



ACUERDO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN PARA LOS AÑOS 2004, 2005 Y 2006 ENTRE EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA Y LA EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ALICANTE.

“ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL FLUJO SUBTERRÁNEO EN LOS ACUÍFEROS CARBONATADOS DE SOLANA Y JUMILLA-VILLENA (ALICANTE Y MURCIA)”

TOMO I: JUMILLA-VILLENA

DICIEMBRE 2006

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS Y ANTECEDENTES	1
1.2 ESTRUCTURA DEL INFORME	1
1.3 EQUIPO DE TRABAJO.....	2
2. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PREVIA	3
2.1 INFORMACIÓN PREVIA DEL ACUÍFERO.....	3
2.2 EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO JUMILLA-VILLENA.....	4
2.3 USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA	5
2.4 EXTRACCIONES DE AGUA	6
2.5 FUNCIONAMIENTO NATURAL DEL ACUÍFERO EN AUSENCIA DE EXTRACCIONES	8
3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS DEL ACUÍFERO	10
3.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	10
3.2 SITUACIÓN GEOLÓGICA DEL ACUÍFERO JUMILLA-VILLENA	14
3.3 LÍMITES DEL ACUÍFERO	31
3.4 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS.....	33
3.5 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.....	34
4. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DEL ACUÍFERO	39
4.1 INFORMACIÓN PREVIA PARA LA ELABORACIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO	39
4.2 MAPAS DE ISOHIPSAS	39
4.3 VISUALIZACIÓN 3D.....	40
5. EVALUACIÓN DE LA RECARGA NATURAL	46
5.1 DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS.....	46
5.2 BALANCE HÍDRICO Y RECARGA	48
5.3 USOS DEL SUELO Y ZONIFICACIÓN DE LA RECARGA	54
5.4 RESULTADOS DEL BALANCE: RECARGA NATURAL	58
5.5 RETORNOS DE RIEGO	62
5.6 VALORACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	63

6. FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO Y BALANCE HÍDRICO	66
6.1 ÁREAS DE RECARGA Y DESCARGA	66
6.2 EVOLUCIÓN DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS.....	67
6.3 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS EXTRACCIONES.....	81
6.4 HIDROQUÍMICA	83
6.5 PARÁMETROS.....	102
6.6 BALANCE HÍDRICO SIMPLIFICADO	103
7. MODELO CONCEPTUAL	106
8. DESARROLLO DEL MODELO NUMÉRICO	112
8.1 HIPÓTESIS ASUMIDAS EN LA MODELIZACIÓN	112
8.2 DOMINIO ESPACIAL	113
8.3 CONDICIONES DE CONTORNO Y PARÁMETROS	120
8.4 DOMINIO TEMPORAL	123
8.5 SELECCIÓN DE CONDICIONES INICIALES.....	123
9. MODELIZACIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO.....	126
9.1 INTRODUCCIÓN.....	126
9.2 CALIBRACIÓN DEL MODELO	127
9.3 EXPLOTACIÓN DEL MODELO: SIMULACIÓN DE ESCENARIOS.....	153
10. CONCLUSIONES.....	164
11. RECOMENDACIONES Y TAREAS FUTURAS.....	168
12. BIBLIOGRAFÍA	171
ANEJO 1: INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.....	177
ANEJO 2: PERFILES GEOELÉCTRICOS Y MAPAS DE ISOHIPSAS DEL ACUÍFERO JUMILLA-VILLENA	186
ANEJO 3: DIAGRAMAS HIDROQUÍMICOS.....	192
ANEJO 4: RESUMEN DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS DURANTE EL PROCESO DE CALIBRACIÓN DEL CASO BASE. GUÍA PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS ARCHIVOS DE VISUAL MODFLOW.....	203

ANEJO 5: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SOBRE SS Y K.....	206
ANEJO 6: SIMULACIONES DE ESCENARIOS DE EXPLOTACIÓN DEL MODELO	214

