_{x1} = k_{y1} = k_{z1} = 3.0 \times 10^{-3}$ m/s.
- Zona 2: franja costera de la mitad Occidental. Los datos de referencia proceden de cuatro ensayos en las inmediaciones del río Guadalfeo, uno en la vecindad de la población de Almuñecar y otro situado en el sector Norte de esta zona. Los cuatro sondeos vecinos al río también penetran con tramos ranurados al acuitardo y al nivel semiconfinado subyacentes a esta zona en el sector de la desembocadura del río. Los datos piezométricos son abundantes y se hallan

homogéneamente distribuidos. Los valores adoptados inicialmente son: $k_{x2} = k_{y2} = 5.0 \times 10^{-4}$ m/s, $k_{z2} = 5.0 \times 10^{-6}$ m/s.

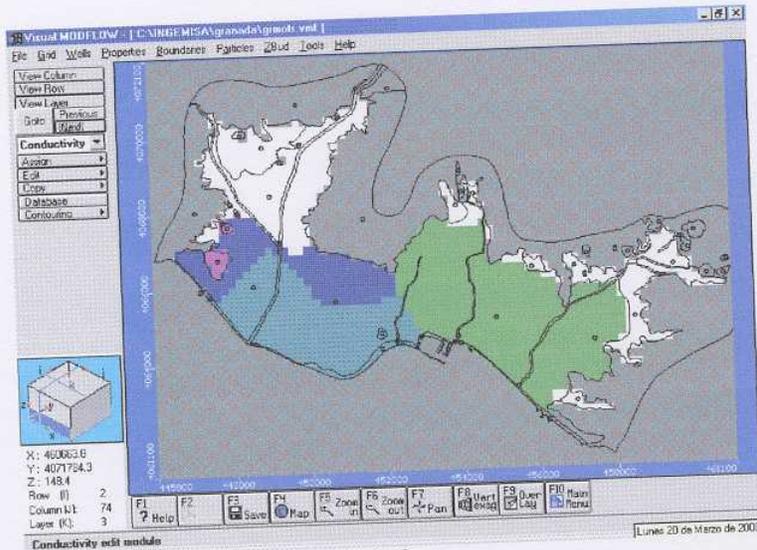
- Zona 3: franja costera de la mitad Oriental. Los datos de referencia proceden de dos ensayos, uno cercano al cauce de la rambla de los Alamos y otro al de El Puntalón. Los datos piezométricos son más abundantes en la franja costera, escaseando hacia el interior. Los valores adoptados inicialmente son: $k_{x3} = k_{y3} = 3.0 \times 10^{-4}$ m/s, $k_{z3} = 1.0 \times 10^{-8}$ m/s.
- Zona 4: nivel profundo de la franja costera Occidental, al cual se supone semiconfinado. Los cuatro sondeos vecinos al Guadalfeo son parcialmente penetrantes de este nivel. Sólo escasos sondeos, todos parcialmente penetrantes en el mismo, ofrecen datos piezométricos. Los valores adoptados inicialmente son: $k_{x4} = k_{y4} = 5.0 \times 10^{-5}$ m/s, $k_{z4} = 5.0 \times 10^{-7}$ m/s.
- Zona 5: representa al acuitardo existente en la desembocadura del río Guadalfeo. La extensión del acuitardo se desconoce con exactitud, por ello la geometría de esta zona, y con ella la del nivel semiconfinado, se basa en hipótesis. Los cuatro sondeos vecinos al río Guadalfeo son totalmente penetrantes en el mismo. Los sondeos que alcanzan al acuitardo y ofrecen datos piezométricos son escasos. Los valores adoptados inicialmente son: $k_{x5} = k_{y5} = 1.0 \times 10^{-7}$ m/s, $k_{z5} = 1.0 \times 10^{-7}$ m/s.
- Zona 6: representa a los afloramientos calizos, cuyo exponente más relevante es el Peñón de Salobrefia. No existen puntos ensayados, ni con datos piezométricos, en esta zona. Los valores adoptados inicialmente son: $k_{x6} = k_{y6} = 1.0 \times 10^{-5}$ m/s, $k_{z6} = 1.0 \times 10^{-4}$ m/s.



a. Nivel: 1



b. Nivel: 2



c Nivel: 3

Property #	Kx [m/s]	Ky [m/s]	Kz [m/s]	Color
1	0.003	0.003	0.003	White
2	0.0005	0.0005	5. E-06	Blue
3	0.0003	0.0003	1. E-06	Green
4	5. E-05	5. E-05	5. E-07	Cyan
5	1. E-07	1. E-07	1. E-07	Red
6	1. E-05	1. E-05	0.0001	Purple

Figura F7. Zonificación inicial de Permeabilidades

En cuanto a la porosidad, Castillo (1975) estima por datos geofísicos que su valor debe estar comprendido entre el 8 y el 20%. Según este autor parece aceptable considerar que el coeficiente de almacenamiento oscilaría entre el 5 y el 10%. Estas cifras orientativas son recogidas por la mayor parte de los estudios posteriores. En la Nota Técnica del IGME nº 297 (Málaga) que forma parte de la 3ª fase del estudio del Guadalfeo (IGME, 1989), se obtienen cifras de coeficiente de almacenamiento en tres puntos de la zona. El valor más elevado de coeficiente de almacenamiento, 22%, se ha obtenido en un ensayo realizado en las inmediaciones de Azud del Vínculo, dentro del Plan de Emergencia 1995 de la CHSE. Finalmente, Soto (1998) estima que el coeficiente de almacenamiento debe oscilar entre el 6 y el 20%.

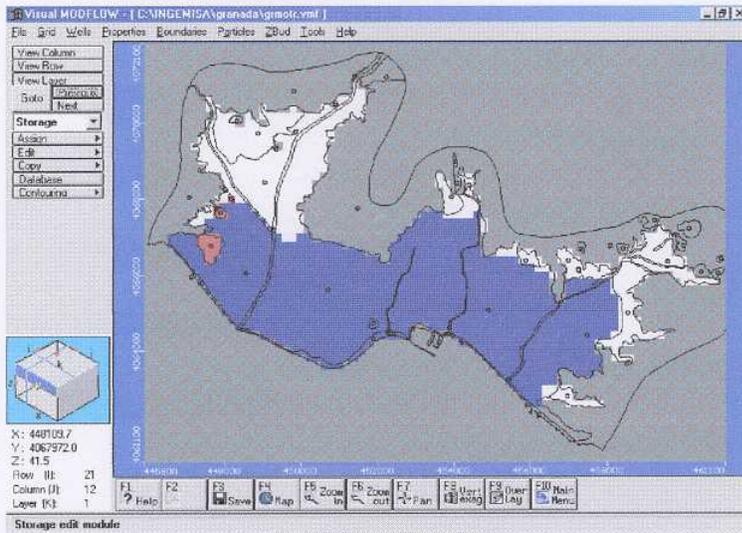
Para problemas de flujo Visual MODFLOW considera dos parámetros asociados al almacenamiento, ellos son:

- S_s , almacenamiento específico, es definido como el volumen de agua que un volumen unitario de acuífero descarga del almacenamiento ante una pérdida unitaria en la carga hidráulica.
- S_y , rendimiento específico, es definido como el volumen de agua que un acuífero descarga del almacenamiento por unidad de superficie ante un descenso unitario en el nivel piezométrico

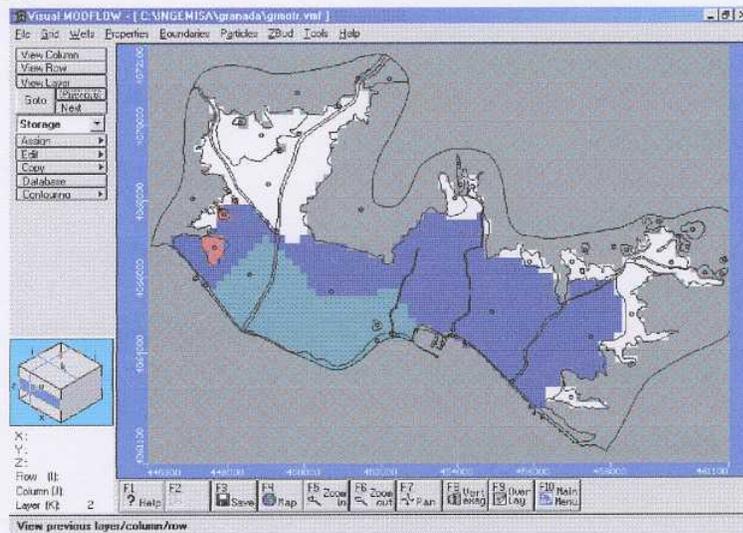
Basado en la información referida anteriormente, se definieron cinco zonas para el coeficiente de almacenamiento. La geometría de las mismas se procuró que guardara coherencia con la geometría de la zonificación de permeabilidades. La zonificación se puede observar para cada capa del modelo en la Figura F8 a-c.

- Zona 1: comprende a los materiales más permeables del modelo y se corresponde con los piedemonte de la zona y los materiales de borde del acuífero. La geometría de esta zona coincide con la de la zona 1 de permeabilidades. Los valores adoptados inicialmente son: $S_{S1} = S_{y1} = 0.25$.

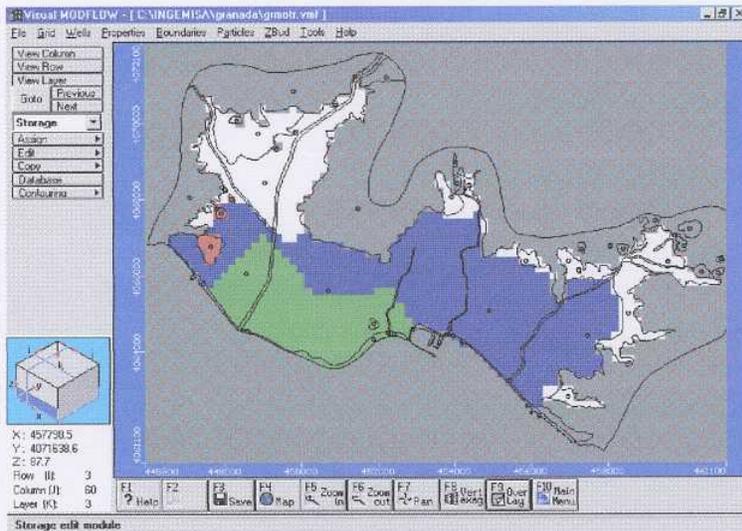
- Zona 2: franja costera del dominio modelado, comprende la mayor parte del acuífero. La geometría de la zona abarca las zonas 2 y 3 de la zonificación de permeabilidad. Los valores adoptados inicialmente son: $S_{S2} = S_{Y2} = 0.30$.
- Zona 3: nivel profundo de la franja costera Occidental, al cual se supone semiconfinado. Los cuatro sondeos vecinos al Guadalfeo son parcialmente penetrantes de este nivel. Sólo escasos sondeos, todos parcialmente penetrantes en el mismo, ofrecen datos piezométricos. Los valores adoptados inicialmente son: $S_{S3} = S_{Y3} = 0.0015$.
- Zona 4: representa al acuitardo existente en la desembocadura del río Guadalfeo. La extensión del acuitardo se desconoce con exactitud, por ello la geometría de esta zona, y con ella la del nivel semiconfinado, se basa en hipótesis. Los cuatro sondeos vecinos al río Guadalfeo son totalmente penetrantes en el mismo. Los sondeos que alcanzan al acuitardo y ofrecen datos piezométricos son escasos. Los valores adoptados inicialmente son: $S_{S4} = S_{Y4} = 0.0015$.
- Zona 5: representa a los afloramientos calizos, cuyo exponente más relevante es el Peñón de Salobreña. No existen puntos ensayados, ni con datos piezométricos, en esta zona. Los valores adoptados inicialmente son: $S_{S5} = S_{Y5} = 0.1$



a. Nivel: 1



b. Nivel: 2



c Nivel: 3

Property #	S _x [-]	S _y [-]	EF _p [-]	Tol _p [-]	Color
1	0.25	0.25	-	-	
2	0.30	0.30	-	-	
3	0.0015	0.0015	-	-	
4	0.0015	0.0015	-	-	
5	0.1	0.1	-	-	

Figura F8. Zonificación inicial del Coeficiente de Almacenamiento

1.3. PIEZOMETRÍA

Los datos piezométricos utilizados en la calibración del modelo proceden de la información facilitada por el ITGE y la CHSE. Esta información fue analizada, depurada y estructurada acorde a los requerimientos que su uso en este estudio demanda. Los resultados de este proceso han sido:

- La selección de 48 pozos, cuyos datos estacionales permitirían definir la función objetivo a minimizar en el proceso de calibración.
- La definición de 4 piezometrías estacionales correspondientes al año medio, las cuales ofrecen una referencia de apoyo en la calibración.

A continuación se describe el proceso seguido para alcanzar estos resultados:

Inicialmente, se seleccionaron 194 pozos que se situaban dentro del dominio a modelizar o en su vecindad. El período en el que se realizaron las mediciones se extiende desde la primer campaña en Abril de 1974 a Noviembre de 1998, la última campaña. Existen dos mediciones en Diciembre de 1970 y Junio de 1971. Esta selección se basó en elegir aquellos puntos cuya información global parecía, en una primera aproximación, presentar mayor fiabilidad. Estos 194 pozos poseían 1996 datos piezométricos.

La información correspondiente a esta selección previa se presenta en el Apéndice 5.1.1- "Datos piezométricos no tratados". En el Apéndice 5.1.2- "Campañas piezométricas" se exponen las fechas y número de puntos visitados en cada una de las campañas de campo.

El principal objetivo en la posterior selección de datos fue: no capturar datos dinámicos. Por ello, a partir de parte de la información que se brindaba en la base de datos, 'Duración del último bombeo' y 'Tiempo transcurrido desde el último bombeo', se decidió que datos se desestimaban. Los criterios aplicados fueron los siguientes

- Si el dato correspondía a un nivel dinámico se desestimaba.

- Si el nivel medido era menor a 0 m se desestimaba.
- Si el nivel medido era superior a la cota del pozo se desestimaba y se advertía de la inconsistencia de la información.
- Si el nivel se había medido después de más de 30 días desde el último bombeo se aceptaba el dato, independientemente de la duración del último bombeo.
- Si el nivel se había medido después de 30 días, o menos, desde el último bombeo y este había tenido una duración mayor a 60 días, se desechaba el dato.
- Si el nivel se había medido después de 15 días, o menos, desde el último bombeo y este había tenido una duración mayor a 20 días se desechaba el dato.
- Si el nivel se había medido después de 7 días, o menos, desde el último bombeo y este había tenido una duración mayor a 10 días se desechaba el dato.
- Si el nivel se había medido después de 3 días, o menos, desde el último bombeo y este había tenido una duración mayor a 3 días se desechaba el dato.
- Si el nivel se había medido después de 10 horas, o menos, desde el último bombeo, se desechaba el dato, independientemente de la duración del bombeo.

La aplicación de estos criterios permitió seleccionar 1609 datos de nivel correspondientes a 184 pozos.

El siguiente paso fue el cálculo de las medias estacionales en cada punto seleccionado. Las mediciones realizadas en los meses de Octubre a Diciembre permitieron definir las medias de Otoño, las de Enero a Marzo las medias de Invierno, las de Abril a Junio las medias de Primavera y las de Julio a Septiembre las de Verano.

Resulta evidente que la consistencia de las medias estacionales varía de un punto a otro, pues el número de datos con que se calcularon difiere entre sí. Por otro lado, la representatividad de dichas medias es diferente entre los distintos puntos, tanto por no comprender sus series de mediciones un período de tiempo común; como por variar de una campaña de campo a otra el conjunto de pozos que era objeto de mediciones. No obstante la incertidumbre que introducen en el estudio estos aspectos, se considera que este perjuicio es menor que el que ocasionaría la definición de la piezometría en un ámbito espacial menor al alcanzado.

Finalmente, se obtuvieron las medias estacionales en 76, 43, 105 y 97 puntos para Otoño, Invierno, Primavera y Verano, respectivamente. En el Apéndice 5.1.3- "Datos piezométricos tratados" se exponen las medias estacionales obtenidas para cada punto. Asimismo se indica el número de datos con los cuales se calculó cada media y el período de tiempo en que se midieron. Se completa la información con el número de registro, la cantidad total de datos originales, las coordenadas y la cota del pozo.

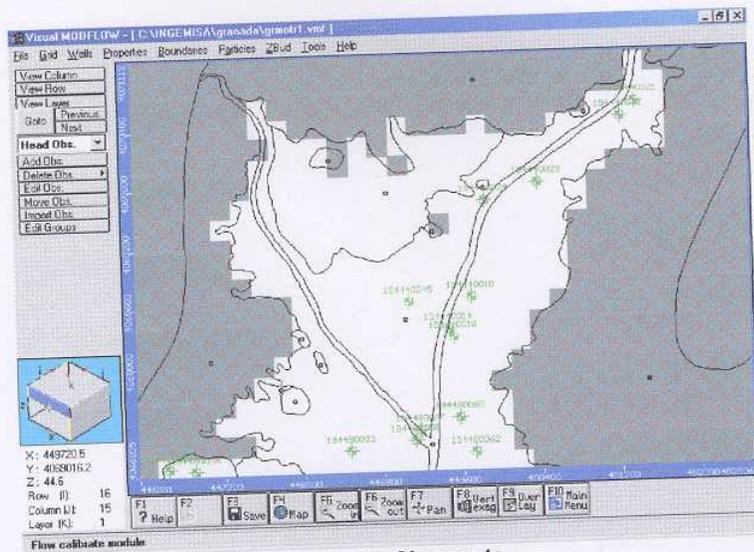
Se seleccionaron 48 puntos que por la calidad de sus datos se utilizaron para definir la función objetivo a minimizar en el proceso de calibración. Ello significa que se consideró como conjunto óptimo de parámetros del modelo a aquel que minimizó la sumatoria del cuadrado de los residuos de nivel en estos 48 puntos. Entre ellos, 37 pozos poseían todas las medias estacionales (4); a 4 pozos se les pudo calcular las medias en 3 estaciones y a los 7 restantes sólo se les pudo definir 2 medias estacionales a cada uno. En la Figura F9, se señala la posición de los 48 pozos. Los 174 datos correspondientes a estos puntos fueron debidamente estructurados, acorde de a los requerimientos de VM, para ser utilizados por este programa.

Las 4 piezometrías estacionales, que ofrecieron una referencia de apoyo en la calibración, se definieron a partir de los 76, 43, 105 y 97 medias calculadas para Otoño, Invierno, Primavera y Verano, respectivamente. Todo el proceso para la definición de las piezometrías e isopiezas se ejecutó con el SIG *raster* Idrisi. El procedimiento seguido en fue el siguiente:

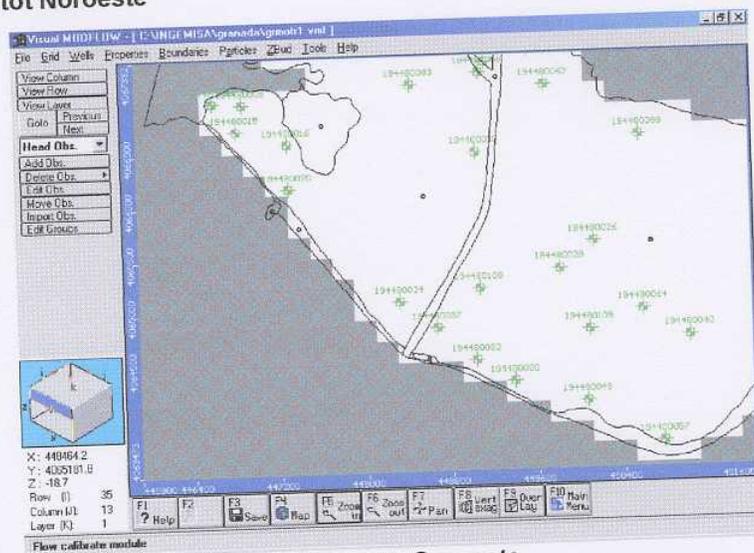
- Definición, en primera aproximación, de las piezometrías estacionales. Con cada uno de los 4 conjuntos de datos, e imponiendo nivel de 0 m a la línea de costa, se realizó una interpolación mediante medias móviles ponderadas por la distancia entre los puntos de referencia y el punto interpolado. Las interpolaciones se calcularon en imágenes *raster* con una definición de 100 m x 100 m.
- Las superficies piezométricas, obtenidas con las interpolaciones, se corrigieron contrastándolas con la topografía y las cotas de pozos conocidas y, a su vez, entre ellas. Con ello se procuró que guardaran una coherencia global lógica, ninguna piezometría podía tener niveles superiores a la cota del terreno, y una coherencia relativa entre ellas, esto es que debían guardar entre sí la misma relación que indicaban la evolución de los niveles estacionales en los 48 puntos seleccionados como referencia.
- Definición de las isopiezas en las piezometrías estacionales. Para ello se adoptó el siguiente criterio: no deberían existir grandes zonas sin ninguna isopieza de referencia, como en la llanura litoral donde el gradiente es muy bajo, ni tampoco zonas con una alta densidad de isolíneas, por ejemplo donde el quiebre de la pendiente topográfica condiciona la piezometría, originando una concentración de isopiezas. Se trazaron las siguientes isopiezas: 0 m, 1 m, 3 m, 6 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 75 m, 100 m, 125 m, 150 m y 200 m.

En las Figuras F10 a-d se exponen las piezometrías e isopiezas estacionales y los puntos que permitieron su definición.

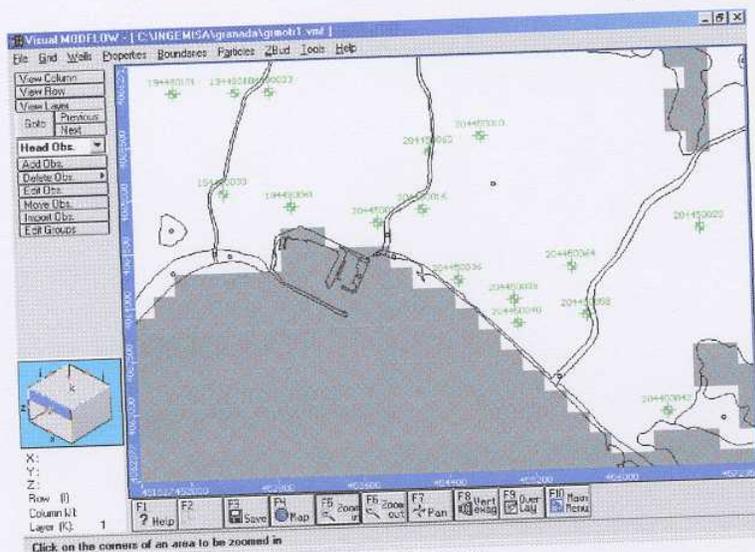
Exceptuando los procesos de interpolación y corrección para definir las piezometrías estacionales y la posterior estimación de las isopiezas para los que se empleo Idrisi, todas las restantes tareas de preproceso de los datos de nivel (depuración, selección, cálculo de medias y de estadísticas del proceso, estructuración de los datos procesados para su uso por los distintos programas aplicados: Idrisi, Visual Modflow, Visual BALAN) se realizó con el programa GMPZSEOR. El cual se desarrollo en Visual FORTRAN expresamente para este proyecto.



a. Sector Noroeste

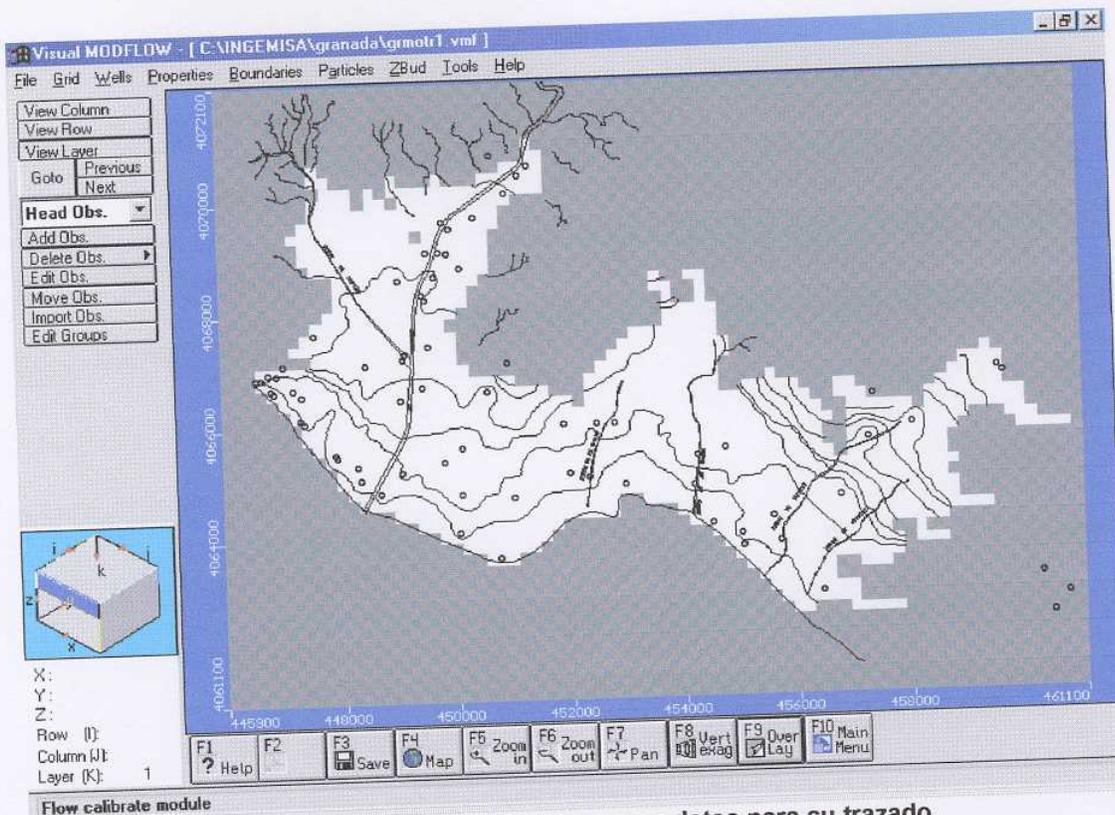


b. Sector Suroeste

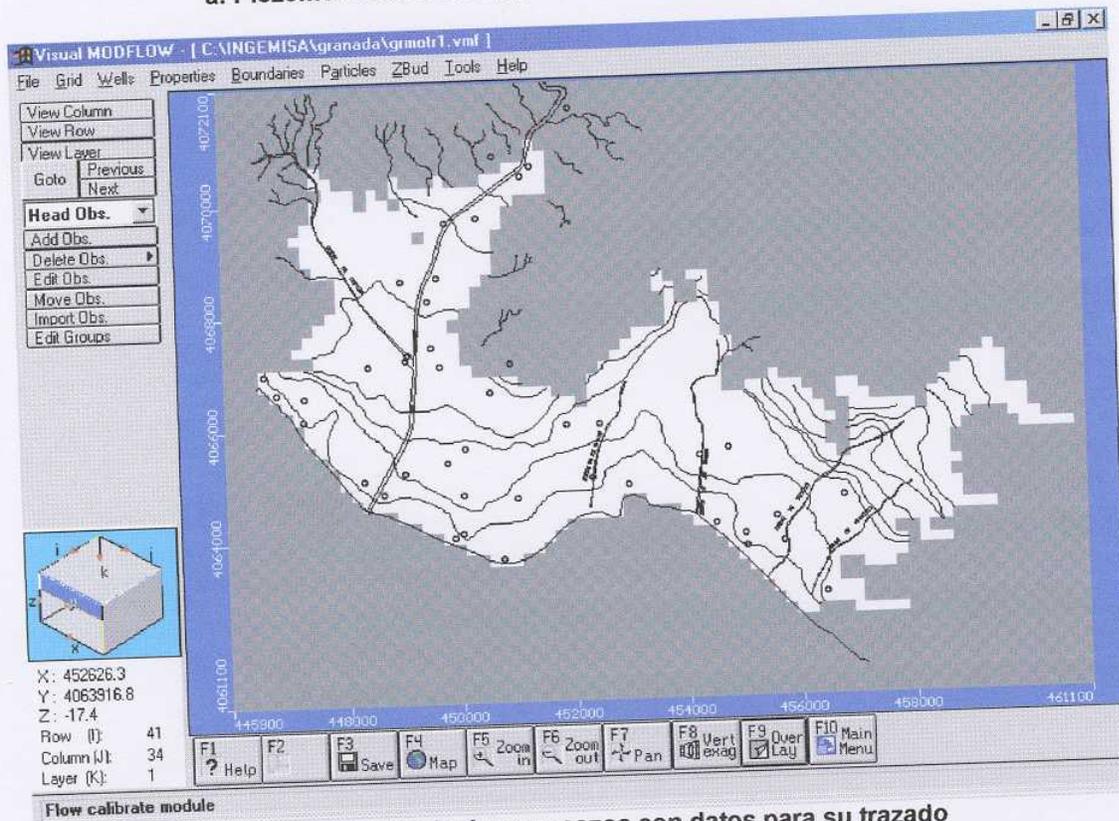


c. Sector Sureste

Figura F9. Puntos de observación utilizados para calibrar el modelo

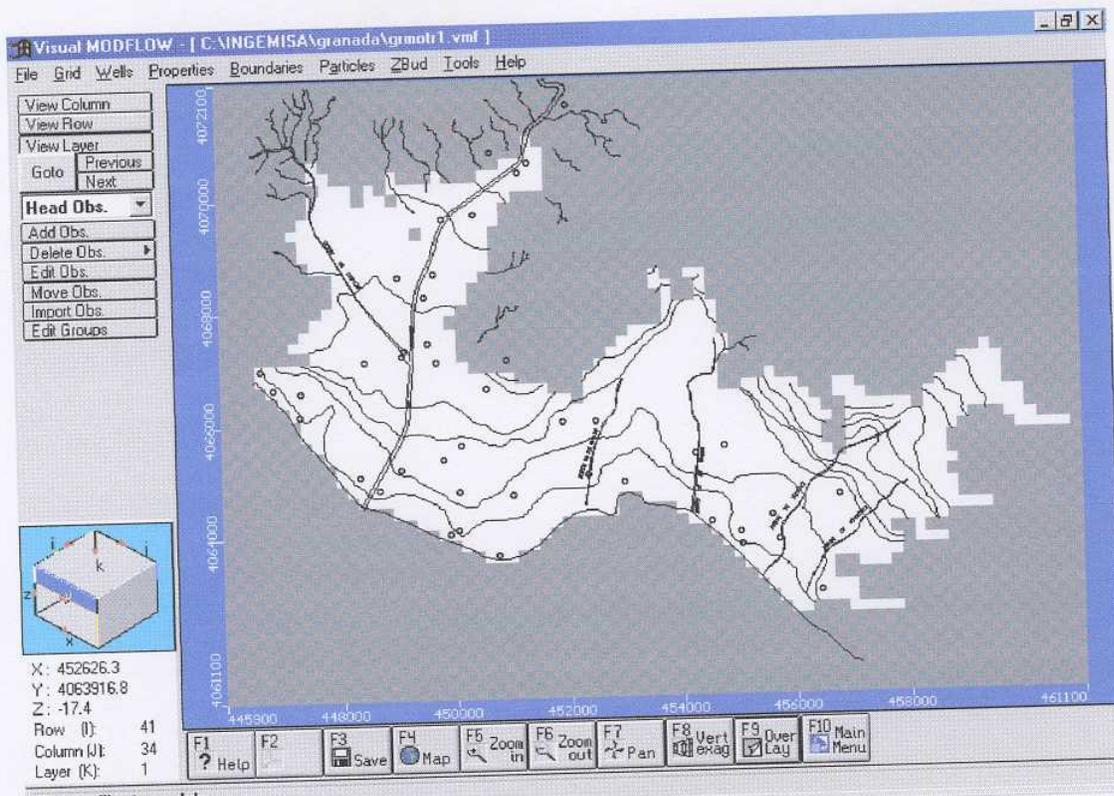


a. Piezometría de Otoño y pozos con datos para su trazado

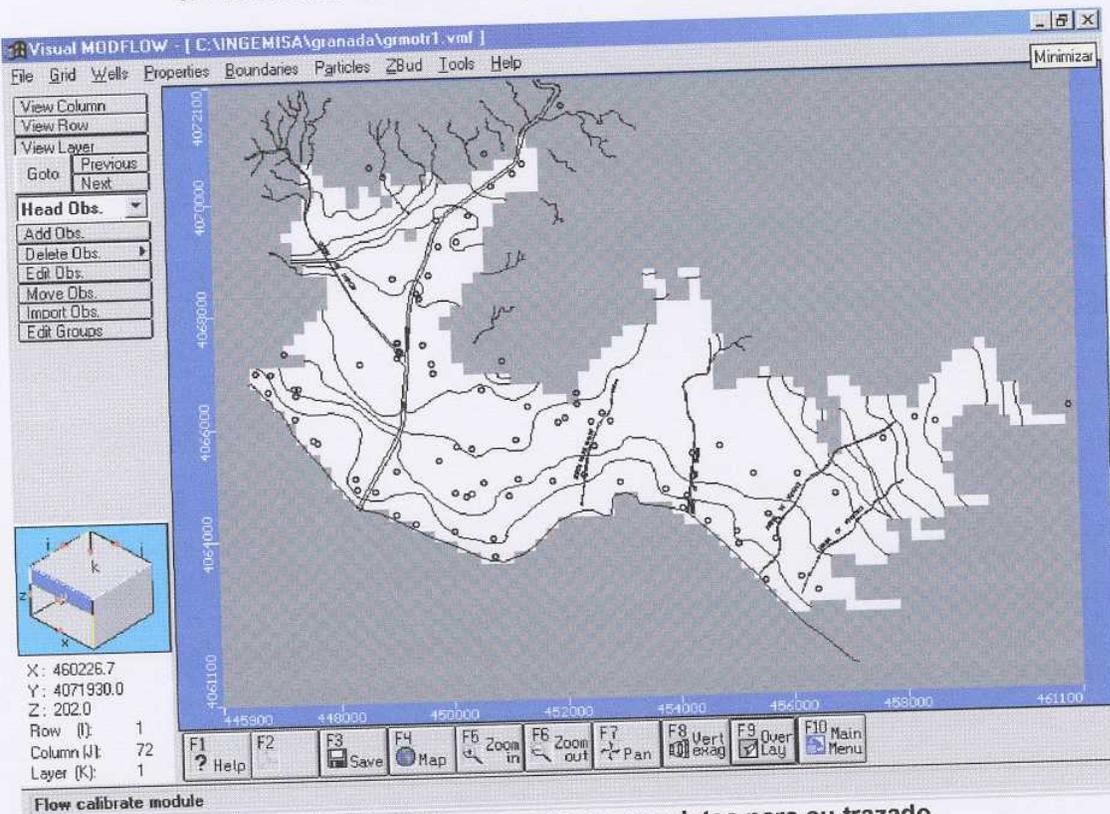


b. Piezometría de Invierno y pozos con datos para su trazado

Figura F10. Piezometría estacionales



c. Piezometría de Primavera y pozos con datos para su trazado



d. Piezometría de Verano y pozos con datos para su trazado

Figura F10. Piezometría estacionales (continuación)

1.4. BALANCE HÍDRICO: COMPONENTES. BALANCES ESTABLECIDOS EN ANTERIORES TRABAJOS

El funcionamiento del sistema es relativamente simple. La recarga principal, de carácter bimodal, se produce fundamentalmente en los meses de Diciembre - Enero y Abril - Junio (deshielo) a partir de la infiltración de las aguas superficiales del río Guadalfeo bien sea a lo largo del cauce (en épocas de crecida en que no se deriva toda el agua) o derivadas para riego en los azudes. En estas fechas se aprecian ascensos de los niveles piezométricos. Por otro lado, el final de la época de estiaje corresponde a los meses de Septiembre - Octubre.

Hasta la fecha se han realizado cuatro balances hídricos del acuífero Motril - Salobreña cuyos componentes se recogen en la Tabla T3. La evaluación de los recursos del sistema cifra a los mismos entre 47 hm³/año y 60 hm³/año. Entre los aspectos particulares de los distintos balances se quieren destacar los siguientes:

- El balance de E. Castillo (1975) se corresponde con el balance medio del periodo 1953/54-1973/74. En el mismo la infiltración del río Guadalfeo se obtuvo por cierre del balance y los bombeos son los correspondientes al año 1974.
- El balance realizado por la Confederación Hidrográfica del Sur, en estudio ejecutado por el IRYDA, no se indica el periodo considerado.
- El balance del IGME (1985) corresponde al año 1984.
- El balance del ITGE (1988) corresponde al balance medio del trienio 1985/86 - 1987/88. El balance de circunscribe estrictamente al acuífero aluvial, considerando como elementos externos los conos de deyección, etc.. En el balance las descargas del Peñón de Salobreña se obtienen por cierre del balance.
- En el balance del ITGE (1988) se consideran unas importantes entradas subterráneas bajo el azud del Vínculo (15.5 hm³/año), estas no son tenidas en cuenta en los balances de Castillo (1975) e IGME (1985).

La Tesis de Licenciatura de Soto (1998), último trabajo en que se sintetiza el conocimiento del área, no aporta datos nuevos sobre los componentes del balance del acuífero Motril-Salobreña

Entradas y salidas (hm³/año)	Castillo (1975)	CHSE-IRYDA (1984)	IGME (1985)	ITGE (1988)
Infiltración procedente de la precipitación	6	3	0.4-3	Despreciable
Infiltración de borde: escorrentía total en zonas impermeables	15-20	3	5-11	1.4
Infiltración del río Guadalfeo	25	13	32-37	11.5
Retorno de riegos	8-13	6	12	16.9
Entradas subterráneas bajo el Azud del Vínculo	—	25	—	15.5
Entradas laterales desde U.H. Escalate	6	3	6	—
Escalate y otras entradas subt.	—	—	—	2
SUBTOTAL ENTRADAS	60-70	53	55-69	47.3
Salidas subterráneas al mar	40-45	22	23-29	30.2
Bombeos	16	25	28	17.1
Manantiales	6-10	6	5	—
SUBTOTAL SALIDAS	62-71	53	56-62	47.3

Tabla T3. Balances hídricos del acuífero Motril-Salobreña estimados por distintos autores.

1.5. RECARGA POR INFILTRACIÓN

En el presente estudio la recarga por infiltración al acuífero se evaluó mediante el Programa Visual BALAN v.1 (1999) desarrollado por la Universidad de La Coruña. En el Apéndice 5.II.1 se presente una breve descripción del mismo. Este código se caracteriza, entre otros aspectos de interés, por permitir tratar conjuntamente la contribución que realizan a la recarga los factores meteorológicos y las prácticas agrícolas. Por ello se ha estructurado esta Sección en tres subapartados, los dos primeros abordan el tratamiento de los datos meteorológicos y el análisis de la actividad agrícola y, el último, la evaluación de la recarga propiamente dicha.

1.5.1 Pluviometría y Temperaturas

El objetivo del estudio meteorológico fue poder establecer la influencia de la meteorología en el proceso de recarga del acuífero en un año medio. Para ello fue necesario conocer, en la zona de estudio, las variables meteorológicas mensurables básicas que intervienen en la recarga: precipitación y temperatura

Existen 6 estaciones meteorológicas en la zona de estudio, cuyas características se reseñan en la Tabla T4. Tres estaciones se sitúan en el término municipal de Salobreña, dos en el de Motril y una en el de Torrenueva. Las mismas cubren todo el ámbito geográfico de la zona de estudio. Ver Figura F11.

Para estudiar y definir la recarga por infiltración de la precipitación se seleccionaron las estaciones termopluviométricas de Salobreña (vega del Guadalfeo) y la de Motril (pueblo). Ello fue motivado por la extensión y calidad de sus series de datos.

El proceso seguido fue análogo para ambas variables meteorológicas, precipitación y temperatura, y consistió en los siguientes pasos:

- Definición de un período común a ambas variables y en ambas estaciones, para calcular los correspondientes año medios. Período: 01/01/1982 - 31/12/1998. Ver Figuras F12 a y b. Ver Apéndice 5.II.2.

- Se establecen las rectas de regresión y sus respectivos coeficientes de correlación.
- Relleno de serie.
- Cálculo de los respectivos año medio. Ver Apéndice 5.II.3.

El cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP) se trata en el apartado en que se describe el cálculo de la recarga al acuífero, Aparado 1.5.3.

Variable meteorológica	Nombre de estación	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)	Meses con datos	Periodo Operativo	Años completos (sin lagunas)	Años incompletos (con lagunas)	Serie completas (años con datos)
Pluviometría	Torrenueva-Faro Sacratif	3° 28' 7"N	36° 41' 40"W	80	170	1961-1981	1	17	1969-1969
	Salobreña-Azucarera	3° 35' 17"N	36° 45' 00" W	2	2	1986-1986	0	1	-
	Salobreña-Patronato Agric.	3° 33' 54"N	36° 44' 58"W	15	91	1989-1997	4	5	1993-1996
	Salobreña-Vega Guadaifeo	3° 34' 2"N	36° 44' 45"W	50	427	1961-1998	17	21	1992-1997 1986-1990
	Motril-Club Náutico	3° 31' 49"N	36° 43' 27 "W	3	143	1985-1998	7	7	1989-1990
	Motril	3° 31' 17"N	36° 45' 10"W	40	585	1918-1988	32	27	1985-1997 1968-1971
	Salobreña-Patronato Agric.	3° 33' 54"N	36° 44' 58"W	15	87	1989-1997	3	6	1994-1996
	Salobreña-Vega Guadaifeo	3° 34' 2"N	36° 44' 45"W	50	385	1961-1998	14	15	1989-1996 1966-1971
	Motril-Club Náutico	3° 31' 49"N	36° 43' 27 "W	3	117	1985-1998	5	8	1989-1990 1993-1994
	Motril	3° 31' 17"N	36° 45' 10"W	40	182	1966-1998	12	5	1992-1997 1985-1989

Tabla T4. Características de las estaciones meteorológicas

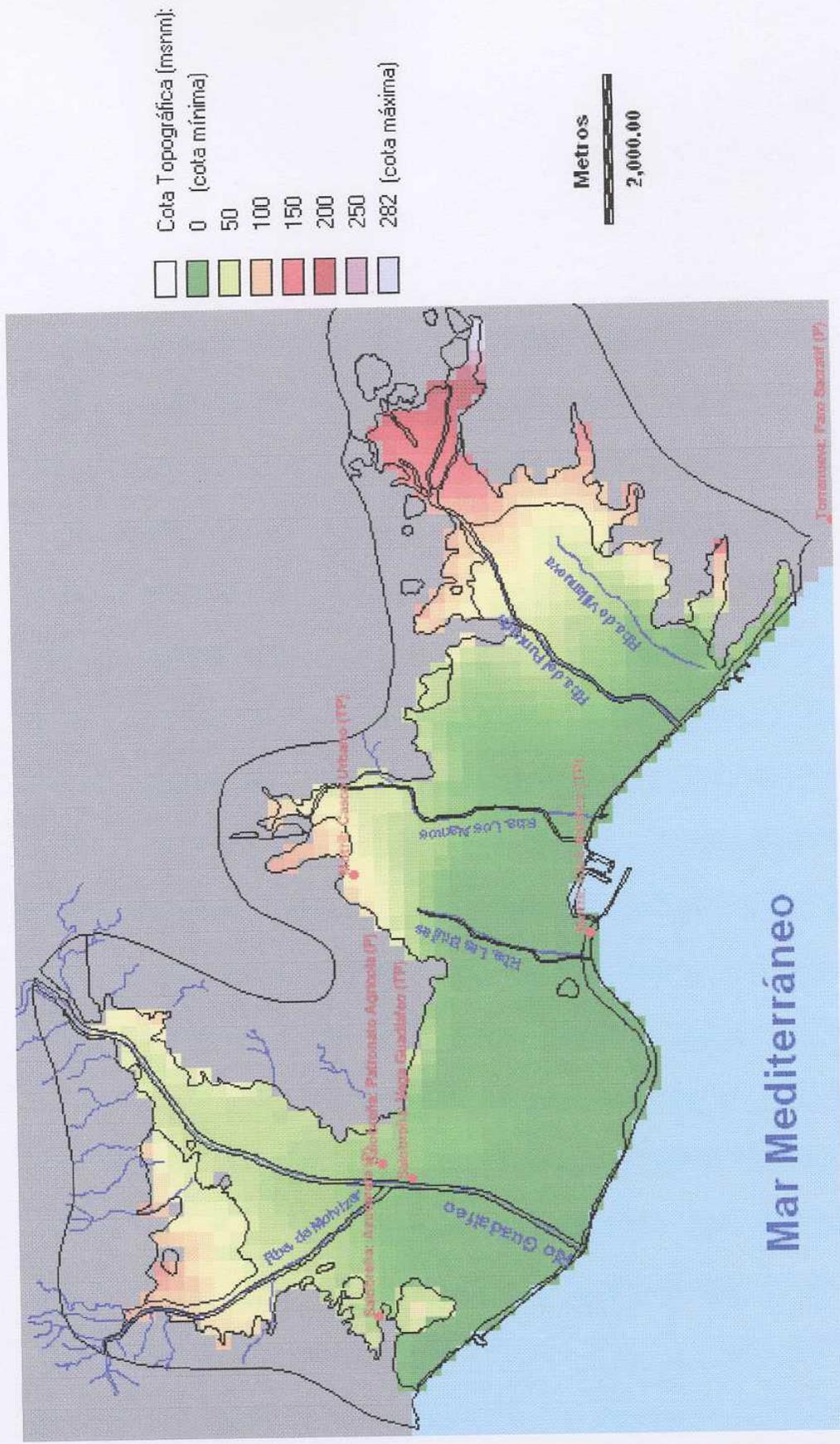


Figura F11. Estaciones meteorológicas en el ámbito del estudio

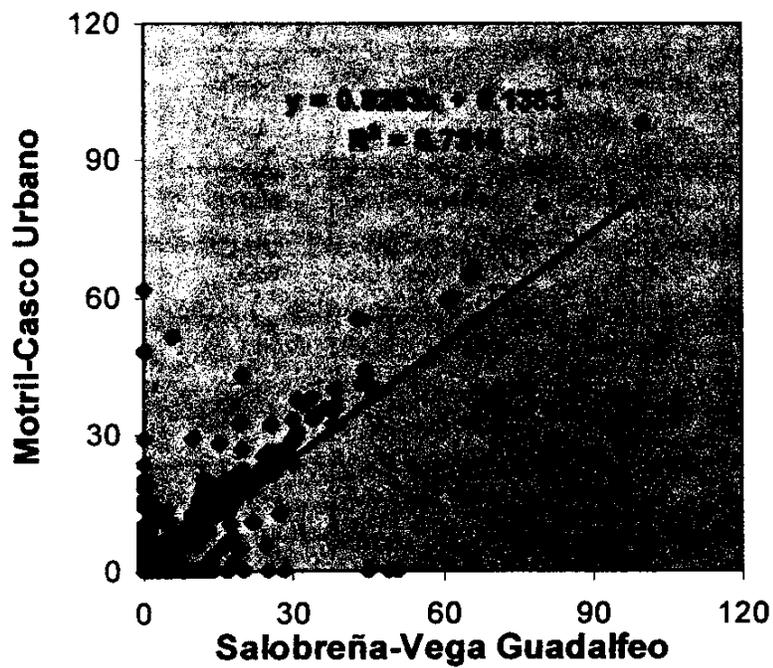


Figura 12.a.- Correlación de variables meteorológicas: precipitación.

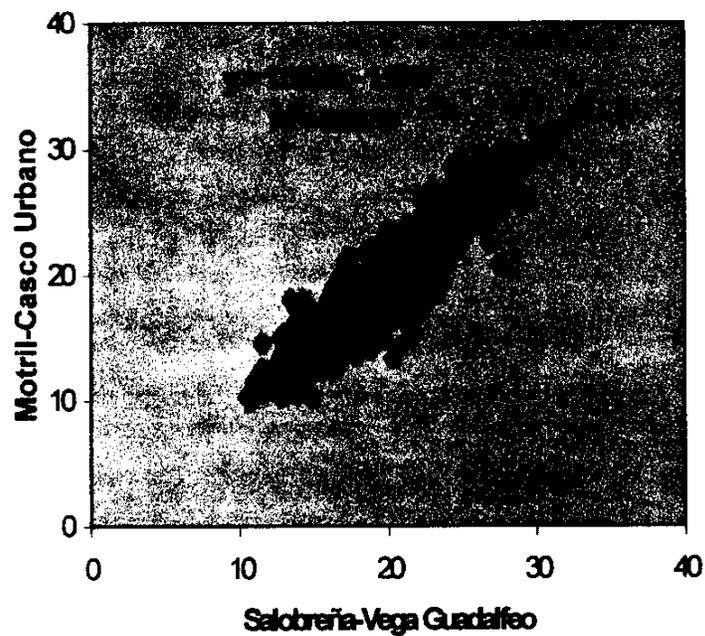


Figura 12.b.- Correlación de variables meteorológicas: temperatura.

1.5.2. Análisis de la demanda agrícola de agua

En la Documentación Básica del Plan Hidrológico de la Cuenca del Sur se cifró la superficie de riego para el año 1988 en 4900 ha, correspondientes prácticamente a los Antiguos (cota 50) y Nuevos Regadíos (cota 100) del sector Motril-Salobreña. En dicho trabajo se estima una dotación media de 13000 m³/ha/año. Ello supone un volumen de demandas agrícolas de 64 hm³/año. Para horizontes de 10 y 20 años se prevén incrementos del regadío hasta las 6300 y 9300 ha, respectivamente. Tales incrementos según el PHCS apenas llevan aparejados aumentos del volumen de demandas dado que se pretenden rebajar notablemente las elevadas dotaciones de riego aplicadas. Ver Tabla T5.

	Horizonte		
	1988	1998	2008
Superficie (ha)	4900	6300	9300
Dotación (m³/ha/año)	13000	10000	7000
Volumen (hm³/año)	64	63	65

Tabla T5. Demanda agrícola en el año 1988 y previsiones de incremento (horizontes 10 y 20 años) de la zona Motril-Salobreña. Fuente: Documentación Básica del Plan Hidrológico de la Cuenca Sur (1988).

En el Proyecto de la Presa de Rules (CHSE, 1990) se presenta una modulación mensual de las demandas de agua para agricultura, abastecimiento e industria (ver Tabla T6). Los cálculos se efectúan teniendo en cuenta, de forma aproximada, las superficies de riego y las dotaciones que se aplican. Así, sobre un total de 2900 ha de los Antiguos Regadíos (cota 0 a 50) se aplica una dotación de 16500 m³/ha/año con lo que la demanda resulta ser de 48 hm³/año. Respecto a los Nuevos Riegos (cota 50 a 100), que suponen una superficie de 2700 ha según este Proyecto, se les asigna una dotación de 10300 m³/ha/año, es decir demandan 27.8 hm³/año. El volumen que necesitan los Riegos Futuros se evalúa en 27 hm³/año. La última cifra a considerar como demandas agrícolas son los denominados Otros Regadíos con 8 hm³/año, que recibirían además aportaciones de agua subterránea del acuífero aluvial del

Guadalfeo, entendido éste (según el citado estudio) como el tramo comprendido entre la cerrada de la Presa y el Azud del Vínculo, aproximadamente.