Índice de Figuras

Figura 2.1: Situación del acuífero Jumilla-Villena con sus límites históricos.	3
Figura 2.2: Datos recopilados de extracciones anuales de agua subterránea en el acuífero Jumilla-Villena (los diferentes colores indican las diferentes fuentes de datos).	8
Figura 3.1: Situación geológica regional del acuífero Jumilla-Villena (IGME, 1981).	11
Figura 3.2: Situación estructural regional del acuífero Jumilla-Villena, donde se muestran los afloramientos cretácicos (de Martín-Chivelet, 1996).	15
Figura 3.3: Principales accidentes geográficos relacionados con el acuífero Jumilla-Villena.	16
Figura 3.4: Situación de los cortes geológicos de las figuras 3.5 a 3.13.	21
Figura 3.5: Corte transversal al límite de la unidad acuífera en su sector N correspondiente a la Sierra del Príncipe.	22
Figura 3.6: Corte que muestra la geología en profundidad del acuífero Jumilla-Villena transversal a su sector oriental.	23
Figura 3.7: Corte transversal al acuífero Jumilla-Villena en su parte central.	24
Figura 3.8: Sección transversal del acuífero Jumilla-Villena en el límite S.	25
Figura 3.9: Corte transversal al límite de la unidad acuífera en su sector N correspondiente a la Sierra del Príncipe.	26
Figura 3.10: Sección transversal al límite E de la unidad acuífera.	27
Figura 3.11: Sección transversal al límite NW del acuífero atravesando la Sierra del Buey.	28
Figura 3.12: Sección transversal al acuífero en la zona de Jumilla.	29
Figura 3.13: Sección transversal al límite S del acuífero Jumilla-Villena, atravesando la Sierra del Carche.	30
Figura 3.14: Límites tradicionales (en azul) y propuestos (en rojo) del acuífero Jumilla-Villena.	33
Figura 3.15: Localización de los puntos de agua con información piezométrica del acuífero Jumilla-Villena.	36
Figura 3.16: Distribución de los puntos del acuífero en los que se dispone de información de extracciones.	37

Figura 3.17: Situación de los puntos del acuífero con información hidroquímica	38
Figura 4.1: Visualización 3D del acuífero Jumilla-Villena. En rojo se representa el acuífero del Cretácico, en azul la base del Cretácico Inferior (Barremiense), y en verde el Jurásico.	41
Figura 4.2: Corte transversal del acuífero. Los colores representan el Cretácico, base del Cretácico Inferior y en verde el Jurásico.....	42
Figura 4.3: Corte longitudinal del acuífero (1). Los colores representan el Cretácico, la base del Cretácico Inferior y en verde el Jurásico.....	43
Figura 4.4: Corte longitudinal del acuífero (2). Los colores representan el Cretácico, la base del Cretácico Inferior y en verde el Jurásico.....	44
Figura 4.5: Corte longitudinal del acuífero (3). Los colores representan el Cretácico, la base del Cretácico Inferior y en verde el Jurásico.....	45
Figura 5.1: Precipitación y temperatura media diarias para la estación meteorológica de Yecla (CHS), desde enero de 1969 hasta septiembre de 2005.....	46
Figura 5.2: Temperatura media y precipitación anual en la estación meteorológica de Yecla CHS, desde el año hidrológico 1969-70 hasta el año hidrológico 2004-05.	47
Figura 5.3: Temperatura y precipitación media mensual en la estación meteorológica de Yecla CHS, desde el año hidrológico 1969-70 hasta el año hidrológico 2004-05.	48
Figura 5.4: Análisis de sensibilidad de la recarga media anual a la R _{Umax} realizado con Visual Balan utilizando los datos de los últimos 22 años del periodo estudiado.	54
Figura 5.5: Mapa de ocupación del suelo para el año 2000 extraído del Corine Land Cover 15 clases (http://www.ideo.es).	56
Figura 5.6: Mapa de ocupación del suelo para el año 2000 basado en el Corine Land Cover 15 clases. Sólo 10 clases de las 15 consideradas aparecen en la zona del acuífero. Las zonas artificiales ocupan menos de 10 km ² . Los cultivos 386 km ² , y los bosques, arbustos y zonas sin vegetación 159 km ²	57
Figura 5.7: Recarga anual en las 4 zonas diferenciadas para los 22 años.	59
Figura 6.1: Principales áreas de recarga (en verde) y descarga por bombeos (en azul) en el acuífero Jumilla-Villena	67