	Antiguos	Nuevos	Riegos	Otros	Abast.	Indust.	Saturación	Total
Octubre	4.87	2.24	2.18	0.65	1.36	1.34	2.14	14.13
Noviembre	2.52	0.84	0.81	0.24	1.31	1.30	2.07	8.85
Diciembre	2.60	1.95	1.90	0.56	1.36	1.34	2.14	11.29
Enero	2.60	1.23	1.19	0.35	1.36	1.34	2.14	9.86
Febrero	2.35	2.02	1.96	0.58	1.23	1.21	1.93	10.70
Marzo	2.60	1.45	1.40	0.42	1.36	1.34	2.14	10.29
Abril	2.52	3.08	2.99	0.89	1.31	1.30	2.07	13.27
Mayo	4.87	3.33	3.23	0.96	1.36	1.34	2.14	16.27
Junio	4.72	3.50	3.40	1.01	1.31	1.30	2.07	16.30
Julio	6.82	3.04	2.95	0.87	2.71	1.34	2.14	19.00
Agosto	6.82	3.11	3.02	0.89	2.71	1.34	2.14	19.14
Septiembre	4.72	2.03	1.97	0.58	2.62	1.30	2.07	14.71
TOTAL	48.0	27.8	27.00	8.00	20.00	15.8	25.2	163.8

Obs.: * No se incluyen los Otros regadíos ya que utilizan los recursos desembalsados para saturar el acuífero aluvial

Tabla T6. Distribución mensual y anual de las demandas de agua (en hm³/año) según el Proyecto de la Presa de Rules (CHSE, 1990).

El Plan Hidrológico de la Cuenca Sur (aprobado en 1995) asigna a los Antiguos Riegos una superficie, 2700 ha, menor que la considerada en el Proyecto de la Presa de Rules. Las 2700 ha, con una dotación de 16500 m³/ha/año, suponen un consumo real de 44.6 hm³/año susceptible de realizar un notable ahorro. En el PHCS-95, los nuevos regadíos (cota 50 a 100) tienen una superficie de 2100 ha, muy inferior a la estimada en el anterior Proyecto citado. La dotación media aplicada es de 10300 m³/ha/año, ascendiendo el consumo a 21.6 hm³/año. Idéntica dotación resulta aplicarse en los riegos del Plan Coordinado a la cota 200. Finalmente, los riegos por encima de la cota 200 comprenderían una superficie de cultivos de 1200 ha con dotaciones de 6500

m³/ha/año. El total de superficie puesta en riego en la fecha de elaboración del PHCS (año 1995) asciende a 6500 ha, notablemente superior a las previsiones efectuadas en la Documentación Básica. Ver Tabla T7.

Nombre	Superficie Regada (ha)	Consumo Real (hm ³)	Consumo tras mejora (hm ³)	Ahorro (hm ³)	Déficit (hm ³)
Riegos tradicionales de Motril –	2700	44.6	32.7	11.9	0.0
P.C. Motril-Salobreña (cota 100)	2100	21.6	17	4.6	0.0
P.C. Motril-Salobreña (cota 200)	500	5.2	4.0	1.1	0.0
P.C. Motril-Salobreña (cota >200)	1200	7.8	8.4	0.0	0.0
TOTAL	6500	79.2	62.1	17.6	0.0

Tabla T7. Zonas regadas, ahorros y déficit en el sector del Bajo Guadalfeo según el Plan Hidrológico de la Cuenca Sur de España (CHSE, 1995).

Otra de las fuentes consultadas, para conocer las superficies de riego existentes en la zona estudiada, ha sido la Cámara Agraria Provincial. La información recogida está agrupada por términos municipales, Motril, Salobreña y Molvízar. Ver Tabla T8.

La casi totalidad de las parcelas de riego situadas sobre el acuífero Motril-Salobreña están integradas en Comunidades de Regantes (Tabla T9), que utilizan principalmente las aguas del río Guadalfeo. En el período de estiaje se suelen explotar captaciones de aguas subterráneas para complementar los riegos.

Por otro lado, en la actualidad la Delegación Provincial de Granada de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía lleva a cabo planes de colonización por encima de la cota 100. Estas actuaciones (sector VII) se ejecutan al Norte de la Rambla del Puntalón y consisten en la puesta en riego de una superficie de 1100 ha, aproximadamente. Para ello se eleva agua desde la cota 100 a dos depósitos (Los Lobos y Puntalón) situados a cota 200.

La Administración competente ha ejecutado hasta la fecha los planes de riego de tradicionales y nuevos regadíos (6 sectores). Actualmente, acomete la realización del

Nombre	Superficie	Toma de agua	TT.MM del	Caudal (l/s)
C.R. San Agustín del Canal de Lobres	58.358	Río Guadalfeo	Salobrefia y Motril	35.020
C.R. El Dorado	56.833	Río Guadalfeo	Salobrefia	12.610
C.R. Isla de las Granjas	2.081	Río Guadalfeo	Salobrefia	2.800
C.R. Salobrefia y Lobres	851.000	Río Guadalfeo	Salobrefia	563.360
C.R. Virgen del Rosario	102.031	Río Guadalfeo	Salobrefia	148.070
C.R. Motril y Carchuna	2000.000	Río Guadalfeo	Motril	
C.R. Motril	2094.000	Río Guadalfeo	Motril	1386.260
TOTAL GUADALFEO	5164.525			
C.R. Bco. del Duende	0.394	Bco. del Duende	Molvizar	0.087
C.R. Corte del Cercado	2.651	Barranco de Itrabo	Molvizar	2.121
C.R. Pago de las Eras	3.083	Barranco de Itrabo	Molvizar	6.800
C.R. Los Palmares	307.444	Río de la Toba	Molvizar y Salobrefia	63.370
C.R. Las Vegas Alta y Baja de Molvizar	25.466	Bco. del Lugar o del Pueblo	Molvizar	14.745
C.R. Era de las Pedrizas	17.151	Río Los Tablones	Motril	3.920

Tabla T9. Comunidades de Regantes del sector Motril-Salobrefia (Fuente: Catálogo General de las Comunidades de Regantes de España en 1994, MOPTMA).

Cultivo	Sup. (ha)	Dotación (m ³ /ha/año)	Volumen utilizado	Técnica de riego	Retor. (%)	Volumen de retorno
Caña de azúcar	1200	16500	19.8	Manta	30	5.94
Huerta	1476	10300	15.2	Manta	25	3.80
Invernadero	72	5000	0.4	Goteo	10	0.04
Subtropicales	1124	7500-9500	9.6	Mixto	20	1.92
TOTAL	3872		45			11.7

Tabla T10. Resumen de las características de la distribución de cultivos en el acuífero Motril-Salobreña.

Los retornos al acuífero procedentes de los regadíos en las laderas colindantes, se estima que son un volumen irrelevante comparados con los realizados en la vega tradicional. Esta apreciación se basa en el hecho que en estos sectores los cultivos subtropicales y de invernadero, estos últimos en aumento, son casi exclusivos. En ellos, el riego se ejecuta por goteo aplicando menores dotaciones de agua. Según fuentes de la Oficina Comarcal Agraria de Motril, las dotaciones para cultivos subtropicales rondan los 6500 m³/ha/año y para los de invernadero se sitúan en torno a 5000 m³/ha/año. En estos últimos se suelen efectuar tres cosechas al año: 1ª) tomate, 2ª) pimiento o pepino, y 3ª) berenjena o judía verde.

La distribución anual media de aplicación de los riegos para cada cultivo se expone en la Tabla T11. La misma se basa en datos del Plan Hidrológico y, especialmente, con información suministrada por técnicos la Oficina Comarcal Agraria de Motril.

Cultivo	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	TOTAL
Caña	1510	950	950	1340	1510	1510	0	380	760	3030	2660	1900	16500
Huerta	1150	1180	860	1410	1480	900	380	730	700	370	580	580	10300
Invern.	560	570	420	690	710	440	180	350	340	180	280	280	5000
Subtrop	570	570	0	0	570	570	570	1130	1130	1130	1130	1130	8500

Tabla T11. Distribución mensual media de las dotaciones de riego (m³/ha/año) para los cultivos de la vega de Motril-Salobreña (valores orientativos).

En la Tabla T12 se exponen los usos del suelo identificados en la superficie del acuífero Motril-Salobreña. En la misma Tabla se exponen las superficies que se le asignaron, en el modelo, a los distintos usos. Las diferencias existentes entre las superficies identificadas y las asignadas, son producto de la discretización efectuada. La mayor ocupación corresponde a los usos agrícolas seguida por el uso urbano, aunque con gran diferencia. En otros usos se agrupan carreteras, zonas sin cultivo o repobladas, playas, etc.

En la Figura F13 se representa la extensión en el dominio del modelo de los cuatro cultivos considerados (caña, huerta, cultivos subtropicales y bajo invernadero) y el suelo que no se encuentra bajo explotación agrícola. La unidad de superficie mínima de definición fue de 200m x 200m, para que se ajuste mejor a la partición espacial hecha en el modelo.

TIPO DE USO	Superficie	
	Identificada	Definida en
Agrícola:		
Caña	1200	1228
Huerta	1476	1484
Invernaderos	72	72
Cultivos Subtropicales	1124	1120
Urbano	243.1	852
Sup. Ocupada por cauces:		
Rambla de Molvizar	12.3	
Río Guadalfeo	40.3	
Rambla de las Brujas	3	
Rambla de los Alamos	4.3	
Rambla del Puntalón	9.8	
Rambla de Villanueva	2.6	
Otros usos: carreteras, playas, etc.	481.2	
TOTAL	4668.6	4756.6

Tabla T12. Distribución de usos del suelo en el acuífero Motril-Salobreña.



Figura F13. Usos agrícolas del suelo

1.5.3. Cálculo de la recarga por infiltración al acuífero.

El código Visual BALAN v.1 permite la evaluación de la recarga por infiltración tratando de forma conjunta las contribuciones de la precipitación y los retornos de regadíos. Asimismo, permite considerar distintas hipótesis de cálculo de ETP, ETR, infiltración directa y diferida, escorrentía superficial y otros factores que inciden en este tipo de recarga, como la intercepción o el encharcamiento. La evaluación se basa en un proceso de optimización. En este, la función objetivo a minimizar viene dada por la suma de los residuos al cuadrado de los datos piezométricos y/o de caudales de salida de la cuenca, que son referentes de la bondad de la evaluación de la recarga. Se pueden encontrar mayores detalles de este código en el Apéndice 5.II.1.

Por lo tanto como pasos previos a la aplicación de este código se realizaron las siguientes tareas:

- Se definieron las zonas de influencia de las estaciones meteorológicas, Salobreña (Vega del Guadalfeo) y Motril (casco urbano), teniendo en cuenta criterios orográficos y de distancias (polígonos de Thiessen). Se utilizaron recursos de Idrisi para la ejecución de esta tarea.
- Se identificaron las zonas de cada tipo de uso de suelo que se encontraba bajo la influencia de cada una de las dos estaciones. Así, quedó asociado un "tipo" de dotación con un "tipo" infiltración procedente de la precipitación, definiéndose 9 zonas de tipo de recarga que fueron las que se asignaron en el modelo (ver Figura F14). Este paso se adoptó debido a que Visual BALAN calcula la recarga considerando la contribución conjunta de la precipitación y las dotaciones de riego. Se aplicó álgebra de mapas con Idrisi
- Se identificaron en cuales de las 9 zonas de recarga definidas, se situaban los 37 pozos con datos en las cuatro estaciones (ver Sección 1.3). Ninguno de los 37 pozos se encontraba en la zona de uso agrícola correspondiente a invernaderos, que se halla situada bajo la influencia de la estación meteorológica de Motril. Se seleccionaron sendos pozos para cada una de las

restantes 8 zonas de recarga. La selección se basó en la calidad y extensión de las respectivas series de medidas. Los pozos se exponen en la Tabla T13 y se sitúan en Figura F14.

Estación Meteorológica	Uso del suelo	Pozo seleccionado	Características de las series		
			Nº de datos Seleccionado	Fecha Inicial	Fecha Final
Motril (casco urbano)	Caña de azúcar	1944-8-040	51	17/03/83	15/05/98
	Cult. Subtropicales	2044-5-0042	46	19/04/83	06/03/96
	Huerta	2044-5-0040	40	17/03/83	17/05/96
	Invernadero	No existen pozos			
	Sin Uso	1944-8-0061	51	17/03/83	14/05/98
Salobrefía (Vega Guadalfeo)	Caña de azúcar	1944-8-0108	51	15/01/86	14/05/98
	Cult. Subtropicales	1944-8-0085	43	18/06/84	18/05/95
	Huerta	1944-8-0026	48	17/03/83	05/03/96
	Sin Uso	1944-8-0057	45	17/03/83	15/05/98

Tabla T13. Pozos de control en los modelos de Balance Hídrico

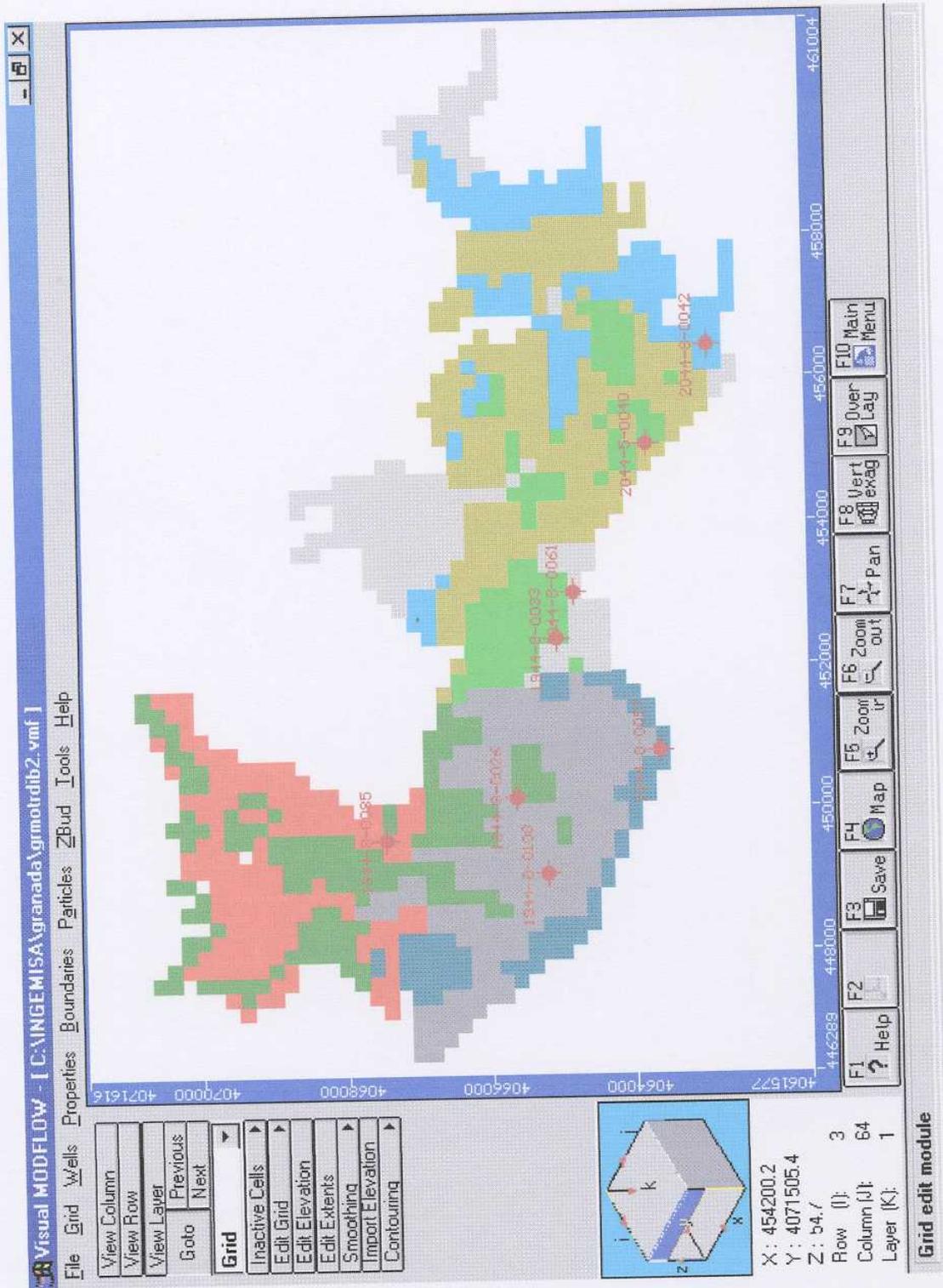


Figura F14. Zonas de recarga por infiltración y pozos de control

- Se definieron modelos sintéticos en las 8 zonas de recarga, en los cuales, con el auxilio de los correspondientes pozos de observación, se calibraron los Balances Hídricos. Se optó por definir modelos sintéticos habida cuenta de la imposibilidad de definir sendas cuencas para las zonas de recarga.

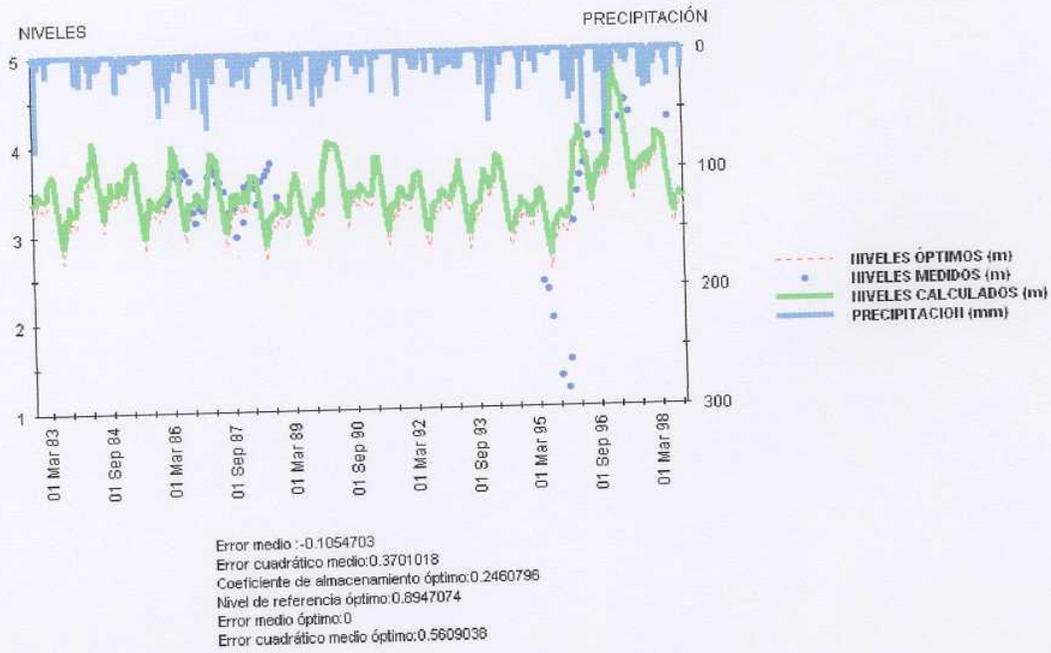
En las Figuras F15 a F22 se exponen los resultados de los modelos de Balance Hídrico: los ajustes alcanzados entre los niveles medidos y los calculados (a) y los valores medios anuales de los componentes de balance (b). En los Cuadros C1 a C8 se exponen los valores totales y medios mensuales, correspondientes al año medio, de los distintos componentes del balance. En el Apéndice 5.II.2 se detallan los valores de los parámetros calibrados, iniciales y resultantes, y la correlación alcanzada entre los niveles piezométricos medidos y calculados para cada modelo.

Acerca de estos modelos de balance se ofrece una rápida reseña de sus características más destacadas:

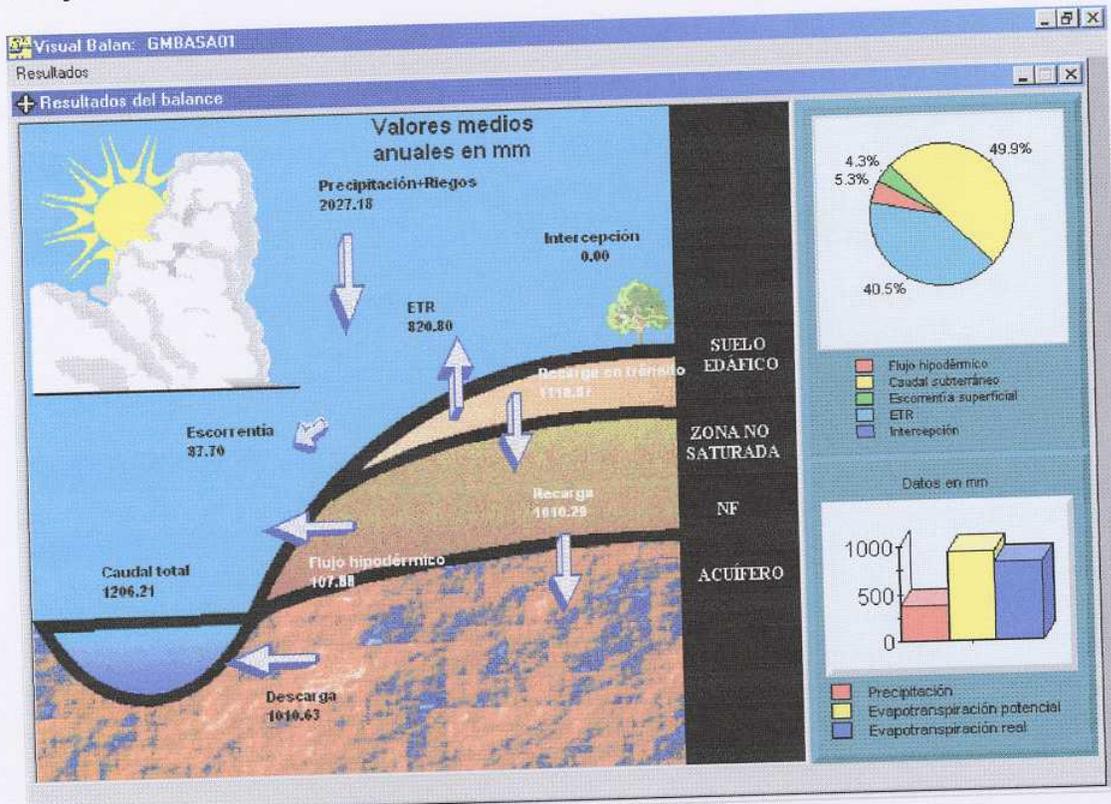
- La superficie de cada modelo es de 1 km².
- El cálculo del balance fue diario y el período para el que se realizó fue: 01/10/82 a 30/09/98.
- La Evapotranspiración Potencial, ETP, en todos los casos se calculó mediante el método de Thornthwhite, debido a los datos disponibles.
- En ningún modelo se consideró efecto de intercepción, pues en las únicas zonas en que este se podría haber producido son las de uso agrícola. Sin embargo en las zonas de uso agrícola modeladas la técnica de riego aplicada es el riego por gravedad, o manta, en la que no incide la intercepción de las plantas. Por otro lado, la precipitación, que sí se podría ver afectada por este efecto, es un componente minoritario en las entradas del balance, su volumen anual representa entre el 20% y el 40% del correspondiente al de dotaciones.
- El cálculo de la esorrentía se realizó mediante el método de Horton, en todos los modelos.

- El mecanismo de recarga preferente estuvo sujeto a ser identificado en los procesos de calibración. En el 50 % los modelos se identificó que el proceso de recarga preferente se producía por fisuras y un 25 % por inundación, ello es coherente con las características climáticas de la zona y la técnica de riego aplicada, respectivamente.
- Los ajustes alcanzados en los modelos son aceptables en general, aunque se caracterizan por una gran dispersión. No debe olvidarse que las series de niveles utilizadas son reales y el principal componente de los términos de entrada de los balances son las dotaciones de riego, cuyas series históricas son una extensión de una situación de riego medio, que a su vez es producto de un proceso de restitución. Proceso este, al que se procuró darle la mayor consistencia posible. Debe señalarse, que en los casos de las zonas sin uso agrícola y en la de cultivos subtropicales, ambas bajo la influencia meteorológica de estación de Motril, los ajustes alcanzados no son enteramente satisfactorios. En el caso de la zona sin uso agrícola, debe observarse que el único pozo disponible (1944-8-061) se encuentra situado en el puerto, en las inmediaciones de la costa, pudiendo por ello existir otros factores que influyan sobre los niveles (mareas, circulación de vehículos pesados, etc.).
- Los espesores de suelo identificados varían de magnitudes decimétricas al orden del metro. Las Capacidades de Campo varían entre el 17% y el 30% de dichos espesores y los Puntos de Marchitez oscilan entre el 2% y el 8%, aproximadamente.

SUBCUENCAS 1



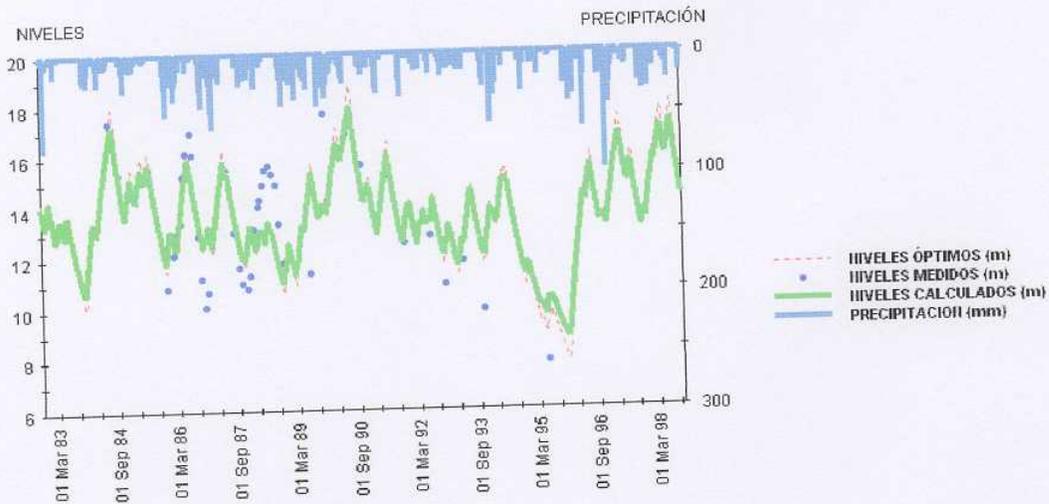
a.- Ajuste de niveles medidos vs. calculados.



b.- Componentes del Balance Hídrico anual.

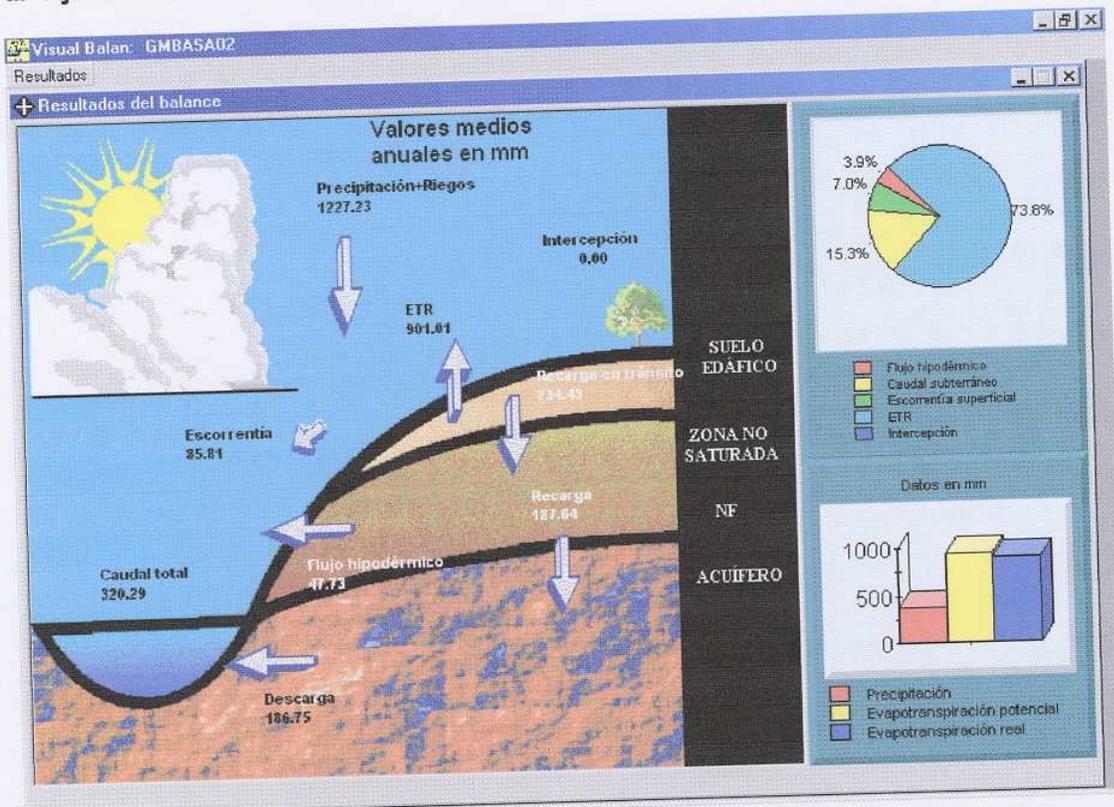
Figura F15.- Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del suelo: agricultura, caña de azúcar

SUBCUENCAS 1



Error medio :0.03673518
 Error cuadrático medio:1.577728
 Coeficiente de almacenamiento óptimo:0.01645628
 Nivel de referencia óptimo:4.983923
 Error medio óptimo:0.0000004
 Error cuadrático medio óptimo:1.553429

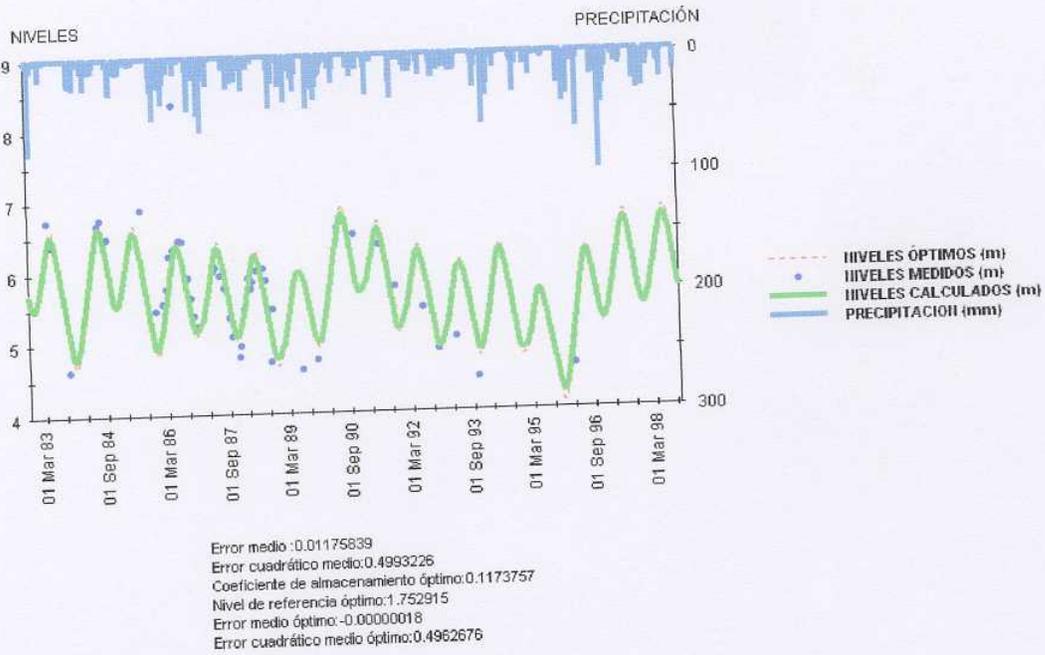
a.- Ajuste de niveles medidos vs. calculados.



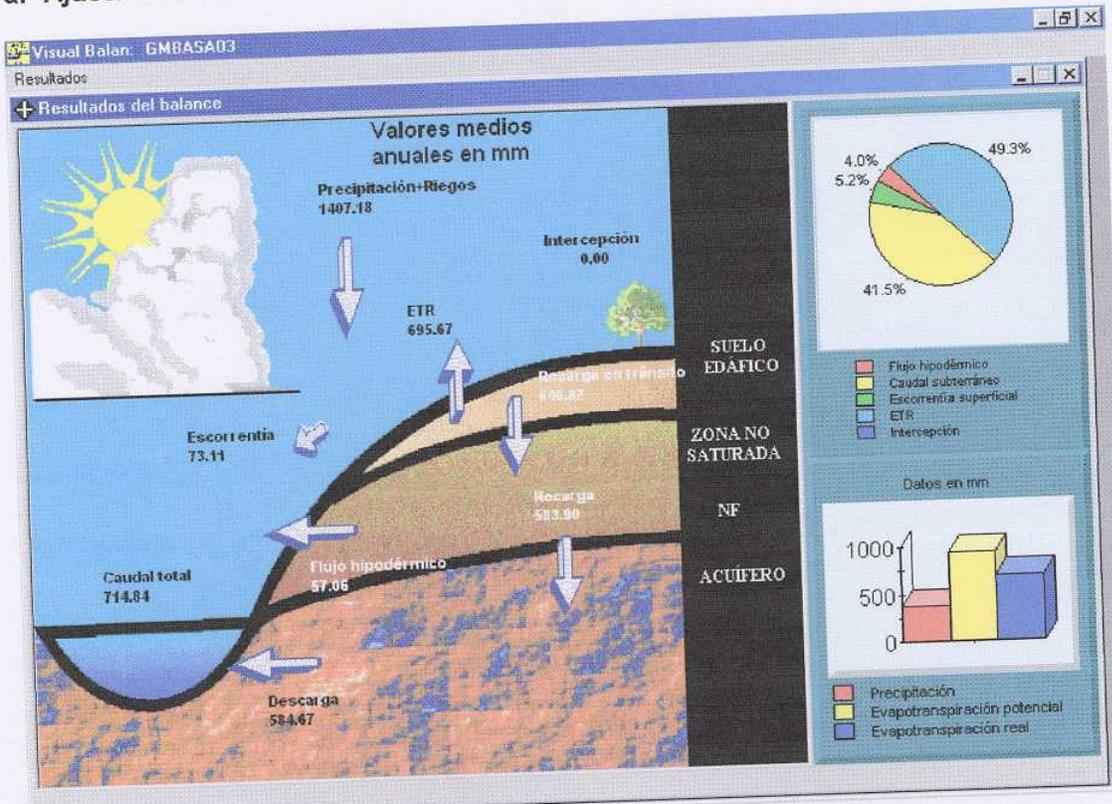
b.- Componentes del Balance Hídrico anual.

Figura F16.- Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del suelo: agricultura, cultivos subtropicales.

SUBCUENCAS 1



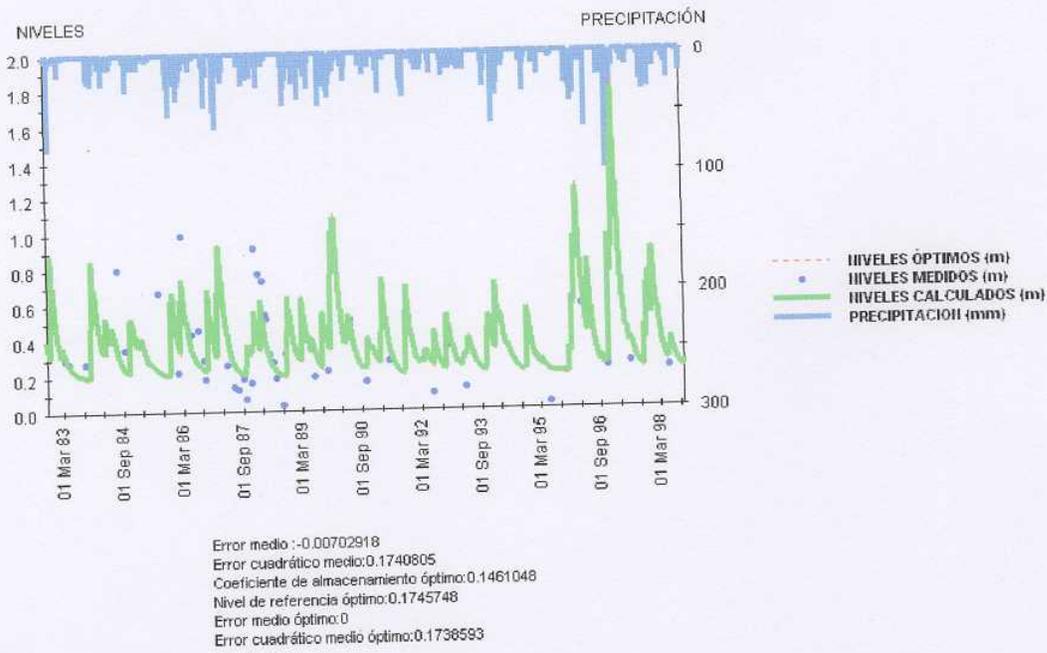
a.- Ajuste de niveles medidos vs. calculados.



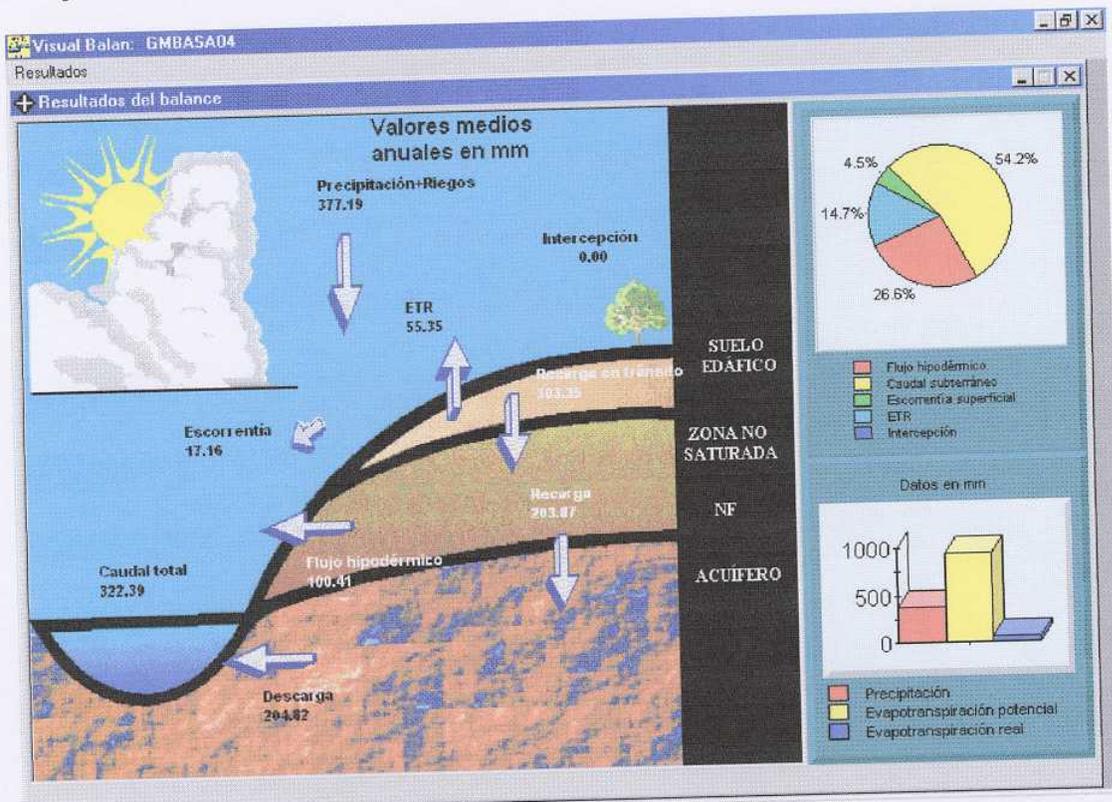
b.- Componentes del Balance Hídrico anual.

Figura F17.- Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del suelo: agricultura, huerta.

SUBCUENCAS 1



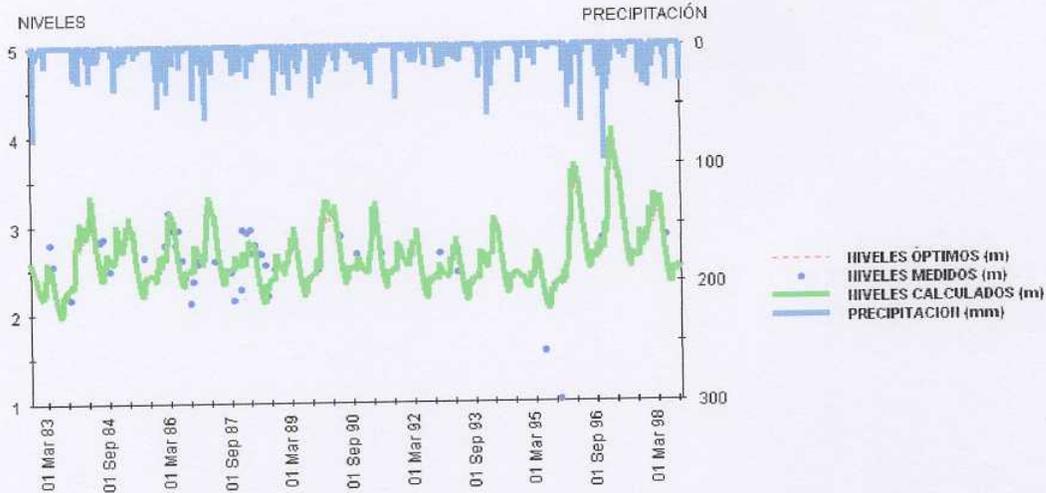
a.- Ajuste de niveles medidos vs. calculados.



b.- Componentes del Balance Hídrico anual.

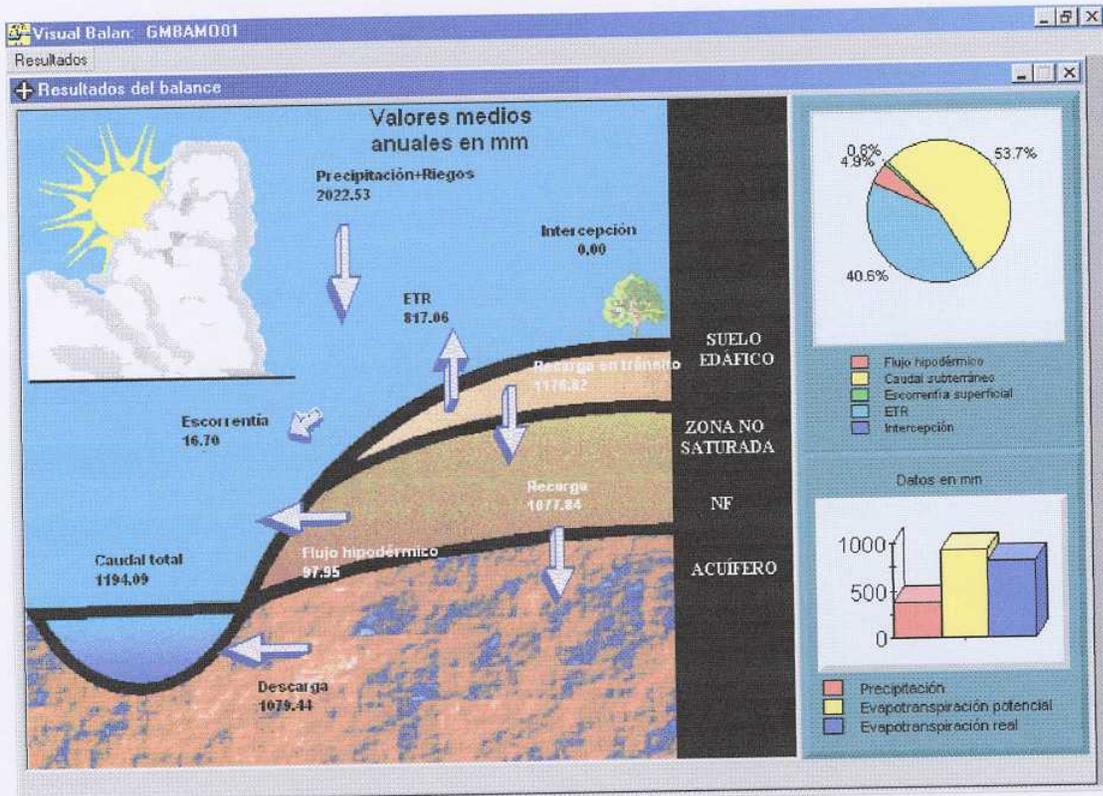
Figura F18.- Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del suelo: sin uso agrícola.

SUBCUENCAS 1



Error medio: 0.00225743
 Error cuadrático medio: 0.3002358
 Coeficiente de almacenamiento óptimo: 0.3179462
 Nivel de referencia óptimo: 1.299949
 Error medio óptimo: -0.00000005
 Error cuadrático medio óptimo: 0.2979374

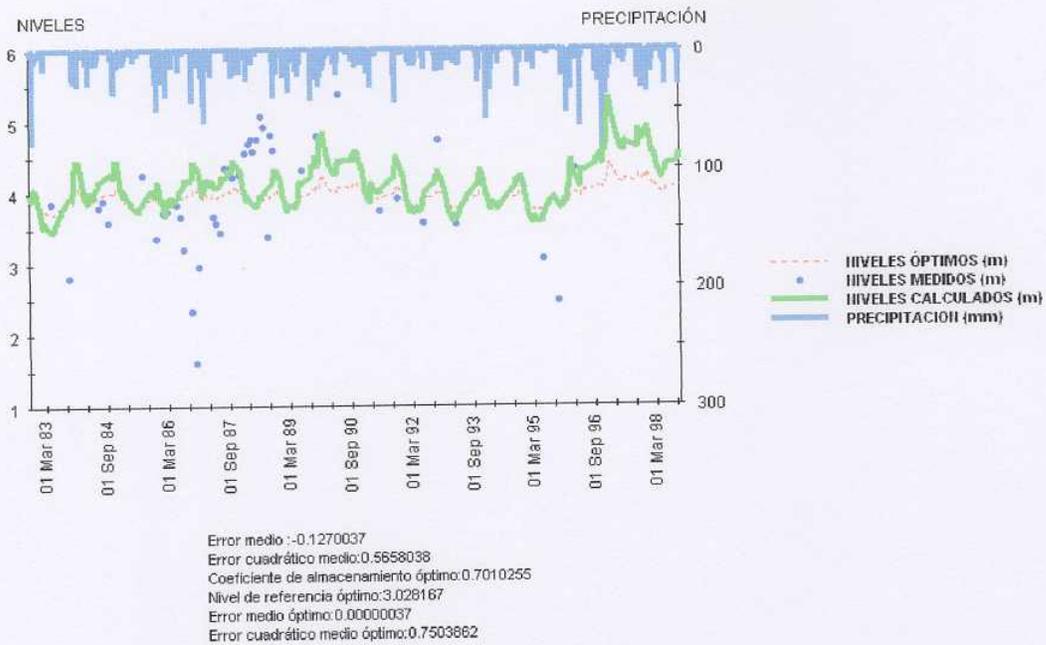
a.- Ajuste de niveles medidos vs. calculados.



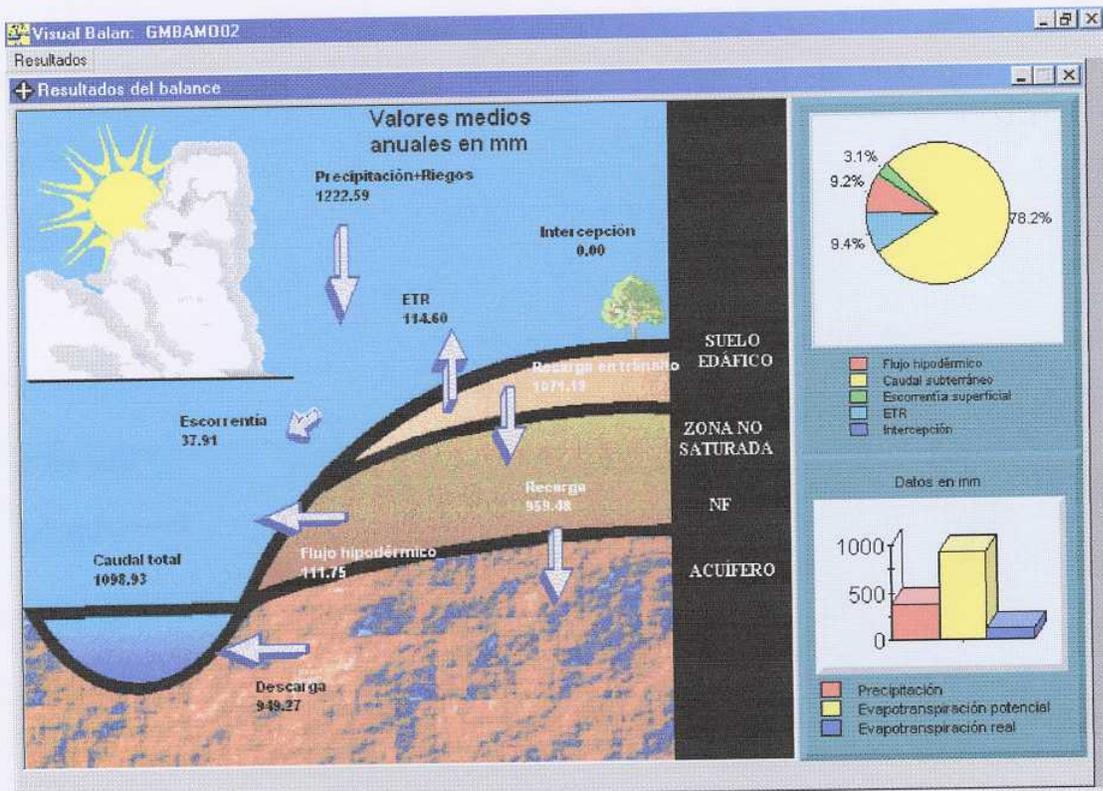
b.- Componentes del Balance Hídrico anual.

Figura F19.- Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del suelo: agricultura, caña de azúcar

SUBCUENCAS 1



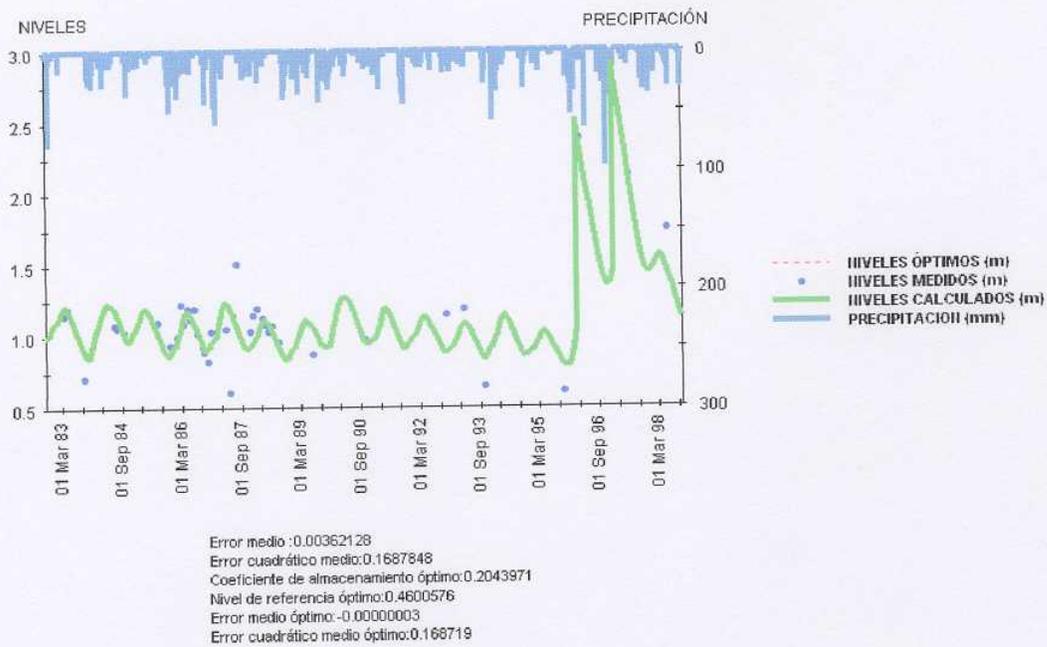
a.- Ajuste de niveles medidos vs. calculados.



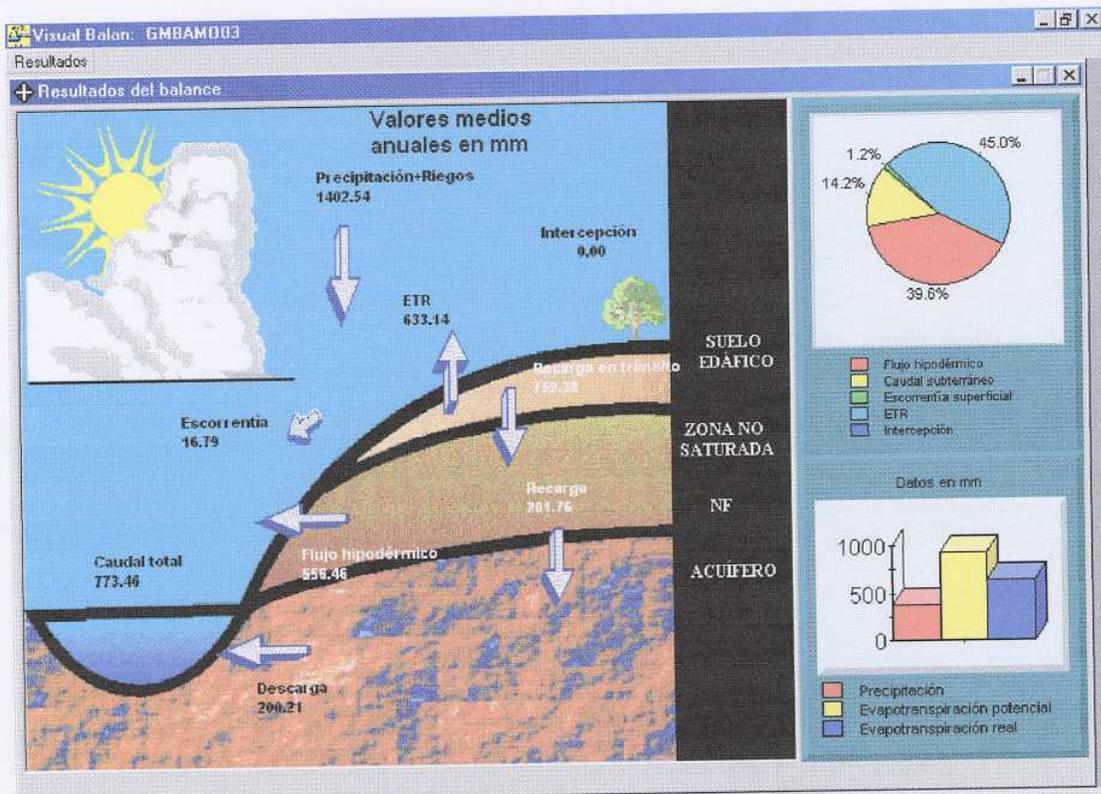
b.- Componentes del Balance Hídrico anual.

Figura F20.- Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del suelo: agricultura, cultivos subtropicales.

SUBCUENCAS 1



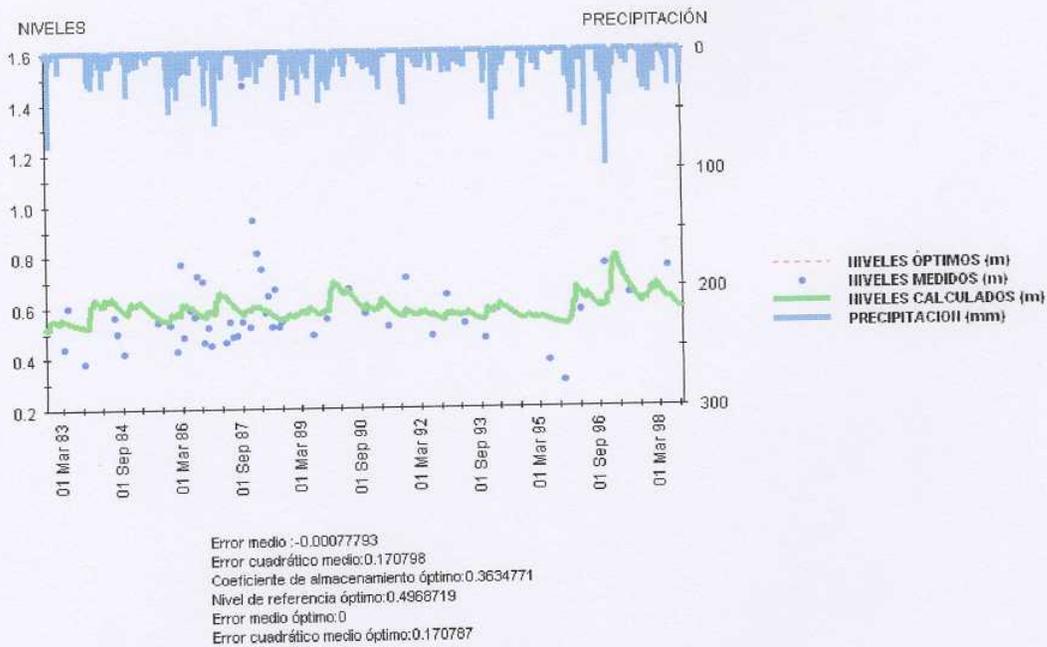
a.- Ajuste de niveles medidos vs. calculados.



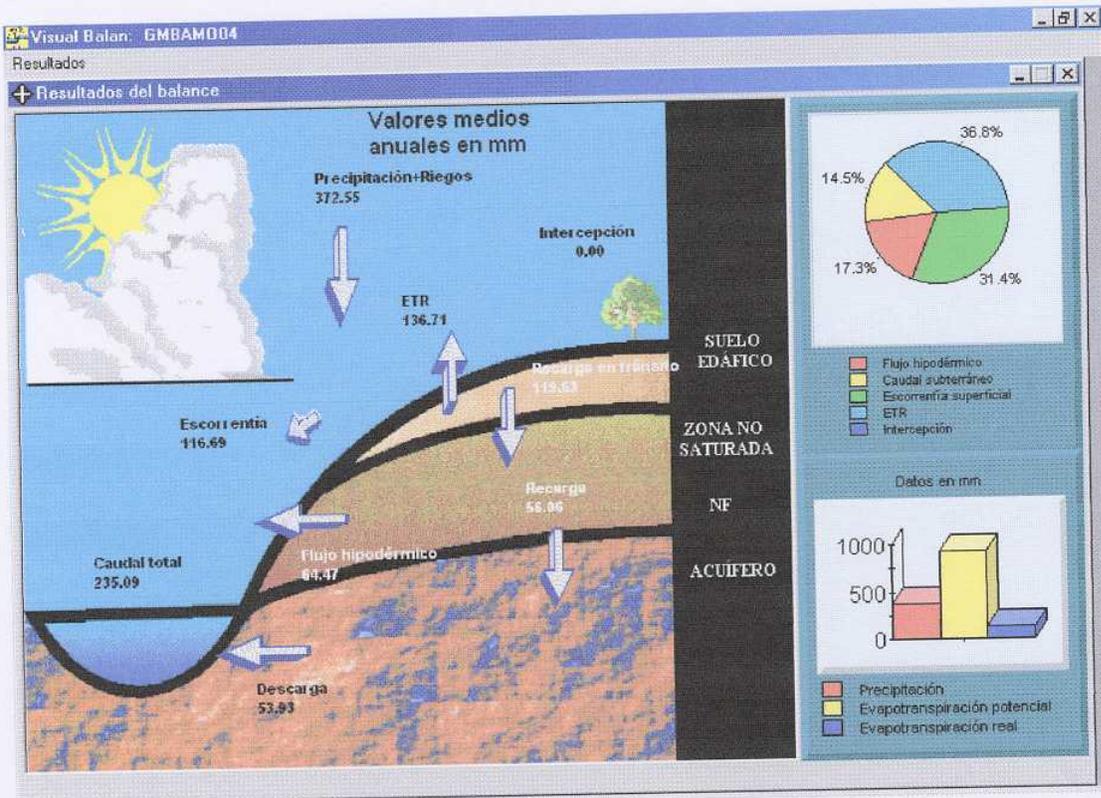
b.- Componentes del Balance Hídrico anual.

Figura F21.- Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del suelo: agricultura, huerta.

SUBCUENCAS 1



a.- Ajuste de niveles medidos vs. calculados.



b.- Componentes del Balance Hídrico anual.

Figura F22.- Resultados del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del suelo: sin uso agrícola.

	Media anual en mm	Media anual en Hm ³	Total en mm	Total en Hm ³
Precipitación	377.1939	0.3771939	6035.103	6.035102
Recarga en tránsito	1118.87	1.11887	17901.92	17.90192
Flujo preferente	23.86978	2.3870E-02		
Evapotranspiración potencial	937.0784	0.9370784		
Evapotranspiración real	820.799	0.820799	13132.78	13.13278
Dotación	1649.984	1.649984		
Escurrentía	87.69524	8.7695E-02	1403.124	1.403124
Flujo hipodérmico	107.8826	0.1078826	1726.122	1.726122
Caudal subterráneo	1010.628	1.010628	16170.05	16.17005
Caudal total	1206.206	1.206206	19299.3	19.2993
Recarga al acuífero	1010.292	1.010292	16164.67	16.16467
Intercepción	0	0	0	0

MEDIAS MENSUALES (mm)

	Recarga total	Recarga diferida	Precipita- ción	ETP	ETR	Dotación de riego	Escurren- tía
ENERO	140.9354	0	53.64375	29.72346	29.72346	134	16.20982
FEBRERO	144.7117	0	37.625	32.93733	32.93733	151	8.575892
MARZO	123.6868	0	23.2	51.09551	51.09551	151	2.803571
ABRIL	11.95991	7.299925	24.4625	65.05627	25.50379	0	0
MAYO	11.53222	5.418506	22.6875	87.28522	46.05729	38.00001	1.169643
JUNIO	4.003997	1.73809	8.75625	111.4893	80.20465	76.00002	4.4643E-02
JULIO	156.8678	7.027645	1.1125	144.7058	141.8258	303	0
AGOSTO	124.0355	1.55787	1.38125	144.2694	143.557	266	0
SEPTIEMBRE	86.26326	0.8277389	18.675	111.8005	111.1851	190	5.986607
OCTUBRE	103.9231	0	43	77.98603	77.98603	151	14.23036
NOVIEMBRE	103.277	0	85.66875	47.25266	47.25107	95.00001	26.97156
DICIEMBRE	107.6741	0	56.98125	33.47739	33.47739	95.00001	11.70312

Cuadro C1.- Resultados para año medio del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreaña (Vega del Guadalfeo)- Uso del suelo: agricultura, caña de azúcar

	Media anual en mm	Media anual en Hm³	Total en mm	Total en Hm³
Precipitación	377.1939	0.3771939	6035.103	6.035102
Recarga en tránsito	234.4325	0.2344325	3750.92	3.75092
Flujo preferente	0	0		
Evapotranspiración potencial	937.0784	0.9370784		
Evapotranspiración real	901.0084	0.9010084	14416.13	14.41613
Dotación	850.0382	0.8500382		
Escorrentía	85.80765	8.5808E-02	1372.922	1.372922
Flujo hipodérmico	47.72762	4.7728E-02	763.642	0.763642
Caudal subterráneo	186.7508	0.1867508	2988.013	2.988014
Caudal total	320.2873	0.3202873	5124.597	5.124597
Recarga al acuífero	187.6441	0.1876441	3002.306	3.002306
Intercepción	0	0	0	0

MEDIAS MENSUALES

	Recarga total	Recarga diferida	Precipita- ción	ETP	ETR	Dotación de riego	Escorren- tía
ENERO	16.82024	0	53.64375	29.72346	28.18265	0	17.82016
FEBRERO	26.76401	0	37.625	32.93733	32.93733	57	7.124938
MARZO	35.10344	0	23.2	51.09551	51.08116	57	3.778704
ABRIL	22.49902	0	24.4625	65.05627	64.85058	57	0.3541594
MAYO	36.0547	0	22.6875	87.28522	87.24051	113	6.348404
JUNIO	22.16808	0	8.75625	111.4893	110.8984	113	0
JULIO	2.639672	0	1.1125	144.7058	138.4157	113	0
AGOSTO	0	0	1.38125	144.2694	127.0837	113	0
SEPTIEMBRE	3.471551	0	18.675	111.8005	107.6665	113	0.4479091
OCTUBRE	12.97056	0	43	77.98603	72.6665	57	4.414463
NOVIEMBRE	32.49955	0	85.66875	47.25266	47.13085	57	24.97781
DICIEMBRE	23.44635	0	56.98125	33.47739	32.85692	0	20.17651

Cuadro C2.- Resultados para el año medio del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del suelo: agricultura, cultivos subtropicales.

	Media anual en mm	Media anual en Hm ³	Total en mm	Total en Hm ³
Precipitación	377.1939	0.3771939	6035.103	6.035102
Recarga en tránsito	640.8198	0.6408198	10253.12	10.25312
Flujo preferente	1.769198	1.7692E-03		
Evapotranspiración potencial	937.0784	0.9370784		
Evapotranspiración real	695.6737	0.6956737	11130.78	11.13078
Dotación	1029.99	1.02999		
Escurrentía	73.11343	7.3113E-02	1169.815	1.169815
Flujo hipodérmico	57.05899	5.7059E-02	912.9439	0.9129439
Caudal subterráneo	584.6719	0.5846719	9354.75	9.35475
Caudal total	714.8435	0.7148435	11437.5	11.4375
Recarga al acuífero	583.8979	0.5838979	9342.367	9.342367
Intercepción	0	0	0	0

MEDIAS MENSUALES

	Recarga total	Recarga diferida	Precipita- ción	ETP	ETR	Dotación de riego	Escurren- tía
ENERO	108.096	0	53.64375	29.72346	29.71667	141	21.16307
FEBRERO	101.3168	0	37.625	32.93733	32.93733	146	7.350998
MARZO	109.5872	0	23.2	51.09551	51.09348	90.00001	1.015496
ABRIL	60.40296	0	24.4625	65.05627	63.75803	38.00001	0.1323543
MAYO	26.69125	0	22.6875	87.28522	83.49903	73	3.432906
JUNIO	4.759259	4.4339E-04	8.75625	111.4893	92.1878	70	0.1631024
JULIO	9.6613E-03	9.6613E-03	1.1125	144.7058	72.51481	37	0
AGOSTO	6.0232E-02	6.0232E-02	1.38125	144.2694	56.00066	58.00001	0
SEPTIEMBRE	1.664479	0.9920224	18.675	111.8005	56.55751	58.00001	0.1234936
OCTUBRE	41.01318	0.7068393	43	77.98603	76.79311	115	7.488735
NOVIEMBRE	93.28256	0	85.66875	47.25266	47.1477	118	22.14837
DICIEMBRE	93.92178	0	56.98125	33.47739	33.47125	86	10.09489

Cuadro C3.- Resultados para el año medio del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del suelo: agricultura, huerta.

	Media anual en mm	Media anual en Hm ³	Media anual en mm	Total en Hm ³
Precipitación	377.1939	0.3771939	6035.103	6.035102
Recarga en tránsito	303.3544	0.3033544	4853.67	4.853671
Flujo preferente	66.91424	6.6914E-02		
Evapotranspiración potencial	937.0784	0.9370784		
Evapotranspiración real	55.35364	5.5354E-02	885.6583	0.8856583
Dotación	0	0		
Escorrentía	17.15972	1.7160E-02	274.5555	0.2745555
Flujo hipodérmico	100.4082	0.1004082	1606.531	1.606531
Caudal subterráneo	204.8186	0.2048186	3277.097	3.277097
Caudal total	322.3862	0.3223862	5158.179	5.158179
Recarga al acuífero	203.8717	0.2038717	3261.947	3.261947
Intercepción	0	0	0	0

MEDIAS MENSUALES

	Recarga total	Recarga diferida	Precipita- ción	ETP	ETR	Dotación de riego	Escorren- tía
ENERO	40.44841	12.52633	53.64375	29.72346	4.691739	0	4.304156
FEBRERO	32.49568	7.28358	37.625	32.93733	4.242812	0	1.356498
MARZO	12.63098	4.286394	23.2	51.09551	4.591573	0	0
ABRIL	13.50431	2.454113	24.4625	65.05627	6.540734	0	0
MAYO	15.69435	2.330737	22.6875	87.28522	5.436171	0	2.194775
JUNIO	8.261743	0.2556254	8.75625	111.4893	3.201936	0	0
JULIO	1.586877	3.4456E-03	1.1125	144.7058	0.278094	0	0
AGOSTO	1.188851	5.3445E-02	1.38125	144.2694	0.5569682	0	0
SEPTIEMBRE	10.60328	1.923308	18.675	111.8005	4.387179	0	0.6325058
OCTUBRE	42.9907	6.076021	43	77.98603	6.797221	0	0.8647746
NOVIEMBRE	72.78452	19.46677	85.66875	47.25266	9.151669	0	5.716706
DICIEMBRE	51.16529	10.25416	56.98125	33.47739	5.477531	0	2.090308

Cuadro C4.- Resultados para el año medio del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Salobreña (Vega del Guadalfeo)- Uso del suelo: sin uso agrícola.

	Media anual en mm	Media anual en Hm ³	Total en mm	Total en Hm ³
Precipitación	372.5501	0.3725501	5960.802	5.960802
Recarga en tránsito	1176.819	1.176819	18829.11	18.82911
Flujo preferente	736.9341	0.7369341		
Evapotranspiración potencial	925.7792	0.9257792		
Evapotranspiración real	817.0616	0.8170616	13072.99	13.07299
Dotación	1649.984	1.649984		
Escorrentía	16.69746	1.669746	267.1594	0.2671594
Flujo hipodérmico	97.94749	9.794749	1567.16	1.56716
Caudal subterráneo	1079.444	1.079444	17271.1	17.2711
Caudal total	1194.088	1.194088	19105.41	19.10541
Recarga al acuífero	1077.844	1.077844	17245.5	17.2455
Intercepción	0	0	0	0

MEDIAS MENSUALES

	Recarga total	Recarga diferida	Precipita- ción	ETP	ETR	Dotación de riego	Escorren- tía
ENERO	153.9988	60.50105	54.2875	28.86446	28.84166	134	3.716609
FEBRERO	152.5565	66.34266	35.5625	31.97779	31.97779	151	0.2018845
MARZO	127.8942	66.84895	21.8125	48.16496	48.14691	151	0
ABRIL	9.586874	8.045369	24.11875	61.19772	51.11303	0	0
MAYO	18.5515	17.04939	21.9625	84.28824	55.68931	38.00001	1.709353
JUNIO	33.35978	33.35978	9.737499	115.3925	64.38075	76.00002	0
JULIO	132.7115	132.5354	1.21875	148.44	143.4386	303	0
AGOSTO	117.623	116.3919	1.31875	149.4888	144.0287	266	0
SEPTIEMBRE	90.21303	83.28012	18.625	107.9553	100.4285	190	0.4628053
OCTUBRE	108.5988	66.81992	43.79375	72.68196	71.92432	151	1.44692
NOVIEMBRE	113.6636	42.28474	82.34376	44.08429	43.90936	95.00001	8.990519
DICIEMBRE	118.0368	43.45509	57.76875	33.23805	33.17694	95.00001	0.1693723

Cuadro C5.- Resultados para el año medio del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (caso urbano)- Uso del suelo: agricultura, caña de azúcar.

	Media anual en mm	Media anual en Hm³	Total en mm	Total en Hm³
Precipitación	372.5501	0.3725501	5960.802	5.960802
Recarga en tránsito	1071.191	1.071191	17139.06	17.13906
Flujo preferente	373.3047	0.3733047		
Evapotranspiración potencial	925.7792	0.9257792		
Evapotranspiración real	114.6003	0.1146002	1833.604	1.833604
Dotación	850.0382	0.8500382		
Escorrentía	37.9141	0.0379141	606.6255	0.6066256
Flujo hipodérmico	111.7516	0.1117516	1788.026	1.788025
Caudal subterráneo	949.2658	0.9492658	15188.25	15.18825
Caudal total	1098.932	1.098932	17582.91	17.58291
Recarga al acuífero	959.4802	0.9594802	15351.68	15.35168
Intercepción	0	0	0	0

MEDIAS MENSUALES

	Recarga total	Recarga diferida	Precipita- ción	ETP	ETR	Dotación de riego	Escorren- tía
ENERO	43.21246	0	54.2875	28.86446	4.546667	0	6.528368
FEBRERO	72.06589	25.03265	35.5625	31.97779	18.2651	57	2.231506
MARZO	72.03473	25.03265	21.8125	48.16496	6.131407	57	0.6463525
ABRIL	74.45399	25.03265	24.11875	61.19772	6.66474	57	0
MAYO	115.8655	49.62612	21.9625	84.28824	16.54792	113	2.54906
JUNIO	112.9129	49.62612	9.737499	115.3925	9.403203	113	0.421405
JULIO	105.7144	49.62612	1.21875	148.44	8.504349	113	0
AGOSTO	106.1333	49.62612	1.31875	149.4888	8.185411	113	0
SEPTIEMBRE	115.2467	49.62612	18.625	107.9553	14.73022	113	1.64812
OCTUBRE	88.81091	25.03265	43.79375	72.68196	7.431296	57	5.690356
NOVIEMBRE	115.7791	25.03265	82.34376	44.08429	9.406611	57	14.15806
DICIEMBRE	48.94434	0	57.76875	33.23805	4.783547	0	4.040868

Cuadro C6.- Resultados para el año medio del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del suelo: agricultura, cultivos subtropicales.

	Media anual en mm	Media anual en Hm ³	Total en mm	Total en Hm ³
Precipitación	372.5501	0.3725501	5960.802	5.960802
Recarga en tránsito	759.3809	0.7593809	12150.09	12.15009
Flujo preferente	113.168	0.113168		
Evapotranspiración potencial	925.7792	0.9257792		
Evapotranspiración real	633.1448	0.6331449	10130.32	10.13032
Dotación	1029.99	1.02999		
Escorrentía	16.78849	1.6788E-02	268.6158	0.2686158
Flujo hipodérmico	556.4612	0.5564612	8903.38	8.903379
Caudal subterráneo	200.214	0.200214	3203.424	3.203424
Caudal total	773.4641	0.773464	12375.42	12.37542
Recarga al acuífero	201.7552	0.2017552	3228.083	3.228083
Intercepción	0	0	0	0

MEDIAS MENSUALES

	Recarga total	Recarga diferida	Precipitación	ETP	ETR	Dotación de riego	Escorrentía
ENERO	161.6244	0	54.2875	28.86446	28.86446	141	4.487747
FEBRERO	150.0014	0	35.5625	31.97779	31.97779	146	0.6977301
MARZO	68.46385	0	21.8125	48.16496	48.16496	90.00001	0
ABRIL	13.62794	3.327271	24.11875	61.19772	60.51617	38.00001	0
MAYO	20.0488	10.91373	21.9625	84.28824	78.22834	73	0
JUNIO	6.963481	6.963481	9.737499	115.3925	79.17802	70	0
JULIO	0.1987742	0.1987742	1.21875	148.44	38.02372	37	0
AGOSTO	0.5710099	0.5710099	1.31875	149.4888	58.75518	58.00001	0
SEPTIEMBRE	14.73758	14.73758	18.625	107.9553	61.75407	58.00001	0
OCTUBRE	80.5146	57.94851	43.79375	72.68196	70.66256	115	0
NOVIEMBRE	136.482	18.50776	82.34376	44.08429	43.78506	118	10.0358
DICIEMBRE	106.143	0	57.76875	33.23805	33.23805	86	1.567212

Cuadro C7.- Resultados para el año medio del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del suelo: agricultura, huerta.

	Media anual en mm	Media anual en Hm ³	Total en mm	Total en Hm ³
Precipitación	372.5501	0.3725501	5960.802	5.960802
Recarga en tránsito	119.6287	0.1196287	1914.06	1.91406
Flujo preferente	0	0		
Evapotranspiración potencial	925.7792	0.9257792		
Evapotranspiración real	136.7056	0.1367056	2187.29	2.187289
Dotación	0	0		
Escurrentía	116.6906	0.1166906	1867.05	1.86705
Flujo hipodérmico	64.46626	6.4466E-02	1031.46	1.03146
Caudal subterráneo	53.9291	0.0539291	862.8656	0.8628656
Caudal total	235.0861	0.2350861	3761.378	3.761378
Recarga al acuífero	56.05986	5.60598E-02	896.9578	0.8969578
Intercepción	0	0	0	0

MEDIAS MENSUALES

	Recarga total	Recarga diferida	Precipita- ción	ETP	ETR	Dotación de riego	Escurren- tía
ENERO	19.88089	0	54.2875	28.86446	13.13745	0	19.58127
FEBRERO	13.60857	0	35.5625	31.97779	13.54074	0	9.003255
MARZO	6.890909	0	21.8125	48.16496	12.51698	0	3.653308
ABRIL	7.811428	0	24.11875	61.19772	15.10065	0	1.80408
MAYO	5.190791	0	21.9625	84.28824	12.2495	0	5.058422
JUNIO	1.906182	0	9.737499	115.3925	7.041604	0	1.195531
JULIO	0	0	1.21875	148.44	1.236791	0	0
AGOSTO	0	0	1.31875	149.4888	1.263957	0	0
SEPTIEMBRE	4.238919	0	18.625	107.9553	8.775256	0	5.124274
OCTUBRE	12.32889	0	43.79375	72.68196	16.78521	0	15.18375
NOVIEMBRE	26.12914	0	82.34376	44.08429	20.57141	0	33.59266
DICIEMBRE	21.64304	0	57.76875	33.23805	14.48618	0	22.49429

Cuadro C8.- Resultados para el año medio del modelo de Balance Hídrico. Zona de recarga: Estación meteorológica: Motril (casco urbano)- Uso del suelo: sin uso agrícola.

- En general, respecto a los términos salida de los balances la Evapotranspiración y la Descarga Subterránea son los preponderantes, representando cada una entre el 40% y el 50% de la descarga, según el caso. Los componentes minoritarios de la salida del sistema son la escorrentía superficial y el flujo hipodérmico, adoptando valores, en general, entre el 1% y el 5% y en torno al 5%, respectivamente.

En el Apéndice 5.II.3 se expone la información inicial de Recarga que se incorporó al modelo del acuífero de Motril-Salobreña. La misma se corresponde a la recarga del año medio en cada zona y se estructura en intervalos de tiempo de 10 días, exceptuando el último que es de 5 días, a cada intervalo de tiempo se le asigna su correspondiente recarga media.

1.6. RELACIÓN: ACUÍFERO - RED HIDROGRÁFICA. MANANTIALES

Una de las principales fuentes de recarga del acuífero se debe a la infiltración de las aguas del río Guadalfeo. Este volumen de agua corresponde a los excedentes superficiales del azud del Vínculo y son aguas no derivadas para riego en el mismo.

Desde comienzos de los años setenta, la CHSE lleva a cabo un detallado control diario de los caudales utilizados fundamentalmente para riego en la zona de Motril-Salobreña. Teniendo en cuenta estos datos diarios se han calculado las medias mensuales de excedentes superficiales en el azud del Vínculo para el periodo 1972/73 a 1997/98 (Figura F23). El excedente medio anual para este período es de 63.48 hm³/año. La mayor parte del mismo se infiltra y discurre por el subálveo del Guadalfeo hasta el mar. En rigor, el tramo del río que presenta escorrentía superficial es corto, o inexistente, la mayor parte del año y sólo se aprecian aguas libres desde el azud hasta su desembocadura durante un período estacional corto o como efecto de eventos torrenciales. Exceptuando los sucesos de avenidas, el caudal que discurre superficialmente por el lecho del río es marcadamente menor al que lo hace por el subálveo.

En el estudio ITGE (1988) se realizó un importante trabajo de campo consistente en 10 campañas de aforos diferenciales en 5 tramos del río Guadálfeo (Figura F24), desde el azud del Vínculo. Cinco (5) campañas se ejecutaron en invierno, cuatro (4) en primavera y una (1) en otoño. El objetivo fue definir cuales son los tramos en los que el río drena al acuífero y cuales son aquellos que aportan agua al mismo. En el tratamiento posterior de estos resultados, se asumió que los caudales diferenciales que indicaban un incremento del caudal circulante en determinados tramos no eran significativos por hallarse dentro de los márgenes de error de los aforos. Ello implicó considerar que el río Guadálfeo recargaba al acuífero en todo momento y en todos los tramos. En todos los tramos se establecieron sendas correlaciones cuadráticas entre el caudal circulante y el infiltrado por unidad de longitud, aunque no se indicó el coeficiente de correlación ni el intervalo de confianza en ninguno de los tramos. Finalmente, aplicaron estas funciones cuadráticas a los caudales excedentes del azud del Vínculo para definir los caudales que se infiltraban en cada tramo.

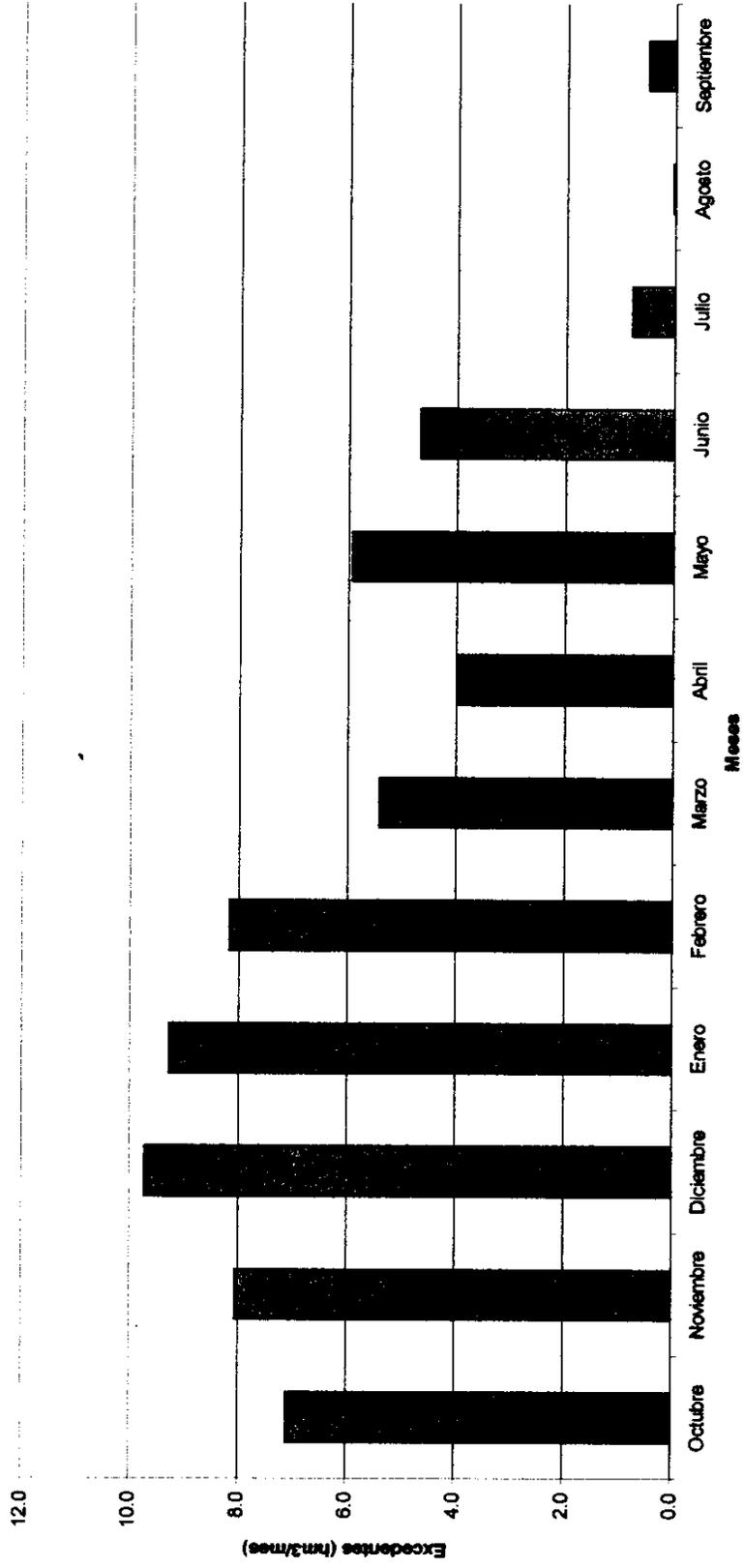


Figura F23. Excedentes superficiales mensuales medios en el azud del Vínculo (periodo 1972/73 - 1997/98)

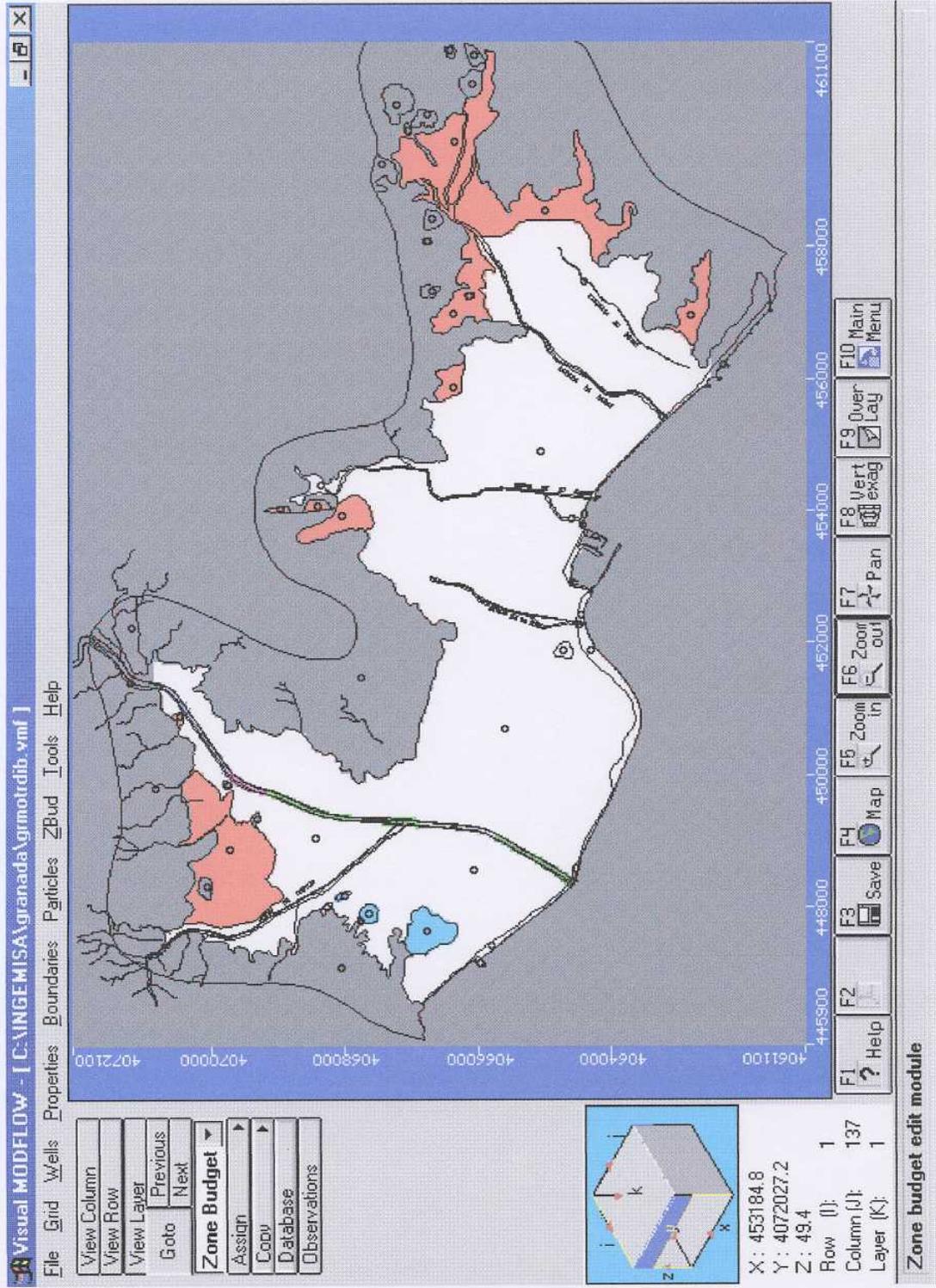


Figura F24. Red hidrográfica y secciones de aforo en el río Guadalfeo

En el presente estudio se decidió utilizar los datos de la campaña de campo de aforos del estudio del ITGE (1988). Este tratamiento se diferenció del realizado anteriormente en dos aspectos:

- Los datos fueron agrupados por tramo y por estación, pues se consideró que las relaciones río – acuífero pueden diferir de primavera a invierno u otoño.
- Se consideraron, también, los caudales diferenciales que indicaban que el río drenaba al acuífero en un momento dado, pues se constató que eran de magnitud similar a muchos caudales diferenciales que indicaban que el río recargaba al acuífero.

Sin embargo, al continuar el análisis se puso en evidencia que el 75% de los caudales aforados eran marcadamente superiores que el correspondiente caudal excedente del azud del Vínculo. Ver Tabla T14. Por ejemplo, los caudales aforados en la sección inmediata aguas abajo del azud del Vínculo resultan notoriamente superiores a estos últimos, en algún caso la relación llega a algo más de 7. En general este hecho se podría atribuir a que el caudal excedente es un valor medio diario y su contraste con los caudales aforados reflejarían la gran variabilidad del régimen hídrico en este tipo de ríos. Igualmente existen factores particulares que contribuyen a la existencia de esta diferencia: en el tramo, C las aportaciones de la Rambla de Molvizar y, en cualquiera de los tramos, los vertidos que se hacen a los mismos (industriales en el tramo D). Se consideró que estas explicaciones para la relación entre los caudales aforados y el excedente diario eran plausibles y, por ello mismo, introducían el suficiente ruido como para invalidar el objetivo mismo de los aforos diferenciales: identificar adecuadamente los tramos en que el río recarga o drena al acuífero.

Finalmente se optó por que la identificación de los tramos y momentos en que el río drena o recarga al acuífero fuese un producto de la calibración del modelo.

Fecha de la campaña de aforos	Azud del Vínculo $Q_{\text{excedente}}$ (l/s)	Q_{aforados} (l/s)				
		Sección 1	Sección 2	Sección 3	Sección 4	Sección 5
28/11/1985	600	458	465	476	586	497
18/02/1986	1500	3541	3284	3257	2459	2800
20/03/1986	500	1483	1177	1065	769	606
17/04/1986	150	1070	680	563	648	620
23/05/1986	3500	4790	5018	5330	5657	5213
04/02/1988	150	203	135	79	106	84
12/02/1988	75	106	0	10.9	10	6.4
19/02/1988	400	569	570	582	608	603
22/03/1988	1675	3859	4268	4043	4927	3344
12/05/1988	600	1273	1283	1379	1396	1220

Tabla T14. Caudales excedentes en el azud del Vínculo y caudales aforados.

La red hidrográfica que se representó en el modelo se indica en la Figura F24. Los cursos de agua que la integran, en orden de importancia decreciente, son: río Guadalfeo, ramblas de Molvizar, El Puntalón, Los Álamos, Las Brujas y Villanueva.

Castillo(1975) evalúa las salidas por manantiales en, aproximadamente, $6 \text{ hm}^3/\text{año}$ (manantiales de los Tubos del Molino y de D. Hipólito Martín) e indica la existencia de pequeñas surgencias en todo el borde costero cuyo caudal resulta difícil de evaluar. Por ello acota las salidas totales por manantiales entre 6 y $10 \text{ hm}^3/\text{año}$ que serían vertidos directamente al mar. Estrictamente los manantiales de Los tubos del Molino y de D. Hipólito Martín son explotaciones del acuífero mediante minas y actualmente se encuentran en desuso.

Los únicos manantiales representados en el modelo fueron los existentes al pie de la peña de Salobreña, en sus caras Suroeste y Sur. Las charcas-manantiales situadas en la línea de costa, tan características de la costa mediterránea, son descargas de carácter difuso. Debido a su escasa entidad y por la dificultad de discriminar adecuadamente entre este tipo de descarga del acuífero y la de este al mar, se optó por no representar estas surgencias costeras y asumir que toda descarga en la costa corresponde a la descarga al mar. Globalmente, en estudios previos las salidas por manantiales se cuantificaron entre 6 y 10 hm³/año. No obstante, debe señalarse que, en dichos trabajos, no se definieron mayores detalles sobre los fundamentos de estas cuantificaciones, ni se ejecutaron aforos y que, como ya se señaló, dichas evaluaciones incluían explotaciones de minas o galerías.

Visual MODFLOW calcula la transferencia de caudales entre los ríos y el sistema de flujo subterráneo mediante la condición de contorno de Cauchy, cuya expresión es:

$$Q = C_R (H - h) \quad (1)$$

donde: Q es el caudal de intercambio, L³/T; C_R es la conexión hidráulica río-acuífero, L²/T; h es la cota del agua en el sistema en la celda de río, L y H es la cota de la lámina de agua en el río, L. Por otro lado:

$$* \quad C_R = A_L K_L / e_L \quad (2)$$

donde: A_L es la superficie del lecho del río sobre la celda, L², y A_L = P_M L_C, P_M y L_C son el perímetro mojado y la longitud del cauce en la celda, respectivamente (unidades: L); K_L y e_L son la permeabilidad (unidades: L/T) y el espesor (unidades: L) del lecho en la celda, respectivamente.

* Si $H > h$, el caudal es positivo y se produce una infiltración de agua desde el río al sistema de flujo y si $H < h$, el caudal es negativo y se produce una descarga de agua desde el sistema de flujo al río.

Visual MODFLOW requiere se le defina la cota del lecho del río, L_R . Así, si el nivel del sistema de flujo desciende por debajo de la cota del lecho del río, éstos quedan desconectados hidráulicamente. En estos casos, Visual MODFLOW adopta una infiltración constante desde el río, igual a:

$$Q = C_R * (H - L_R) \quad (3)$$

Ésta es, por otro lado, la máxima infiltración que se puede producir desde el río al sistema de flujo.

Los manantiales se simulan con una condición de contorno similar, condición de dren, pero difiere en que en los nudos donde se impone esta condición se adopta: $H = L_R$. Debido a ello cuando h desciende por debajo de la cota del manantial, el caudal que se infiltra hacia el sistema es nulo. Así, con esta condición de contorno, sólo se puede producir descarga del sistema de flujo.

En el modelo se definieron 3 zonas para la condición de contorno de río. Esta definición se basó en agrupar jerárquicamente los cursos de agua de la red. Los parámetros definidos inicialmente para esta condición de contorno en cada zona se exponen en la Tabla T15. En la misma tabla se exponen los parámetros con los que se representan los manantiales. Debe observarse que para el río Guadalfeo en las celdas donde existen pozos Raney o minas que explotan directamente el subálveo

del río, o que producen una fuerte recarga inducida al acuífero, se definió $C_R = 1000$ m²/día.

La definición de las celdas de ríos mediante Visual MODFLOW se realiza de forma gráfica e interactiva a través de pantalla, de forma similar a la totalidad de los elementos del modelo. E igualmente a la definición a otros elementos, ella se puede realizar individual, lineal o superficialmente.

Zona	N° de celdas	(H - L _R) (m)	P _M (m)	L _C (m)	e _L (m)	K _L (m/día)	C _R adoptado (m ² /día)
1: río Guadalfeo	35	0.5	101	200	0.3	10 ⁻⁴	75
2: ramblas: Molvizar y El Puntalón	39	0.1	25.2	200	0.3	10 ⁻⁴	20
3: ramblas: Las Brujas, Los Álamos, Barnatilla y Villanueva	52	0.05	10.1	200	0.3	10 ⁻⁴	8
Manantiales	9	0.0	-	-	-	-	40

Tabla T15. Parámetros de condiciones de contorno de río y manantial

Debido a las características del modelo, se optó como primer paso por definir linealmente las celdas de ríos por tramos. Para ello se definían las celdas que integraban un tramo y las cotas de H y L_R de las celdas extremas de dicho tramo. Las correspondientes cotas de las celdas intermedias, Visual MODFLOW las define

por interpolación lineal. Debido al carácter quebrado de la orografía, en particular, en la zona perimetral del modelo, la definición de las cotas mediante interpolación lineal generó algunas inconsistencias entre la topografía y la definición de los ríos (p. ej.: H o $L_R >$ cota del terreno). La revisión y corrección de las celdas se realizó de forma individual.

Las descargas del acuífero por manantiales o a la red hidrográfica o la recarga del mismo a partir de esta, se estudió tanto en su evolución anual como en su cuantificación mediante balances hídricos en las celdas en que se definieron estas condiciones de contorno. Se asignaron once (11) zonas en las que se calculó el balance hídrico, tres y dos en sendos tramos del Guadalfeo y El Puntalón, respectivamente, y una para cada uno de los restantes cursos de agua y otra para el conjunto de los manantiales de la peña de Salobreña. Ver Figura F25.

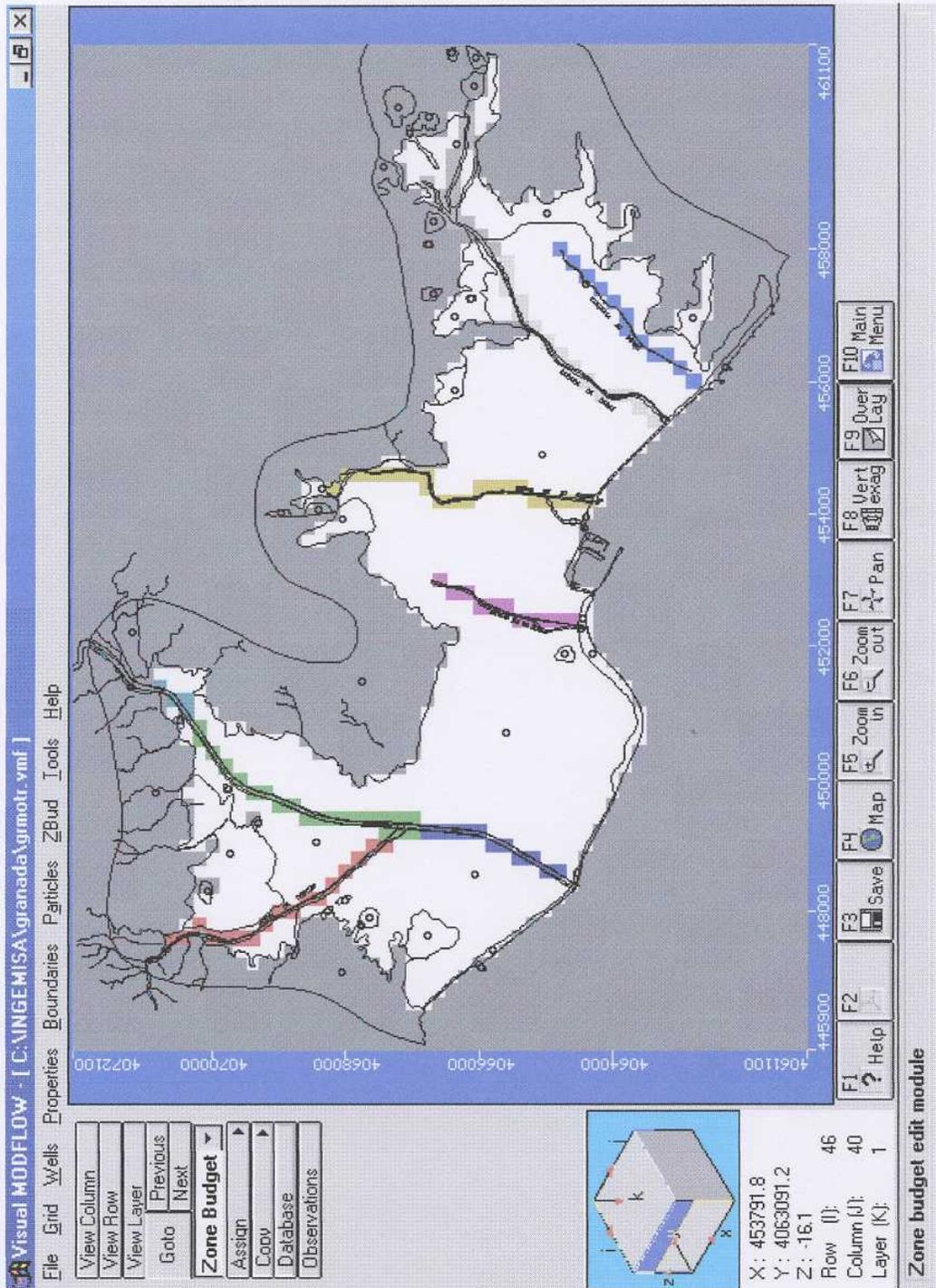


Figura F25. Zonas en que se evalúa la relación río-acuífero y la descarga por manantiales

1.7. ENTRADAS SUBTERRÁNEAS POR EL ALUVIAL DEL RÍO GUADALFEO, BAJO EL AZUD DEL VÍNCULO

En el balance de CHSE-IRYDA (1984), realizado por EUROESTUDIOS, se estima que bajo la cerrada de la Presa de Rules el volumen anual que circula es de 15.5 hm³/año. En el mismo trabajo, evalúan el volumen de agua que pasa del subálveo al acuífero de Motril-Salobreña en el azud del Vínculo en 25 hm³/año y la diferencia de 9.5 hm³/año, la atribuyen a la descarga oriental del acuífero de Escalate (8 hm³/año) y a recarga de las aguas superficiales del río Guadalfeo (1.5 hm³/año).

En el Proyecto de la Presa de Rules (CHSE, 1990) se estima que caudal subterráneo que circula bajo el azud del Vínculo es de 950 l/s (30 hm³/año). Estas cifras han sido recogidas en el Plan Hidrológico de la Cuenca Sur (CHSE, 1995). Los cálculos que ofrecieron estas estimaciones se basan en campañas de aforos diferenciales y en considerar que el azud del Vínculo se asienta sobre materiales aluviales y carbonáticos, estos últimos de espesor indeterminado.

El estudio del ITGE (1988) toma como válidos los datos del trabajo de EUROESTUDIOS pero asignan a la sección del azud del Vínculo el mismo volumen de agua, 15.5 hm³/año, que pasa bajo la cerrada de la Presa de Rules.