Figura 6.2: Principales direcciones de flujo en el acuífero Jumilla-Villena. Se indica también la divisoria relativa de aguas, y las principales áreas de recarga (en verde) y descarga por bombeos (en azul).....	68
Figura 6.3: Piezometría del acuífero para el periodo 1986-1990.....	70
Figura 6.4: Piezometría del acuífero para el periodo 1991-1995.....	71
Figura 6.5: Piezometría del acuífero para el periodo 1996-2000.....	72
Figura 6.6: Corte hidrogeológico esquemático NNW-SSE del acuífero Jumilla-Villena. Este corte se corresponde aproximadamente con el corte 3 (Figura 3.7).	74
Figura 6.7: Evolución temporal del nivel de algunos pozos del acuífero Jumilla-Villena. Las pendientes de descensos son todas ellas bastante homogéneas y además bastante parecidas entre sí.	76
Figura 6.8: Evolución temporal del nivel de algunos pozos del acuífero Carche-Salinas. Las pendientes de descensos son todas ellas superiores a las de los puntos del acuífero Jumilla-Villena.	78
Figura 6.9: Evolución temporal del nivel de algunos pozos del acuífero Cingla-Cuchillo. Las pendientes de descensos son casi todas ellas inferiores a las de los puntos del acuífero Jumilla-Villena.	79
Figura 6.10: Piezometría del acuífero Jumilla-Villena para el año 1980. Ésta se considera como condición inicial para las simulaciones del modelo numérico.	81
Figura 6.11: Evolución temporal de la extracción en el punto Pozo Duero (2634-3-0083, extraído de INTECSA-INARSA, 2003).	82
Figura 6.12 Comparación de las composiciones de las muestras de los años 1970 y 1972	86
Figura 6.13 Comparación de las composiciones de los distintos sectores en el año 1974.....	88
Figura 6.14 Diagramas logarítmicos de las campañas 1977-78 y 1984	90
Figura 6.15 Diagramas logarítmicos de los años 1988 y 1996.	92
Figura 6.16 Ejemplo de correlación Cl/Na para el año 1974. Valores en meq/l.	94
Figura 6.17 Ejemplo de relación sulfato, calcio y magnesio para el año 1978 (en meq/l).....	95
Figura 6.18 Relación cloruro sulfato para el año 1974 (meq/l).	96

Figura 6.19 Variación de cloruros y sulfato en Cingla Cuchillo., Sector Central. y Holla Mollidar.	98
Figura 6.20 Composición en dos pozos cercanos al borde oriental del acuífero.	100
Figura 8.1: Implementación del dominio en VMODFLOW. La figura superior muestra los límites tradicionales (en azul) contenidos en el nuevo dominio propuesto (en rojo). En verde, se observan todas aquellas celdas que no se consideran inicialmente para la modelización del flujo (celdas inactivas). La figura inferior ilustra el modelo activo siguiendo los límites tradicionales.	115
Figura 8.2: Dominio y vista plana de la malla de diferencias finitas generada (arriba). Obsérvese el refinamiento de la misma alrededor de los puntos de extracción. Abajo, y a modo de ejemplo, detalle del refinamiento en la zona del entorno de las extracciones de Jumilla.	117
Figura 8.3: Dominio y malla 3D implementada en VMODFLOW. En la figura se observan las tres capas que componen el modelo, así como la topografía interpolada a lo largo de la malla. La escala vertical se encuentra exagerada 5 veces.	118
Figura 8.4: Visión tridimensional de los materiales asociados a las capas del modelo. La figura muestra los acuíferos cretácico (en rojo) y jurásico (en verde), separados por una formación acuitardo correspondiente a la base del cretácico inferior (en azul). Nótese que en el entorno de la Sierra Salinas (zona SE) los acuíferos se encuentran en contacto debido a la existencia del cabalgamiento. La escala vertical se encuentra exagerada 5 veces.	119
Figura 8.5: Sección que ilustra la implementación numérica en el entorno SE del modelo para la representación del cabalgamiento que pone en contacto los acuíferos jurásicos y cretácicos. La escala vertical en el corte AB se encuentra exagerada 3 veces.	120
Figura 8.6: Zonificación de la recarga según usos del suelo en VMODFLOW (abajo) directamente importada desde el mapa vectorizado en SIG (arriba).	122
Figura 8.7: En la figura superior se muestran los niveles observados en el dominio para el año 1980, coincidentes con la condición inicial a imponer.	

En azul, una primera interpretación de la piezometría. Abajo se muestra la condición inicial impuesta en el modelo calibrado.	125
Figura 9.1: Puntos de observación con información de niveles introducidos en el modelo.	127
Figura 9.2: Puntos de observación singulares que se consideran como representativos de las diferentes zonas del modelo. El punto 263440054 (color rojo) es representativo del entorno de Jumilla, mientras que los puntos 273350001 (azul) y 273380026 (verde) son representativos de las áreas de Yecla y Villena-Vinalopó respectivamente.	129
Figura 9.3: Malla regular utilizada inicialmente para evaluar las extracciones disponibles.	130
Figura 9.4: Resultados obtenidos en los puntos singulares introduciendo los datos de extracciones disponibles (Run03b).	131
Figura 9.5: Resultados obtenidos en los puntos singulares introduciendo las extracciones definidas para el escenario de máximos (Run11).	135
Figura 9.6: Resultados obtenidos en los puntos singulares introduciendo las extracciones definidas para el escenario de máximos y modificando algunas del entorno de Jumilla (Run12).	137
Figura 9.7: Corte hidrogeológico esquemático que ilustra cómo la zona del entorno de Yecla (en círculo rojo discontinuo), puede quedar aislada debido a movimientos estructurales. De la misma manera, la zona de la Olla del Moñigal presenta una situación similar.	139
Figura 9.8: Contexto geotectónico del área del entorno del acuífero Jumilla-Villena. En rojo, localización de fallas direccionales que permitirían aislar hidráulicamente zonas del acuífero. Extraído de Doblas et al. (1991).	140
Figura 9.9: Zonificación de parámetros en el entorno de Yecla. Detalle de la malla de diferencias finitas en el entorno de la zona.	141
Figura 9.10: Resultados obtenidos en los puntos singulares utilizando la zonificación de materiales que 'aisla' hidráulicamente la zona de Yecla mostrada en la Figura 9.9 (Run17).	142
Figura 9.11: Zonificación de parámetros final del modelo desactivando la zona SE del modelo y permitiendo la zonación diferente en cada una de las tres áreas.	143
Figura 9.12: Resultados obtenidos en los puntos singulares utilizando la zonificación de materiales mostrada en la Figura 9.11 (Run22).	144

Figura 9.13: Zonificación final de parámetros en el modelo utilizando como límites para el dominio los tradicionales.	146
Figura 9.14: Resultados obtenidos en los puntos singulares utilizando la zonificación de materiales mostrada en la Figura 9.13 (Run20).....	146
Figura 9.15: Resultados obtenidos en los puntos singulares seleccionados en el sector de Villena-Vinalopó utilizando la zonificación de materiales mostrada en la Figura 9.13 (dominio tradicional) y con las nuevas series de extracciones actualizadas según los datos de 2006 (Run26).....	150
Figura 9.16: Localización de los puntos singulares seleccionados en el sector de Villena-Vinalopó.	150
Figura 9.17: Localización del pozo Casa del Coronel. Obsérvese que el punto se encuentra ubicado fuera del dominio tradicional del acuífero Jumilla-Villena y de la ampliación de sus límites propuesta en este trabajo (DPA, 2005).	152
Figura 9.18: Resultados obtenidos en los 5 puntos singulares para el Escenario 1.	155
Figura 9.19: Resultados obtenidos en los 5 puntos singulares para el escenario 2A.	156
Figura 9.20: Resultados obtenidos en los 5 puntos singulares para el escenario 2B.	158
Figura 9.21: En rojo se muestran las captaciones que se han desplazado para captar agua del acuífero Jurásico en la simulación del Escenario 3.	160
Figura 9.22: Resultados obtenidos en los 5 puntos singulares para el escenario 3.	160
Figura 9.23: Resultados obtenidos en los 2 puntos singulares de las zonas de Yecla y Villena-Vinalopó para el caso del Escenario 3. En la figura se comparan los resultados del caso base (arriba) con los obtenidos en este escenario (abajo)	161
Figura 9.24: Localización de las zonas más problemáticas en el secado de pozos a lo largo de los escenarios simulados.	162

Índice de tablas

Tabla 2.1 Variación de las extracciones en el acuífero Jumilla-Villena durante el periodo 1971-1988. Extraído de DGOHCA-ITGE (1997).....	7
Tabla 5.1: Comparación entre los códigos VisualBalan y Easy_Bal de los resultados globales del balance hidrometeorológico en mm/año para la serie de 22 años hidrológicos (1983/84-2004/05) considerando una RUm _{ax} de 60 mm.	50
Tabla 5.2: Reserva Útil máxima del suelo (RU _{max} en mm de lámina de agua) en función del espesor del suelo (m) y de la diferencia entre la humedad de capacidad de campo y la humedad del punto de marchitez permanente (% volumen).....	53
Tabla 5.3: Parámetros utilizados en VisualBalan para la realización de los cálculos de la recarga natural en cada tipo de uso del suelo.	58
Tabla 5.4: Recarga anual para los cuatro tipos de usos de suelo.	59
Tabla 5.5: Recarga natural del acuífero en base al balance hídrico en el suelo. Valores medios para la serie de 22 años hidrológicos (1983/84-2004/05).	60
Tabla 5.6: Retornos de riego para las cuencas del Segura y del Júcar (MAPA, 2002) y estimación para el acuífero Jumilla Villena.	62
Tabla 6.1: Parámetros hidráulicos del acuífero Jumilla-Villena	102
Tabla 6.2: Balance hídrico anual medio simplificado del acuífero Jumilla-Villena	103
Tabla 9.1: Valores de las extracciones introducidas en los puntos de bombeo del modelo para un año tipo para el escenario de máximos. Este valor se repite a lo largo de todos los años del periodo de simulación.	133
Tabla 9.2: Parámetros hidráulicos calibrados introduciendo las extracciones definidas para el escenario de máximos (Run11).....	135
Tabla 9.3: Valores modificados de las extracciones introducidas en los puntos de bombeo del entorno de Jumilla para un año tipo para el escenario de máximos. Este valor se repite a lo largo de todos los años del periodo de simulación.....	136
Tabla 9.4: Parámetros hidráulicos calibrados utilizando la zonificación de materiales que ‘aisla’ hidráulicamente la zona de Yecla. Obsérvese que la	