En el presente estudio se realizó una evaluación del caudal circulante por el aluvial en este sector. Los cálculos se basan en los datos obtenidos en el Plan de Emergencia de la costa granadina (CHSE, 1995-1996) y en el correspondiente a la DGOH de la Junta de Andalucía (1992), ambos ejecutados por INGEMISA. La evaluación se realizó en una sección situada ligeramente aguas abajo del azud del Vínculo, pues en la misma se halla bien definida la sección del aluvial al ser su sustrato materiales esquistosos. En dicha zona, si tenemos en cuenta una permeabilidad de unos 250 m/día, una sección de 160 m de ancho con un espesor medio de aluvial saturado de 35 m, y un gradiente hidráulico del 0.6%, la aportación anual es de 3 hm³. Esta cifra es notablemente inferior a la calculada en los estudios previos. Por otro lado, escorrentías por debajo del azud del orden de las estimadas en dichos trabajos mermarían marcadamente la capacidad de embalse de esta obra

hidráulica. Hecho, este último, que no se verifica, pudiendo apreciarse su capacidad de retención en cualquier visita de campo.

La entrada de agua al aluvial por debajo del azud del Vínculo se representó en el modelo mediante una condición de contorno de caudal fijo. La misma se definió en la celda por donde entra el río Guadalfeo al modelo (ver Figura F 26) y se supuso como una entrada de caudal constante a lo largo del año, por desconocerse el régimen hídrico que sigue la misma. Inicialmente, se consideró una aportación de 15 hm³/año. No obstante, esta entrada quedó sujeta a ser evaluada en el proceso de modelización.

1.8. ENTRADAS POR ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

La entrada por escorrentía superficial se genera a partir de la precipitación que cae sobre los materiales impermeables de borde (micasquistos y filitas). Por ello, se encuentra restringida a las cuencas de las ramblas de Molvizar y El Puntalón.

Castillo (1975) estima las entradas por escorrentía superficial entre 15 y 20 hm³/año. La estimación se basa en la precipitación media caída en un periodo de 20 años sobre una superficie de 137 km², que representa un volumen de 72 hm³/año, a la cual se le supuso un coeficiente de escorrentía del 35% y un porcentaje de infiltración del 60 – 80%.

En el trabajo del IGME (1985), con datos de Castillo (1975), se supuso una escorrentía menor a la de este trabajo, de 14% a 20%, y una infiltración similar, 60 – 80%, y, como era de esperar, se obtuvo una aportación menor: 5 a 11 hm³/año.

En el presente modelo, las hipótesis iniciales sobre la infiltración procedente de la escorrentía superficial en las cuencas de las ramblas de Molvizar y El Puntalón han sido distintas. En ambos casos una porción apreciable de las cuencas queda fuera del dominio del modelo. En el caso de El Puntalón, su cauce se encuentra impermeabilizado en el sector del ingreso de este barranco al área modelizada, por ello se despreció este término del balance. En el caso de la rambla de Molvizar, cuyo cauce no se haya revestido, se supuso inicialmente que entraban al modelo, por el aluvial de la misma, 3 hm³/año. Ello se representó con una condición de

contorno de caudal fijo ($Q = 2740 \text{ m}^3/\text{día}$) impuesta a la celda por la que penetra la rambla de Molvizar al modelo (Ver Figura F26). Esta entrada se la supuso constante a lo largo del año, por desconocerse el régimen hídrico que pudiera seguir. Las hipótesis sobre El Puntalón y Molvizar fueron adoptadas después de sendas visitas de campo, aunque quedaron sujetas a ser revisadas durante el proceso de calibración.

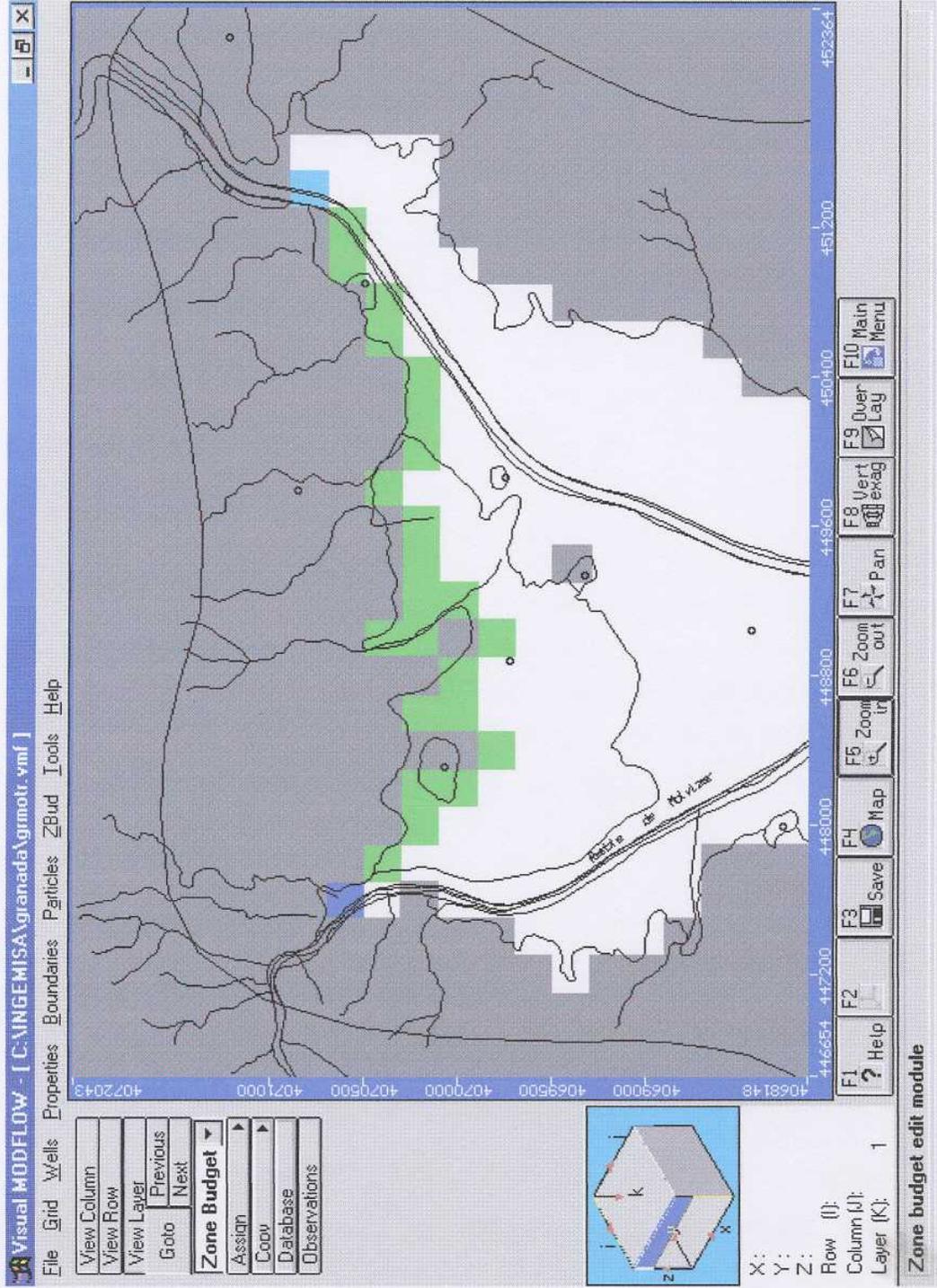


Figura. F26 Condición de Contorno de Caudal Fijo en el Modelo. Entradas, de Oeste a Este.; Rambla de Molvizar, descarga de Unidad de Escalate, Aluvial del Río Guadalfeo.

1.9. ENTRADAS LATERALES SUBTERRÁNEAS DESDE LA UNIDAD DE ESCALATE

Castillo (1975) efectúa un cálculo simple por aplicación de la Ley de Darcy, de la alimentación lateral procedente de la unidad hidrogeológica de Escalate en su contacto con el piedemonte de Molvizar. Consideró en sus cálculos una sección de 2 km, una transmisividad media de 10^{-2} m²/s y un gradiente del 1%. El caudal entrante resultante supera los 6 hm³/año. Esta cifra es recogida por el informe del IGME de 1985. Sin embargo, el trabajo de la CHSE-IRYDA (1984) había revisado previamente esta descarga, asignándole un valor menor, 3 hm³/año.

En el modelo de flujo realizado por Idrena (ITGE, 1988) no se considera la entrada procedente del acuífero de Escalate. En aquel modelo, la recarga lateral de 0.6 hm³/año que hacen proceder del piedemonte de Molvizar, la evaluaron considerando el retorno de los riegos que se efectúan sobre el piedemonte.

En el presente modelo se define una entrada lateral de 4 hm³/año. El valor adoptado responde a un criterio de plausividad acorde a las distintas valoraciones hechas en los estudios precedentes y las realizadas actualmente por Ingemisa en el estudio específico que desarrolla sobre esta unidad. Se impone al modelo una condición de contorno de caudal fijo, que representa la descarga subterránea del acuífero de Escalate al piedemonte de Molvizar. Se debe recordar que este modelo sí incorpora la representación numérica del citado piedemonte. La descarga del acuífero de Escalate se la supone constante a lo largo del año y se reparte uniformemente entre las 24 celdas que existen en el borde Norte, entre el río Guadalfeo y la rambla de Molvizar.

1.10. EXPLOTACIONES POR BOMBEO.

Entre las primeras referencias a la explotación por bombeo destacan las de Castillo (1975) que cifra este componente del balance en 15.7 hm³, con la siguiente distribución por usos:

- Empresa Nacional de Celulosa: 11 hm³/año

- Azucareras: 1.2 hm³/año
- Otras industrias: 1 hm³/año
- Regadío Sindicato de Riegos de Salobrefña: 1.5 hm³/año
- Abastecimiento a Lobres, La Caleta, urbanizaciones, hoteles, etc.: 1 hm³/año

Benavente (1982) estima que la extracción por bombeo se ha incrementado hasta un total de 25 hm³/año y está concentrada en la mitad septentrional del sector más próximo al río Guadalfeo.

Posteriormente, dentro del inventario de 1984 realizado por el Instituto Geológico y Minero (IGME, 1985) se hace una evaluación de la explotación del acuífero a partir de encuestas, cifrando la extracción en 28 hm³/año. En el año 1985 (septiembre a noviembre) se inicia un control mensual sistemático en 53 puntos hasta septiembre de 1986 (7 controles); el volumen total extraído es de 20.95 hm³/año. En el año hidrológico 1986-87 se efectúan 10 controles en 65 puntos (cuatro de ellos en la unidad de Escalate), con un total de explotación de 17.32 hm³/año. Durante el año hidrológico 1987-88 los controles en los mismos puntos anteriores han sido mensuales (12 controles) y el total extraído ha sido de 14.52 hm³/año. Todas estas encuestas están recogidas en forma de Notas Técnicas en IGME (1989).

El control de la explotación se continúa con periodicidad semestral a partir del año 1988-89 con una explotación cifrada en 15.68 hm³/año que se obtiene del control en 33 puntos (4 de Escalate) durante junio y octubre de 1989. En el año hidrológico 1989-90 se controlan 34 puntos (tres del acuífero de Escalate) en los meses de mayo y octubre de 1990 con un total de 15.01 hm³/año. Para los años hidrológicos 1990-91 y 1991-92 las extracciones se estimaron en 13.49 y 14.92 hm³/año, respectivamente, a partir de las encuestas en 33 puntos (3 de ellos en Escalate).

Finalmente, en el presente Proyecto se han realizado 21 encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo para el año 1997 (las encuestas se realizan en abril de 1998 considerando los consumos eléctricos de año anterior). El total extraído es de 8.68 hm³/año.

En el modelo matemático elaborado se representó una situación de explotación correspondiente a un año medio, para ello se tuvieron en cuenta los referidos controles sistemáticos, efectuados entre los años hidrológicos 1985/86 y 1991/92. De los siete años considerados, los cuatro últimos sólo disponen de dos campañas de encuestas anuales. Por ello, a partir de la información de los años con estimaciones mensuales se han reconstruido los citados años. El volumen total extracciones mediante bombeo que se consideran en el modelo asciende a 15.37 hm³/año. En el Apéndice 5.III. "Puntos de Explotación: características y regímenes de bombeo", se ofrece una lista exhaustiva con las características de los puntos de explotación y de sus correspondientes regímenes de bombeo medio anual. En el modelo los Puntos de Bombeo se han representado mediante la condición de contomo de caudal prefijado, en la Figura F27 se expone la situación de los mismos.

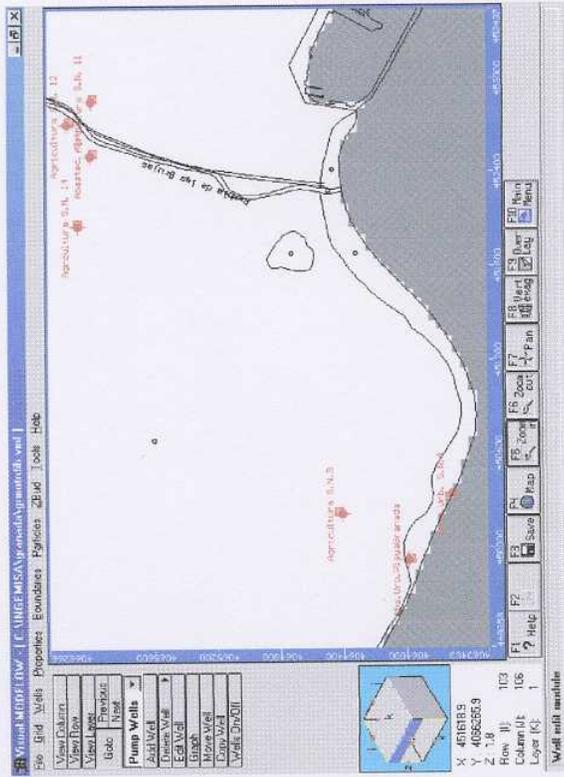
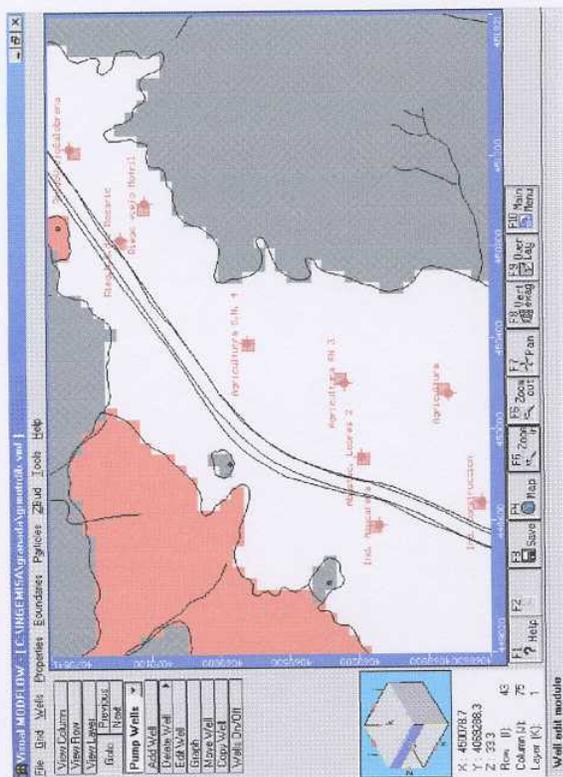
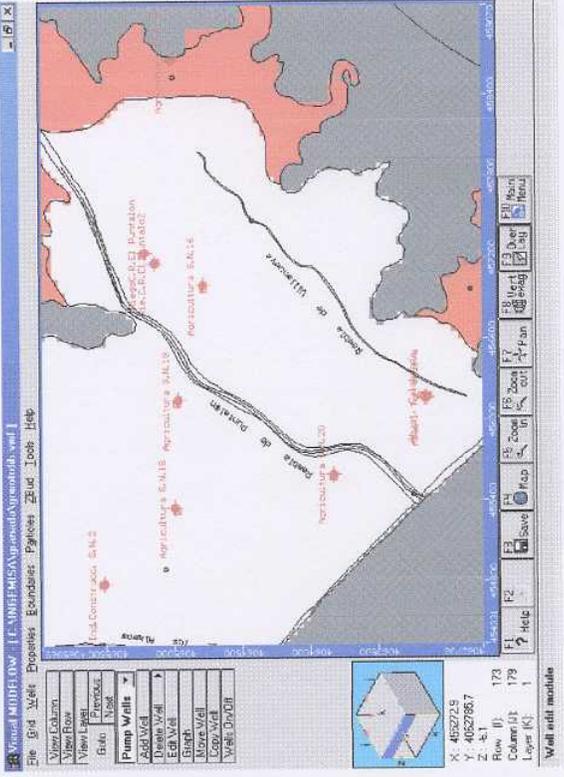
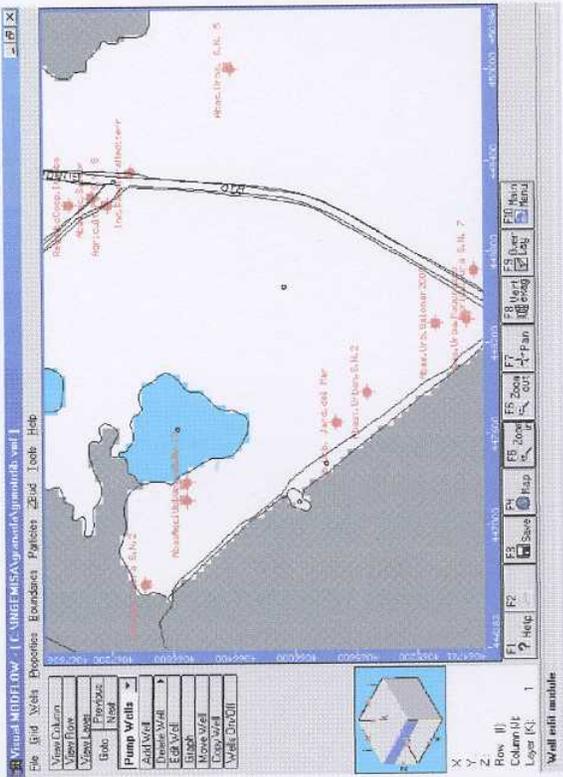


Figura F27. Pozos de bombeo considerados en el modelo

1.11. DESCARGAS AL MAR

Por orden cronológico, las salidas ocultas al mar son evaluadas por Castillo (1975) que aplica la ley de Darcy a una sección de 11 km de borde costero, con una transmisividad de $2.5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ y un gradiente del 0.5%. El volumen drenado por el acuífero al mar resulta ser del orden 40 a 45 $\text{hm}^3/\text{año}$.

En el estudio del IGME (1985) las salidas al mar son igualmente evaluadas por la ley de Darcy para el año 1984. Se distinguen dos sectores: uno occidental de 5 km de anchura (Salobreña-Guadalejo) donde se considera una transmisividad de 2200 $\text{m}^2/\text{día}$ y 0.5% a 0.6% de gradiente hidráulico, y otro oriental (Motril-Puntalón) de 6 km de anchura con menor transmisividad y gradiente hidráulico, 500 $\text{m}^2/\text{día}$ y 0.3% - 0.4%, respectivamente. La cifra resultante es de 23 a 29 $\text{hm}^3/\text{año}$, si bien el citado trabajo indica que no es un valor estabilizado dadas las oscilaciones que se registran de los niveles piezométricos. También se cita que en 1973, basándose en las isopiezas disponibles, las salidas se podían estimar en 37 $\text{hm}^3/\text{año}$.

En la comunicación presentada por Pulido y Rubio (1988) al TIAC'88 (Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros, Almuñécar - Granada), se resumen buena parte de los datos del IGME (1985). Sin embargo, en esta publicación las salidas al mar se estiman para el mismo año 1984 entre 22 y 36 $\text{hm}^3/\text{año}$ utilizando el mismo método (ley de Darcy) aunque sin indicar los valores asumidos de transmisividad y gradiente hidráulico. En el Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Granada (Diputación Provincial de Granada - ITGE, 1990) se asume esta descarga al mar.

El último trabajo donde se evalúan las salidas subterráneas al mar es el del ITGE (1988). En él se obtienen por diferencia entre los valores de entradas totales al sistema y salidas por bombeo. Para el trienio considerado 1985-1988, el valor obtenido es de 30.2 $\text{hm}^3/\text{año}$.

En el presente estudio la evaluación de la descarga al mar quedó constreñida al balance hídrico resultante de la calibración del modelo.

2. CALIBRACIÓN

En esta Sección se exponen los resultados de la calibración del modelo. La discusión y análisis de estos resultados se centra en tres aspectos: parámetros calibrados, piezometría calculada y balance hídrico resultante.

Estrictamente, el desarrollo del proceso de calibración del modelo isótropo es más extenso que la descripción que aquí se realiza. Ello es debido a que durante la calibración del modelo se suscitaron reconceptualizaciones de ciertos componentes del sistema. Algunas estas reconceptualizaciones ya fueron discutidas en las secciones previas, tal es el caso de las entradas al sistema bajo el Azud del Vínculo, y otras se presentarán de forma sucinta a continuación.

Finalmente debe comentarse que los criterios rectores para la calibración del modelo, tanto en su fase automática como manual, fueron los siguientes:

- El Criterio de Mínimos Cuadrados, dado por la minimización de una función objetivo expresada por la siguiente sumatoria:

$$F(\mathbf{p}, \mathbf{h}(\mathbf{p})) = \sum_i (h_{ci}(\mathbf{p}) - h_{mi})^2 \quad (4)$$

Donde: \mathbf{p} son los parámetros del modelo, $h_c(\mathbf{p})$ son los niveles calculados por el modelo y h_m los niveles medidos.

- La coherencia de los valores de parámetros obtenidos y del Balance Hídrico resultante con el conocimiento del sistema.

2.1. CALIBRACIÓN: PARÁMETROS.

2.1.1. Permeabilidad

El primer aspecto que puso en evidencia la calibración fue que se había procedido, en cuanto a la cuantificación y definición espacial inicial, con un grado de detalle superior al que permitían sustentar los datos sobre los que se basaba el modelo.

Ver Sección 1.2 y Figura F7. Ello condujo a una revisión de la conceptualización de este parámetro, resultando un escenario más homogéneo y robusto que el propuesto al comenzar la calibración. En la Tabla T16 se exponen las permeabilidades obtenidas en la calibración.

La nueva conceptualización que resulta de los valores alcanzados, no sólo es más homogénea cuantitativamente sino que ello se traduce en una mayor homogeneidad espacial, obviamente. En este sentido, el sistema se podría dividir en tres ambientes:

- El más permeable correspondería a la zona pedemontana. El cual es isótropo en sentido horizontal y vertical y sus permeabilidades son un orden de magnitud menor a las estimadas inicialmente, aproximadamente. El hecho que el modelo indique una isotropía vertical responde, en parte, a la necesidad de representar un componente del flujo en sentido Z condicionado por unos gradientes topográficos fuertes.
- Un gran ambiente que comprendería: los sectores occidental y el oriental, que se discriminaron inicialmente en el nivel libre del acuífero; el nivel semiconfinado del mismo y el acuitardo, que se supone existe en la desembocadura del Guadalfeo. Los valores obtenidos ponen en evidencia un flujo marcadamente horizontal, al indicar una anisotropía en sentido vertical, en la que la componente k_z del tensor de permeabilidad es cuatro (4) órdenes de magnitud menor que las componentes k_x y k_y . La permeabilidad horizontal es del mismo orden que los supuestos inicialmente para los sectores Occidental y Oriental del nivel libre del acuífero, aunque en los resultados no se manifiesta ninguna evolución Este-Oeste, tendencia a incrementarse, del parámetro. Asimismo, tampoco se pone en evidencia ningún decrecimiento en profundidad de k_x y k_y que son uno y tres órdenes de magnitud mayores que los propuestos inicialmente para el nivel semiconfinado y el acuitardo, respectivamente.
- Los afloramientos calizos presentan una permeabilidad isótropa en todos los sentidos, cuyos valores obtenidos son para el sentido X e Y un orden de magnitud mayor al supuesto inicialmente y del mismo orden para el sentido Z.

Zona *	k_x (m/s)	k_y (m/s)	K_z (m/s)
1: Piedemontes	5. E-4	5. E-4	5. E-4
2: Acuífero libre: Sector Oeste	1. E-4	1. E-4	1. E-8
3: Acuífero libre: Sector Este	1. E-4	1. E-4	1. E-8
4: Acuífero semiconfinado	1. E-4	1. E-4	1. E-8
5: Acuitardo	1. E-4	1. E-4	1. E-8
6: Afloramientos calizos	1. E-4	1. E-4	1. E-4

*: las zonas se corresponden con las definidas en las Figuras F7 a-c.

Tabla T16. Permeabilidades resultantes.

El modelo conceptual resultante para la permeabilidad es, evidentemente, más simple que el propuesto inicialmente. Ello se debe a la característica de los datos sobre los que se basó la calibración: los niveles piezométricos. Estos corresponden a pozos que ningún caso alcanzan a registrar en exclusiva al acuitardo o al nivel semiconfinado. Por otro lado, los datos de nivel responden a una situación media y, estrictamente, ficticia, cuya determinación implicó la adopción implícita de simplificaciones. Todo ello lleva aparejado una merma en la sensibilidad de los datos para poder evaluar consistentemente ciertas evoluciones espaciales de la permeabilidad.

2.1.2. Coeficiente de Almacenamiento

Las características que presentan los resultados del Coeficiente de Almacenamiento guardan similitud con los alcanzados por la permeabilidad. Dado que la causa de ello, la características de los datos piezométricos, es la misma y, por ende, similares serán sus efectos. En la Tabla T17 se ofrecen los parámetros resultantes. Así, la calibración ofrece una conceptualización del parámetro menos matizada que la

propuesta inicialmente (Ver Sección 1.2 y Figura F8), apreciándose cuatro ambientes espaciales:

- Las zonas de pedemontanas, Molvizar y El Puntalón, ofrecen uno de los almacenamientos específicos, S_s , más altos del acuífero, el cual es mayor que el propuesto inicialmente. El rendimiento específico, S_y , es algo menor que el inicial. Se considera que ambos parámetros reflejan adecuadamente la matriz limo-arcillosa en la que se encuentran inmersos los clastos más groseros de los piedemonte.
- La zona de los niveles libres del acuífero presentan el S_s y el S_y más altos del modelo, en caso del primero es mayor que el propuesto inicialmente y el segundo es del mismo orden. Ambos son coherentes con los materiales finos que conforman este sector del acuífero.
- El nivel semiconfinado y el acuitardo que se supone existe en la desembocadura del Guadalfeo presentan los valores más bajos del modelo de S_s y S_y , aunque resultan un orden de magnitud mayores que los propuestos inicialmente. Ambos parámetros son coherentes con los materiales que los constituyen y con la evolución en profundidad que se espera de los mismos.
- Los afloramientos calizos presentan valores resultantes de S_s y S_y iguales entre si. Ello, conjuntamente con los valores que adoptan, reflejan adecuadamente el flujo por fisuras que caracteriza a estas formaciones.

Zona*	S_s (1/m)	S_y
1: Piedemontes	0.4	0.15
2: Acuífero libre	0.4	0.2
3: Acuífero semiconfinado	0.25	0.01
4: Acuitardo	0.25	0.01
5: Afloramientos calizos	0.1	0.1

*: las zonas se corresponden con las definidas en la Figuras F8 a-c.

Tabla T17. Coeficientes de almacenamiento resultantes.

2.1.3. Conexión hidráulica río-acuífero, C_R .

Entre los parámetros que gobiernan la relación río-acuífero sólo la carga hidráulica del río, dada por $(H-L_R)$, y la conexión hidráulica río-acuífero, C_R , están sujetos a ser calibrados directamente (Ver Sección 1.6). Si bien la carga hidráulica que se impuso a los distintos cursos de la red hidrográfica fue arbitraria y constante, dejándose de lado cualquier evolución estacional de la misma, se desestimó modificarla durante el proceso de calibración. Esto se adoptó no tanto por la consistencia que poseyeran las cargas hidráulica adoptadas, sino por que la elección de cualquier otra iba a poseer, al menos, igual carga de incertidumbre. Así en la relación río-acuífero el único parámetro sujeto a calibración fue C_R .

Los valores que rigen las relaciones río-acuífero con los distintos cursos de la red hidrográfica del sistema se han expuesto en la Tabla T15 y se explicaron y fundamentaron en la Sección 1.6. Los únicos C_R que sufrieron modificaciones en el proceso de calibración fueron los asociados al río Guadalfeo, al cual se le había asignado inicialmente un $C_R = 75 \text{ m}^2/\text{día}$, para todo su curso. Los C_R resultantes para los distintos tramos de este río han sido:

- Tramo que va desde la entrada del río Guadalfeo en el modelo hasta la confluencia de la Rambla de Molvizar: $C_R = 500 \text{ m}^2/\text{día}$.
- Tramo desde la confluencia de la Rambla de Molvizar hasta la desembocadura al mar: $C_R = 150 \text{ m}^2/\text{día}$.

En las celdas en las que se sitúan minas, pozos raney, o con fuertes extracciones que explotan directamente el subálveo del río o propician una fuerte recarga inducida desde el mismo, se adoptaron C_R diferentes a los definidos en las restantes celdas del tramo. Estos pozos se sitúan desde la confluencia de la Rambla de Molvizar, inclusive, hacia aguas arriba. En dicha confluencia existe un ensanchamiento notable del lecho, con importantes depósitos de material de acarreo, situándose en las inmediaciones el pozo raney de la Industria Papelera del Mediterráneo, con la mayor extracción del sistema ($6,3 \text{ hm}^3/\text{año}$), y pozos con fuertes extracciones situados junto al lecho y totalmente ranurados, Abastecimiento

a Salobrefña (0.64 hm³/año) y el de regadío de la Cooperativa Itrabo (0.63 hm³/año). En las celdas en la que se representa esta confluencia y donde se encuentran estas explotaciones se adoptó un $C_R = 2500 \text{ m}^2/\text{día}$. Aguas arriba y en las márgenes del río destacan por su explotación los pozos de: Abastecimiento a Lobres (0.15 hm³/año), en cuya celda se definió $C_R = 2000 \text{ m}^2/\text{día}$ y los Regadíos de Nuestra Señora del Rosario (2.03 hm³/año), los viejos Regadíos de Motril (1.22 hm³/año) y los viejos Regadíos de Salobrefña (1.07 hm³/año), definiéndose en las celdas asociadas a estas tres últimas explotaciones $C_R = 10000 \text{ m}^2/\text{día} - 20000 \text{ m}^2/\text{día}$. Acorde a los esquemas adoptados para la sección del río Guadalfeo (ver tabla T15, Sección 1.6), estos C_R representarían una permeabilidad del lecho del río; K_L , del orden de 10^{-1} m/día a 10^{-2} m/día . Estas permeabilidades corresponden a arenas limosas y se las clasifica como prácticamente impermeables (Custodio y Llamas, 1983, Figura 8.16B y Tabla 8.3, páginas 473 y 478, respectivamente).

2.1.4. Condición de contorno de Caudal Prefijado.

La condición de contorno de caudal prefijado fue utilizada para la representación tanto de las **extracciones por bombeo** como de las entradas al sistema: **Descarga de la unidad de Escalate**, entrada por los **aluviales de la Rambla de Motvizar y del río Guadalfeo**, debajo del Azud del Vínculo.

En el caso de las extracciones por bombeo el proceso de calibración obligó a una revisión crítica de los datos en bruto utilizados y del tratamiento aplicado para la obtención de las extracciones de un año medio. Esta revisión, que se enmarca dentro del proceso de reconceptualización que toda calibración trae aparejado, hizo que se desestimaran algunos pozos de bombeo por considerarse que:

- El escaso volumen de sus extracciones históricas no justificaban su presencia en un modelo descriptivo de una situación media del acuífero. Dado que su inclusión distorsionaría una correcta representación de una situación media del acuífero.

- En algunos pozos sus datos originales no resistían una revisión crítica por las inconsistencias en su obtención (1944-8-0099) o se consideró que el tratamiento que se les había efectuado no era el más conveniente.

En la Sección 1.10 se ha ofrecido la información sobre los pozos de bombeo ya depurada. Los caudales prefijados de los pozos de bombeo poseen la evolución mensual que se definió convenientemente en el estudio previo.

Todos los caudales prefijados de entrada al sistema se los consideró constantes a lo largo del año, sin variaciones mensuales ni estacionales. La calibración del modelo obligó a una revisión de la conceptualización de estas entradas, pero esta revisión incidió en la entrada anual media. Posteriormente, los sucesivos valores anuales medios adoptados en cada caso se repartieron de forma constante acorde a su valor mensual medio. Las evaluaciones realizadas en la fase de premodelización ya fueron discutidas parcial, o totalmente, en las secciones: 1.7, entrada Aluvial del río Guadalfeo; 1.8, entrada Aluvial de la Rambla de Molvizar, y 1.9, descarga de la Unidad de Escalate. En el proceso de calibración se exploraron para cada una de estas entradas todo el rango de las valoraciones hechas en anteriores trabajos. El procedimiento de calibración fue de aproximaciones sucesivas. Los volúmenes anuales medios resultantes para estas entradas son:

- Aluvial del río Guadalfeo, debajo del Azud del Vínculo: 3 hm³/año
- Aluvial de la Rambla de Molvizar: 0.5 hm³/año
- Descarga Unidad de Escalate: 4.0 hm³/año

2.1.5. Recarga por infiltración

La recarga por infiltración para cada una de las 8 zonas definidas fue determinada mediante la calibración de sendos modelos sintéticos con el programa Visual BALAN v.1, ver Sección 1.5.3. Las series de recarga iniciales para cada zona se exponen en el Anexo 5.II.3. Estas series consideran la recarga media para un intervalo de 10 días, ello les permite representar una evolución decenal de la

infiltración a lo largo del año. Se debe observar que, el último intervalo de tiempo es de 5 días (360-365).

En el proceso de calibración no se consideró modificar la evolución decenal de la recarga, sino que se procedió a ajustar el conjunto del volumen recargado en cada zona mediante un factor que afecta a toda la serie. Las series de recarga resultantes se exponen en la Tabla T18. Las zonas que se vieron afectadas fueron las siguientes:

- Zona de Caña de Azúcar, bajo la influencia de la estación meteorológica de Salobrefña, vio disminuida la recarga original en un 50%.
- Zona de Cultivos Subtropicales, bajo la influencia de la estación meteorológica de Salobrefña, vio incrementada la recarga original en un 104%.
- Zona de Caña de Azúcar, bajo la influencia de la estación meteorológica de Motril, vio disminuida la recarga original en un 50%.
- Zona de Cultivos Subtropicales, bajo la influencia de la estación meteorológica de Motril, vio disminuida la recarga original en un 58.8%.
- Zona de Huerta, bajo la influencia de la estación meteorológica de Motril, vio incrementada la recarga original en un 8%.

Intervalo de cálculo		Salobrea (Vega del Guadalfeo)				Motril (casco urbano)			
Inicial	Final	Caña de Azúcar	Cult. Subtrop	Huerta	Sin Uso Agrícola	Caña de Azúcar	Cult. Subtrop	Huerta	Sin Uso Agrícola
0	10	12.57	3.69	2.26	6.1	13.21	11.13	1.47	1.34
10	20	19.2	8.42	3.37	19.2	22.94	15.59	2.89	3.65
20	30	14.24	9.72	6	4	14.36	8.82	3.93	1.04
30	40	16.02	8.3	7.69	18.86	16.36	15.11	4.5	4.59
40	50	17.19	19.77	11.29	19.96	19.72	14.45	6.57	4.25
50	60	14.24	21.79	14.83	9.77	16.46	12.42	8	3.04
60	70	12.57	17.46	17.31	5.67	12.67	7.94	8.18	2.32
70	80	18.88	14.44	19.31	15.08	21.75	7.78	8.3	4.34
80	90	16.19	8.96	20.88	9.28	18.34	6.43	8.65	3.05
90	100	14.6	8.62	21.62	13.81	18.88	5.45	8.55	3.1
100	110	21.37	10.65	23.39	6.23	21.95	3.9	9.88	2.73
110	120	23.71	7.78	24.98	9.46	24.18	5.23	27.89	3
120	130	18.39	7.76	26.3	3.53	20.96	6.87	10.4	2.82
130	140	24.89	13.25	27.4	9.82	28.99	9.96	28.82	2.33
140	150	21.1	20.21	28.3	6.49	24.48	8.88	10.71	1.83
150	160	21.06	22.06	29.79	6.81	20.45	9.46	10.63	2.01
160	170	19.56	17.66	29.69	2.29	18.83	8.16	9.41	1.01
170	180	17.66	17.42	30.15	3.16	21.07	9.46	8.51	0.87
180	190	9.77	15.48	29.94	3.36	9.87	8.95	7.27	1.63
190	200	3.15	12.29	28.41	1.19	3.86	7.33	5.75	0.41
200	210	2.02	9.98	26.09	3.8	2	10.09	4.59	1.11
210	220	3.42	12.87	23.89	6.61	2.02	11.34	4.03	1.29
220	230	1.5	20.59	21.25	2.15	2.59	13.79	3.5	0.73
230	240	1.17	21.51	18.87	2.22	2.72	14.78	2.91	0.68
240	250	1.21	14.34	16.73	2.7	2.8	11.97	2.52	0.75
250	260	0.62	12.79	14.18	0.81	4.24	13.43	2.08	0.12
260	270	0.75	11.29	11.83	2.51	4.88	14.37	1.7	0.26
270	280	3.21	6.56	9.87	0.39	7.26	11.1	1.32	0.01
280	290	29.25	1.76	8.17	0.36	15.43	12.83	1.01	0
290	300	24.74	0.02	6.77	0.32	30.92	13.84	0.77	0
300	310	14.18	0	5.61	0.29	10.63	10.47	0.58	0
310	320	15.13	0	4.64	0.25	14.87	12.43	0.44	0
320	330	22.93	0	3.85	0.23	17.91	13.35	0.33	0
330	340	13.97	0	3.2	2.3	14.88	11.3	0.28	0
340	350	11.88	1.96	2.71	1.53	14.34	13.66	0.45	0.86
350	360	12.73	2.27	2.27	0.33	13.04	14.45	0.44	0.02
360	365	10.15	0.98	1.03	3.01	9.13	9.25	0.37	0.87
Total		505.22	382.65	583.87	203.88	538.99	395.77	217.63	56.06

Tabla T18.- Recarga resultante de la calibración del modelo. (mm)

Mejora del conocimiento hidrogeológico de los acuíferos de la Cuenca del Guadalfeo; y sectores adyacentes para la integración de 101 sus recursos en los abastecimientos públicos.

2.2. CALIBRACIÓN: PIEZOMETRÍA

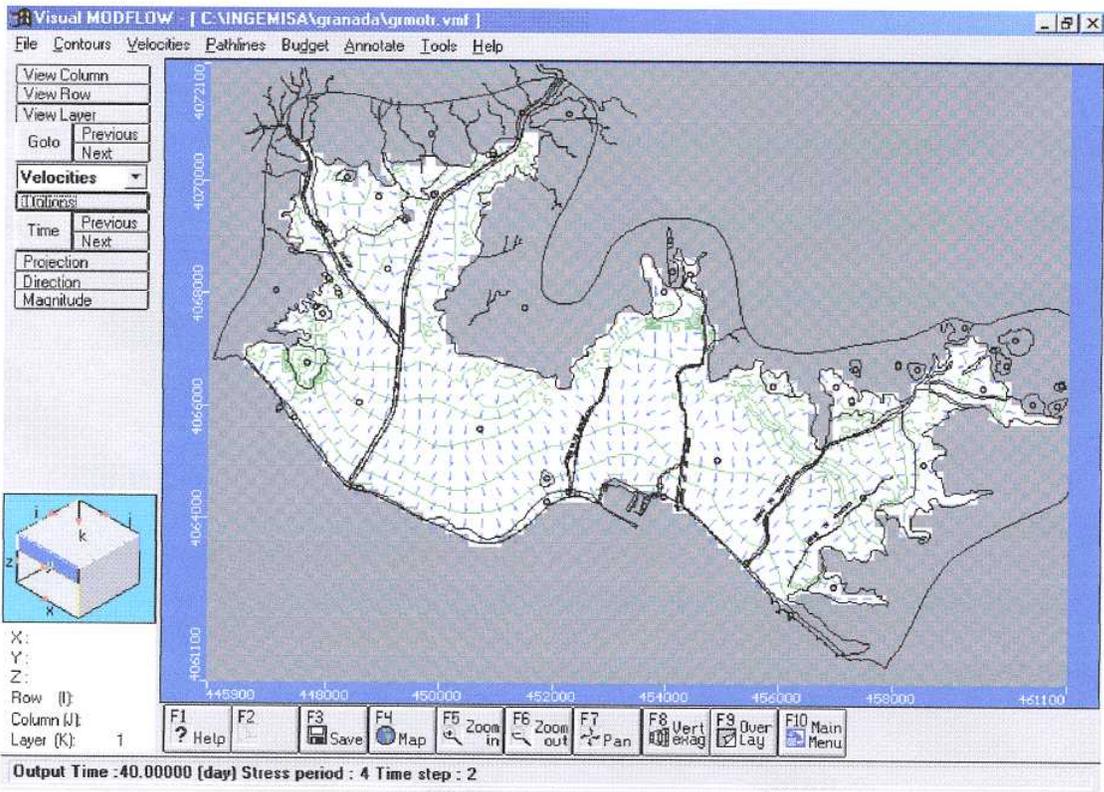
Las piezometrías correspondientes a la situación media estacional resultantes de la calibración se exponen en la Figuras F28 a-d y F29; en las mismas, también se representan las líneas de flujo. En esta serie de figuras se apoyarán los comentarios que se realizarán a continuación.

El acuífero se puede dividir en dos sectores: uno se extiende al Oeste de la Rambla de las Brujas y sufre la influencia del río Guadalfeo sobre el mismo y el otro, situado al Este de dicha rambla, se halla libre de esta influencia.

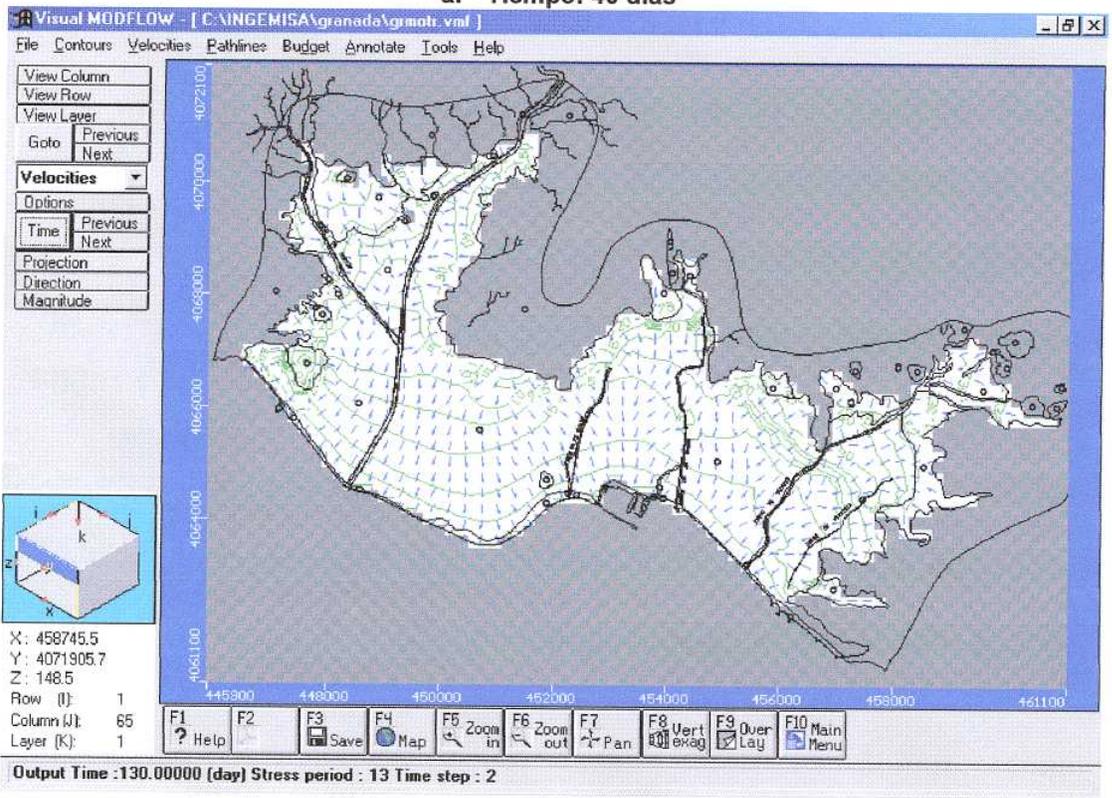
En el sector Oriental la llanura costera presenta unos gradientes muy bajos. En el extremo Este, se observa un acusado incremento del gradiente entre las isopiezas de 5 m y 30 m, ello es debido al condicionamiento que impone la topografía. Una influencia análoga se observa entre las isopiezas de 20 m y 75 m en el sector de Motril. En líneas generales, la variación estacional de la piezometría de este sector se pone de manifiesto en la evolución de las isopiezas comprendidas entre las de 2.5 m y 15 m, inclusive. El sector inmediato a la costa y las áreas pedemontanas presentan una gran estabilidad estacional. No se aprecian incidencias puntuales de bombeos.