tabla muestra valores diferentes de almacenamiento para la zona del acuífero Cretácico en el sector de Yecla (Run17).	142
Tabla 9.5: Parámetros hidráulicos calibrados para el modelo utilizando la zonificación de materiales mostrada en la Figura 9.11 (Run22). Obsérvese que la tabla muestra valores diferentes para cada zona del acuífero Cretácico.....	144
Tabla 9.6: Parámetros hidráulicos calibrados para el modelo utilizando la zonificación de materiales mostrada en la Figura 9.13 (Run20). Obsérvese que la tabla muestra valores diferentes para cada zona del acuífero Cretácico.....	145
Tabla 9.7: Valores de las extracciones introducidas en los puntos de bombeo del modelo para un año tipo actualizadas con datos del año 2006 para el sector de Villena-Vinalopó. Este valor se repite a lo largo de todos los años del periodo de simulación.	149
Tabla 9.8: Parámetros hidráulicos calibrados para el modelo final. Obsérvese que la tabla muestra valores diferentes para cada zona del acuífero Cretácico.....	151
Tabla 9.9: Captaciones afectadas en el caso base y en los distintos escenarios presentados. Las captaciones para las que la columna de observaciones se encuentra vacía corresponden a la zona de Villena/Vinalopó, que se presenta como la más afectada.	163
Tabla 9.10: Tiempo de simulación en el que las captaciones afectadas en el caso base y en el escenario 1 quedan secas.....	163

1. Introducción

1.1 Objetivos y antecedentes

El presente informe tiene como objetivo documentar los trabajos desarrollados para la mejora del conocimiento y la definición del modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico del acuífero Jumilla-Villena (Alicante y Murcia) y la elaboración de un modelo numérico que simule el flujo subterráneo. Dichos trabajos se han realizado para dar apoyo a los responsables de la gestión hídrica del Departamento del Ciclo Hídrico de la Excma. Diputación Provincial de Alicante bajo la dirección del Instituto Geológico y Minero de España en el marco de un convenio de colaboración realizado entre los años 2004-2006.

1.2 Estructura del informe

Después de esta breve introducción, se sintetiza la información disponible para la elaboración de este informe, - el conocimiento previo del acuífero -, así como las carencias principales de información (capítulo 2).

Seguidamente se elabora la información geológica a escala regional y a escala local (capítulo 3). Dada la complejidad de la geología en la zona de estudio y las implicaciones que su conocimiento tiene en este trabajo, la geología está elaborada en mayor grado de detalle de lo que es habitual para permitir identificar luego la potencia y correcta distribución de las formaciones acuíferas y sus límites. Se describe también en este apartado el inventario de puntos de agua. El capítulo 4 define geoméricamente el acuífero, elaborándose mapas de isohipsas de los diferentes contactos a partir de toda la información previa. Los capítulos 5 y 6 describen la estimación de la recarga natural y el funcionamiento hidrodinámico del acuífero, así como una revisión de los parámetros hidráulicos existentes, la evolución histórica de niveles piezométricos, hidroquímica y extracciones. Al final de este capítulo también se realiza una estimación del balance hídrico medio.

El capítulo 7 sintetiza todos los precedentes y describe el modelo conceptual hidrogeológico de funcionamiento del acuífero. En los posteriores capítulos (8 y 9) se presenta el desarrollo del modelo numérico y la modelización del flujo subterráneo, en la que se describe el proceso seguido en la calibración del modelo numérico y la simulación de escenarios. Finalmente se presentan las conclusiones, conjuntamente con una serie de recomendaciones y mejoras para posibles trabajos futuros a realizar.

1.3 Equipo de trabajo

El presente Estudio se ha realizado en convenio entre el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Diputación Provincial de Alicante (DPA), bajo la Dirección de Luís Rodríguez y Juan Antonio Hernández (DPA) y Luis Javier Lambán (IGME) y ha sido realizado en su totalidad por técnicos de la empresa consultora ENVIROS Spain S.L., conjuntamente y con el soporte técnico, especialmente en aquellas tareas relacionadas con el modelo numérico, por Francisco Javier Elorza de la Escuela de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid.

De esta manera, han intervenido los siguientes Técnicos de la empresa ENVIROS que aquí se detallan:

- Jordi Guimerà. Director del Estudio e interlocutor con la Dirección de proyecto por parte de la DPA e IGME.
- Eduardo Ruiz
- Miguel Luna
- Salvador Jordana
- Felip Ortuño
- Ester Vilanova
- Julien Thomas

2. Recopilación y análisis de información previa

2.1 Información previa del acuífero

El acuífero Jumilla-Villena es un acuífero intercuenas (Júcar y Segura) e intercomunitario (Comunidad Valenciana y Murciana) con declaración de sobreexplotación desde 1987. Las principales poblaciones incluidas dentro de sus límites son Yecla y Jumilla por la parte de Murcia, y Villena por la de Alicante (Figura 2.1).

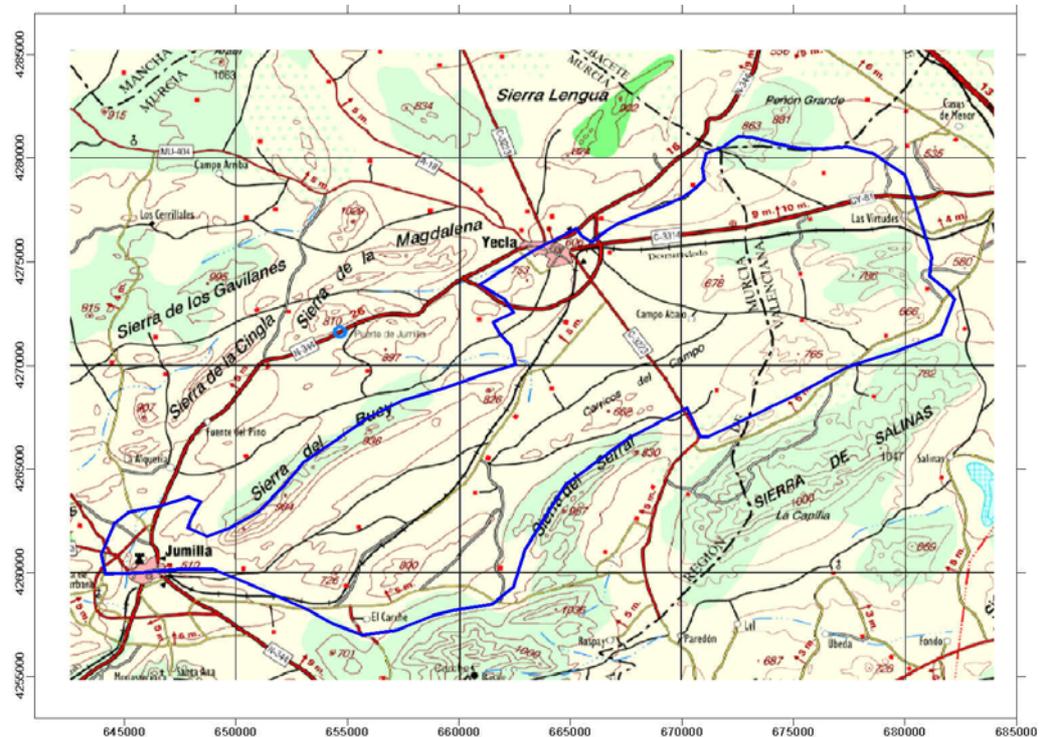


Figura 2.1: Situación del acuífero Jumilla-Villena con sus límites históricos.

Dentro de esta área están descritos cuatro acuíferos que coinciden con los periodos geológicos y las litologías: jurásico, cretácico, mioceno y cuaternario, aunque sólo el Cretácico Superior se explota en la actualidad. El Jurásico en general es poco conocido y menos accesible debido a la profundidad media a

la que se halla. La base de todos ellos es el substrato impermeable del Trías. Se ha considerado como acuitardo a la formación Weald (Barremiense), base del Cretácico Inferior, separando el acuífero cretácico del jurásico. El Aptiense-Albiense constituye por sí mismo otro acuífero, sin embargo, debido a que está formado por materiales carbonatados, se considerará con continuidad con los materiales del Cretácico Superior y no se diferenciará. La formación Utrillas, de litología detrítica, no se considerará debido a su falta de continuidad a lo largo de la zona de estudio.

Además, tanto el Cuaternario como el Mioceno están prácticamente en la zona no saturada debido a que los niveles piezométricos están muy bajos por la gran explotación de los pozos. Los límites del acuífero corresponden a grandes rasgos en la actualidad a afloramientos del Trías basal impermeable, asociado a cabalgamientos no aflorantes y divisorias.