En el Oeste, el río Guadalfeo, en primer término, y las entradas que corresponden a las descargas de la Unidad de Escalate y las que provienen de la Rambla de Molvizar, confieren una gran estabilidad a este sector del acuífero. Así, en el marco global, prácticamente no se aprecia evolución estacional alguna en la piezometría. No obstante, sí se deben señalar como evoluciones estacionales singulares, estas son las depresiones (ver Figura F30) que se generan y desarrollan a partir de bombeos en:

- la confluencia del río Guadalfeo y la rambla de Molvizar: esta es la depresión por bombeo de mayor magnitud del sistema. Se halla asociada a la explotación de la Industria Papelera del Mediterráneo (6.288 hm³/año), el abastecimiento a Salobreña (0.635 hm³/año), la cooperativa de Riego Itrabo (0.625 hm³/año) y

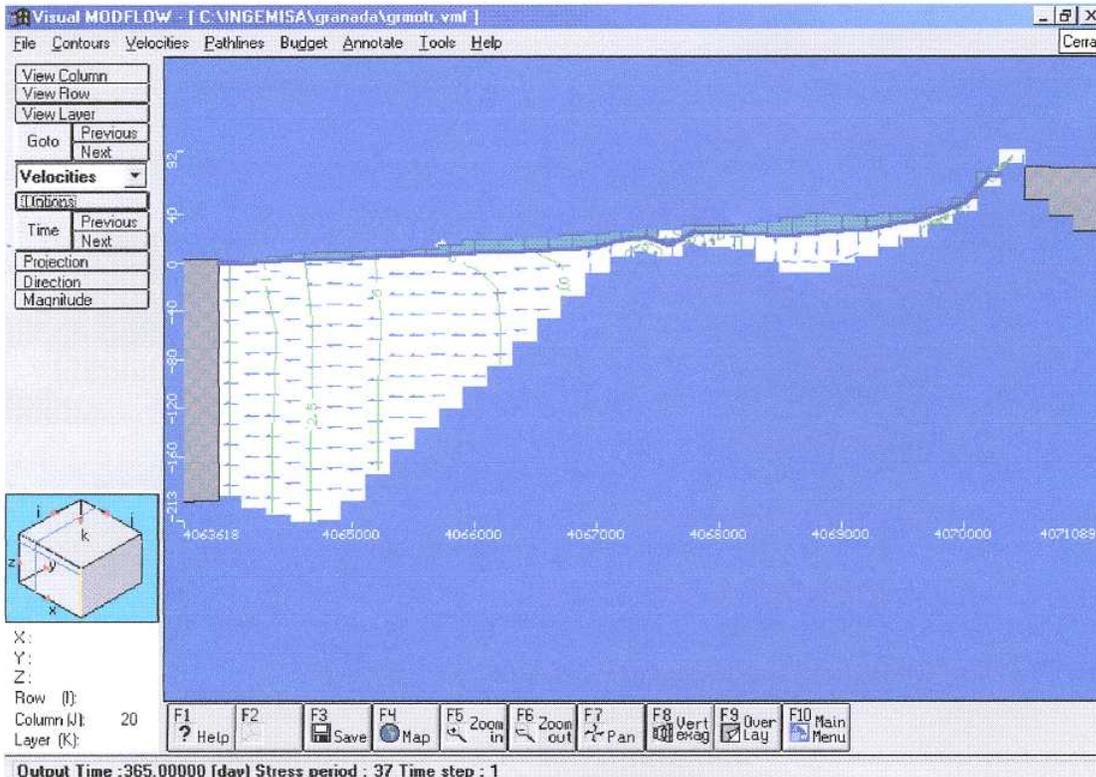


a. Tiempo: 40 días

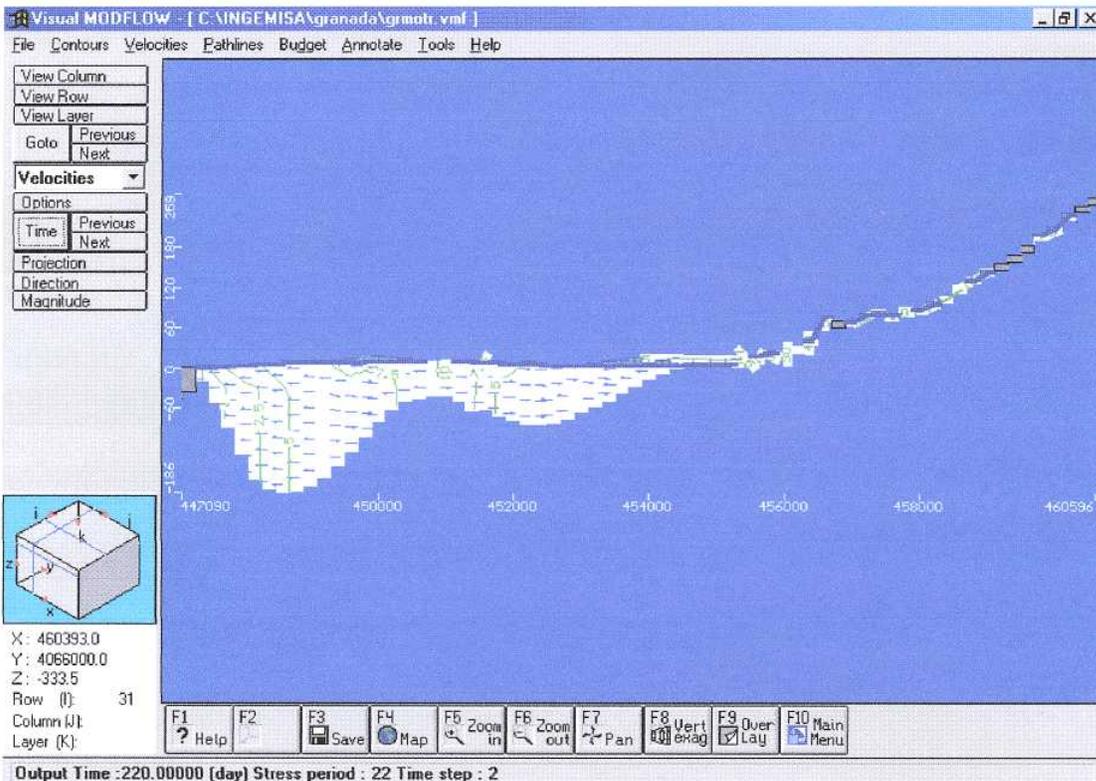


b. Tiempo: 130 días

Figura F28. Piezometría calculada y líneas de flujo

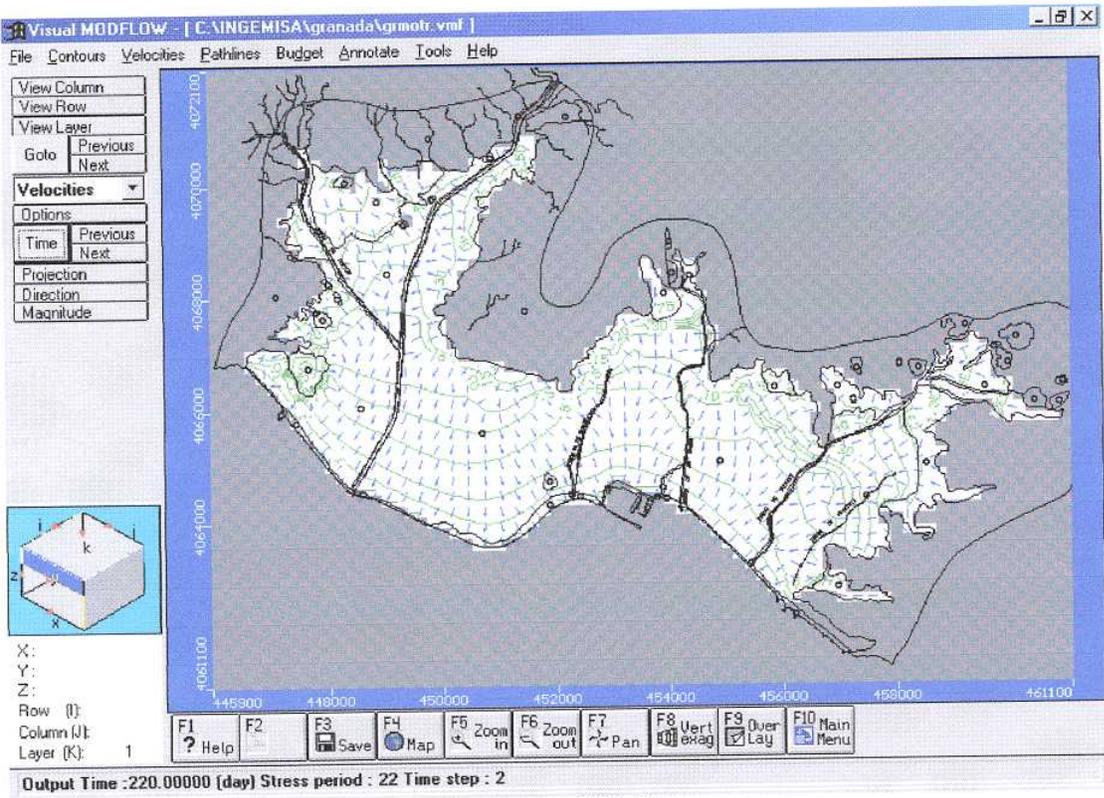


a. Sección Norte-sur

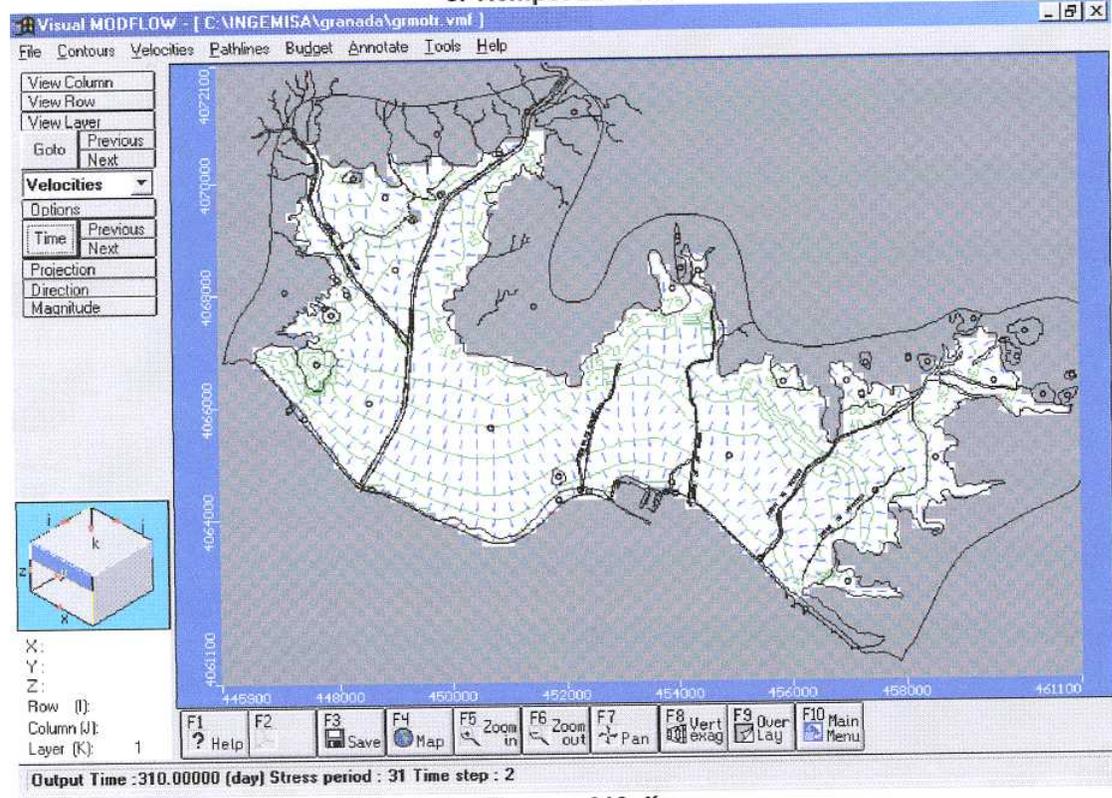


b. Sección: Este-Oeste

Figura F29. Piezometría calculada y líneas de flujo. Secciones del modelo.

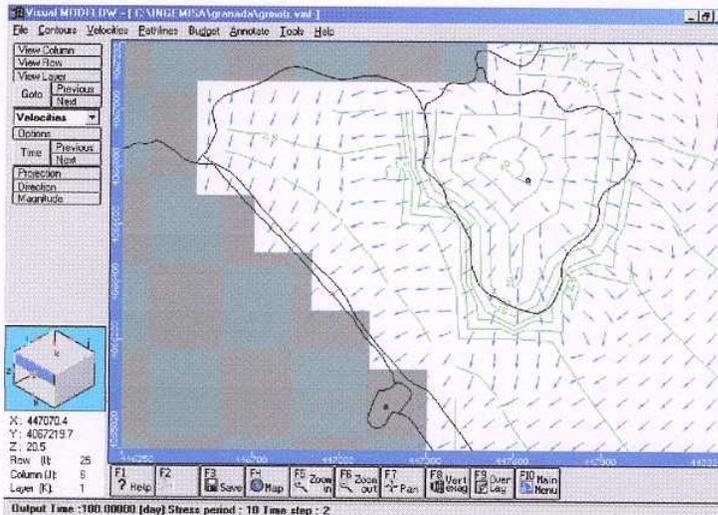


c. Tiempo: 220 días

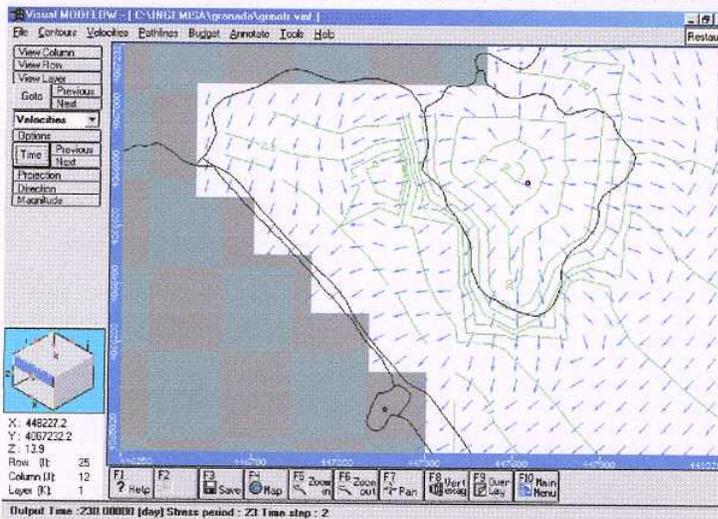


d. Tiempo: 310 días

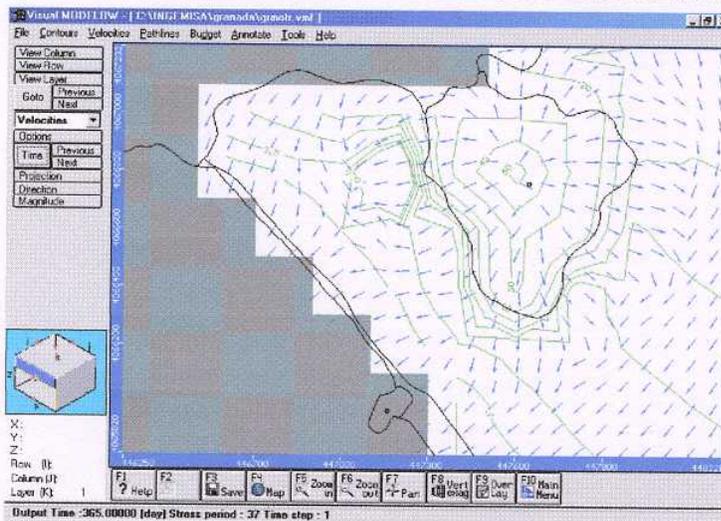
Figura F28. Piezometría calculada y líneas de flujo (continuación)



a. Inicio del desarrollo del cono de bombeo. Comienzo de Invierno. Tiempo = 100 días

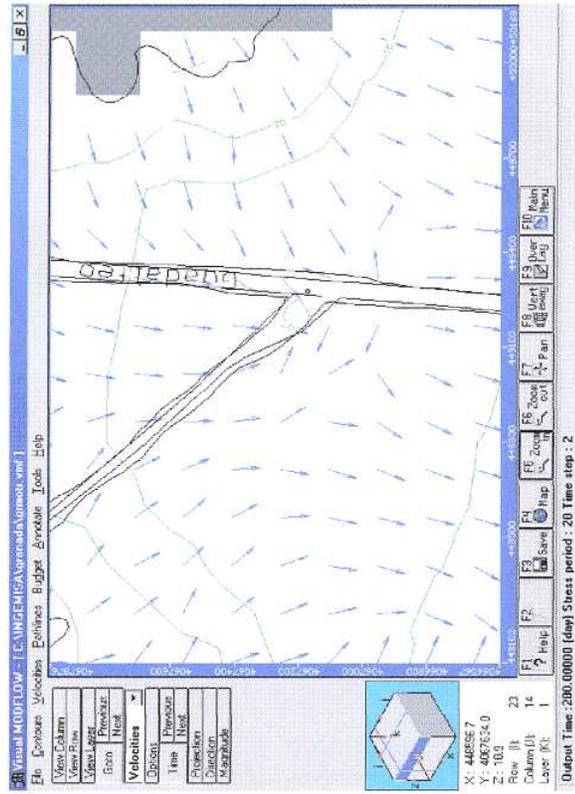


b. Desarrollo medio del cono de bombeo. Medios de Primavera. Tiempo = 230 días

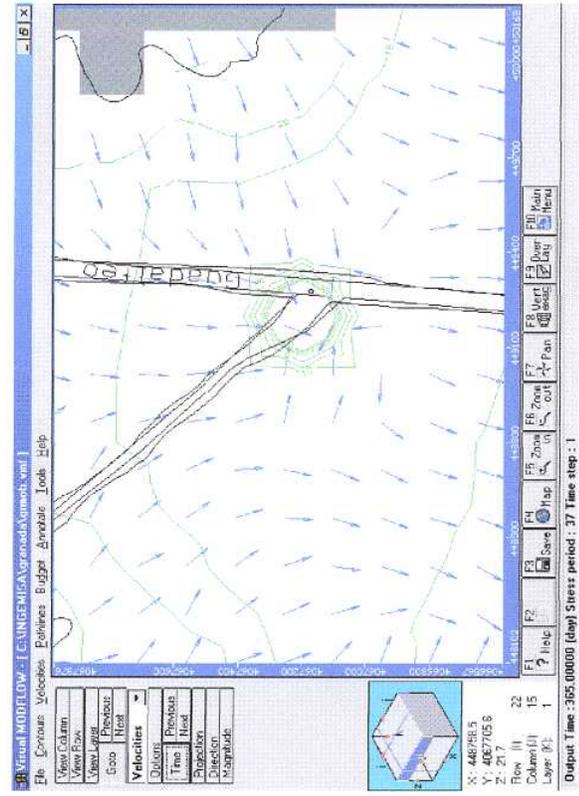


c. Culminación del cono de bombeo. Fin del Verano. Tiempo = 365 días

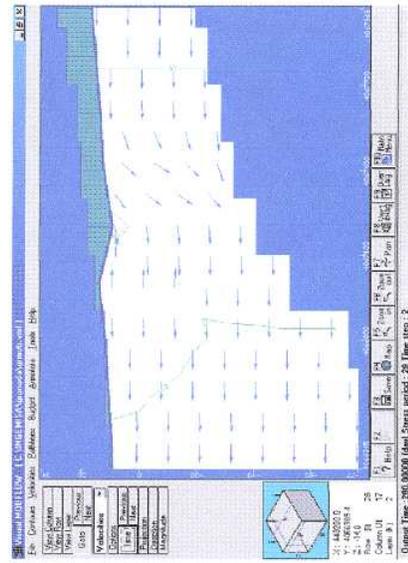
Figura F30b. Evolución del cono de bombeo vecino al Peñón de salobreña



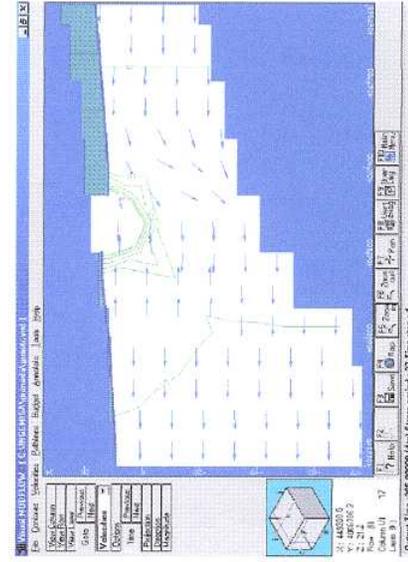
a. Inicio del cono de bombeo. Comienzo del verano. Tiempo = 280 días



b. Culminación del cono de bombeo. Fin del Verano. Tiempo = 365 días



a. Inicio del cono de bombeo. Comienzo del verano. Tiempo = 280 días



b. Culminación del cono de bombeo. Fin del Verano. Tiempo = 365 días

Figura F30.a. Evolución del cono de bombeo en la confluencia del río Guadalepe y la rambla de Molvizar

otros pozos agrícolas (0.465 hm³/año), que representan el 52% de los bombeos del acuífero. Si bien a lo largo de todo el año existe una ligera deflexión de la piezometría en este sitio a causa de las extracciones, es al iniciarse el verano cuando comienza a desarrollarse de forma importante el cono. Así, al término de los últimos tres meses del año llega a alcanzar una depresión que supera los 10 m y un diámetro de 500 m, aproximadamente.

- Al pie del Peñón de Salobreña, en su cara Oeste, esta depresión está asociada a los bombeos de abastecimiento para una urbanización (0.14 hm³/año) y pozos agrícolas menores (0.15 hm³/año). Se comienza a desarrollar al comenzar el invierno y alcanza a fin de año una depresión de 3 m y un diámetro de 200 m. En sus inmediaciones se encuentran los manantiales de calizas del peñón.

Este sector Occidental, al igual que el Oriental, presenta en la llanura costera unos muy bajos gradientes piezométricos, con la excepción de las inmediaciones del Peñón de Salobreña. El cual, a partir del corte abrupto en la topografía que significa su presencia y los manantiales existentes al pie del mismo, presenta los gradientes más fuertes de todo el sistema, en claro contraste con los existentes en su vecindad. A lo largo del curso del río Guadalfeo, aguas arriba de la confluencia de la rambla de Molvizar, igualmente se encuentran gradientes piezométricos bajos. Los piedemonte del sector, generan un incremento gradual del gradiente, sin presentar escalón alguno como en el sector Este.

La gran estabilidad piezométrica que el río Guadalfeo, principalmente, y las restantes entradas al sistema (descarga de Escalate y aluviales del Guadalfeo y Molvizar) confieren al sector Occidental en el modelo, no sólo se debe a la influencia "real" de los mismos sobre el acuífero. La conceptualización que se hizo de ellos ha acrecentado esta influencia estabilizadora, pues no se contempló evolución temporal alguna. Esta hipótesis puede resultar más artificiosa en el caso del Guadalfeo y la rambla de Molvizar, donde se adoptaron sendas cargas hidráulicas constantes en el tiempo y el espacio. Sin embargo, esta simplificación resulta más consistente que la introducción de cualquier variación estacional de la carga, debido el desconocimiento existente sobre este aspecto y a las características particulares

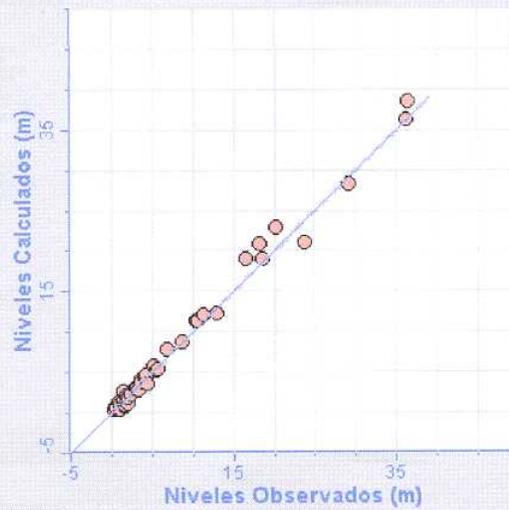
de la escorrentía en estos cursos de agua, que se produce mayoritariamente por el subálveo. Respecto a las restantes entradas al sistema, la correspondiente al aluvial del Guadalfeo fue la única en la que se intentó identificar su evolución temporal. Para ello se contó con el auxilio del pozo de observación 1944-4-0021, que se situaba en su cercanía, aunque este también se hallaba influenciado por la condición de contorno del Guadalfeo, el resultado del proceso fue que el mejor ajuste se lograba con una entrada constante por el aluvial del río.

En la Figura F31 se exponen las correlaciones entre niveles piezométricos datos y calculados y los histogramas de los residuos de niveles para los tiempos de cálculo en los que existía información, $t = 45$ días, 135 días, 225 días y 315 días. En una perspectiva general se puede considerar que los ajustes alcanzados para todos los tiempos han sido muy satisfactorios. El error medio absoluto, la desviación estándar de los residuos y el histograma de los mismos son buenos indicadores sobre la calidad del ajuste en cada tiempo. El primero nos ofrece una perspectiva de la bondad del ajuste conjunto, el segundo pone en evidencia si existen residuos mayores que destaquen sobre el conjunto y el histograma da una visión global clara de la calidad del ajuste y de su homogeneidad. En este caso en particular, los histogramas de todos los tiempos ponen en evidencia la bondad del ajuste.

Los tiempos que presentan, en conjunto una mayor dispersión de errores medios absolutos y desviaciones estándares mayores son los correspondientes a invierno (135 días) y primavera (225 días). Sin embargo, en $t = 135$ días el empeoramiento del ajuste está asociados a dos pozos, 1944-4-0021 y 1944-4-0028, cuyos residuos son, con mucho, los mayores de los calculados para este tiempo. Si se excluyen los residuos de estos pozos, el ajuste alcanzado en invierno es el mejor entre todos los tiempos calculados, con los errores medios absolutos y desviaciones estándares más bajos, 0,62 m y 0.70 m, respectivamente.

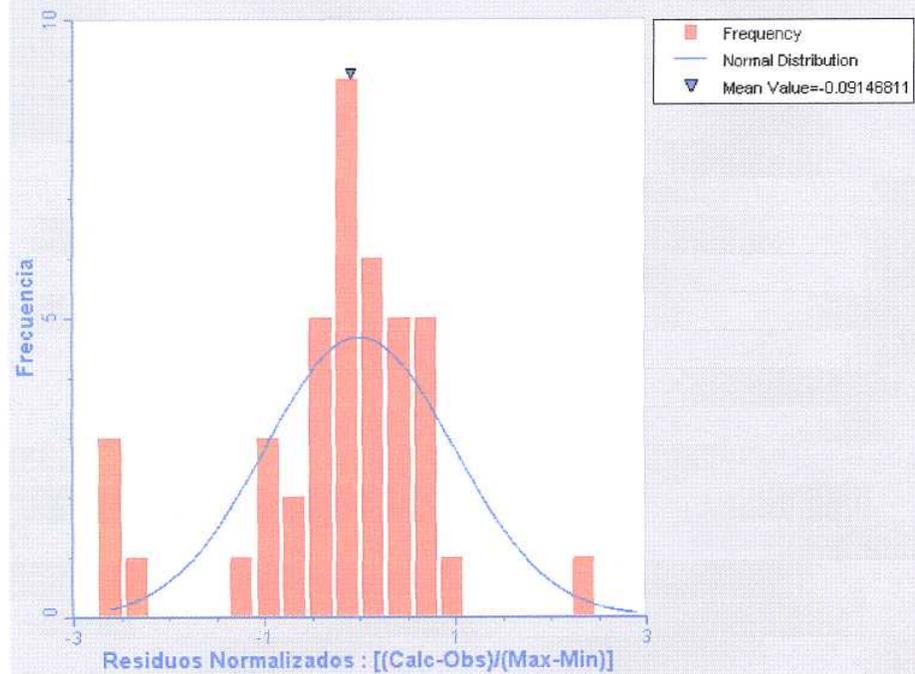
En el Anexo 5.IV se presentan los hidrogramas calculados y los datos de nivel en todos los puntos de observación.

Niveles Calculados vs. Medidos : Tiempo = 45 días



Número de Puntos : 42
Error Medio : 0.09146811 (m)
Error Absoluto Medio : 0.8743211 (m)
Error Estandar de la Estimación : 0.1540598 (m)
Desviación Estandar : 0.9906957 (m)
Desviación Estandar Normalizada : 2.751306 (%)

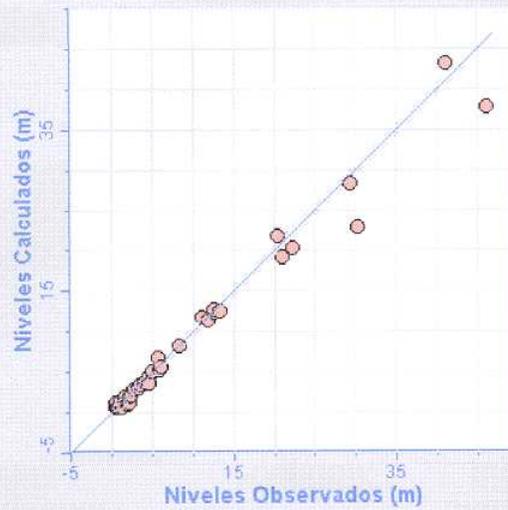
Histograma de Residuos de la Calibración : Tiempo = 45 días



a. Tiempo: 45 días

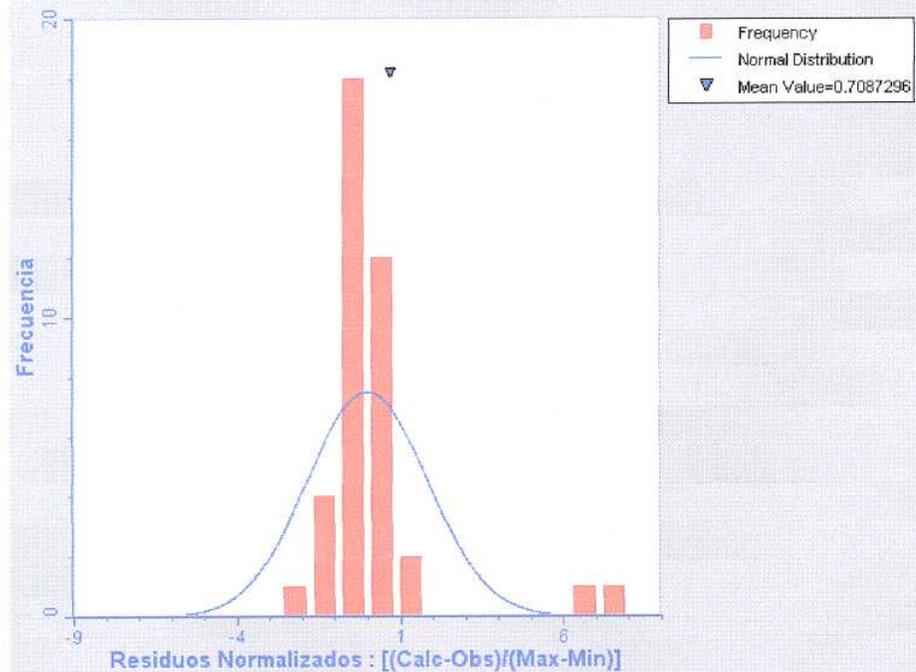
Figura F31. Niveles calculados vs. observados. Análisis estadístico de residuos

Niveles Calculados vs. Observados : Tiempo = 135 días



Número de Puntos : 39
Error Medio de la Estimación : -0.7087296 (m)
Error Absoluto Medio : 0.994694 (m)
Error Estandar de la Estimación : 0.2976829 (m)
Desviación Estandar : 1.967148 (m)
Desviación Estandar Normalizada : 4.317121 (%)

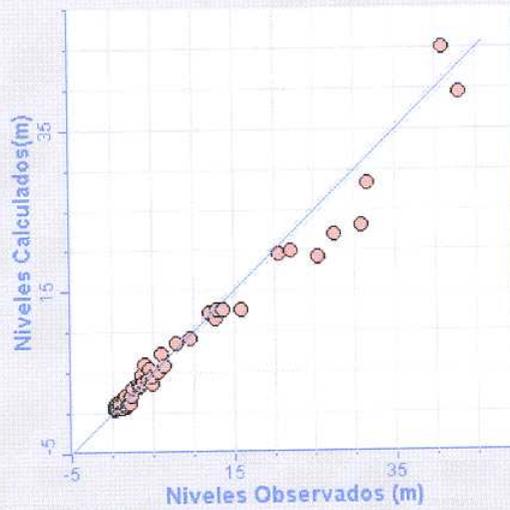
Histograma de Residuos de la Calibración : Tiempo = 135 días



b. Tiempo: 135 días

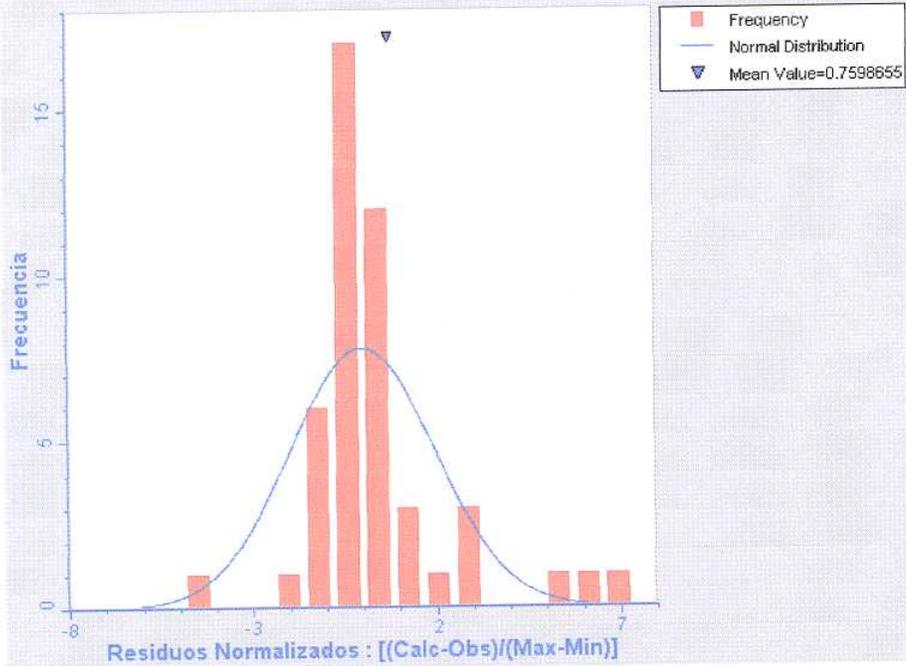
Figura F31. Niveles calculados vs. observados. Análisis estadístico de residuos. (continuación)

Niveles Calculados vs. Observados : Tiempo = 225 días



Número de Puntos : 47
Error Medio de la Estimación : -0.7598855 (m)
Error Absoluto Medio : 1.278447 (m)
Error Estandar de la Estimación : 0.2894654 (m)
Desviación Estandar : 2.105171 (m)
Desviación Estandar Normalizada : 4.934696 (%)

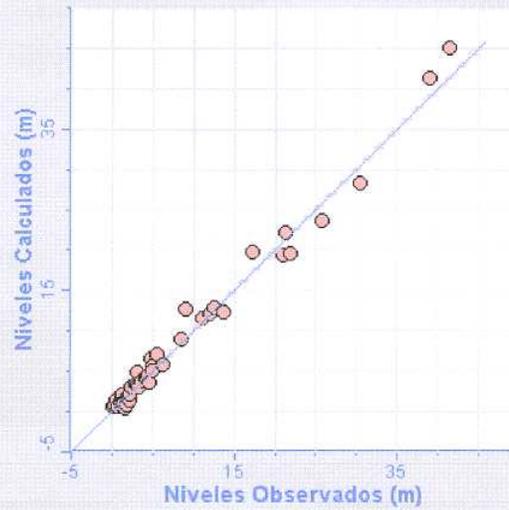
Histograma de Residuos de la Calibración : Tiempo = 225 días



c. Tiempo: 225 días

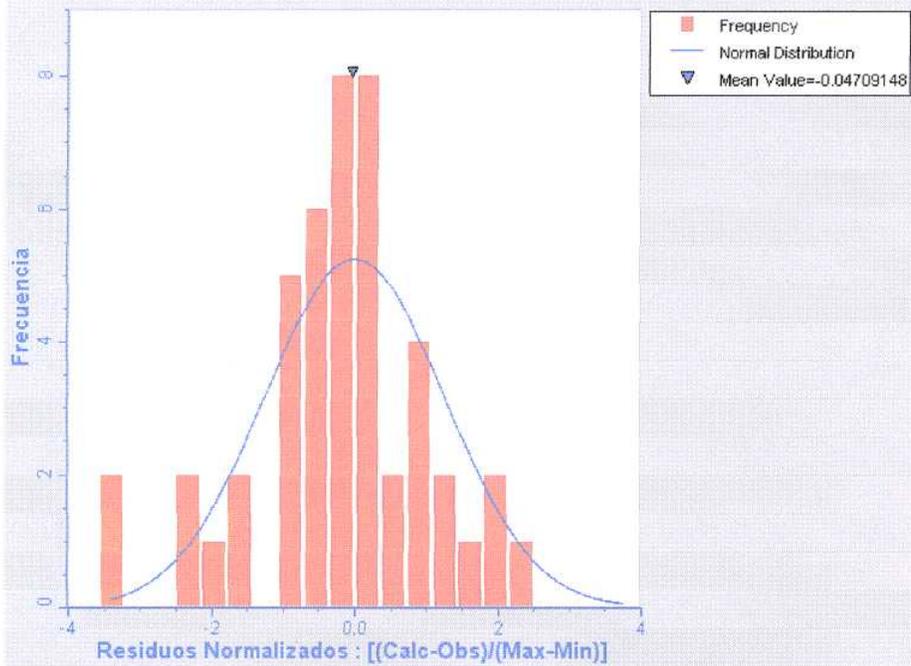
Figura F31.- Niveles calculados vs. observados. Análisis estadístico de residuos.
(continuación)

Niveles Calculados vs. Observados : Tiempo = 315 días



Número de Puntos : 46
Error Medio de la Estimación : 0.04709148 (m)
Error Absoluto Medio : 0.892791 (m)
Error Estandar de la Estimación : 0.1867297 (m)
Desviación Estandar : 1.253506 (m)
Desviación Estandar Normalizada : 3.037116 (%)

Histograma de Residuos de la Calibración : Tiempo = 315 días



d. Tiempo: 315 días

Figura F31. Niveles calculados vs. observados. Análisis estadístico de residuos. (continuación)

En la Tabla T19 se presentan los pozos con residuos de nivel extremos. Los mayores residuos en cada uno de los tiempos de cálculo que se exponen en la Figura F31 y en los hidrogramas del Anexo 5.IV corresponden a estos pozos. Estos pozos representan el 25.3% de los 174 datos de nivel del modelo. Sin embargo, sin su aportación al residuo absoluto medio de la calibración, este bajaría un 47%, de 0.967 m a 0.511 m y la desviación estándar se reduciría en un 40%, pasando de 1.648 m a 0.988 m. Las dificultades que presentan en el ajuste tienen una causa común: todos ellos se sitúan en celdas o son vecinos a celdas con poderosas condiciones de contorno. En algunos casos, independientemente de las decisiones adoptadas en la modelización, se debió a la misma característica del punto, pues fueron seleccionados para integrarse en la red de observación piezométrica pozos sometidos a explotación:

1944-4-0001, Viejos Riegos de Salobrefia (residuo absoluto medio: 2.88 m)

1944-4-0010, Industria de la construcción (residuo absoluto medio: 1.41 m)

1944-4-0028, Explotación agrícola (residuo absoluto medio: 5.02 m)

1944-8-0077, Abastecimiento a Salobrefia (residuo absoluto medio: 1.59 m).

Así los ajustes en la calibración se ven dificultados por no conocerse con exactitud el régimen de bombeo y, por otro lado, ser los datos piezométricos las medias de unas series históricas. Este problema se hubiera evitado si este tipo de pozos no integrase la red de observación.

En los restantes casos las dificultades se originan en las decisiones adoptadas en el proceso de modelización. Ello es debido a que los puntos de observación se sitúan en celdas en las que se definió al río Guadalfeo, o se encuentran inmediatas a otras entradas del modelo (Aluvial Guadalfeo, Escalate). Todas ellas son condiciones de contorno importantes para las que se adoptó su invariabilidad temporal, con el criterio de minimizar la incertidumbre de dichas condiciones de contorno. Esta decisión, que ha resultado acertada desde el punto de vista del Balance Hídrico

POZO	T= 45 días			T= 135 días			T= 225 días			T= 315 días			Residuo Absoluto Medio
	h_w (m)	h_c (m)	Residuo $=(h_c - h_w)$	h_w (m)	h_c (m)	Residuo $=(h_c - h_w)$	h_w (m)	h_c (m)	Residuo $=(h_c - h_w)$	h_w (m)	h_c (m)	Residuo $=(h_c - h_w)$	
194440001	36.37	38.48	2.11	41.15	43.08	1.94	40.87	44.94	4.07	41.54	44.93	3.39	2.88
194440010	18.3	20.91	2.61	20.43	21.68	1.25	27.49	21.99	-1.07	21.47	22.16	0.69	1.41
194440014	16.52	18.89	2.37	ND	ND	ND	20.66	19.59	-1.07	17.39	19.63	2.24	1.89
194440016	23.71	21.09	-2.62	22.25	20.26	-1.99	22.13	19.83	-2.30	22.00	19.56	-2.43	2.34
194440021	36.31	36.32	-0.01	46.15	37.73	-8.42	42.96	39.47	-3.49	39.04	41.26	2.22	3.53
194440024	29.15	28.25	-0.90	29.34	28.25	-1.09	31.68	28.25	-3.43	30.42	28.25	-2.17	1.90
194440028	20.25	22.80	2.55	30.25	22.81	-7.44	30.9	23.14	-7.76	25.90	23.59	-2.31	5.02
194440045	18.56	18.92	0.36	21.03	19.16	-1.87	25.44	19.23	-6.21	21.02	19.26	-1.76	2.55
194480062	ND	ND	ND	12.68	12.58	-0.10	13.05	12.58	-0.47	9.18	12.58	3.40	1.32
194480064	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3.7	4.70	1.00	3.23	4.77	1.54	1.27
194480077	12.97	12.35	-0.62	13.36	12.47	-0.89	15.93	12.56	-3.37	13.79	12.32	-1.47	1.59
194480109	4.48	3.46	-1.02	4.7	3.50	-1.20	5.04	3.55	-1.49	4.65	3.54	-1.11	1.21

Tabla T19. Pozos con residuos de niveles superiores a 1 m

anual, a dificultado el ajuste piezométrico. Un ejemplo paradigmático de ello fue el intento de calibración y definición de la evolución temporal del caudal de entrada a través del aluvial del río Guadalfeo con el auxilio del pozo 1944-4-0021:

El pozo 1944-4-0021 se encuentra en las inmediaciones de la entrada del aluvial al modelo (ver Figura F9) y a su vez sus registros piezométricos revelan una evolución estacional, por ello mismo se consideró que podía ser útil para poder definir con mayor precisión dicho caudal de entrada. Durante el proceso de calibración el pozo se mostró poco sensible a las variaciones que se imponían al caudal. Ello se debía en gran medida por encontrarse este punto también bajo la influencia de las descargas de Escalate y del Río Guadalfeo, ambas condiciones de contorno continuaban manteniéndose constantes en el tiempo, y la modificación de las mismas hubiera afectado a muchos más puntos de observación. Igualmente, el punto 1944-4-0021 se encuentra vecino a los fuertes bombeos de los Riegos Viejo de Salobrefña, Motril y Virgen del Rosario, aunque la influencia de estos sobre el pozo es mucho menor.

2.3. CALIBRACIÓN: BALANCE HÍDRICO

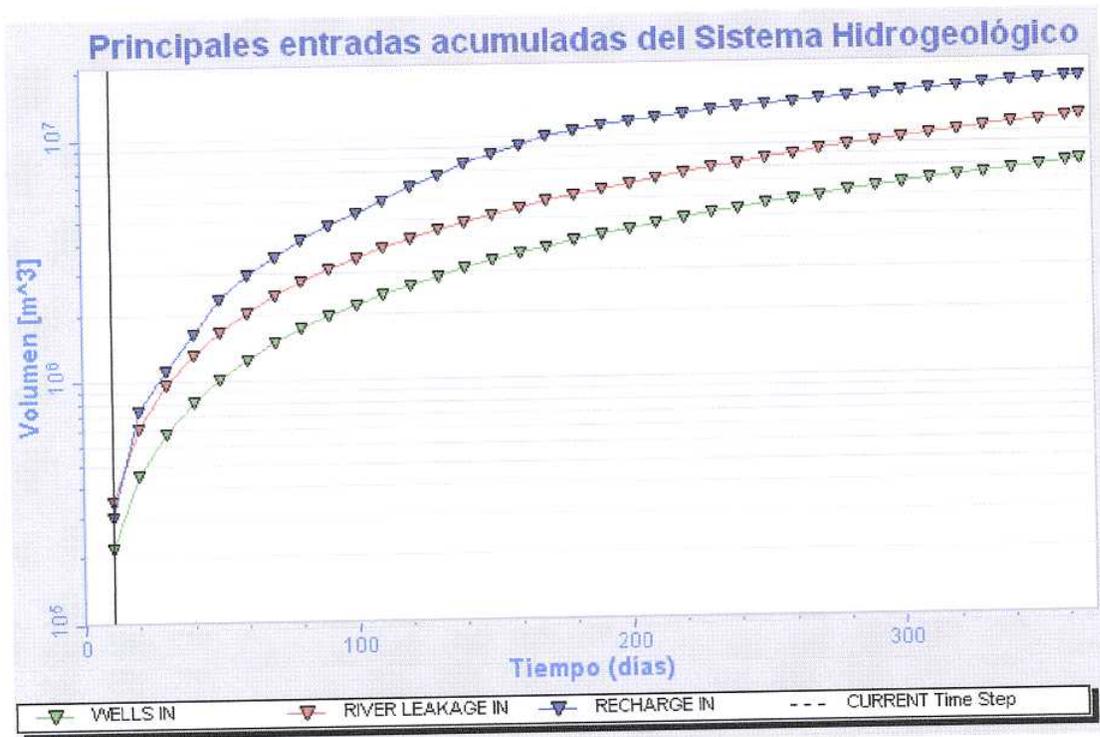
En la Tabla T20 y la Figura F32 se presenta la evolución temporal acumulada de todos los elementos que componen el Balance Hídrico del sistema. Los **recursos renovables medios anuales** del sistema se encuentran en torno a los **35 hm³/año**.

Las entradas al sistema en orden decreciente de importancia corresponden a:

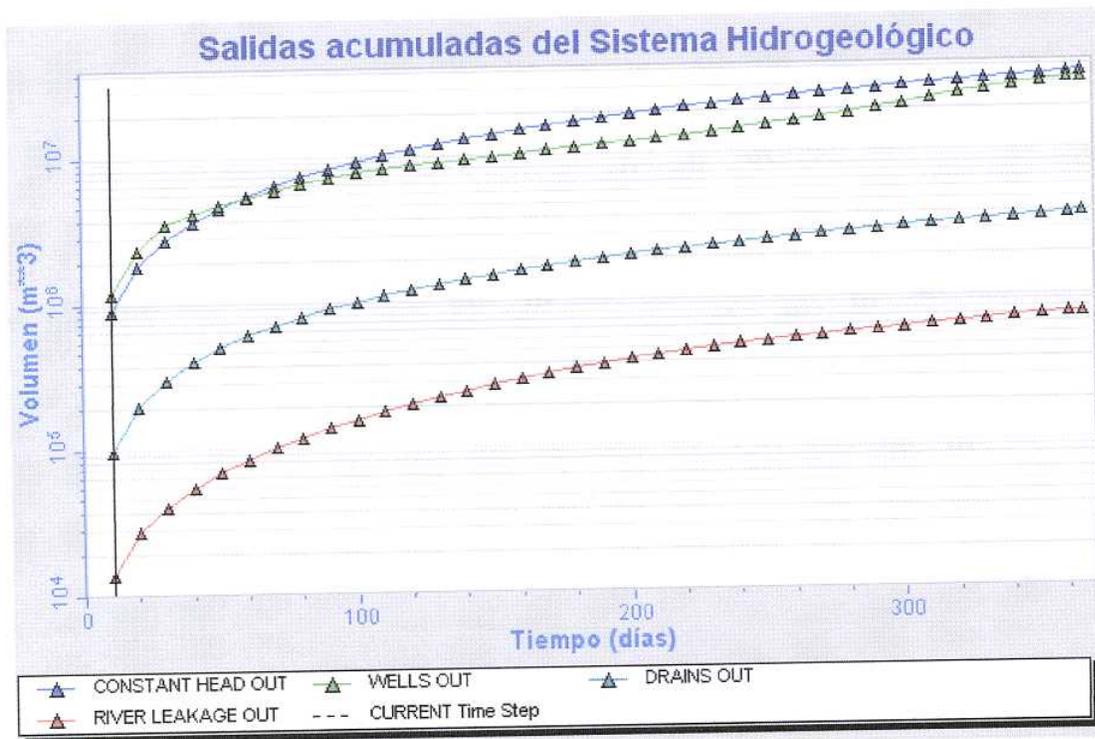
- La **recarga por infiltración procedente del retorno de riego y de la lluvia** aporta casi un 48% de las entradas, **16.76 hm³/año**. La incidencia de las prácticas agrícolas es, con diferencia, el componente más importante de esta recarga, frente a la influencia de la precipitación. Esto se pone en evidencia en la evolución temporal de la misma, muy condicionado por el régimen de riego de

Tiempo [días]	ENTRADAS (hm ³)										SALIDA (hm ³)				E-S (hm ³)
	Descarga Escalote	Aluv. Molizár	Aluv. Ría Guadaífeo	Intrusión Marina	Infiltr.: llu+ret agr	Ríos	TOTAL	Manant.	Desc. mar	Bombes	Ríos	TOTAL			
10	1.086E-01	1.370E-02	8.219E-02	0.000E+00	2.785E-01	3.230E-01	8.070E-01	4.849E-02	4.510E-01	5.846E-01	6.858E-03	1.091E+00	-2.839E-01		
20	2.192E-01	2.740E-02	1.644E-01	0.000E+00	7.556E-01	6.459E-01	1.813E+00	9.883E-02	9.017E-01	1.189E+00	1.366E-02	2.183E+00	-3.708E-01		
30	3.288E-01	4.110E-02	2.469E-01	0.000E+00	1.117E+00	9.886E-01	2.702E+00	1.492E-01	1.352E+00	1.754E+00	2.047E-02	3.275E+00	-5.738E-01		
40	4.384E-01	5.480E-02	3.289E-01	0.000E+00	1.584E+00	1.291E+00	3.697E+00	1.986E-01	1.806E+00	2.080E+00	2.745E-02	4.093E+00	-3.959E-01		
50	5.480E-01	6.850E-02	4.110E-01	0.000E+00	2.181E+00	1.613E+00	4.821E+00	2.500E-01	2.244E+00	2.367E+00	3.478E-02	4.915E+00	-9.407E-02		
60	6.576E-01	8.219E-02	4.932E-01	0.000E+00	2.783E+00	1.934E+00	5.921E+00	3.004E-01	2.724E+00	2.673E+00	4.258E-02	5.740E+00	1.809E-01		
70	7.671E-01	9.589E-02	5.754E-01	0.000E+00	3.254E+00	2.254E+00	6.946E+00	3.508E-01	3.183E+00	2.983E+00	5.078E-02	6.567E+00	3.789E-01		
80	8.767E-01	1.096E-01	6.576E-01	0.000E+00	3.862E+00	2.573E+00	8.078E+00	4.012E-01	3.645E+00	3.283E+00	5.943E-02	7.399E+00	6.803E-01		
90	9.863E-01	1.233E-01	7.398E-01	0.000E+00	4.391E+00	2.891E+00	9.132E+00	4.516E-01	4.110E+00	3.603E+00	6.852E-02	8.233E+00	8.992E-01		
100	1.096E+00	1.370E-01	8.219E-01	0.000E+00	4.914E+00	3.208E+00	1.018E+01	5.020E-01	4.575E+00	3.825E+00	7.794E-02	8.980E+00	1.197E+00		
110	1.206E+00	1.507E-01	9.041E-01	0.000E+00	5.516E+00	3.525E+00	1.130E+01	5.524E-01	5.043E+00	4.047E+00	8.787E-02	9.731E+00	1.570E+00		
120	1.315E+00	1.644E-01	9.863E-01	0.000E+00	6.118E+00	3.840E+00	1.262E+01	6.028E-01	5.516E+00	4.270E+00	9.835E-02	1.049E+01	2.135E+00		
130	1.425E+00	1.781E-01	1.069E+00	0.000E+00	6.712E+00	4.155E+00	1.373E+01	6.532E-01	5.980E+00	4.470E+00	1.092E-01	1.122E+01	2.511E+00		
140	1.534E+00	1.918E-01	1.151E+00	0.000E+00	7.306E+00	4.470E+00	1.516E+01	7.035E-01	6.468E+00	4.670E+00	1.205E-01	1.196E+01	3.197E+00		
150	1.644E+00	2.055E-01	1.233E+00	0.000E+00	7.899E+00	4.784E+00	1.640E+01	7.539E-01	6.948E+00	4.870E+00	1.323E-01	1.270E+01	3.700E+00		
160	1.753E+00	2.192E-01	1.315E+00	0.000E+00	8.492E+00	5.097E+00	1.766E+01	8.043E-01	7.428E+00	5.104E+00	1.445E-01	1.348E+01	4.175E+00		
170	1.863E+00	2.329E-01	1.397E+00	0.000E+00	9.086E+00	5.411E+00	1.883E+01	8.547E-01	7.910E+00	5.339E+00	1.569E-01	1.428E+01	4.573E+00		
180	1.973E+00	2.468E-01	1.480E+00	0.000E+00	9.680E+00	5.724E+00	2.000E+01	9.051E-01	8.390E+00	5.573E+00	1.686E-01	1.504E+01	4.965E+00		
190	2.082E+00	2.603E-01	1.562E+00	0.000E+00	1.027E+01	6.037E+00	2.104E+01	9.554E-01	8.877E+00	5.805E+00	1.822E-01	1.581E+01	5.232E+00		
200	2.192E+00	2.740E-01	1.644E+00	0.000E+00	1.086E+01	6.351E+00	2.194E+01	1.008E+00	9.340E+00	6.036E+00	1.946E-01	1.658E+01	5.367E+00		
210	2.301E+00	2.877E-01	1.728E+00	0.000E+00	1.145E+01	6.664E+00	2.281E+01	1.068E+00	9.807E+00	6.267E+00	2.066E-01	1.734E+01	5.475E+00		
220	2.411E+00	3.014E-01	1.808E+00	0.000E+00	1.204E+01	6.978E+00	2.370E+01	1.107E+00	1.027E+01	6.509E+00	2.185E-01	1.817E+01	5.538E+00		
230	2.521E+00	3.151E-01	1.890E+00	0.000E+00	1.263E+01	7.292E+00	2.461E+01	1.157E+00	1.073E+01	6.871E+00	2.301E-01	1.898E+01	5.619E+00		
240	2.630E+00	3.288E-01	1.973E+00	0.000E+00	1.322E+01	7.606E+00	2.550E+01	1.207E+00	1.119E+01	7.174E+00	2.416E-01	1.981E+01	5.693E+00		
250	2.740E+00	3.425E-01	2.055E+00	0.000E+00	1.381E+01	7.921E+00	2.633E+01	1.258E+00	1.164E+01	7.603E+00	2.528E-01	2.076E+01	5.71E+00		
260	2.849E+00	3.562E-01	2.137E+00	0.000E+00	1.440E+01	8.235E+00	2.712E+01	1.308E+00	1.209E+01	8.033E+00	2.638E-01	2.170E+01	5.427E+00		
270	2.959E+00	3.699E-01	2.219E+00	0.000E+00	1.499E+01	8.550E+00	2.790E+01	1.358E+00	1.254E+01	8.463E+00	2.746E-01	2.263E+01	5.271E+00		
280	3.069E+00	3.836E-01	2.301E+00	0.000E+00	1.558E+01	8.868E+00	2.865E+01	1.409E+00	1.298E+01	8.913E+00	2.851E-01	2.361E+01	4.840E+00		
290	3.178E+00	3.973E-01	2.384E+00	0.000E+00	1.617E+01	9.187E+00	2.961E+01	1.459E+00	1.343E+01	9.344E+00	2.960E-01	2.500E+01	4.615E+00		
300	3.288E+00	4.110E-01	2.468E+00	0.000E+00	1.676E+01	9.506E+00	3.058E+01	1.510E+00	1.388E+01	9.814E+00	3.073E-01	2.618E+01	4.395E+00		
310	3.397E+00	4.247E-01	2.548E+00	0.000E+00	1.735E+01	9.825E+00	3.135E+01	1.560E+00	1.432E+01	1.049E+01	3.186E-01	2.752E+01	4.395E+00		
320	3.507E+00	4.384E-01	2.630E+00	0.000E+00	1.794E+01	1.014E+01	3.215E+01	1.610E+00	1.477E+01	1.214E+01	3.299E-01	2.885E+01	3.300E+00		
330	3.617E+00	4.521E-01	2.712E+00	0.000E+00	1.853E+01	1.046E+01	3.303E+01	1.661E+00	1.522E+01	1.296E+01	3.415E-01	3.019E+01	2.837E+00		
340	3.726E+00	4.658E-01	2.795E+00	0.000E+00	1.892E+01	1.077E+01	3.380E+01	1.711E+00	1.567E+01	1.367E+01	3.531E-01	3.140E+01	2.398E+00		
350	3.836E+00	4.795E-01	2.877E+00	0.000E+00	1.931E+01	1.109E+01	3.459E+01	1.761E+00	1.612E+01	1.437E+01	3.647E-01	3.262E+01	1.968E+00		
360	3.945E+00	4.932E-01	2.959E+00	0.000E+00	1.970E+01	1.141E+01	3.537E+01	1.812E+00	1.657E+01	1.507E+01	3.762E-01	3.383E+01	1.536E+00		
365	4.000E+00	5.000E-01	3.000E+00	0.000E+00	1.976E+01	1.156E+01	3.582E+01	1.837E+00	1.680E+01	1.537E+01	3.821E-01	3.439E+01	1.438E+00		