2.2 Explotación del acuífero Jumilla-Villena.

La intensidad de la actividad del Hombre, unida a la carencia de recursos hídricos en esta zona, ha marcado la historia de los aprovechamientos de aguas en la comarca del Altiplano de Murcia. Si bien existe documentación desde el siglo XVIII sobre el uso de manantiales para su aprovechamiento para regadío (De Heriz, 1918) en la actualidad éstos no sólo se han secado sino que los niveles piezométricos descienden desde hace décadas. De hecho, el desequilibrio entre demandas y recursos de agua subterránea puede establecerse ya en el año 1940 (Bru Ronda, 1993) con la bajada de los caudales de los pozos y la desaparición de algunos manantiales. A comienzos del siglo XX, la agricultura predominante era el secano, y las pequeñas huertas locales y campos regados eran para autoconsumo. El desarrollo demográfico, la evolución tecnológica, la introducción de la energía eléctrica, los avances en las técnicas de prospección y el perfeccionamiento de las bombas de extracción de agua a partir de los años 1930, permite la extracción de mayor cantidad de agua y a más profundidad. Las aguas subterráneas eran entonces explotadas por particulares para abastecer sus necesidades y comerciar con ellas. La venta de agua y su distribución se

había establecido desde inicios del siglo XX mediante “acciones y horas de agua” incluidas en sistemas de subastas.

La legislación tras la guerra civil española para favorecer la colonización del Altiplano de Murcia (RD 5 febrero 1954) establece de alto interés nacional los trabajos, obras e instalaciones para el “alumbramiento de aguas subterráneas” con fines exclusivos de riego para el Instituto Nacional de Colonización, en función de la base 19 de la Ley del 26 de Diciembre de 1939. Mediante esto, los pozos realizados por el Instituto se consideraban de utilidad pública, y el organismo cedía las aguas a particulares. Así, el incremento del regadío aumenta espectacularmente en todo el Altiplano.

El crecimiento de la agricultura de regadío debida sobre todo a la transformación de las superficies de secano en regadío entre 1950 y 1980, lleva a que los niveles en el acuífero descendan a un promedio de 2-3 m/año. El 31 de julio de 1987 se declara provisionalmente el acuífero como sobreexplotado, a tenor de la propuesta elevada por las Confederaciones del Júcar y del Segura en un estudio en base a los informes del IGME. A pesar de esta tramitación, se ha continuado realizando la explotación de las reservas de agua subterránea, y la gestión del acuífero, que debe hacerse conjuntamente entre los dos organismos de cuenca, ha sido hasta la fecha muy deficiente. En el año 1989 se llevaron a cabo algunos estudios para la ordenación de los recursos subterráneos (CARM, 1989; CHJ, 1989; ITGE, 1989), pero hasta el año 2003 no se realiza trabajo alguno sobre la evolución temporal y espacial de las extracciones en el acuífero (D.P.A, 2003; ITGE, 2005).

2.3 Usos del agua subterránea

Los niveles piezométricos del acuífero han venido descendiendo unos 2.5 m por año, ya que existe un marcado desajuste entre las extracciones y las entradas de agua como será analizado después en detalle. A mediados de la década de los 90 (Bru Ronda, 1993), de toda el agua extraída (unos 34 hm³/año de unos 50 pozos) un 72% se usaba para cubrir las demandas

agrícolas, y el 28% restante para uso urbano e industrial. Incluso parte de las extracciones se usaban fuera de los límites del acuífero, contribuyendo a satisfacer la demanda agrícola de los términos municipales de Jumilla, Villena, Elda, Sax, Petrel, Monforte del Cid, Elche, Agost, San Vicente del Raspeig, Muchamiel, San Juan, Campello y Alicante, y también el abastecimiento total o parcial de poblaciones como Raspay, Jumilla, Elda, Petrel, Novelda, Agost, Muchamiel y Campello. El agua subterránea cubre gran parte de los regadíos de Jumilla, Villena y Yecla y el 40% del abastecimiento urbano a Jumilla y Yecla. Aproximadamente se vienen utilizando para abastecimiento urbano a Jumilla (con las consiguientes pérdidas en las redes de distribución) 1 hm³/año.

La evolución de los consumos urbanos e industriales no ha tenido grandes variaciones desde el 1985 (Guimerà et al., 2000). El consumo industrial es pequeño, tal y como corresponde a la actividad de la zona, y puede cifrarse de unos 0.25 hm³/año.