Tabla T20.- Balance Hídrico: evolución temporal de sus componentes.



a.-



b.-

Figura F32. Balance Hídrico: Entradas/Salidas acumuladas del Sistema

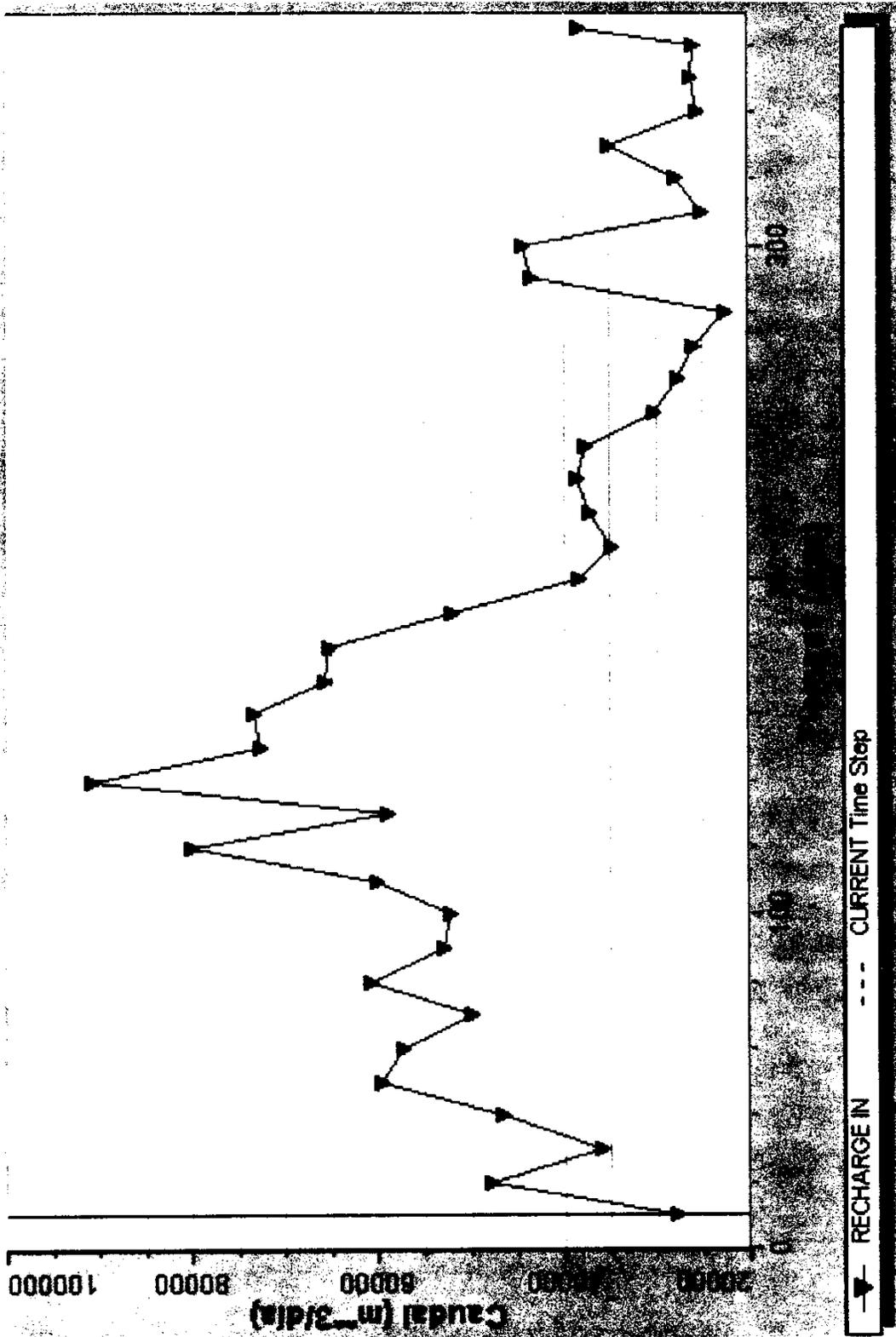
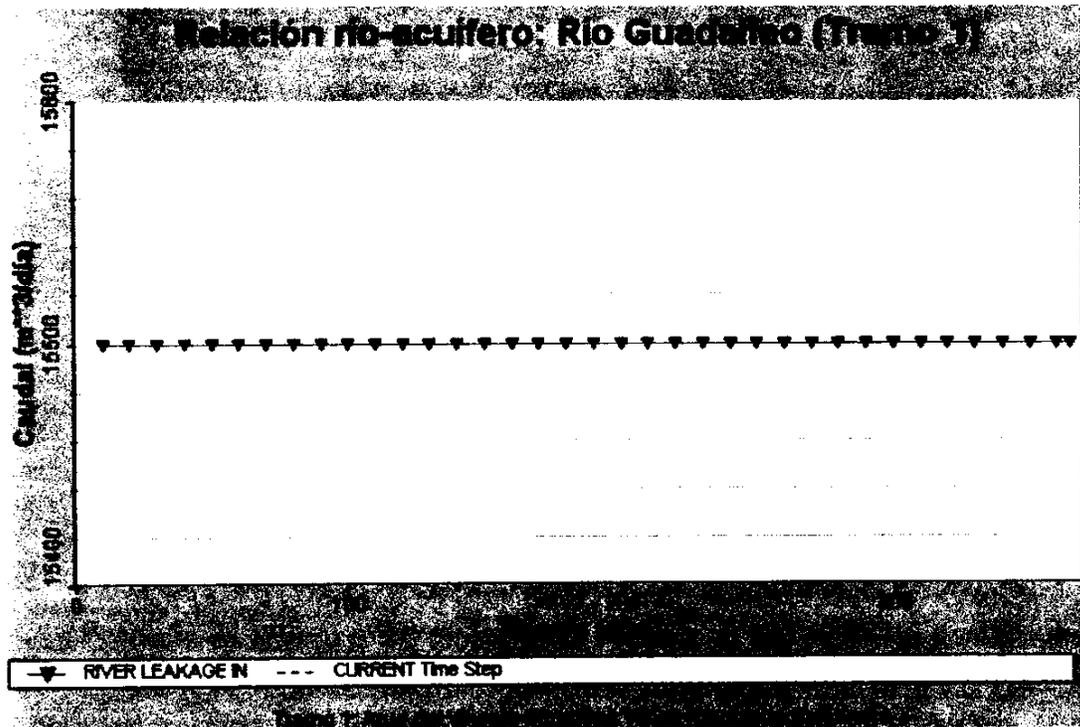


Figura F33. Balance Hidrico: Evolución temporal de la recarga por infiltración

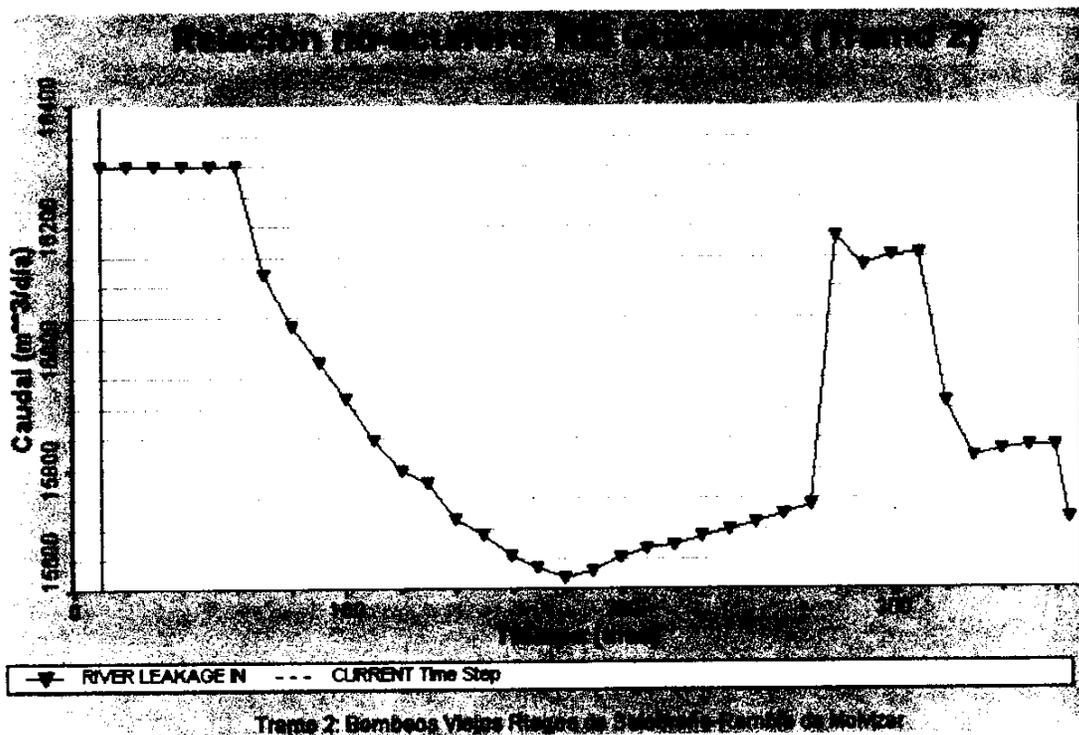
los distintos cultivos del sistema. Así en la Figura F33, en la que se expone esta evolución, se nota un incremento de la misma hasta fines del invierno ($t= 140$ días), cuando comienza a decrecer hasta el comienzo del verano ($t= 280$ días), momento en que de forma variable se registra un cierto incremento. Las prácticas agrícolas que influyen en esta recarga son: la aplicación de dotaciones de riego superiores a las requeridas por los distintos cultivos para su correcto desarrollo y la utilización como técnica de riego del riego "a manta" o por gravedad, el cual propicia que una parte importante del riego aplicado no sea aprovechado por las plantas, perdiéndose por evaporación o incrementando la infiltración. La mayor parte del agua utilizada para riego procede de recursos superficiales tomados del río Guadalfeo aguas arriba de su entrada al sistema modelizado y por tanto son exógenos al acuífero.

- La **recarga procedente de la red hidrográfica** representa un 32% de las entradas del sistema, **11.564 hm³/año**. La evolución de los caudales de entrada en los tramos analizados de la red hídrica (ver Figura F25) se presentan en la Figura F34. En una relación más detallada de esta entradas se observa:

La casi totalidad de este tipo de recarga procede del **río Guadalfeo**, un 99.4% de las entradas a partir de la red hidrográfica, 11.5 hm³/año, aproximadamente. La mayor parte se concentra en el tramo comprendido entre la entrada al modelo y la confluencia de la Rambla de Molvizar, 11.46 hm³/año. La magnitud de esta entrada es debida a un efecto de recarga inducida por los pozos situados a lo largo de sus márgenes en este tramo del curso, el volumen anual extraído por estos pozos es de 11.26 hm³. La mayor parte del agua bombeada procede del río, debido al ya citado efecto de recarga inducida o, en muchos casos, por explotación directamente del subálveo, mediante minas o pozos raney. El tramo que discurre desde la confluencia y la desembocadura recibe una entrada, probablemente situada en su extremo aguas arriba, de 0.04 hm³/año.

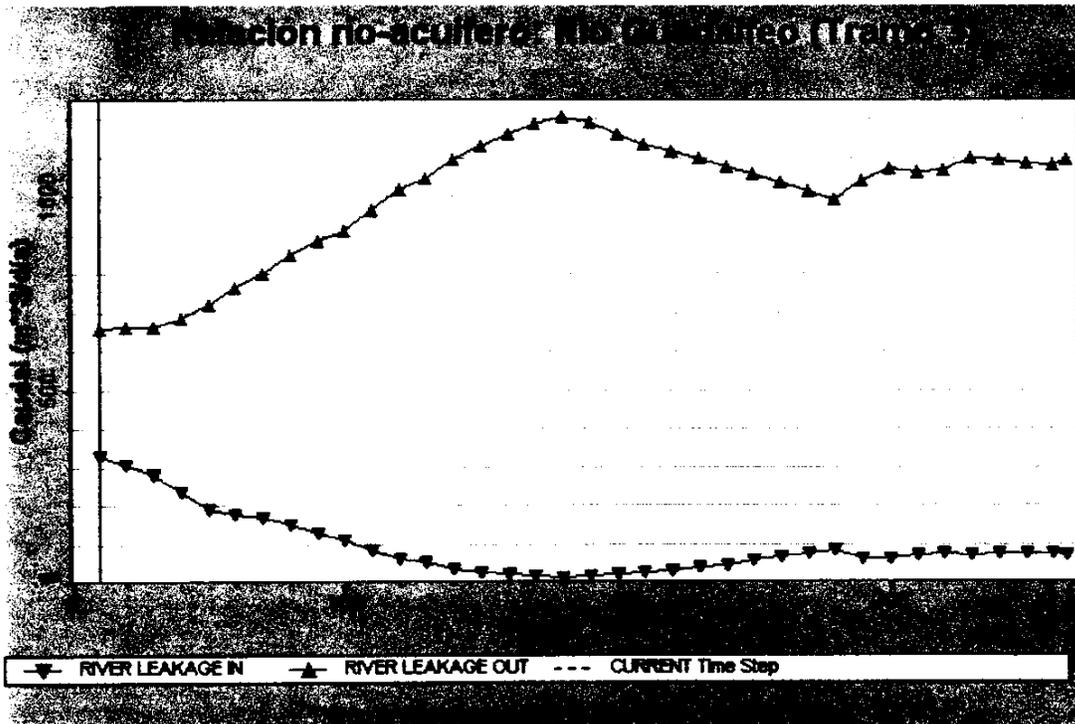


a.-

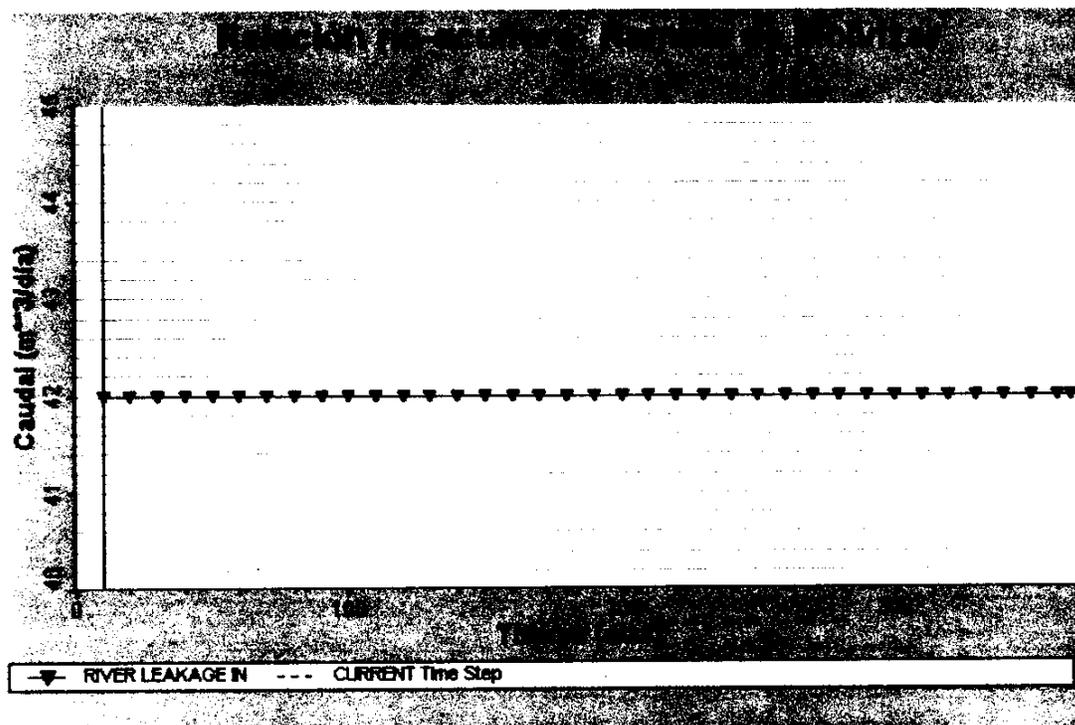


b.-

Figura F34 Balance Hídrico: Relación acuífero-aguas superficiales.

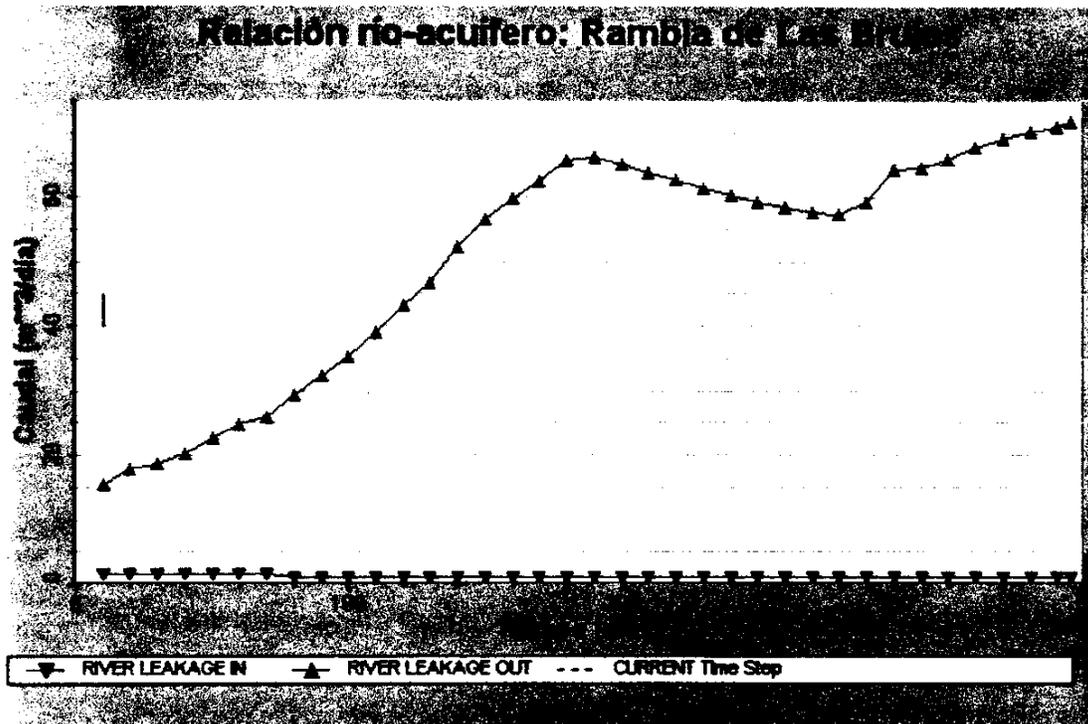


c.-

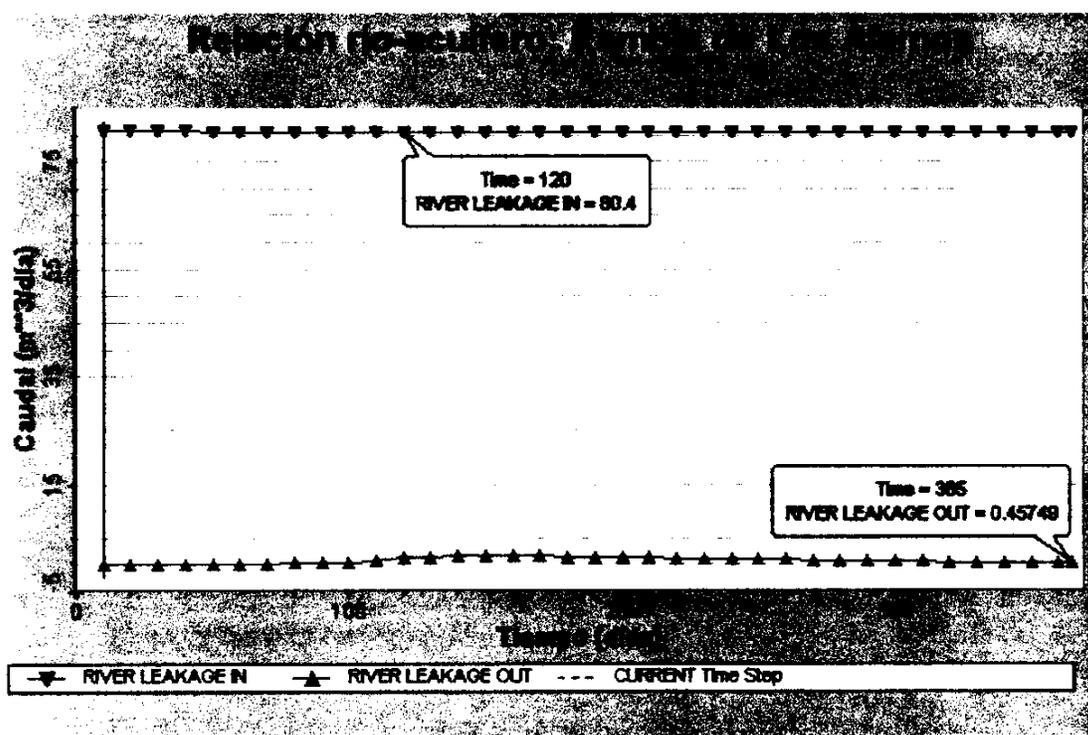


d.-

Figura F34 Balance Hídrico: Relación acuífero-aguas superficiales. (continuación)

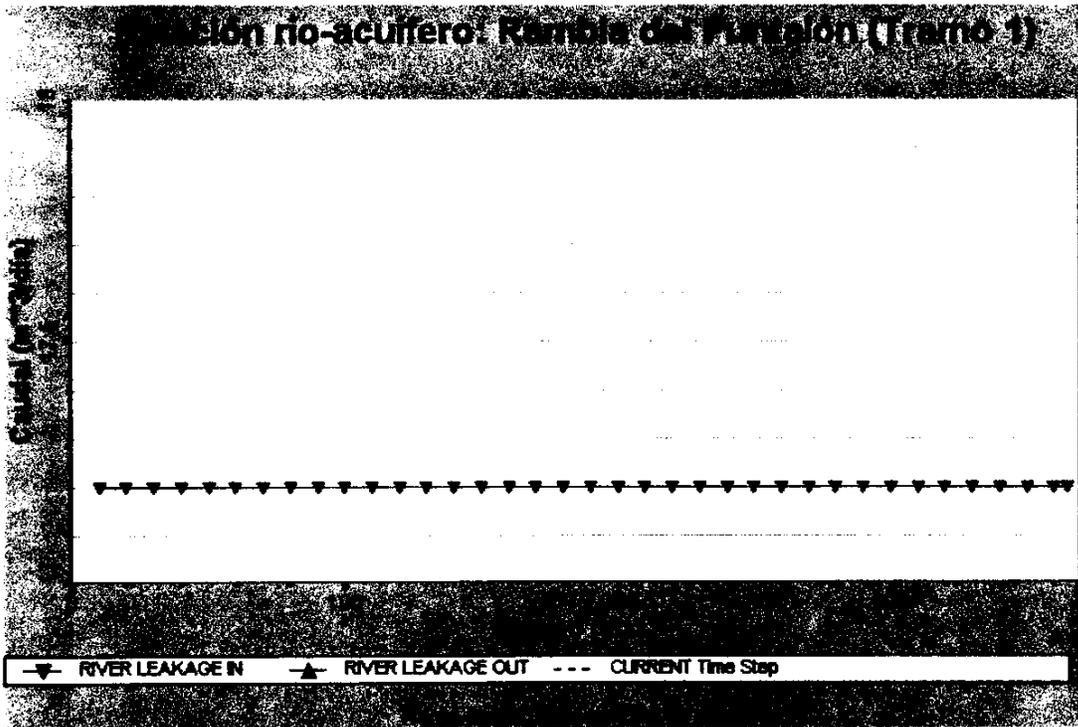


e.-

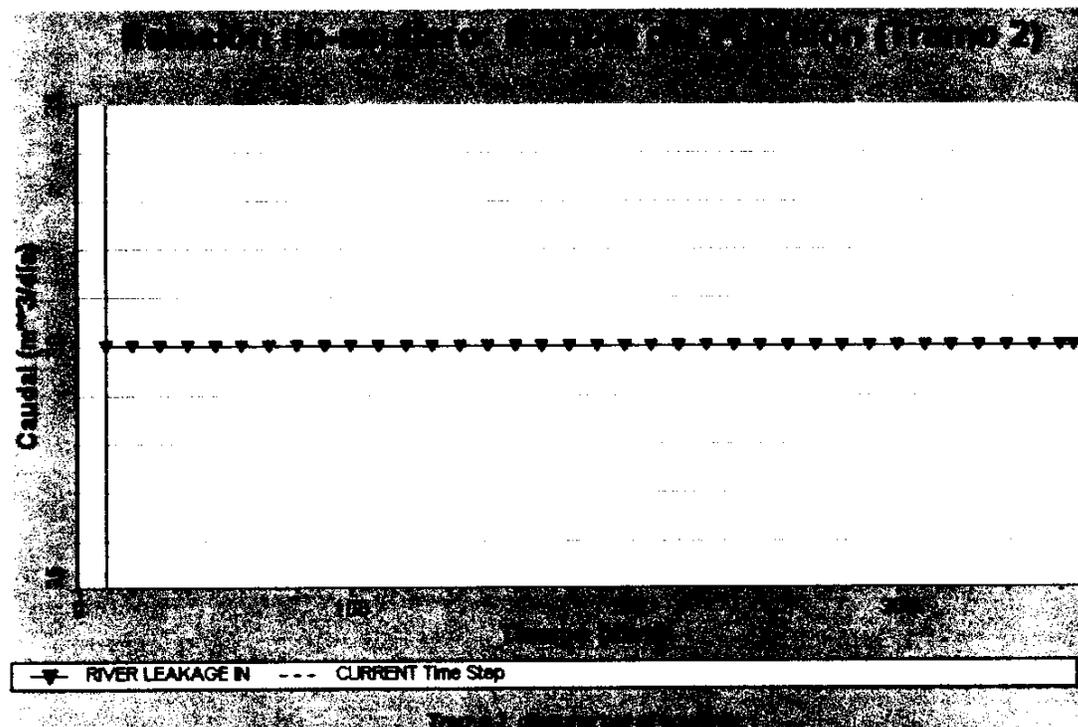


f.-

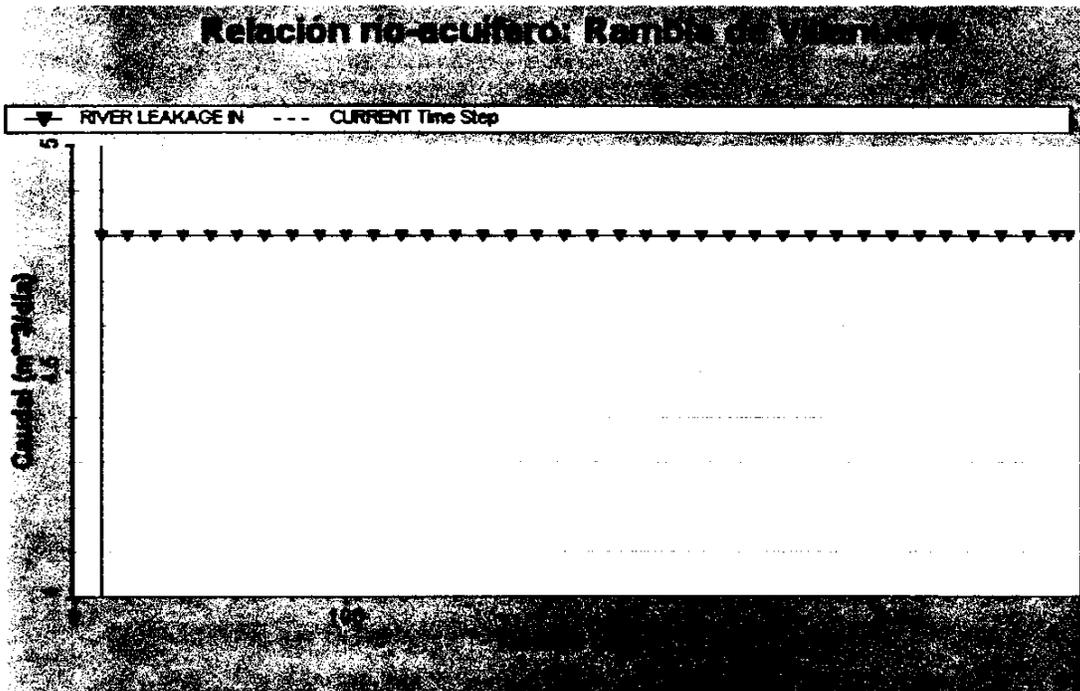
Figura F34 Balance Hídrico: Relación acuífero-aguas superficiales. (continuación)



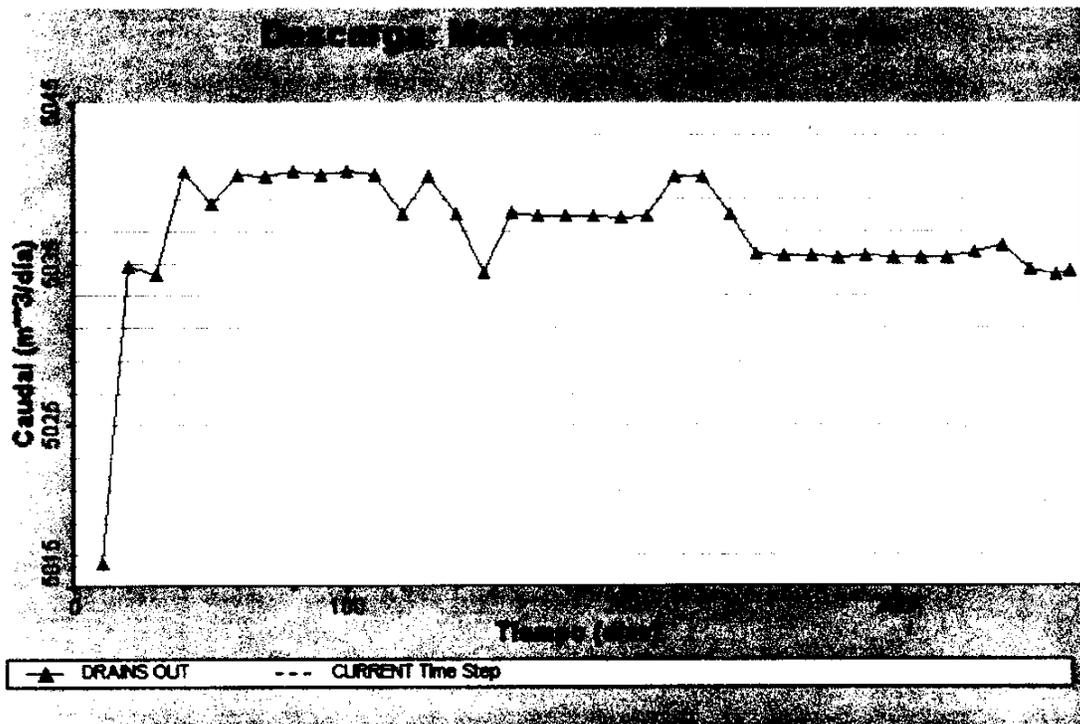
g.-



h.-
Figura F34- Balance Hídrico: Relación acuífero-aguas superficiales. (continuación)



f.-



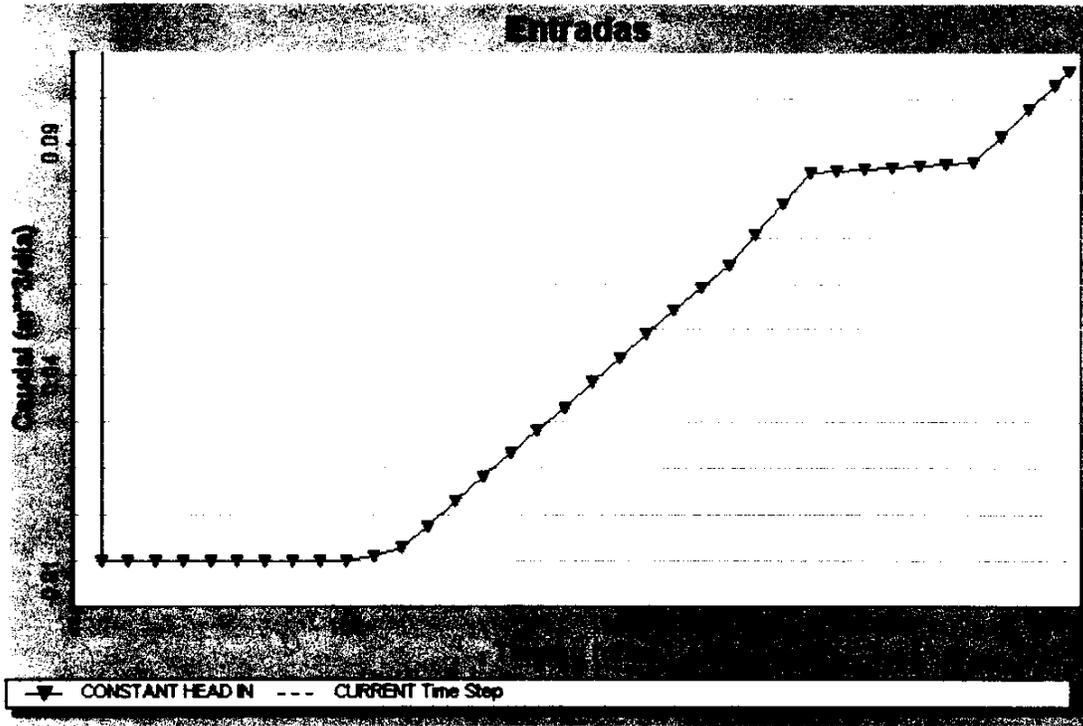
j.-
 Figura F34- Balance Hídrico: Relación acuífero-aguas superficiales. (continuación)

Respecto a los restantes cursos de agua su aportación al sistema es marginal. Sus respectivas entradas son las siguientes: **Rambla de Molvizar** es de $0.015 \text{ hm}^3/\text{año}$; **Rambla de Las Brujas** es insignificante y se concentra en cabecera, $0.00047 \text{ hm}^3/\text{año}$; **Rambla de Los Álamos** se sitúa en tramos superiores y es de $0.0294 \text{ hm}^3/\text{año}$; para la **Rambla del Puntalón** en el tramo que discurre por el piedemonte es de $0.0063 \text{ hm}^3/\text{año}$ y en el que atraviesa el acuífero, propiamente dicho, es de $0.011 \text{ hm}^3/\text{año}$ y en la **Rambla de Villanueva** es de $0.0018 \text{ hm}^3/\text{año}$.

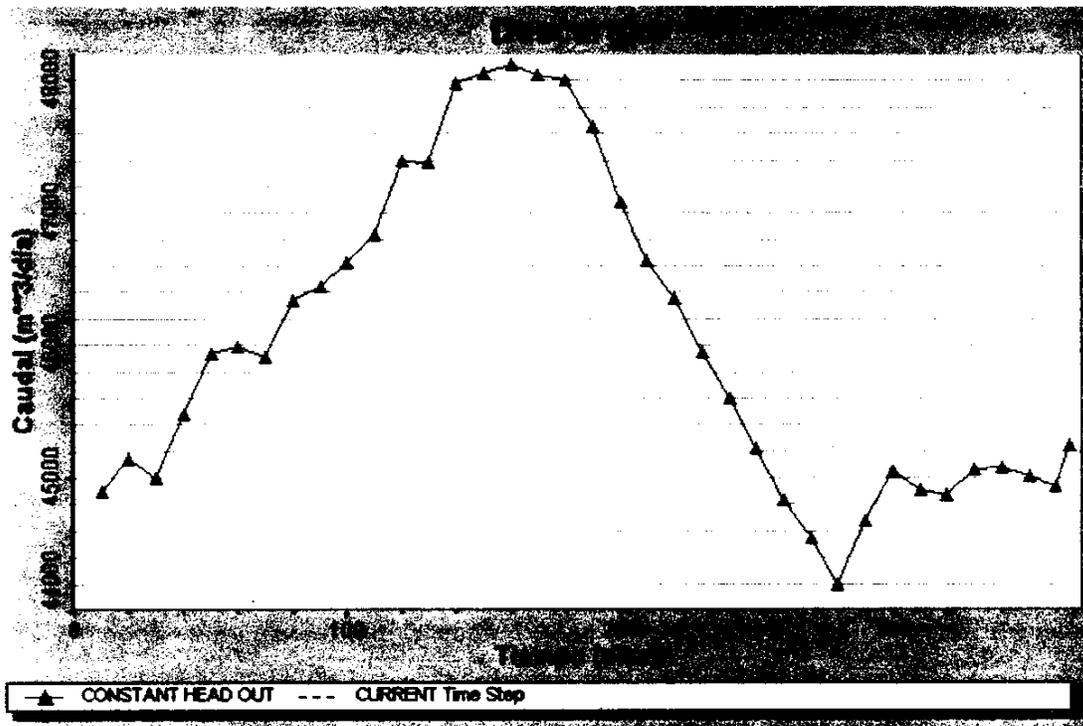
- La entrada por descarga de la Unidad de Escalate aporta el 11% de las entradas, $4 \text{ hm}^3/\text{año}$, y por los aluviales del río Guadafeo, $3 \text{ hm}^3/\text{año}$, y la rambla de Molvizar, $0.5 \text{ hm}^3/\text{año}$, se registran el 8% y 1%, respectivamente, restantes de las mismas. En ningún caso se representó finalmente una variación temporal de estas entradas, debido al incremento en la incertidumbre de la modelización que ello hubiera supuesto. No obstante, se considera que los resultados alcanzados son representativos de una situación media anual. La evaluación de entradas ya fue discutida parcial, o totalmente, en las secciones: 1.7, entrada Aluvial del río Guadafeo; 1.8, entrada Aluvial de la Rambla de Molvizar, y 1.9, descarga de la Unidad de Escalate. Acerca del proceso de calibración de estas entradas, entendiéndolas como parámetros del modelo, ya fueron discutidas convenientemente en la Sección 2.1.4. El intento de definir la evolución temporal de la entrada por el aluvial del río Guadafeo a partir de los registros medio del pozo 1944-4-0021 se expuso en el último párrafo de la Sección 2.2.
- El Balance Hídrico acusa una ligera entrada por intrusión a partir de fines del invierno, ver Figura F35.a. Ello es debido al bombeo de pozos someros situados en la costa.

Las salidas al sistema en orden decreciente de magnitud son:

- La **descarga al mar**, $16.8 \text{ hm}^3/\text{año}$, representa casi 49% de la salida del sistema. Su evolución temporal (ver Figura F35 b) registra un comportamiento



a.-



b.-

Figura F35. Balance Hídrico: relación acuífero-mar.

similar a la recarga por infiltración (ver Figura F33), aunque con un ligero desfase. Así, se va incrementando hasta fines del invierno ($t= 180$ días) y comienza a decrecer hasta comienzos del verano ($t= 280$ días). Esta estrecha relación entre descarga al mar y recarga por infiltración, pone en evidencia por otro lado la escasa incidencia del bombeo sobre esta salida. Ello es debido a que la mayor parte de los mismos explota recursos tomados "directamente" del Río Guadalfeo, en el tramo agua arriba de la confluencia con la rambla de Molvizar, alterando así "mínimamente" el sistema de flujo hacia el mar.

- Los **bombes**, **15.37 hm³/año**, son la otra gran salida del sistema, ella representa el 45% de las mismas. Sin embargo las extracciones más importantes se sitúan a lo largo del curso del río Guadalfeo, desde la confluencia de la rambla de Molvizar hacia aguas arriba. Estos bombes concentran el 73% del volumen extraído y el recurso que explotan proviene fundamentalmente de la recarga inducida que generan al río Guadalfeo o más directamente del subálveo del mismo. En el mismo ámbito geográfico se encuentra un conjunto de pozos que concentra un 10% de las extracciones restantes, el recurso que explota proviene en su mayor parte de las entradas del aluvial del Guadalfeo, la recarga proveniente de este río y la descarga de Escalate. El 16% restante de las explotaciones se distribuye en su mayor parte, y más o menos homogéneamente, en el llano costero. La evolución temporal del conjunto de los bombes se presentan en la Figura F36. En ella se aprecia como a continuación del primer mes de Otoño comienzan a decrecer las extracciones, manteniéndose relativamente constantes desde fines de Otoño hasta principios de la Primavera, cuando crecen, manteniendo en verano unos niveles altos de bombes. Por otro lado, la explotación que realizan los bombes más potentes del sistema de recursos provenientes del río Guadalfeo, se pone en evidencia en la gran similitud que presentan las evoluciones temporales del conjunto de los bombes (Figura F36) y de la recarga al sistema proveniente de dicho tramo de río (Figura F34 b).

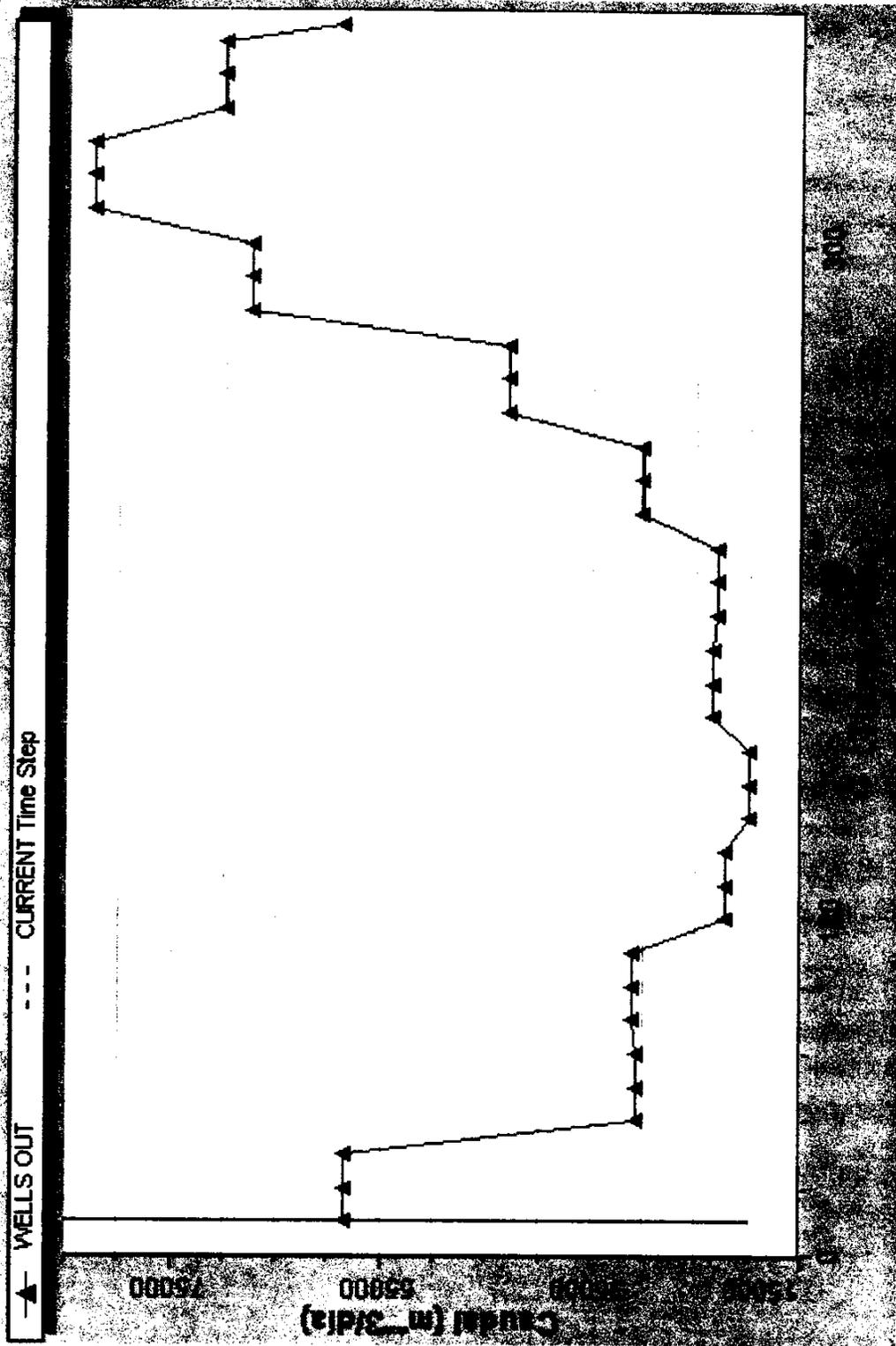


Figura F36. Balance Hídrico: Evolución temporal del conjunto de los bombes del Sistema

- Los **manantiales, 1.837 hm³/año**, representados al pie del peñón de Salobreña concentran el 5% de las salidas del sistema. Su caudal a lo largo del año es muy constante, variando ligeramente en torno a los 58 l/s, ver Figura F34.
- La **descarga del acuífero a los cursos de agua superficiales, 0.381hm³/año**, representa el 1% de las salidas totales y se concentra en los tramos bajos del río Guadalfeo que con 0.365 hm³/año, concentra el 95% de este tipo de descarga; la rambla de Las Brujas con 0.0183, un 5% de las mismas y la rambla de los Álamos con una descarga insignificante. El patrón de la evolución temporal de esta descarga es el mismo en el Guadalfeo y en Las Brujas, Ver Figura 34 c y e, un incremento constante y marcado en Otoño e Invierno, ligero decrecimiento en Primavera y otro somero aumento en verano. Esta tendencia es análoga a las que se observan en la descarga al mar y en la recarga por infiltración, aunque en estos casos más acusados. Resulta probable, que la descarga a los cursos de agua esté condicionada principalmente por la recarga por infiltración.

La diferencia entre las entradas y salidas del sistema a lo largo del año refleja la evolución del almacenamiento en el acuífero. El valor acumulado anual de este desfase es de 1.436 hm³ que representa el 4% de los recursos contrastados, lo cual se puede considerar una desviación aceptable habida cuenta de la incertidumbre asociada a la evaluación de dichos recursos. No obstante, esta diferencia, en la cual las salidas suelen ser deficitarias frente a las entradas, podría estar reflejando también la existencia de salidas no representadas en el modelo. Estas pueden tratarse de descargas difusas a lo largo de la costa, como el caso de marjales bastante usuales en las costas bajas mediterráneas. Este tipo de encharcamiento se detecta en distintos puntos de la costa.

El Balance Hídrico pone en evidencia la gran influencia de la actividad humana sobre el funcionamiento del sistema. En breve reseña de ella se puede señalar:

- La recarga por infiltración tiene como componente mayoritario el retorno de regadío, debido a ello su evolución temporal se halla condicionada por el régimen de riego de los distintos cultivos. El acuífero ve incrementado

notablemente sus recursos por ser el agua de regadío mayoritariamente exógena al mismo.

- La recarga desde los ríos al acuífero se ve notablemente incrementada por la acción de los bombeos y, obviamente, este incremento se ve constreñido exclusivamente al ámbito geográfico del emplazamiento de las explotaciones: el tramo del Guadalfeo que discurre entre el azud del Vículo y la rambla de Molvizar.
- La descarga al mar presenta una evolución temporal acorde a la evolución de la recarga y, por lo tanto, al régimen de riego.

Se considera que los resultados del Balance Hídrico son muy satisfactorios. El funcionamiento del sistema que este balance refleja es análogo a los propuestos en estudios precedentes. No obstante, difiere de estos en la valoración que se realiza de la entrada por el aluvial del Guadalfeo, que es marcadamente menor, 3 hm³, a las indicadas en anteriores trabajos. Ello hace que los recursos del acuífero y su descarga al mar, si se comparan con evaluaciones previas se reduzcan en el ordenado por la diferencia en la valoración de esta aportación, exclusivamente. Esta entrada ha sido revisada y evaluada con rigor en la fase de premodelización (Sección 1.7), siendo posteriormente uno de los parámetros calibrados del modelo (Sección 2.1.4), tanto en su valor global anual como en su distribución temporal (Sección 2.2). Finalmente, se debe observar que se procedió con particular cuidado para discriminar conceptualmente el caudal circulante por el subálveo del río, parte integrante de la escorrentía superficial, y el flujo circulante por su aluvial, parte integrante de la escorrentía subterránea. El primero se halla vinculado al sistema por la condición de río-acuífero y el segundo a través de esta entrada, evitándose en todo momento el contar dos veces un mismo recurso.

3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Los comentarios sobre el análisis de sensibilidad, aunque con carácter cualitativo, revisarán de forma exhaustiva a todos los parámetros calibrados.

3.1. Permeabilidad, k

Zona 1, representa los piedemonte y la zona alta del acuífero. Sus permeabilidades, horizontal y vertical, ejercen una gran influencia sobre el Criterio de ajuste seguido para los datos piezométricos (ver CMC (4), Sección 2). Ello, en gran medida, se debe a que por la orografía regional los datos piezométricos en esta zona poseen, en general, valores superiores a los 20 m, mientras que la mayor parte de los datos situados en las restantes zonas de k poseen datos menores a 5 m. Así, los residuos de nivel que se generan en los pozos situados en esta zona son marcadamente mayores a los que se producen en los restantes pozos de observación. El Criterio Mínimos Cuadrados magnifica aun más este hecho, en el proceso de ajuste.

La mayor parte de los pozos se encuentran en las inmediaciones del Guadalfeo. El modelo resulta muy sensible a la permeabilidad vertical, k_{z1} , pues definiciones de ella fuera de ciertos rangos pueden generar inestabilidades en el modelo por el secado de celdas en dicho sector, en el cual el espesor es somero. Asimismo, a causa de la inexistencia de pozos de observación en los piedemonte orientales (por ej.: El Puntalón), si se definieran para estos, exclusivamente, otros valores de permeabilidades, el modelo no lo acusaría. Por otro lado, las permeabilidades de esta zona poseen escasa influencia en los pozos de observación situados fuera de la misma. La incidencia de estos parámetros en el Balance Hídrico es baja.

Zonas 2 y 3, representan los niveles libres occidental y oriental, respectivamente del acuífero. Su influencia en el Criterio de ajuste de los datos piezométricos es menor que el de la zona 1. La causa fue señalada anteriormente: la diferencia de magnitud entre los datos de nivel de la zona 1 y los de estas zonas. No obstante, el hecho que se encuentren en estas zonas la mayor parte de los pozos de observación, hace que el Criterio de ajuste acuse las variaciones en estos parámetros, k_2 y k_3 . Asimismo, estos parámetros ejercen una cierta influencia sobre los pozos

emplazados aguas arriba, zona 1. La componente vertical, k_z , de estas zonas inciden en particular en el Balance Hídrico.

Zonas 4 y 5, representan al nivel semiconfinado del acuífero y al acuitardo. El Criterio de ajuste para los datos de nivel se revela prácticamente insensible al valor que adopte la permeabilidad en estas zonas. Ello se debe que ningún pozo de observación registra la piezometría de estos niveles y, por otro lado, el flujo es marcadamente estratificado con lo cual la influencia sobre la piezometría de la capa superior es baja. Las componentes horizontales y las verticales, en particular, de estas permeabilidades sí inciden en el Balance Hídrico.

Zona 6, representa los afloramientos calizos. Las permeabilidades ejercen una leve incidencia en un único pozo de observación, el 1944-8-0016, situado en su vecindad inmediatamente aguas abajo. Su repercusión es mayor en el Balance Hídrico, en particular en la descarga de los manantiales de Salobrefña.

3.2. Coeficiente de Almacenamiento

El comportamiento de las distintas zonas del almacenamiento en el análisis de sensibilidad es análogo al descrito para las distintas zonas de permeabilidad. La causa es la misma, y ya fue descrita anteriormente: la ubicación y característica de los datos piezométricos. No obstante, se presenta la particularidad que fuera de ciertos rangos para el almacenamiento específico, S_s , y el rendimiento específico, S_y , de las **zonas 1 y 2**, el modelo se vuelve inestable numéricamente. Las zonas 1 y 2 corresponden a la zona alta del acuífero y los piedemonte y a los niveles libres de la llanura costera. La incidencia de las **zonas 3 y 4**, nivel semiconfinado y acuitardo respectivamente, sobre la piezometría calculada es despreciable.

En el **Balance Hídrico** se acusa la influencia de los parámetros asociados al almacenamiento para las **zonas 1, 2, 3 y 4**, aunque la incidencia de las dos últimas resulta más leve.

El almacenamiento en la **zona 5** no incide de manera alguna en la piezometría calculada y es prácticamente irrelevante en términos de balance.

3.3. Conexión hidráulica río-acuífero, C_R , y carga hidráulica en el río

La conexión hidráulica C_R y la carga hidráulica en el río son los parámetros únicos, que gobiernan la relación río acuífero, susceptibles de ser calibrados explícitamente. En el presente modelo sólo fue objeto de calibración C_R en los distintos cursos de la red hidrográfica. No obstante, la carga hidráulica en el río Guadalfeo fue modificada para representar la Hipótesis II, ello permitió conocer la sensibilidad del modelo respecto a ella.

La piezometría calculada es prácticamente insensible a cualquier variación que se realice de los C_R correspondientes a los cursos de agua de la red hidrográfica, a excepción del río Guadalfeo. Por otro lado, el peso en el Balance Hídrico de la relación del acuífero con dichos cursos es insignificante.

Las modificaciones del C_R del río Guadalfeo inciden ligeramente sobre los pozos de observación. La excepción son los pozos situados en las celdas donde se halla definida la condición de contorno de río y, a su vez, los puntos de observación sean pozos de bombeo o estén influenciados por una explotación vecina. En estos casos particulares, como era de prever, el pozo directamente afectado, exclusivamente, es sensible al C_R definido en la celda. Esta situación se presenta en los pozos situados en las márgenes del Guadalfeo, en la parte alta del acuífero. En estos casos, se debe tener el criterio suficiente para decidir si el valor de C_R que se adopta representa una situación de recarga inducida o una explotación del subáveo del río o es meramente un subterfugio numérico para alcanzar el ajuste.

La simulación de la Hipótesis II puso en evidencia que los niveles piezométricos pueden ser sensibles a modificaciones de la carga hidráulica del río Guadalfeo, pero una incidencia relevante de esta se produce en períodos de cálculo superiores al año. El Balance Hídrico del modelo acusa desde el primer intervalo de cálculo una modificación de la carga hidráulica.

3.4. Condición de contorno de Caudal Prefijado

Las condiciones de contorno de Caudal Prefijado que se calibraron fueron las que representaban a las entradas por los aluviales del río Guadalfeo y la rambla de Molvizar y la descarga de la Unidad de Escalate. Esta última condición de contorno presenta una cierta influencia sobre los niveles piezométricos situados en la parte alta del acuífero, aguas arriba de la afluencia de la rambla de Molvizar al Guadalfeo. Sin embargo, el modelo se reveló relativamente insensible a la representación en la misma de una evolución temporal. Por otro lado, el modelo no es sensible a la entrada a través del aluvial de la rambla de Molvizar. Esta no se anuló por considerarse que, a pesar que los pozos de observación no la acusaran y su peso en el balance fuese marginal, era conceptualmente correcto representarla.

Los pozos de observación situados en la parte alta del acuífero, en particular el 1944-4-0021, son sensibles a la representación de la entrada por el aluvial del río Guadalfeo. Asimismo el citado pozo también acusa cualquier representación que se realice de su evolución temporal, aunque su sensibilidad en este aspecto es más matizada que con respecto al valor anual que se adopte. No obstante, aunque obvio no debe olvidarse, que los pozos del octante 1944-4 se hallan sujetos a la influencia conjunta de las propiedades del acuífero y distintas condiciones de contorno (recarga, río, caudal prefijado). La incidencia de esta entrada en la evolución temporal del Balance Hídrico comienza a incidir a fines del año hidrológico, como se podrá apreciar en la simulación de la Hipótesis I.

Los pozos de bombeo, si bien no estuvieron sujetos a calibración, fueron objeto de una revisión crítica durante la calibración que culminó desestimando la representación de algunos. Esto pudo realizarse de forma consistente por ser sensible la piezometría a esta condición de contorno, en términos del Balance Hídrico la influencia de los bombeos irrelevante, exceptuando casos particulares (Papelera del Mediterráneo, etc.).

3.5. Recarga por infiltración

El modelo resulta sensible a las modificaciones que se introduzcan en la recarga por infiltración, que representa conjuntamente los retornos de regadíos y la infiltración de origen pluvial. El mismo acusa las variaciones globales en la recarga como modificaciones en su aplicación temporal, tanto en términos de piezometría como de Balance Hídrico.

3.6. Valoración de los puntos de observación y de la estructura del modelo

Finalmente, se debe tener en cuenta que el análisis realizado evalúa la sensibilidad de los datos, sobre los que se basó la calibración, respecto a los parámetros calibrados. Por ello, esta labor pone en evidencia también la idoneidad de los datos seleccionados para caracterizar al conjunto del sistema hidrogeológico y las limitaciones de la estructura del modelo con que se representa al mismo.

Se debe recordar (ver Sección 2.2) que el 50% del valor de los residuos de niveles se hallan concentrados en el 25% de los pozos de observación y que la mayor parte de estos se sitúan en el mismo ámbito geográfico: las márgenes del río Guadalfeo, entre el azud del Vínculo y la rambla de Molvizar. Asimismo, algunos de estos pozos son explotaciones, o se encuentran claramente influenciados por fuertes bombeos, debido a ello no ofrecen las mejores garantías para ser usados como pozos de observación. Por lo tanto, en una situación con mayor profusión de datos se deberían haber descartado a dichos pozos como puntos de observación. Otros pozos con altos residuos, se encuentran en celdas en las que se definieron condiciones de contorno de río, este hecho se hubiera evitado definiendo un mallado más refinado en este sector. Sin embargo, dada la característica de la malla de diferencia finitas, si se hubiera obrado de esta manera habría extendido el refinamiento de la malla a otros ámbitos del modelo donde ello carecía de interés, con el consiguiente encarecimiento innecesario del tiempo de cálculo.

4. SIMULACIONES

4.1. CONSIDERACIONES SOBRE LA REGULACIÓN DE LA CUENCA

Desde el año 1986, la cuenca del río Guadalfeo está parcialmente regulada por la Presa de Béznar (58 hm³ de capacidad, 52 hm³ útiles) que embalsa las aguas del río Izbor, principal afluente del río Guadalfeo por la margen derecha.

En el sector bajo de la cuenca se encuentran los azudes de derivación de Vélez Benaudalla y del Vínculo. Del primero de ellos parte el Canal General. A su llegada al Partidor de Cañizares, situado en la rambla de Escalate ligeramente aguas arriba de su confluencia con el río Guadalfeo, se efectúa una primera y reciente derivación para el aumento de la dotación de Almuñécar; una segunda derivación va a parar al azud del Vínculo a través del "rápido"; y por último se derivan aguas por los canales de Motril y Salobreña utilizados mayoritariamente por los Nuevos Riegos (cota 50 a 100). A la entrada del acuífero Motril-Salobreña, se encuentra situado el azud del Vínculo (α de Lobres) en el que se suministra agua para los riegos tradicionales (cota 0 a 50) y las azucareras.

La vega tradicional de Motril y Salobreña viene a coincidir a grandes rasgos con el acuífero objeto de este estudio. El canal de nuevos regadíos no sólo riega en el acuífero Motril-Salobreña, fundamentalmente en los piedemonte de Molvízar y Puntalón, sino también en el acuífero de Carchuna (unos 5 km² de superficie) en donde se desarrolla una excelente horticultura bajo plástico (invernaderos). A partir del canal de cota 100 se eleva agua a cotas superiores y, de hecho, existe una importante superficie de cultivos de regadío entre las cotas 200 y 300.

En el esquema de infraestructuras descrito queda por incluir el Embalse de Rules (120 hm³ de capacidad aproximada) que previsiblemente quedará finalizado en el año 2002. Esta obra pretende asegurar el abastecimiento a la mayor parte de la Costa Tropical y ampliar los regadíos hasta la cota 300 (uso conjunto Béznar-Rules). Obviamente, en lo que concierne al acuífero aluvial estudiado, el embalse interrumpirá el flujo subterráneo hacia éste aunque todas las hipótesis de gestión contemplan el desembalse controlado para mantenerlo saturado.

El Proyecto de la Presa de Rules (CHSE, 1990) recoge dos hipótesis básicas de gestión de la cuenca del río Guadalfeo que incluyen, por un lado, la regulación estrictamente superficial utilizando los embalses de Béznar y Rules, y por otro, la regulación conjunta de los recursos superficiales de los citados embalses y de una fracción de los recursos subterráneos (22 hm³/año) del acuífero Motril-Salobreña.

En el trabajo del ITGE (1988) "Investigación hidrogeológica para apoyo a la gestión hidrológica en la cuenca del río Guadalfeo: Modelo de gestión", se presentan las siguientes opciones:

a) Regulación del río Guadalfeo mediante embalses superficiales:

a.1.) Opción 0: Regulación en Béznar para los riegos Cota 300

a.2.) Opción I: Regulación en Béznar y Rules para demandas internas de la cuenca del Guadalfeo. Series de aportaciones del Plan Hidrológico (Estudios básicos para la redacción del Plan Hidrológico de la cuenca hidrográfica del Sur de España. 1ª fase", 1983. Elaborado por INITEC).

a.3.) Opción II: Regulación en Béznar y Rules para demandas internas de la cuenca del Guadalfeo. Series de aportaciones de EUROESTUDIOS, SA (Estudio de la viabilidad de la ampliación de la zona regable de Motril y Salobreña hasta la cota 300", Marzo 1984. Elaborado por EUROESTUDIOS, S.A.)

a.4.) Opción III: Regulación en Béznar y Rules para demandas internas de la cuenca del Guadalfeo, con apoyo a la subzona A1. Series PH.

a.5.) Opción IV: Regulación en Béznar y Rules para demandas internas de la cuenca del Guadalfeo, con apoyo a la subzona A1 y trasvase hacia el río Adra. Series PH.

b) Regulación del río Guadalfeo mediante embalses superficiales y sistemas acuíferos:

b.1.) Regulación coordinada de manantiales y embalses superficiales, "en serie".

b.2.) Regulación coordinada de manantiales y embalses superficiales, "en paralelo".

c) Regulación conjunta mediante embalses superficiales y sistemas acuíferos subterráneos.

4.2. HIPÓTESIS DE SIMULACIÓN

Independientemente de cuales sean las eventuales reglas de operación de una futura gestión conjunta de los recursos de la cuenca del río Guadalfeo, los efectos ciertos sobre el acuífero que ocasionará la construcción de la presa de Rules serán:

- La anulación, o una fuerte disminución, del flujo circulante por el aluvial del río aguas debajo de la presa. En nuestro caso ello implicaría la eliminación de dicha entrada en el modelo, valorada en 3 hm³/año.
- El caudal mínimo circulante aguas abajo de la presa será el caudal ecológico de diseño, este es 9.1 hm³/año. Se debe observar que dada las características del Guadalfeo este caudal no escurrirá a lámina libre y probablemente "se infiltrará" y circulará por el subálveo del río

La consideración de estos dos efectos permite proponer las dos hipótesis a simular:

- **Hipótesis I:** se supone que no existe entrada al acuífero por el aluvial del río Guadalfeo, pero circula por el mismo un caudal igual al del año medio.
- **Hipótesis II:** se supone que no existe entrada al acuífero por el aluvial del río Guadalfeo, pero circula por el cauce de este el caudal mínimo supuesto que es el ecológico. Esta es la hipótesis **más desfavorable**.

Se debe observar que la totalidad de los tramos en que el río Guadalfeo cede agua al acuífero se encuentran aguas arriba de los tramos en que el río drena a aquel. Por ello un criterio que deberán verificar las condiciones de circulación de la Hipótesis II es que la recarga del acuífero a partir del Guadalfeo deberá ser:

$$\sum_i E_i - S_i \leq 9.1 \text{ hm}^3/\text{año} \quad (5)$$

donde: E_i son todas las entradas que se producen desde el río Guadalfeo al acuífero para un tiempo de cálculo i ; S_i son todas las descargas del acuífero al río que se producen en las celdas situadas aguas arriba de la celda más extrema aguas abajo en que se produce una recarga del acuífero a partir del río para un tiempo de cálculo i , siendo $i = 1$ a 37.

El caudal ecológico se supone constante a lo largo del año.

El análisis de los resultados de las distintas hipótesis se basará exclusivamente en la piezometría y el balance hídrico, adoptándose como referencias los resultados de la calibración. Se considera que estos últimos representan a un año medio de la situación existente previa a la construcción de la presa.

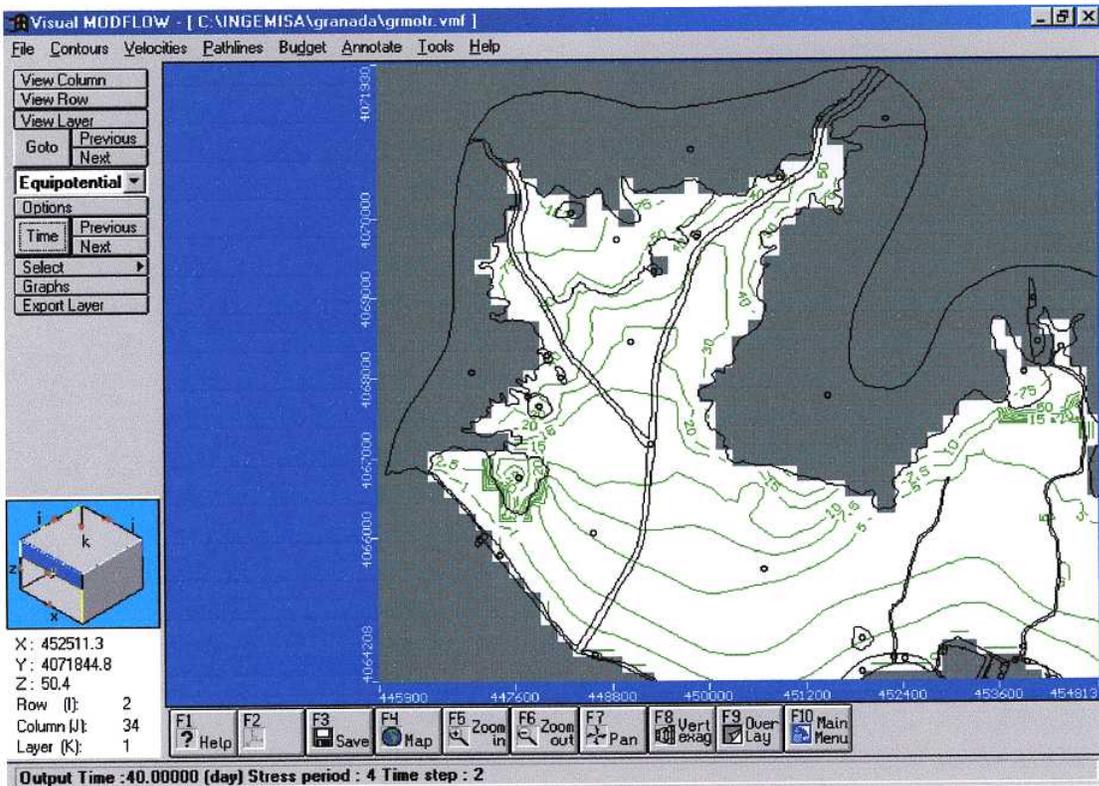
4.3. HIPÓTESIS I

La piezometría resultante de la simulación de la hipótesis I no ofrece ninguna diferencia significativa respecto a la obtenida en la calibración, la cual se considera como referencia. Ver Figura F37.

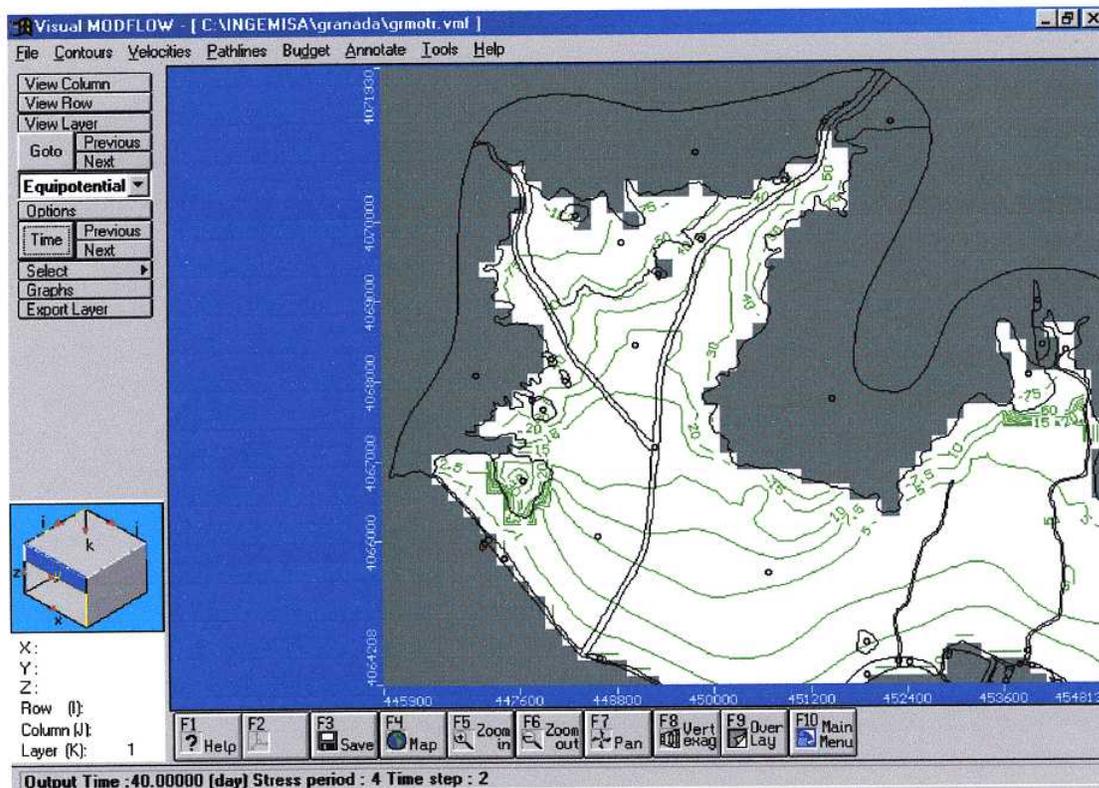
El Balance Hídrico resultante permite apreciar que se produce una muy ligera disminución en las salidas representadas. Así, los manantiales de Salobreña lo acusan desde mediados del Otoño ($t = 60$ días), inmediatamente lo percibe la descarga al mar ($t = 70$ días) y, por último, mediados de Invierno, la descarga a los ríos. Todo ello hace que las salidas del sistema vean reducida su salida anual en 220 m^3 . Por otro lado, desde principios del Verano ($t = 310$ días) la recarga al acuífero a partir de los ríos se ve incrementada, si bien este hecho es cuantitativamente despreciable, conceptualmente no lo es. El incremento de la

recarga desde los ríos se debe al descenso, respecto a la situación calibrada, de los niveles piezométricos que gobiernan la relación río-acuífero.

Los efectos de la Hipótesis I se ponen en evidencia de forma rotunda en el Balance Hídrico, en la diferencia entre las entradas y salidas del sistema (ver Figura F38). Esta diferencia va acusando progresivamente la inexistencia de la entrada por el aluvial del Guadalfeo y la continuación del, aproximadamente, mismo ritmo de descarga del sistema que en la situación del año medio. Ello culmina con el valor acumulado anual de la diferencia entre entradas y salidas es -1.564 hm^3 , el 4.6% de los recursos evaluados. En la calibración, a una diferencia en el cierre del balance del mismo orden de magnitud pero de signo opuesto, una de las interpretaciones que se le dio fue considerarla parte de la desviación que cabe esperar en los resultados, debido a la incertidumbre en la evaluación de los componentes del modelo. Una interpretación similar se puede hacer en este caso: considerar que la diferencia entre entradas y salidas se encuentra dentro del intervalo de la desviación inherente al problema.

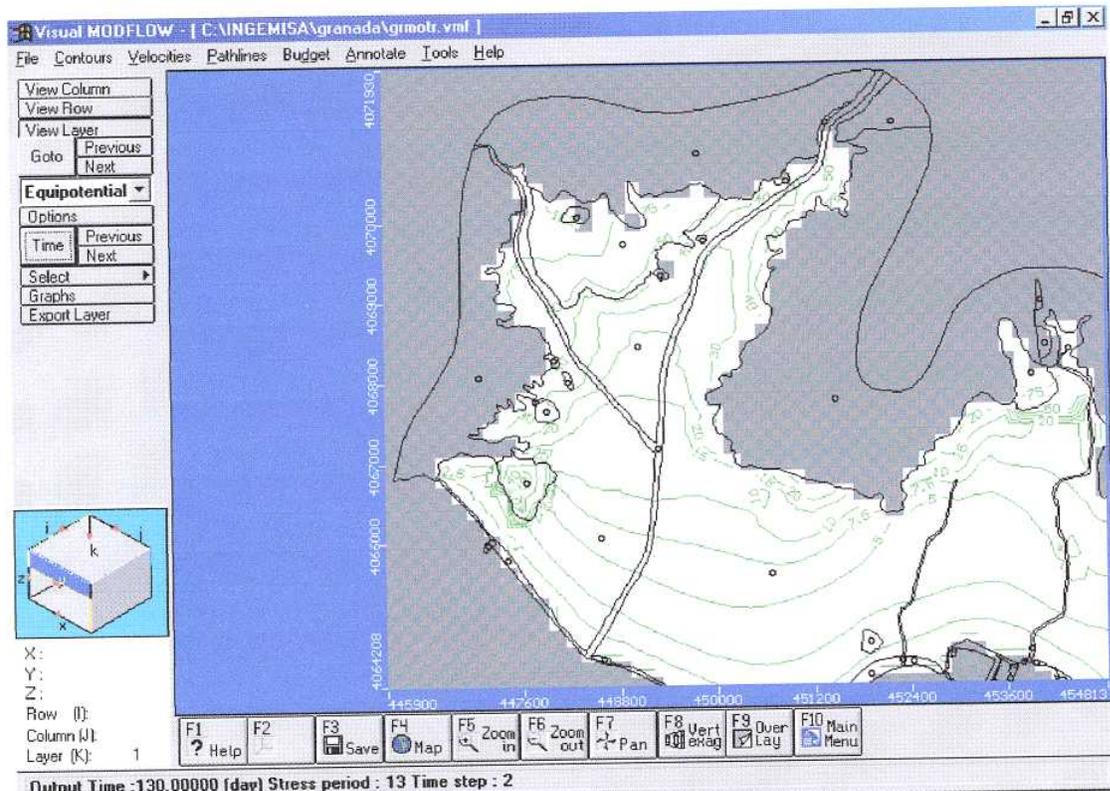


a.1. Piezometría de referencia: Año Medio. Otoño

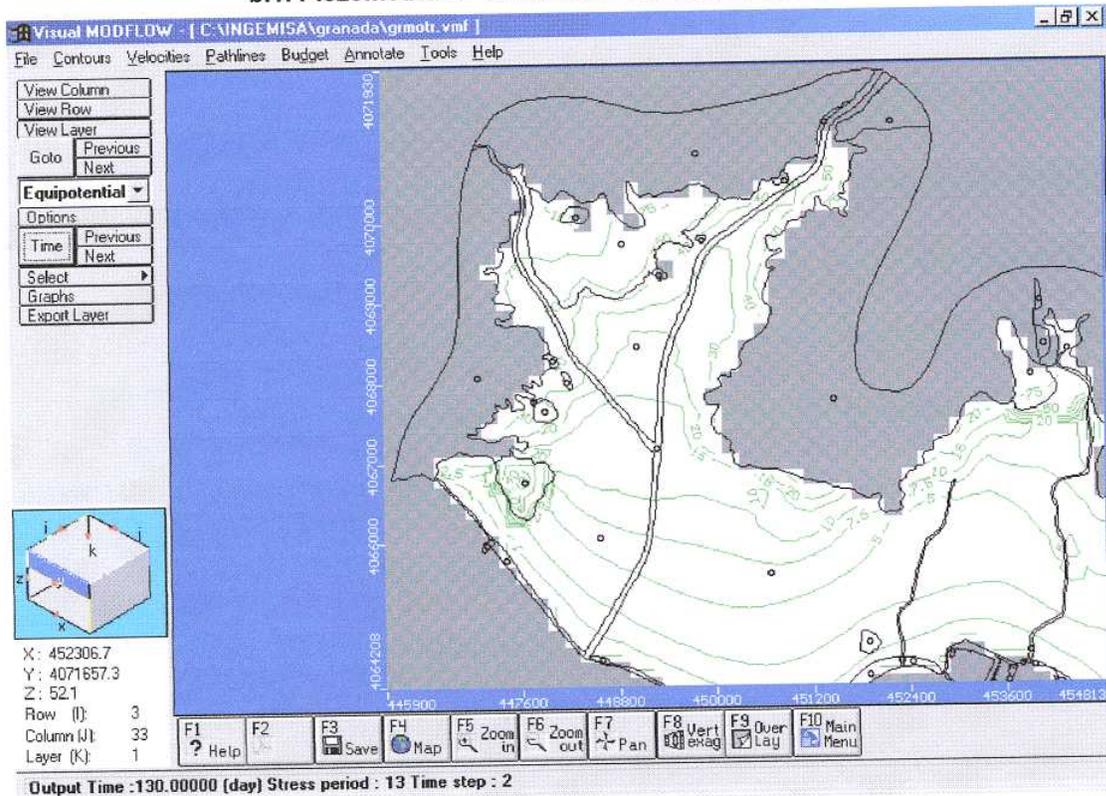


a.2. Piezometría de simulación: Hipótesis I. Otoño

Figura F37. Simulación Hipótesis I: Contraste entre piezometría resultante y de referencia

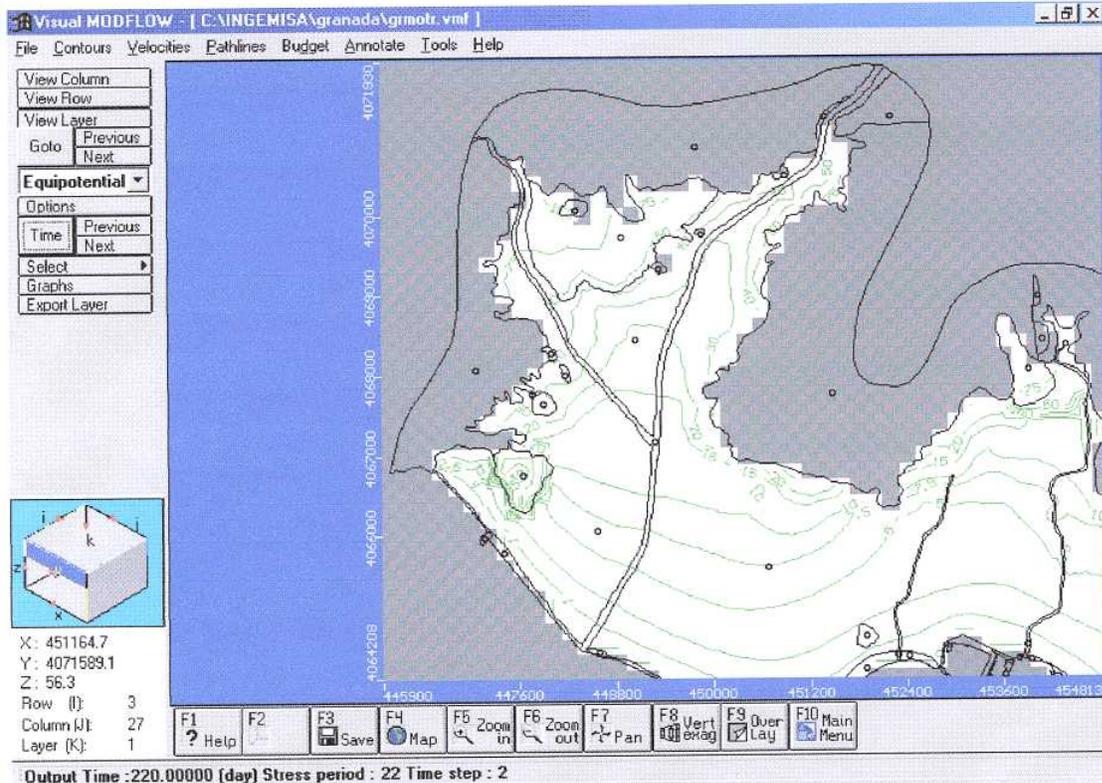


b.1. Piezometría de referencia: Año Medio. Invierno

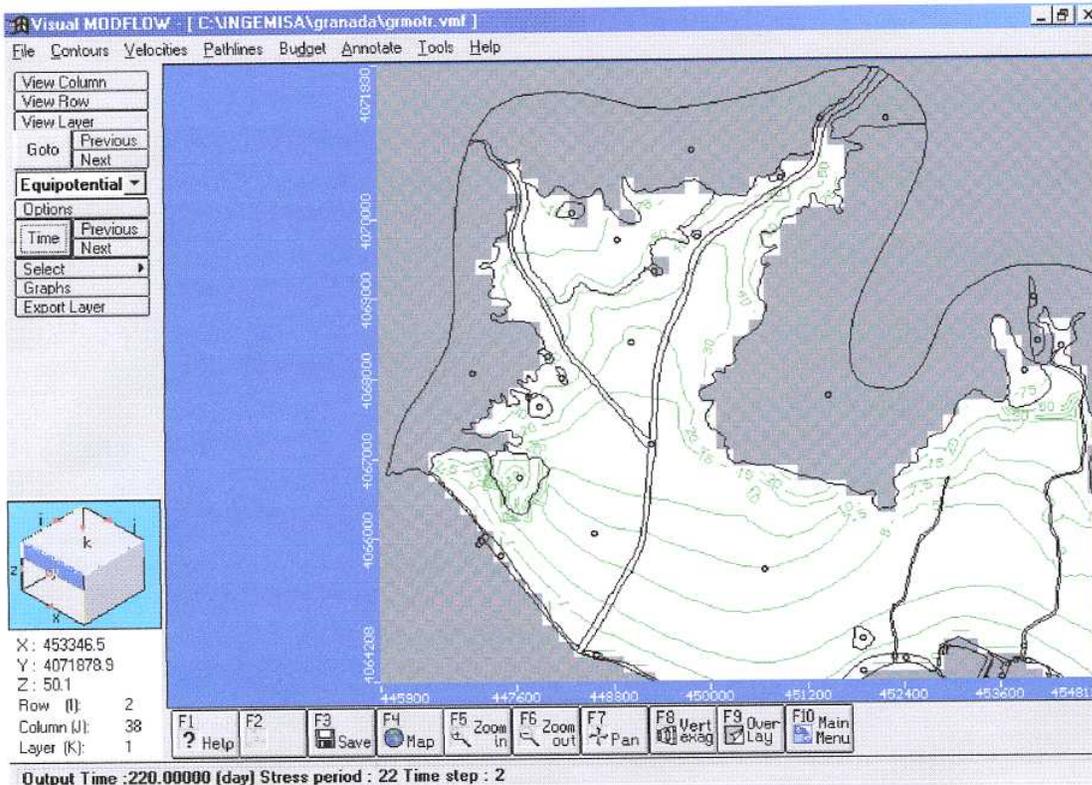


b.2. Piezometría de simulación: Hipótesis I. Invierno

Figura F37. Simulación Hipótesis I: Contraste entre piezometría resultante y de referencia (continuación)

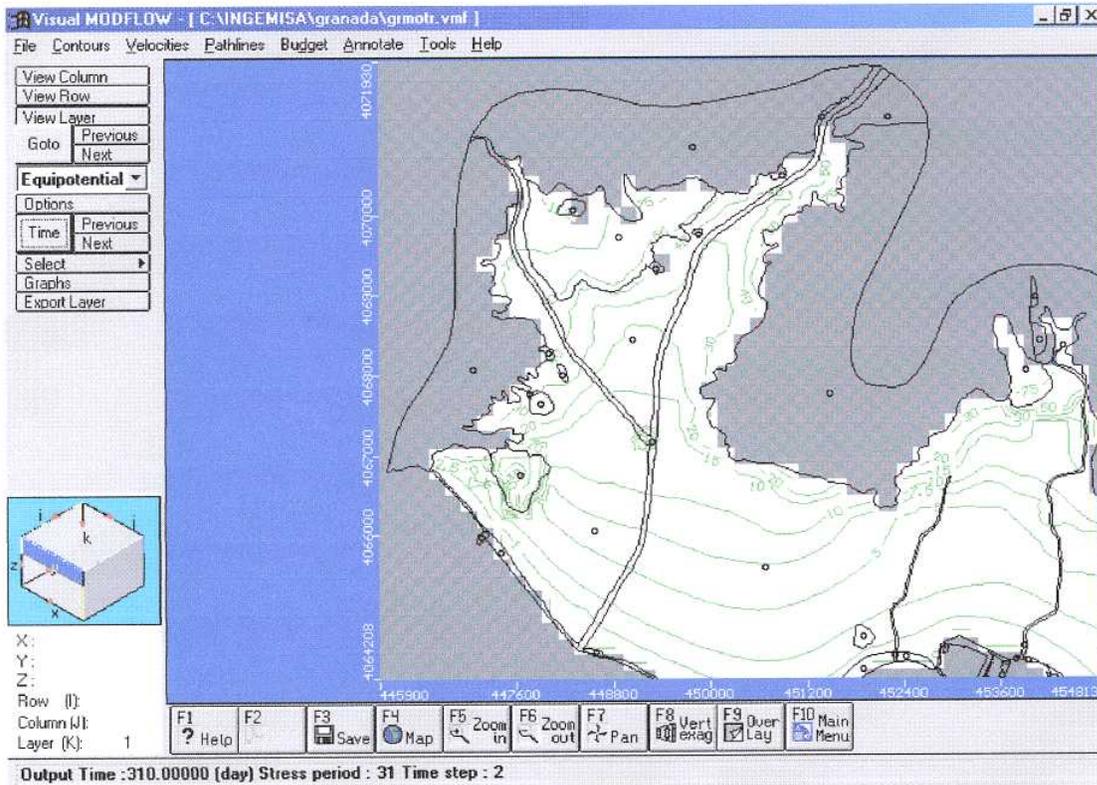


c.1. Piezometría de referencia: Año Medio. Primavera

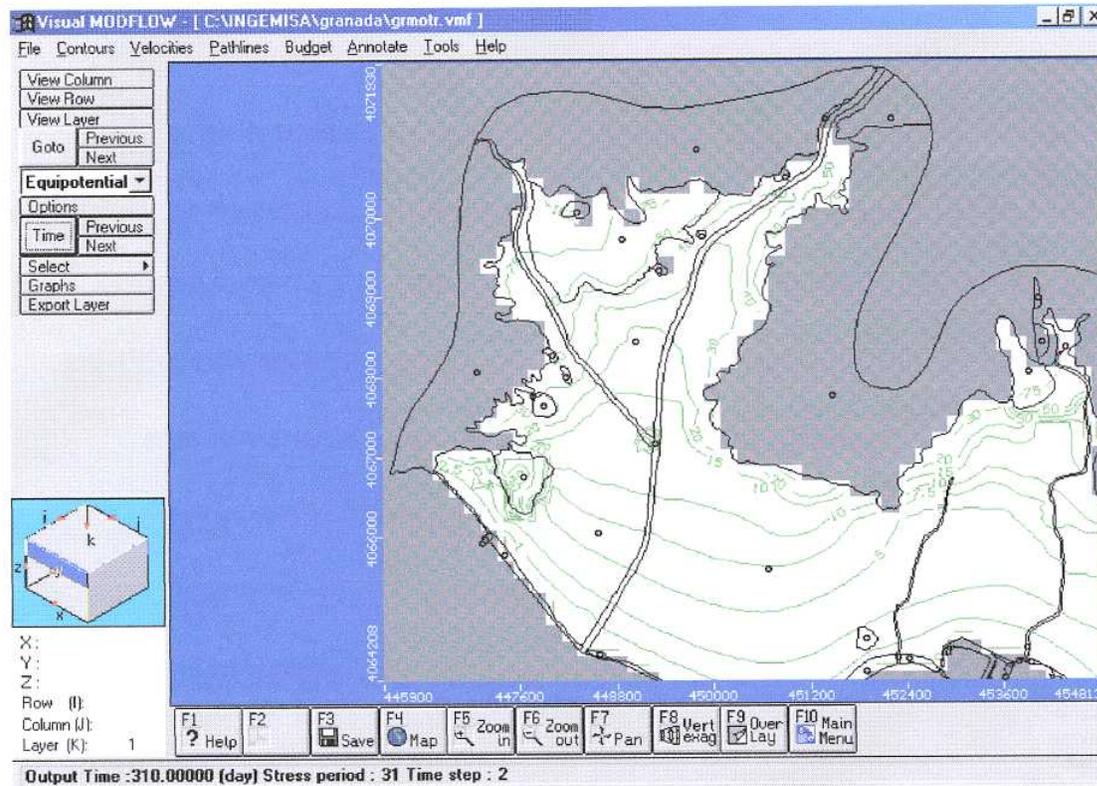


c.2. Piezometría de simulación: Hipótesis I. Primavera

Figura F37. Simulación Hipótesis I: Contraste entre piezometría resultante y de referencia (continuación)



d.1. Piezometría de referencia: Año Medio. Verano



d.2. Piezometría de simulación: Hipótesis I. Verano

Figura F37. Simulación Hipótesis I: Contraste entre piezometría resultante y de referencia (continuación)

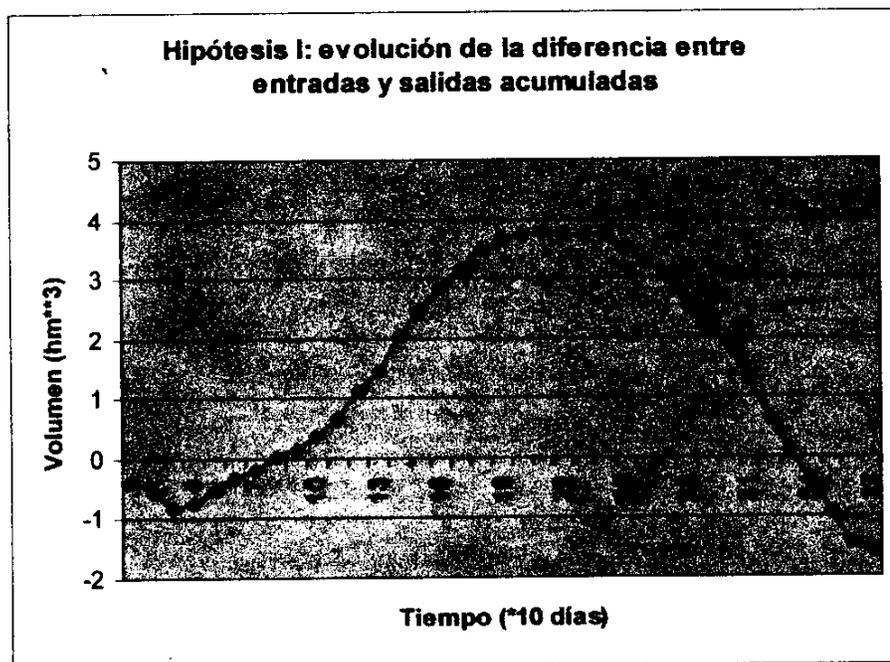
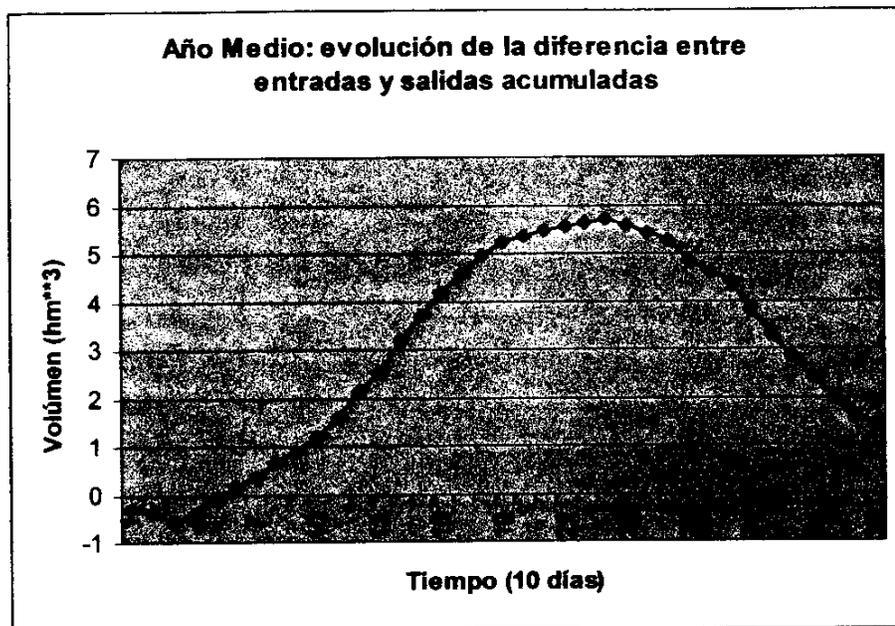


Figura F38. Diferencia entre entradas y salidas acumuladas: Año Medio e Hipótesis I

No obstante lo expuesto en el párrafo anterior, se considera que cabe otra interpretación plausible de este desfase entre entradas y salidas del sistema. La diferencia entre los desfases de las entradas y salidas obtenidas para el año medio, $1.436 \text{ hm}^3/\text{año}$, y para la Hipótesis I, $-1.564 \text{ hm}^3/\text{año}$, se corresponde con el valor de la entrada por el aluvial del Guadalfeo, $3 \text{ hm}^3/\text{año}$. El Balance pone en evidencia que las salidas (descarga al mar, manantiales y ríos) y el incremento de la entrada a partir de los ríos por inversión del gradiente, sólo acusan la nueva situación de forma muy leve en algún caso y, prácticamente, despreciable en otros. Ante ello se ofrece la siguiente interpretación:

La situación correspondiente al año medio, si bien transitoria a lo largo del año, se la puede considerar idealmente como estacionaria para un ciclo histórico. La anulación de la entrada genera una situación, que en un marco más amplio que el anual, se puede considerar de transición hacia una nueva situación media anual estacionaria, acorde a la entrada eliminada. Este período transitorio debido a la inercia propia de este sistema hidrogeológico tendrá una duración mayor a un año. La representación de la Hipótesis I se ha simulado durante un año, el que correspondería al primero de dicho período. Por otro lado, el año simulado es bastante "particular", pues las restantes entradas mantienen sus valores medios. Las salidas del sistema mantienen, prácticamente, las "antiguas" magnitudes medias mediante la explotación de los recursos almacenados. La nueva situación media anual implicará, probablemente, un ligero abatimiento de la piezometría y con ello del volumen almacenado, una reducción de las salidas (mar, ríos y manantiales), en particular de la descarga al mar, y un ligero incremento de la recarga proveniente del río Guadalfeo. El incremento de esta recarga implicará que la reducción en las descargas probablemente sea algo menor al volumen de la entrada anulada. Asimismo, también es probable que la nueva situación no vaya a propiciar un incremento apreciable de la intrusión marina, dada las características del sistema.

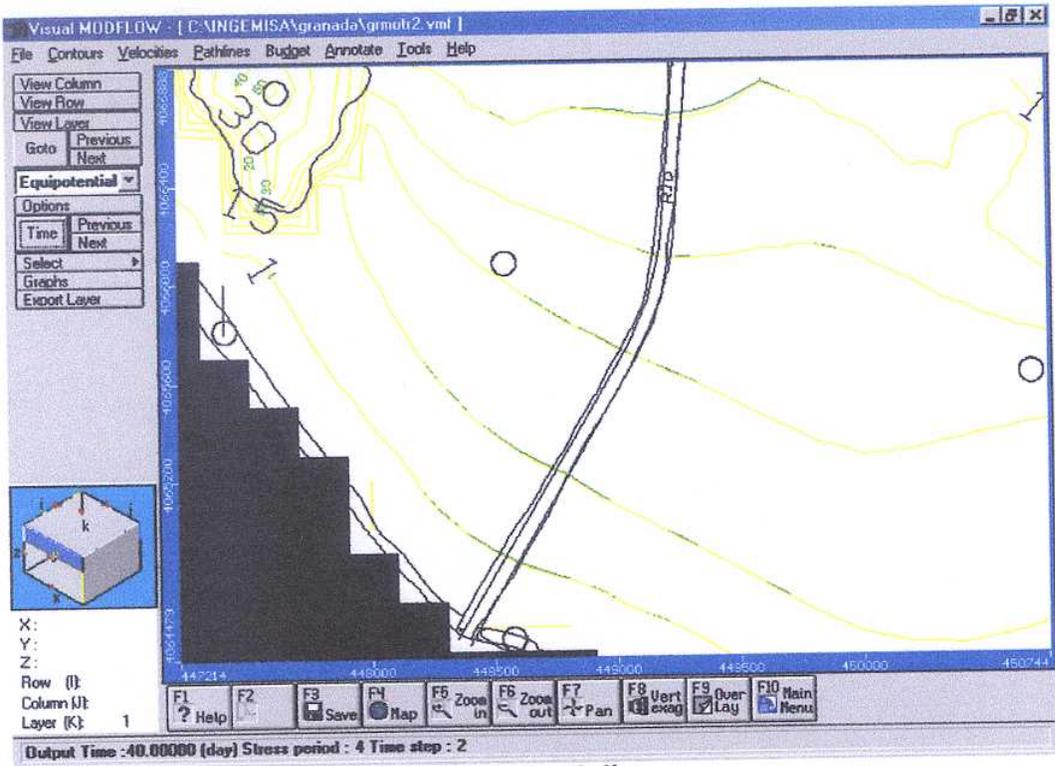
4.4. HIPÓTESIS II

La representación de la circulación del caudal ecológico por el río Guadalfeo, para que cumpla la condición (5), ver Sección 4.2, se realiza imponiendo una carga hidráulica al río Guadalfeo de 39 cm. Esta es 11 cm menor a la definida para representar la situación media del río. Esta hipótesis incluye el mantener anulada la entrada por el aluvial del río Guadalfeo (Hipótesis I).

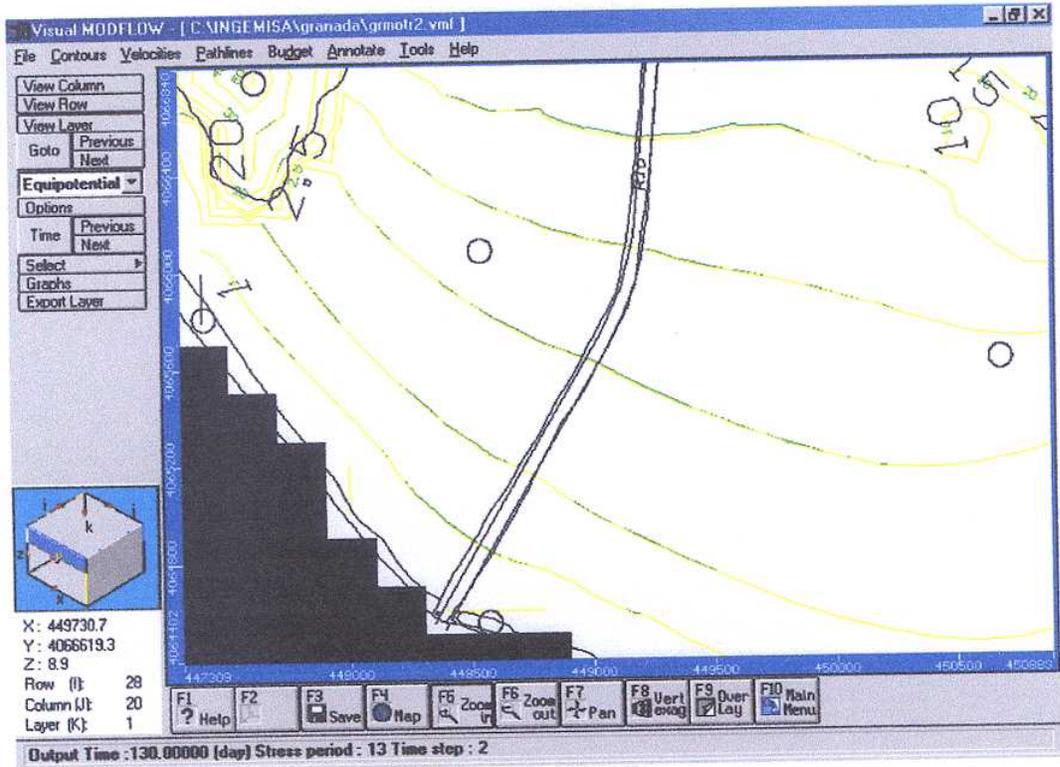
La piezometría resultante de la simulación de la Hipótesis II sí ofrece alguna diferencia respecto a la obtenida en la calibración. Esta diferencia se sitúa en las inmediaciones del cauce del Guadalfeo, en particular desde la confluencia de la rambla de Molvizar hacia aguas abajo, y es resultado directo del rasgo que caracteriza a esta hipótesis: el caudal que circula por el río es el ecológico. Este caudal de diseño es menor al medio anual, que fue el utilizado en la calibración y en la Hipótesis I. No obstante, este abatimiento en la piezometría no es notorio y se encuentra localizado estrictamente en la zona indicada, ver Figura F39. No se espera que esta depresión se desarrolle a un marco más amplio del sistema, ni que cobre una mayor relevancia a un orden centimétrico, habida cuenta que la disminución de la carga hidráulica del río sólo se reduce en 11 cm.

El Balance Hídrico resultante se expone en la Tabla T21. El contraste entre estos resultados expuestos y los obtenidos en la calibración (Tabla T20) permite apreciar los siguientes efectos de la hipótesis simulada:

- Las entradas, 30.378 hm³/año, sufren una disminución del 15% respecto a la situación media del sistema, 35.822 hm³/año. Ello es debido, exclusivamente, a haber sido anulada la entrada por el aluvial del Guadalfeo y a haber disminuido la recarga procedente del río Guadalfeo, a causa del menor caudal circulante (condición, 5, Sección 4.2). No se detecta en el balance ninguna otra variación en las entradas al sistema, como sería el incremento de las entradas por casos aislados de intrusión o, desde otros cursos de la red hidrográfica, por abatimiento de los niveles en el acuífero.



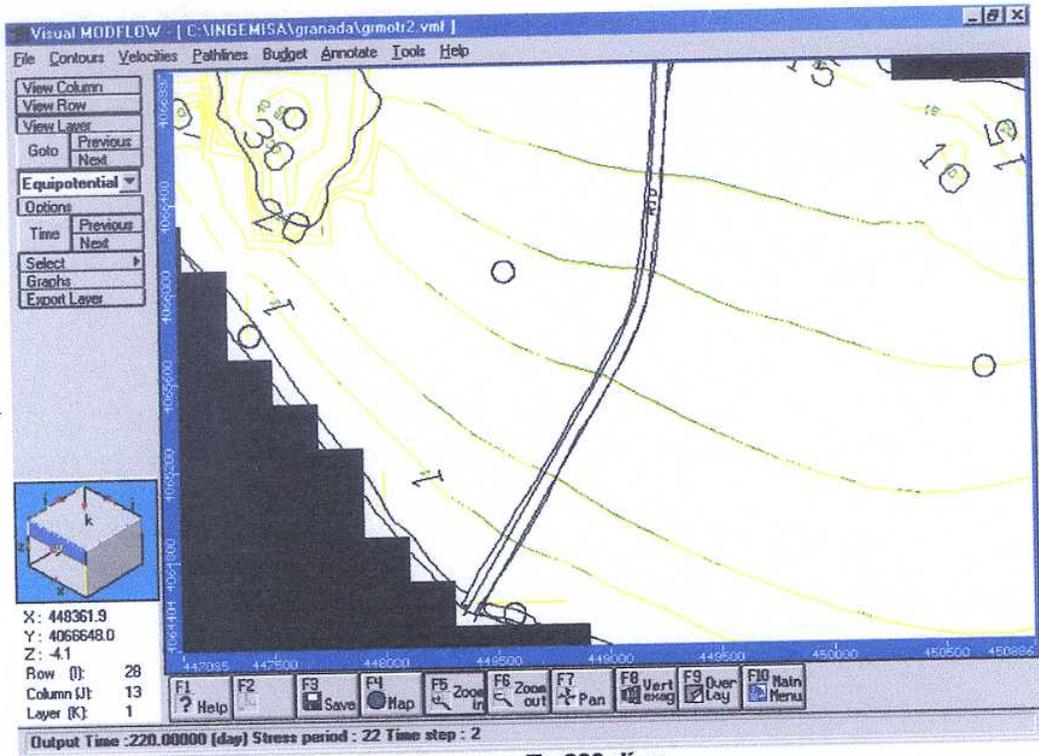
a. Otoño, T= 40 días



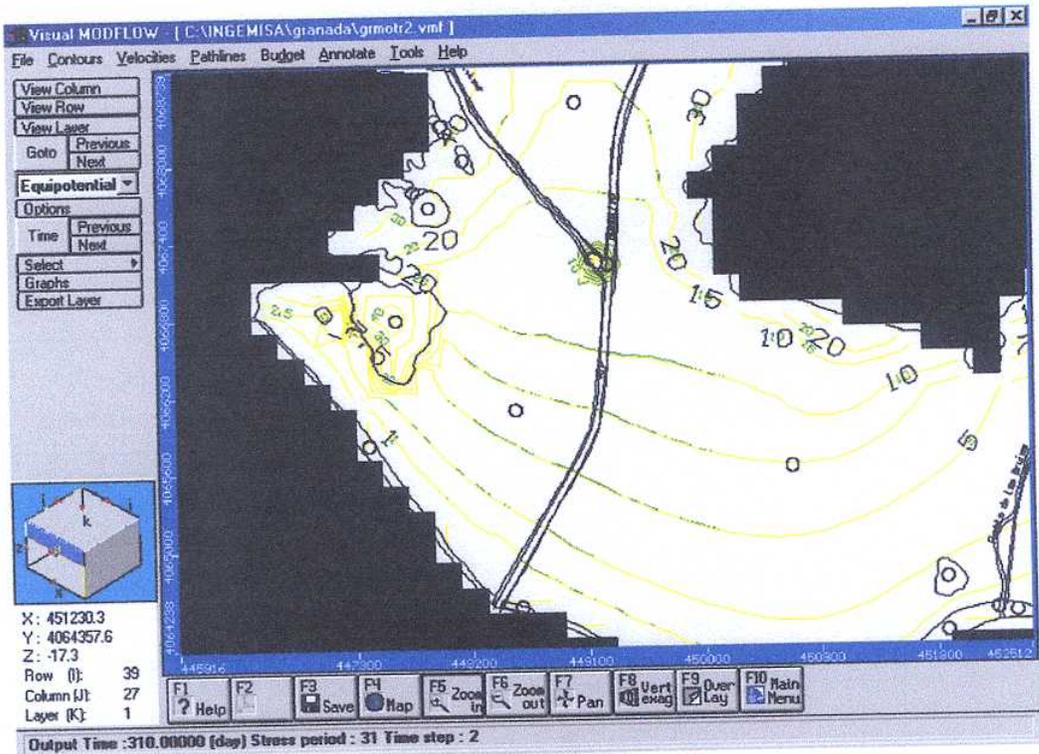
b. Invierno, T= 130 días

Obs.: trazo amarillo piezometría de referencia, Año Medio
trazo verde piezometría resultante, Hipótesis II

Figura F39. Simulación Hipótesis II: Contraste entre piezometría resultante y de referencia



C. Primavera, T= 220 días



d. Verano, T= 310 días

Obs.: trazo amarillo piezometría de referencia, Año Medio
trazo verde piezometría resultante, Hipótesis II

Figura F39. Simulación Hipótesis II: Contraste entre piezometría resultante y de referencia (continuación)

Tiempo [día]	ENTRADAS (hm ³)						SALIDA (hm ³)				E-S (hm ³)	
	Descarga Escalate	Alub. Ría. Molvizar	Intrusión Marina	Infiltra. Ilu+ret agr	Ríos	TOTAL	Manant.	Desc. mar	Bombos	Ríos		TOTAL
10	1.086E-01	1.370E-02	0.000E+00	2.785E-01	2.522E-01	6.541E-01	4.849E-02	4.510E-01	5.846E-01	7.760E-03	1.092E+00	-4.378E-01
20	2.192E-01	2.740E-02	0.000E+00	7.586E-01	5.043E-01	1.506E+00	9.883E-02	9.016E-01	1.169E+00	1.530E-02	2.185E+00	-6.784E-01
30	3.288E-01	4.110E-02	0.000E+00	1.177E+00	7.582E-01	2.243E+00	1.492E-01	1.352E+00	1.754E+00	2.288E-02	3.277E+00	-1.035E+00
40	4.384E-01	5.480E-02	0.000E+00	1.584E+00	1.008E+00	3.085E+00	1.998E-01	1.805E+00	2.060E+00	3.066E-02	4.096E+00	-1.010E+00
50	5.480E-01	6.850E-02	0.000E+00	2.181E+00	1.259E+00	4.057E+00	2.500E-01	2.263E+00	2.367E+00	3.880E-02	4.919E+00	-8.616E-01
60	6.576E-01	8.219E-02	0.000E+00	2.763E+00	1.510E+00	5.004E+00	3.004E-01	2.723E+00	2.673E+00	4.723E-02	5.743E+00	-7.397E-01
70	7.671E-01	9.598E-02	0.000E+00	3.254E+00	1.761E+00	5.878E+00	3.507E-01	3.182E+00	2.983E+00	5.601E-02	6.571E+00	-6.933E-01
80	8.767E-01	1.096E-01	0.000E+00	3.862E+00	2.012E+00	6.961E+00	4.012E-01	3.644E+00	3.293E+00	6.528E-02	7.403E+00	-5.424E-01
90	9.863E-01	1.233E-01	0.000E+00	4.391E+00	2.263E+00	7.784E+00	4.516E-01	4.108E+00	3.603E+00	7.498E-02	8.237E+00	-4.733E-01
100	1.086E+00	1.370E-01	3.653E-10	4.914E+00	2.514E+00	8.661E+00	5.020E-01	4.573E+00	3.825E+00	8.506E-02	8.965E+00	-3.246E-01
110	1.206E+00	1.507E-01	8.969E-09	5.518E+00	2.764E+00	9.636E+00	5.524E-01	5.041E+00	4.047E+00	9.571E-02	9.736E+00	-9.990E-02
120	1.315E+00	1.644E-01	3.514E-08	6.318E+00	3.014E+00	1.081E+01	6.027E-01	5.513E+00	4.270E+00	1.070E-01	1.049E+01	3.173E-01
130	1.425E+00	1.781E-01	9.788E-08	6.908E+00	3.264E+00	1.177E+01	6.531E-01	5.987E+00	4.470E+00	1.187E-01	1.123E+01	5.442E-01
140	1.534E+00	1.918E-01	2.131E-07	7.812E+00	3.513E+00	1.305E+01	7.035E-01	6.465E+00	4.670E+00	1.311E-01	1.197E+01	1.082E+00
150	1.644E+00	2.055E-01	3.813E-07	8.538E+00	3.761E+00	1.415E+01	7.538E-01	6.945E+00	4.870E+00	1.438E-01	1.271E+01	1.437E+00
160	1.753E+00	2.192E-01	6.012E-07	9.272E+00	4.010E+00	1.525E+01	8.042E-01	7.425E+00	5.104E+00	1.570E-01	1.349E+01	1.764E+00
170	1.863E+00	2.329E-01	8.717E-07	9.929E+00	4.258E+00	1.628E+01	8.546E-01	7.906E+00	5.339E+00	1.704E-01	1.427E+01	2.013E+00
180	1.973E+00	2.466E-01	1.192E-06	1.058E+01	4.508E+00	1.731E+01	9.050E-01	8.385E+00	5.573E+00	1.841E-01	1.505E+01	2.257E+00
190	2.082E+00	2.603E-01	1.565E-06	1.110E+01	4.753E+00	1.820E+01	9.563E-01	8.863E+00	5.805E+00	1.978E-01	1.582E+01	2.376E+00
200	2.192E+00	2.740E-01	1.991E-06	1.148E+01	5.001E+00	1.895E+01	1.006E-01	9.334E+00	6.036E+00	2.112E-01	1.659E+01	2.363E+00
210	2.301E+00	2.877E-01	2.470E-06	1.183E+01	5.249E+00	1.967E+01	1.056E-01	9.801E+00	6.267E+00	2.243E-01	1.735E+01	2.322E+00
220	2.411E+00	3.014E-01	2.990E-06	1.220E+01	5.488E+00	2.041E+01	1.106E-01	1.027E+01	6.589E+00	2.372E-01	1.818E+01	2.237E+00
230	2.521E+00	3.151E-01	3.577E-06	1.259E+01	5.748E+00	2.117E+01	1.157E-01	1.073E+01	6.871E+00	2.498E-01	1.900E+01	2.170E+00
240	2.630E+00	3.288E-01	4.203E-06	1.297E+01	5.995E+00	2.192E+01	1.207E-01	1.118E+01	7.174E+00	2.622E-01	1.983E+01	2.085E+00
250	2.740E+00	3.425E-01	4.892E-06	1.327E+01	6.243E+00	2.259E+01	1.258E-01	1.163E+01	7.603E+00	2.743E-01	2.077E+01	1.825E+00
260	2.849E+00	3.562E-01	5.649E-06	1.354E+01	6.492E+00	2.324E+01	1.308E-01	1.208E+01	8.033E+00	2.861E-01	2.171E+01	1.532E+00
270	2.959E+00	3.699E-01	6.472E-06	1.381E+01	6.742E+00	2.388E+01	1.358E-01	1.253E+01	8.463E+00	2.978E-01	2.265E+01	1.228E+00
280	3.069E+00	3.836E-01	7.314E-06	1.403E+01	6.992E+00	2.447E+01	1.408E-01	1.297E+01	9.139E+00	3.092E-01	2.363E+01	6.456E-01
290	3.178E+00	3.973E-01	8.162E-06	1.446E+01	7.242E+00	2.528E+01	1.459E-01	1.342E+01	9.814E+00	3.209E-01	2.501E+01	2.699E-01
300	3.288E+00	4.110E-01	9.014E-06	1.491E+01	7.492E+00	2.610E+01	1.509E-01	1.387E+01	1.049E+01	3.330E-01	2.620E+01	-1.014E-01
310	3.397E+00	4.247E-01	9.869E-06	1.516E+01	7.743E+00	2.672E+01	1.560E-01	1.432E+01	1.131E+01	3.452E-01	2.754E+01	-8.133E-01
320	3.507E+00	4.384E-01	1.073E-05	1.543E+01	7.993E+00	2.737E+01	1.610E+00	1.478E+01	1.214E+01	3.574E-01	2.887E+01	-1.497E+00
330	3.617E+00	4.521E-01	1.159E-05	1.579E+01	8.243E+00	2.810E+01	1.660E+00	1.521E+01	1.298E+01	3.698E-01	3.021E+01	-2.109E+00
340	3.726E+00	4.658E-01	1.250E-05	1.604E+01	8.494E+00	2.873E+01	1.711E+00	1.566E+01	1.367E+01	3.823E-01	3.142E+01	-2.695E+00
350	3.836E+00	4.795E-01	1.348E-05	1.631E+01	8.744E+00	2.937E+01	1.761E+00	1.611E+01	1.437E+01	3.948E-01	3.264E+01	-3.274E+00
360	3.945E+00	4.932E-01	1.447E-05	1.657E+01	8.995E+00	3.000E+01	1.811E+00	1.656E+01	1.507E+01	4.072E-01	3.385E+01	-3.854E+00
365	4.000E+00	5.000E-01	1.500E-05	1.676E+01	9.119E+00	3.038E+01	1.837E+00	1.679E+01	1.537E+01	4.135E-01	3.441E+01	-4.028E+00

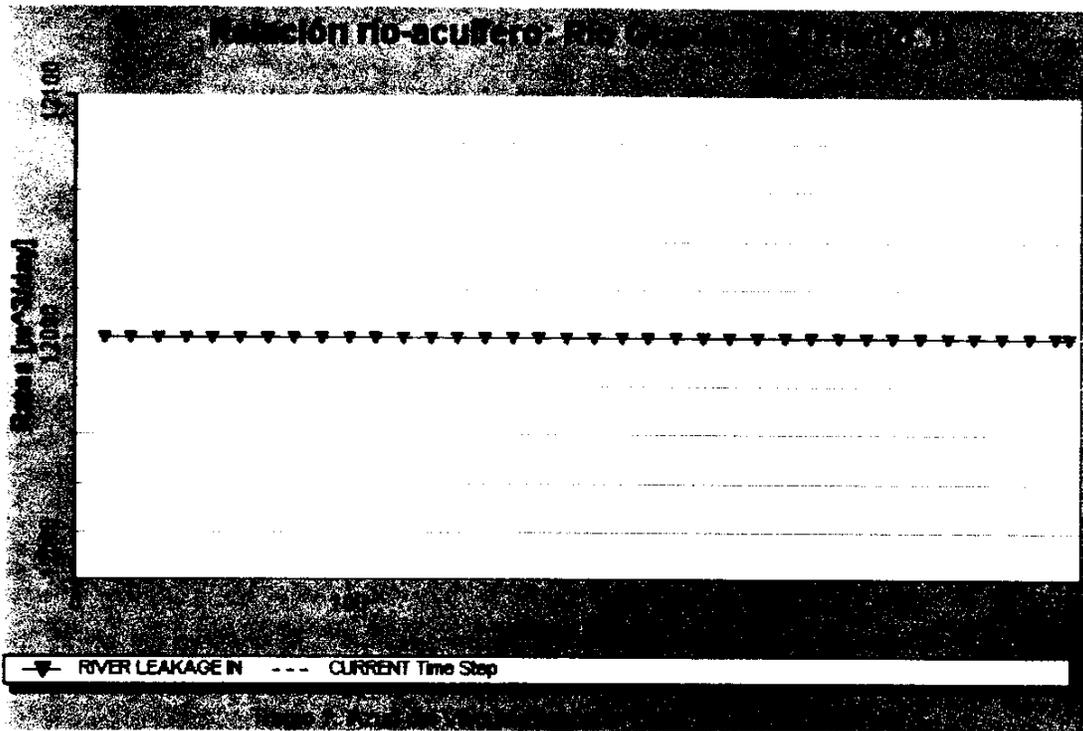
Tabla T21. Hipótesis II - Balance Hídrico: evolución temporal de sus componentes.

- La disminución, respecto a la situación media calibrada, de la recarga procedente del río Guadalfeo para los distintos tramos en los que se evaluó la misma (Figura F25) se indica en la Tabla T22 y su evolución temporal en la Figura F40. La recarga mayoritaria se sigue produciendo en los dos tramos superiores, sin embargo no debe perderse de vista que las mismas son inducidas por los bombeos realizados en las márgenes y que en ellas también se representan las explotaciones del subálveo del río.

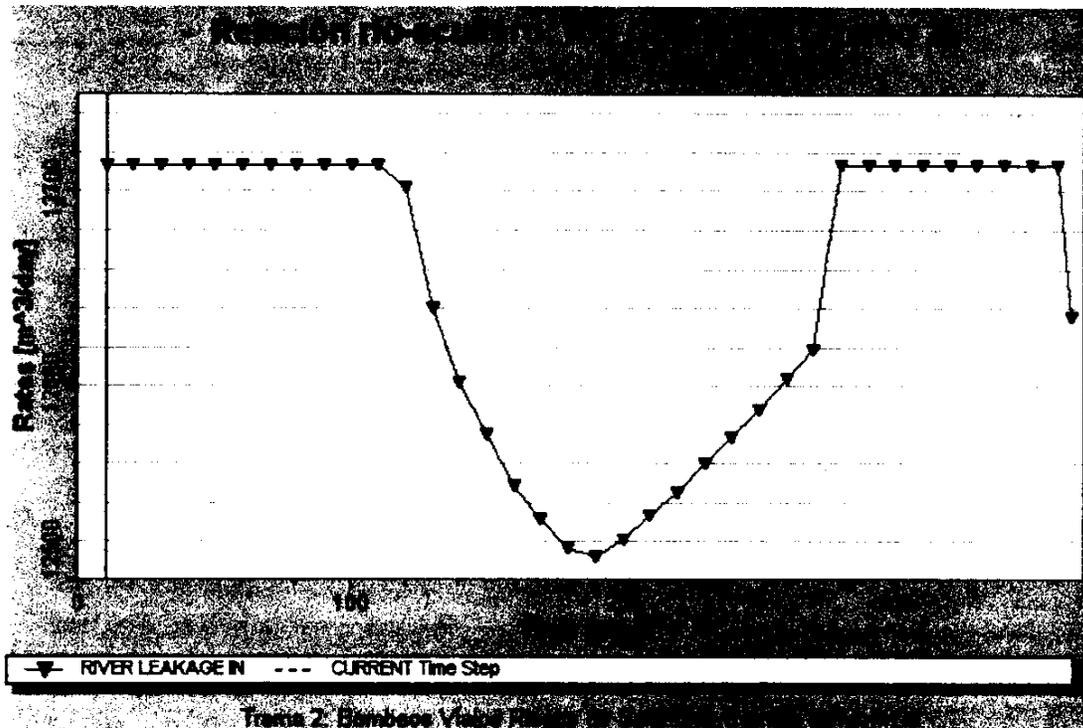
TRAMO	Recarga (hm ³ /año)		Disminución (%)
	Año Medio	Hipótesis II	
Azud del Vínculo-Bombeos Viejos Riegos de Salobrefña	5.658	4.413	22.0
Bombeos Viejos Riegos de Salobrefña-Afluencia de Rambla de Molvizar	5.804	4.612	20.5
Afluencia de Rambla de Molvizar-Desembocadura al mar	0.040	0.030	25.0

Tabla T22. Recarga procedente del río Guadalfeo

- Las salidas globales del sistema, 34.406 hm³/año, en un aparente contrasentido, se ven ligeramente incrementadas respecto a las del año medio. Este aumento se debe al incremento que sufren las descargas al río Guadalfeo, de magnitud levemente superior en términos absolutos a la disminución que se da en otras salidas. La variación de las descargas posee las siguientes características:
- Las salidas al mar se reducen en 0.011 hm³/año respecto al año medio. Ello representa una disminución despreciable con relación a la magnitud de esta

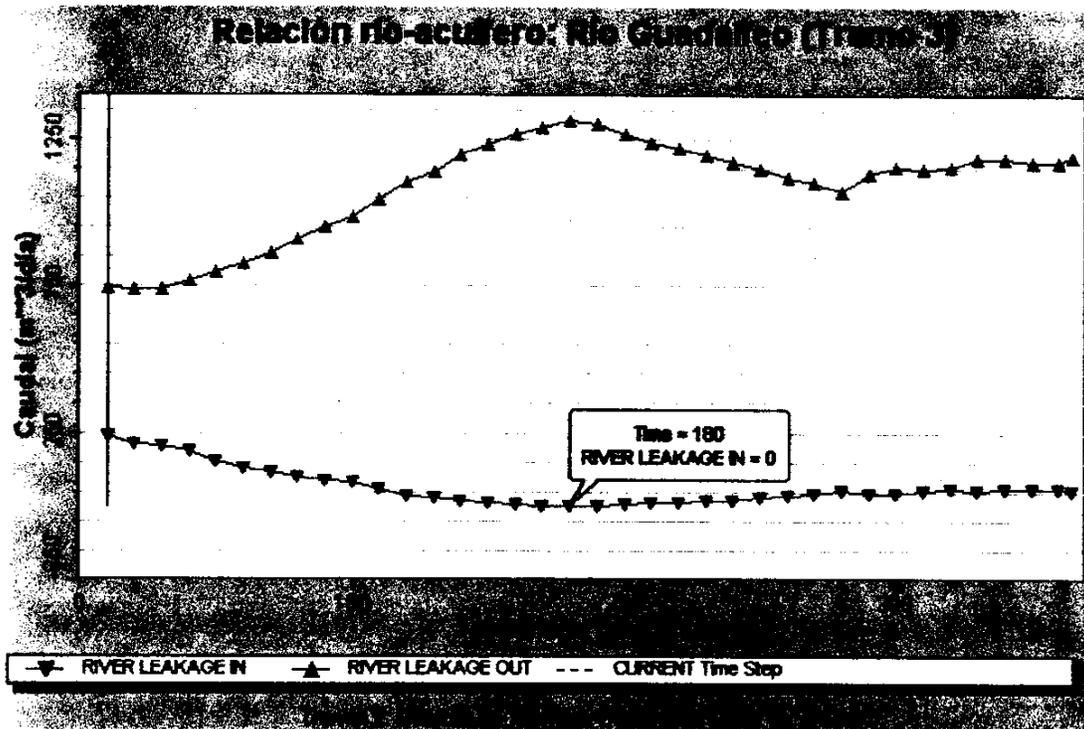


a.

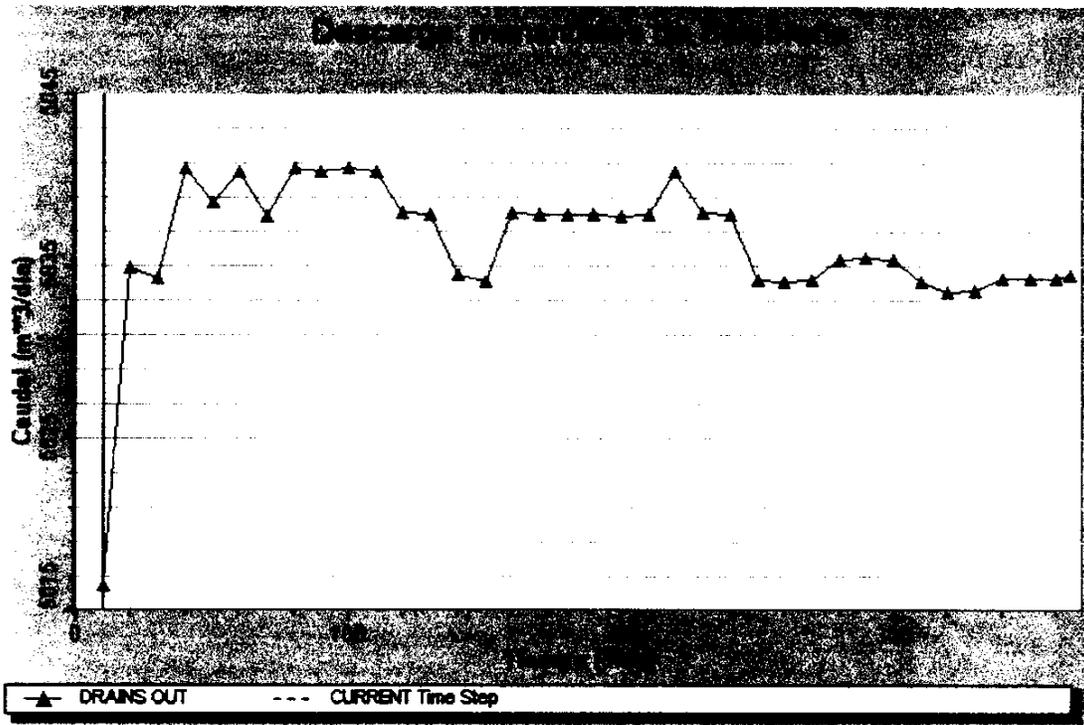


b.

Figura F40. Simulación Hipótesis II: Variación en la relación acuífero-aguas superficiales.



c.



d.

Figura F40. Simulación Hipótesis II: Variación en la relación acuífero-aguas superficiales. (continuación)

descarga, su evolución temporal es similar a la acaecida para la situación media del sistema.

Las descargas de los manantiales de Salobreña sufren una disminución cuantitativamente irrelevante respecto al año medio, $2.51 \times 10^{-3} \text{ hm}^3/\text{año}$. No obstante, su evolución temporal sí acusa una modificación apreciable respecto a la situación media, ver Figura F40.

La descarga a la red hidrográfica, $0.414 \text{ hm}^3/\text{año}$, es mayor a la que se produce en el año medio. El incremento es del 8% y se debe a la disminución de la carga hidráulica del río Guadalfeo, lo cual genera un aumento del gradiente hidráulico en la descarga del acuífero al río. Así, este incremento se concentra exclusivamente en el tramo bajo del Guadalfeo, ver Figura 40. Las descargas en las ramblas de Las Brujas y Los Alamos son iguales que las acaecidas en el año medio.

En principio existe un contrasentido en que la disminución, de un orden del 15%, en las entradas al sistema, que implica la Hipótesis II, no se refleje en una correlativa disminución en las salidas del mismo, sino que por el contrario estas acusen un muy ligero aumento de 0.5 ‰ . La explicación de este aparente contrasentido es la misma que se expuso en la Hipótesis I (ver Sección 4.3): el año simulado es el primero de un período de transición a una nueva situación de equilibrio que responda a la disminución del caudal circulante por el río y a la disminución de las entradas por el aluvial del mismo (Hipótesis II).

En este primer año del período de transición simulado, las salidas al mar y por manantiales mantienen el mismo orden que en la situación histórica media debido a la explotación de los recursos almacenados y, la descarga al río Guadalfeo, se ve incrementada por el aumento del gradiente hidráulico que suscita la disminución de la carga hidráulica del río. Sin embargo, la evolución lógica a seguir por las salidas al mar y por manantiales es que las mismas disminuyan acorde al decrecimiento en las entradas y, respecto a la descarga al Guadalfeo, es que la disminución en la carga hidráulica del río se ve acompañada de un ligero abatimiento en la piezometría, con lo cual el gradiente hidráulico de la descarga, si bien mayor al de la

situación media, será menor al de la simulación y con ello las descargas disminuirán respecto a las comentadas (Tabla T21). Por otro lado, es probable que la nueva situación no vaya a propiciar un incremento apreciable de la intrusión marina.

A diferencia de lo acaecido en la simulación de Hipótesis 1, en esta simulación, todos los elementos del Balance Hídrico que presentan una variación respecto a la situación media, acusan la diferencia desde el primer tiempo de cálculo, $t=10$ días. Ver Tablas 20 y 21.

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Esta Sección se encuentra dividida en tres apartados. Los dos primeros resumen los trabajos de síntesis de la información del sistema y las labores específicas de modelización: calibración, análisis de sensibilidad y simulaciones. El último apartado recoge las conclusiones alcanzadas, la valoración sobre las mismas y las propuestas que se consideran se desprenden de este trabajo.

5.1. ESTUDIO DE SÍNTESIS

El presente estudio presenta en su primer etapa un trabajo de revisión, síntesis e integración de gran valor. En este sentido cabe destacar los de siguientes aspectos de las materias abordadas:

Parámetros hidrogeológicos

Se revisaron los datos de los trabajos precedentes. Se prestó particular atención a los obtenidos en ensayos de campo. Se analizaron tendencias espaciales. Estos parámetros quedaron sujetos a calibración.

Piezometría

Se analizó, depuró y estructuró la información existente en el ITGE y la CHSE. Se seleccionaron inicialmente 194 pozos que comprendían 1996 datos. La primera medición es de Abril de 1970 y las últimas de Noviembre de 1998. En una segunda selección se eligieron 184 pozos con 1609 datos. Estos permitieron definir cuatro piezometrías medias estacionales para un año medio y, en una última selección, definir los 48 pozos y 174 datos de nivel sobre los que se sostendría la calibración. Los 174 datos se corresponden a medias estacionales. Exceptuando la selección de los primeros 194 pozos, las restantes tareas de depuración, selección y estructuración se realizaron con el programa GMPZSEOR.FOR, desarrollado por Ingemisa en Visual FORTRAN expresamente para este estudio.

Balances Hídricos

Se revisaron los balances realizados en anteriores estudios. Se prestó especial atención a analizar los componentes del balance que se identificaron en cada uno de los trabajos precedentes. Respecto a los componentes comunes se procuró determinar el rango de variación y evolución histórica, si existía, que presentaba su evaluación.

Recarga por infiltración

Se evaluó la infiltración procedente de la lluvia y del retomo de regadío. En esta tarea se empleó el programa Visual BALAN v.1 desarrollado por la ULC y que permite definir la infiltración mediante la calibración automática de un modelo de recarga. Este programa ofrece un amplio menú para el cálculo de los distintos componentes del balance. En este estudio se definieron 8 modelos sintéticos de recarga, uno por cada zona identificada. Este programa es actualmente la herramienta más moderna en España para el cálculo de recarga.

Las 8 zonas de recarga se definieron a partir de la identificación de las zonas de influencia de las estaciones termopluviométricas de Salobrefña y Motril y de las correspondientes a los usos del suelo que se consideraron hídricamente relevantes: usos agrícolas (caña de azúcar, cultivos subtropicales y huerta) y otros usos.

Se realizó un tratamiento estadístico (correlación, relleno de series y definición de año medio) para las series termopluviométricas del período 01/01/1982-31/12/1998.

Se realizó un estudio exhaustivo de la actividad agrícola en la zona. Identificándose los principales cultivos y las prácticas agrícolas asociadas. Se prestó atención a la evolución histórica de las áreas dedicadas a los mismos, en particular en los últimos 30 años. Se analizaron las dotaciones aplicadas en cada caso, el origen de los recursos y las prognosis de desarrollo.

El valor anual de recarga definida en cada una de las zonas fue uno de los parámetros calibrados en el modelo, la evolución anual de la misma se mantuvo inalterada durante la calibración.

Red hidrográfica. Manantiales

No existen estudios de campo de los distintos cursos de la red hidrográfica, a excepción del Guadalfeo. En este río se adoptó como información de referencia respecto al caudal circulante la información de la CHSE sobre los caudales excedentes diarios del azud del Vínculo, período 1972-1998. Se analizaron con gran atención y se desestimaron por inconsistentes y contradictorios los datos resultantes de las 10 campañas de aforos diferenciales en 5 tramos del río, período 1985-1988.

Se revisaron las distintas evaluaciones realizadas sobre las descargas de los manantiales, tanto los situados en la costa como los del peñón de Salobreña.

La conexión hidráulica, C_R , río-acuífero fue uno de los parámetros calibrados en el modelo. Asimismo, se calibró el parámetro análogo que rige la descarga de los manantiales de Salobreña, los únicos representados en el modelo.

Entradas por el aluvial del río Guadalfeo

Se revisaron y analizaron las valoraciones que se hicieron de esta entrada en anteriores estudios. Se debe observar que en algunos trabajos previos no se consideró la existencia de esta entrada. En cuanto a las valoraciones que se efectuaron en otros, todas se caracterizaron por un mayor o menor grado de indefinición en la evaluación de la aportación. En la presente síntesis se realizó una valoración de esta entrada adoptando en la única sección del cauce del Guadalfeo claramente definida y situada inmediatamente aguas debajo del azud del Vínculo. Los parámetros adoptados para esta determinación son coherentes con el medio. El valor obtenido es sensiblemente menor, $3 \text{ hm}^3/\text{año}$, a los propuestos en los estudios que consideraban esta entrada, superiores a $15 \text{ hm}^3/\text{año}$. Este fue uno de los

parámetros calibrados en el modelo, el valor inicial que se le asignó fue de 15 hm³/año y el resultante fue 3 hm³/año.

Entrada por escorrentía superficial

Se revisaron las valoraciones realizadas en los estudios previos. El análisis de las mismas hizo que se desestimara representar en el modelo una recarga de borde originada por escorrentía superficial, a excepción de la que se produce en la cuenca de la rambla de Molvizar. Esta última se representó en el modelo como una entrada por el aluvial de la misma, fue un parámetro sujeto a calibración.

Descarga de la unidad de Escalate

Se analizaron las evaluaciones que se hicieron de esta entrada en los trabajos previos. Por otro lado, se contrastaron dichas valoraciones con la calculada por Ingemisa, en el estudio sobre esta unidad que desarrolla actualmente. La condición de contorno que se impuso al modelo adoptó un valor para la descarga anual que respondía a un criterio de plausibilidad acorde al rango de valores propuestos. Esta entrada se supuso constante a lo largo del año y estuvo sujeta a calibración.

Explotaciones por bombeo

El trabajo de síntesis en este tema se basó fundamentalmente en el análisis de los inventarios existentes y las campañas de encuestas realizadas en el marco de este estudio. Asimismo, incluyó una revisión de las evaluaciones hechas en trabajos anteriores. Se considera que el análisis y cuantificación de las explotaciones es la más exhaustiva y actual de las realizadas en el ámbito del acuífero. Los resultados se estructuraron para poder representar la explotación en un año medio. Esta, obviamente, si bien es una situación representativa, no responde a ninguna situación "real". Los bombeos representados no fueron calibrados. Sin embargo, la calibración permitió realizar una revisión crítica, acerca de la conveniencia de considerar ciertas explotaciones en un escenario representativo de una situación media histórica.

Descargas al mar

Se hizo una revisión de las evaluaciones realizadas en anteriores trabajo. Esta revisión contempló no sólo aspectos cuantitativos, en lo concerniente la valoración de la descarga, sino que incluyó un análisis atento sobre el funcionamiento del sistema de flujo en el sector costero: posibles fenómenos de intrusión, presencia de descargas superficiales difusas en la línea de costa, etc. Los resultados de las labores de revisión y análisis permitieron adoptar criterios de referencias para analizar los Balances Hídricos resultantes en el proceso de calibración. Ello lo convirtió en recurso de carácter conceptual para calibrar el modelo.

5.2. MODELACIÓN DEL SISTEMA HIDROGEOLÓGICO

El modelo elaborado representa al sistema hidrogeológico que conforman el acuífero de Motril-Salobreña, los piedemonte periféricos (Molvizar y El Puntalón, los más relevantes) y los afloramientos calizos (Peñón de Salobreña, el mayor).

5.2.1. Calibración del modelo

La calibración de los parámetros del modelo se basó en el Criterio de Mínimos Cuadrados aplicado a los residuos de nivel piezométrico, como criterio objetivo para la identificación de los parámetros del modelo, y, como criterios subjetivos, se procuró la coherencia de los valores de parámetros y del balance hídrico resultantes. Los resultados de la calibración se han presentado centrados en tres aspectos: parámetros, piezometría y balance hídrico.

Parámetros

Las **permeabilidades** y los **coeficientes de almacenamientos** resultantes de la calibración ofrecen zonificaciones del sistema más robustas y menos complejas que las propuestas inicialmente, como se muestra en Tablas T16 y T17, expuestas nuevamente. Ello se debe a que la sensibilidad de los datos piezométricos en los que se sustenta el modelo no permiten definir esquemas de mayor detalle, ni valoraciones de parámetros más matizadas. Las permeabilidades resultantes de la calibración se caracterizan por ser un orden de magnitud menor a las determinadas

en las pruebas de campo, ejecutadas en los correspondientes ámbitos del acuífero (zona alta y piedemontes y llanura costera). Una explicación de este hecho ya se señaló en la Sección 1.2: en general, los ensayos se ejecutaron en la vecindad de cursos de la red hidrográfica. Por ello las permeabilidades obtenidas pueden ser superiores a los valores medios del acuífero, debido a la mayor conductividad hidráulica de los materiales aluviales en la cercanía de los ríos y ramblas de la zona.

Zona *	k_x (m/s)	k_y (m/s)	K_z (m/s)
1: Piedemontes	5. E-4	5. E-4	5. E-4
2: Acuífero libre: Sector Oeste	1. E-4	1. E-4	1. E-8
3: Acuífero libre: Sector Este	1. E-4	1. E-4	1. E-8
4: Acuífero semiconfinado	1. E-4	1. E-4	1. E-8
5: Acuitardo	1. E-4	1. E-4	1. E-8
6: Afloramientos calizos	1. E-4	1. E-4	1. E-4

*: las zonas se corresponden con las definidas en las Figuras F7 a-c.

Tabla T16. Permeabilidades resultantes (repetición)

Zona*	S_s (1/m)	S_y
1: Piedemontes	0.4	0.15
2: Acuífero libre	0.4	0.2
3: Acuífero semiconfinado	0.25	0.01
4: Acuitardo	0.25	0.01
5: Afloramientos calizos	0.1	0.1

*: las zonas se corresponden con las definidas en la Figuras F8 a-c.

Tabla T17. Coeficientes de almacenamiento resultantes (repetición)

La **conexión hidráulica río acuífero**, C_R , sólo fue calibrada para el río Guadalfeo. Los valores resultantes fueron, aguas arriba de la confluencia de la Rambla de Molvizar, $C_R = 500 \text{ m}^2/\text{día}$; y aguas abajo de este punto, $C_R = 150 \text{ m}^2/\text{día}$. En el tramo de aguas arriba, en las celdas donde fue necesario representar la explotación del subálveo del río, mediante minas o pozos raney, o la recarga inducida propiciada por bombes en las márgenes C_R adoptó valores entre 2000 a 20000 $\text{m}^2/\text{día}$.

Las **entradas por el aluvial del río Guadalfeo**, debajo del Azud del Vínculo, se evaluaron en $3 \text{ hm}^3/\text{año}$, las del **aluvial de la Rambla de Molvizar** en $0.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ y la **descarga de la Unidad de Escalate** en $4.0 \text{ hm}^3/\text{año}$. La única de estas entradas con la que se intentó identificar su evolución estacional fue la correspondiente al aluvial del río Guadalfeo.

Las zonas de **recarga por infiltración** que vieron modificada su valoración respecto a la inicial, en el ámbito de influencia de la estación meteorológica de Salobrefña, fueron la zona de caña de azúcar, que disminuyó un 50%, y la zona de cultivos subtropicales, que se incrementó un 104%. En la zona de influencia de la estación meteorológica de Motril las zonas que se modificaron respecto a los valores iniciales fueron la correspondiente a la caña de azúcar, que disminuyó un 50%, la de cultivos subtropicales, que disminuyó un 58.8%, y la de huerta, que se incrementó en un 8%.

La calibración permitió reconceptualizar la representación media de los **bombes** del acuífero. Ello hizo que se quitarán algunos pozos cuyas explotaciones eran irrelevantes en términos cuantitativos y cualitativos y que no se podían considerar representativos de una situación media.

Piezometría

La piezometría muestra la influencia estabilizadora del río Guadalfeo. El acuífero presenta unos gradientes muy bajos y resulta muy estable en términos estacionales, la mayor parte del mismo se halla por debajo de la isopieza de 10 m. Se presenta un resalte notorio en las isopiezas en el contacto entre el acuífero y los piedemonte

orientales. En el sector Oriental es donde la evolución estacional se hace más notoria.

Los únicos indicios de explotaciones que se aprecian en la piezometría son dos conos de bombeos. El más importante se sitúa en la confluencia del río Guadalfeo y la Rambla de Molvizar. Está generado por los bombeos de la Papelera del Mediterráneo, el abastecimiento a Salobreña y diversos pozos agrícolas, se desarrolla durante el verano y alcanza un radio de influencia de 250m y una depresión de 10m, aproximadamente. El otro cono de bombeo es más somero pero más persistente en el tiempo, se sitúa al pie del Peñón de Salobreña en su cara Oeste. Se desarrolla al comenzar el invierno y alcanza un radio de influencia de 100 m y una profundidad de 3m.

Los residuos extremos se concentran en el sector Noroeste del modelo y están asociados a pozos de observación que son a su vez pozos de bombeos y/o se encuentran influenciados por condiciones de contorno potentes.

Balance Hídrico

Los recursos renovables medios anuales del sistema son 35 hm³, aproximadamente. Las entradas representadas, en orden de importancia, son:

- **La recarga por infiltración procedente del retorno de riego y de la lluvia** aporta casi un 48% de las entradas, **16.76 hm³/año**.
- **La recarga procedente de la red hidrográfica**, representa un 32% de las entradas del sistema, **11.564 hm³/año**. Se concentran, 11.46 hm³/año, en el tramo del río Guadalfeo que va desde el azud del Vínculo hasta el puente de la carretera nacional, aproximadamente, debido al efecto de recarga inducida que generan los fuertes bombeos en sus márgenes.
- **La entrada por descarga de la Unidad de Escalate** aporta el 11% de las entradas, **4 hm³/año**, y por los **aluviales del río Guadalfeo**, **3 hm³/año**, y la **rambla de Molvizar**, **0.5 hm³/año**, se registran el 8% y 1% restante, respectivamente.

Las salidas al sistema, en orden decreciente de magnitud, son:

- La **descarga al mar, 16.8 hm³/año**, representa casi 49% de las salidas.
- Los **bombeos, 15.37 hm³/año**, son la otra gran salida del sistema y representan el 45% de las mismas.
- Los **manantiales, 1.837 hm³/año**, representados al pie del peñón de Salobrefía concentran el 5% de las salidas del sistema. Su caudal a lo largo del año es muy constante, en torno a los 58 l/s.
- La **descarga a los cursos de agua superficiales, 0.381hm³/año**, es el 1% de las salidas y se concentra en los tramos bajos del: río Guadalfeo 0.365 hm³/año, concentra el 95% de este tipo de descarga y las ramblas de Las Brujas, 0.0183 hm³/año (5%),y Los Álamos con una descarga irrelevante.

5.2.2. Análisis de Sensibilidad

El modelo presenta una gran sensibilidad a las permeabilidades y coeficientes de almacenamiento representativos de la parte alta del acuífero y los piedemonte y de los niveles libres costeros. Asimismo, el modelo también resulta sensible a la influencia de las recargas por infiltración.

Sólo, las conexiones río-acuífero asociadas al río Guadalfeo presentan influencia sobre el acuífero. Su incidencia en el conjunto de las celdas del río sólo se manifiesta en el balance hídrico. Exclusivamente los definidos en celdas donde también se definieron pozos de bombeo, que son puntos de observación, influyen en la piezometría, como era de esperar.

La sensibilidad de la piezometría del modelo respecto a las entradas perimetrales varía desde nula, respecto al aluvial de Molvizar, a escasa, respecto a la descarga de Escalate y el aluvial del Guadalfeo. Esta última presenta una, relativa, mayor incidencia debido al pozo 1944-4-0021, que se encuentra vecino a la celda en la que definió esta condición.

La sensibilidad puntos de observación piezométricos respecto a los parámetros se encuentra mediatizada por las características de dichos puntos:

- La mayor parte de los mismos se distribuyen relativamente homogéneos en la llanura costera, con una mayor presencia en su mitad Occidental. Los niveles piezométricos que registran son menores a 10 m y la mayoría a 5 m. En general, son pozos someros y ninguno supera la base del nivel libre del acuífero. No existen registros del acuitardo, ni del nivel semiconfinado.
- Un 20 % de los pozos se sitúan en la parte alta del acuífero. La casi totalidad de los mismos se hallan cercanos al río Guadalfeo y muchos coinciden o se hallan influenciados por bombeos. Los niveles que registran varían entre los 20 m y los 40 m.
- No existen pozos que registren niveles en el acuitardo, el nivel semiconfinado y en los piedemonte de la mitad Oriental del Modelo.

5.2.3. Simulaciones

Se simularon las dos hipótesis que se comentan a continuación:

- **Hipótesis I.** En la misma se elimina la entrada por el aluvial del río Guadalfeo. La simulación se realiza durante un año manteniendo las restantes condiciones a su situación en un año medio. Los resultados corresponden al primer año de una situación interanual de transición a un nuevo estado equilibrio, acorde con la nueva condición impuesta. No existe, en este primer año una evolución perceptible de la piezometría y se observa una muy ligera disminución de las descargas al mar y a la red hidrográfica. La perspectiva es que la disminución final de la piezometría no sea de importancia y que la disminución de las salidas absorba la entrada anulada. La repercusión en la disminución de las salidas a ríos y manantiales será menor, por no ser estas cuantitativamente significativas. No se prevee que se produzca intrusión marina, bajo las condiciones de la Hipótesis I.

- **Hipótesis II.** Es igual a la Hipótesis I más la imposición que el caudal circulante por el río Guadalfeo no rebase los 9.1 hm³/año. Al igual que en la anterior simulación, los resultados corresponden al primer año de una situación interanual de transición a un nuevo estado de equilibrio acorde con la nueva condición impuesta. En este primer año es perceptible un muy ligero abatimiento de la piezometría en las inmediaciones del cauce del Guadalfeo, en su tramo entre la desembocadura y la rambla de Molvizar, y, respecto al balance hídrico, existe una esperada disminución en la entrada desde el Guadalfeo y ligeras disminuciones en las descargas al mar y por manantiales y un leve incremento en las salidas al Guadalfeo. Esto último se debe al aumento del gradiente de descarga que propicia la disminución en la carga hidráulica del río, por el menor caudal circulante. La perspectiva es que la disminución final de la piezometría se restrinja a la zona indicada y que su abatimiento no supere la decena de centímetros. La entrada inducida desde el Guadalfeo disminuirá acorde al caudal circulante en el mismo. La repercusión en la disminución de las salidas al mar y manantiales será proporcional a sus respectivas magnitudes, asumiendo la disminución en las entradas. Las salidas al Guadalfeo se verán ligeramente incrementadas por la disminución en la carga hidráulica del mismo y no serán estas cuantitativamente significativas. No se prevee que se produzcan episodios de intrusión marina a causa de la hipótesis simulada.

5.3. CONCLUSIONES

El modelo se ha calibrado en una situación que representaba las condiciones de un año medio. Los resultados alcanzados son plenamente satisfactorios. No obstante, se debe tener en cuenta que la caracterización realizada no está exenta de un cierto compromiso, en la medida que las condiciones del año medio no son "reales".

El modelo presenta las siguientes novedades:

- Representación de los afloramientos calizos y los piedemonte, integrándolos con el acuífero de Motril-Salobreña en un sistema hidrogeológico único.
- Representación del acuitardo y del nivel semiconfinado del acuífero.

- Representación de las relaciones con el sistema de todos los cursos de la red hidrográfica de la zona.
- Un primer avance de los efectos sobre el acuífero de la futura presa de Rules mediante la simulación de las hipótesis I y II.
- Cuantificación de las descargas de los manantiales del Peñón de Salobreña.

Los resultados del modelo se deben considerar aproximaciones al conocimiento del medio. En este sentido, estos resultados no deben asumirse como valoraciones definitivas, sino, por el contrario, como referentes que apoyan algunos aspectos de conceptualizaciones previas del sistema o que plantean la discusión y revisión de otros. Asimismo, también se entiende como aportación aquellos resultados que ponen en evidencia los aspectos sobre los que existe incertidumbre. Algunas de estas aportaciones que se desea resaltar son:

- La actividad humana es un factor esencial en este sistema de flujo. Así, las entradas mayoritarias del sistema son el retorno del regadío en la recarga por infiltración y la recarga inducida por bombeos en las márgenes del Guadalfeo. Esta valoración coincide con anteriores trabajos.
- La entrada evaluada para el aluvial del Guadalfeo es sensiblemente menor que las valoraciones hechas en los estudios previos que la contemplaron. La consistencia de la valoración hecha en el presente trabajo invita a una discusión en pos de una revisión de la conceptualización de esta entrada.
- La cuantificación de la descarga de los manantiales del Peñón de Salobreña se la considera plausible, pero es un aspecto interesante a contrastar en campo.
- El modelo puso de manifiesto la incertidumbre existente para poder validar la representación de algunos rasgos importantes del sistema: el acuitardo y el nivel semiconfinado y la entrada por el aluvial de la rambla de Molvizar.

La mejora del conocimiento del sistema modelizado, se considera que requiere contar con un conjunto de datos que cubran las carencias de los actuales. En este sentido se deben señalar las siguientes propuestas:

- Ensayos de bombeos en puntos distantes de los cursos de agua para poder tener un conocimiento más representativo de las permeabilidades y almacenamientos del acuífero.
- Pozos que alcancen el acuitardo y el nivel semiconfinado, que permitan mejorar el conocimiento litológico con los testigos de perforación y, fundamentalmente, tener registros piezométricos de los mismos.
- Integrar en la red piezométrica puntos situados en los piedemonte de Molvizar y el Puntalón, que permitan conocer mejor la evolución de niveles en los mismos. Así como, en el caso del cono de Molvizar, hacer una aproximación indirecta a la caracterización de la descarga de Esalate.
- Definir secciones en los aluviales del río Guadalfeo y la rambla de Molvizar, en las que estos se encuentren claramente definidas para poder evaluar con certidumbre las entradas por los mismos.
- Aforo de los manantiales del sistema, en particular los del Peñon de Salobrefia.
- Inventarios de puntos costeros de descarga difusa. El control de la evolución de los mismos y de los pozos costeros.