2.4 Extracciones de agua

El conocimiento exacto de los datos de extracciones de agua subterránea del acuífero Jumilla-Villena es la principal carencia en la realización de este trabajo. La cuantificación de las extracciones se ha extraído de diferentes trabajos e informes, aunque entre ellas destaca el estudio de DGOHCA-ITGE (1997) en el que se puede encontrar información adicional sobre las extracciones totales en el acuífero Jumilla-Villena y la fuente de la que proviene dicha información.

Tabla 2.1 Variación de las extracciones en el acuífero Jumilla-Villena durante el periodo 1971-1988. Extraído de DGOHCA-ITGE (1997).

Año	Explotación (hm³)	Fuente
1971	20	C.A.R.M. (1989)
1975	25	I.T.G.E. (1988)
1977	28.81	I.T.G.E. (1989)
1981	29(1); 31.75(2)	(1) IGME (1982) (2) I.T.G.E. (1989)
1983	35	I.T.G.E. (1989)
1985	30.89(1); ~37.8(2)	(1) I.T.G.E. (1989) (2) C.A.R.M. (1989); I.T.G.E. (1988)
1987	36.3(1); 33.7(2); 38(3)	(1) C.A.R.M. (1989) (2) C.H.J. (1989); I.T.G.E. (1988) (3) DGOH (1993)
1988	25.14	I.T.G.E. (1989)

Desde el año 1988 no se realizó ninguna acción por parte de la administración para actualizar los datos de explotaciones en la parte del acuífero de la Cuenca del Segura (que tiene más del 50% de la superficie del acuífero) hasta el estudio de Intecsa-Inarsa para la DPA en el año 2002, y que cubrió parte de este periodo. Es por ello que la laguna existente de información entre 1988 y 1999 es considerable, a pesar de coincidir con el periodo posterior a la declaración de sobreexplotación.

En relación a su evolución temporal, ésta se ha realizado con los datos proporcionados por el jefe de Proyecto del IGME originales de la base de la DPA, del informe mencionado de Intecsa-Inarsa, y de 7 puntos adicionales de la DPA de la Junta Central de Usuarios del Vinalopó (Figura 2.2). En total se tiene información de 67 puntos, pero la misma es muy irregular tanto en el espacio como en el tiempo.

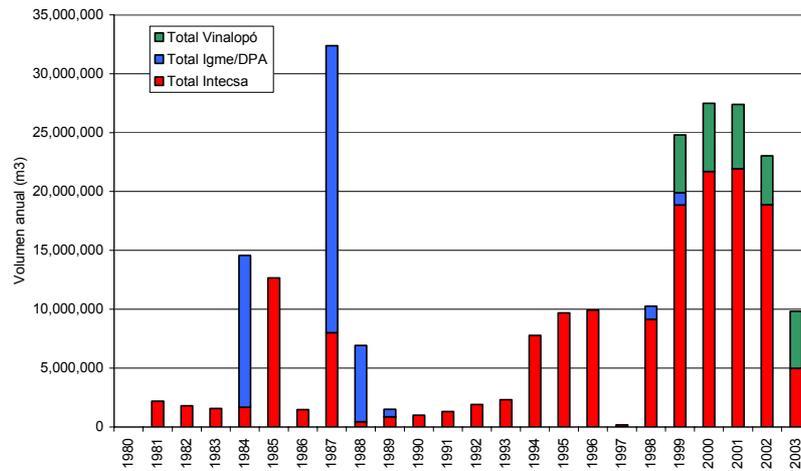


Figura 2.2: Datos recopilados de extracciones anuales de agua subterránea en el acuífero Jumilla-Villena (los diferentes colores indican las diferentes fuentes de datos).

Entre 1975 y 1988, la mayoría de informes consultados cifran las extracciones totales del acuífero entre los 25 y 36 hm³/año aproximadamente, y entre 1999 y el 2002, de 24 a 27 hm³/año. En ITGE (2005) se cita que “la explotación media de la zona de Alicante es de 26 hm³/año, aunque es probable que sea mayor (el “Mapa del Agua” fija la cantidad en 33 hm³/año)”. No obstante, cabe destacar que el ritmo de descenso de los niveles piezométricos en el acuífero es más o menos constante desde que se tienen datos de nivel, por lo que no cabe esperar tampoco que hayan existido variaciones importantes en el volumen total anual de extracciones en el acuífero.

2.5 Funcionamiento natural del acuífero en ausencia de extracciones

El funcionamiento natural del acuífero está altamente alterado por el régimen de extracciones impuesto desde hace décadas. De hecho, se conoce históricamente que las extracciones empezaron a ser importantes por el secado de algunos manantiales ya en la década de los 40, y los niveles piezométricos están en continuo descenso en el acuífero desde que se tiene registro (década de los 70) hasta la actualidad. Se desconoce por ello con

exactitud cual es la situación de partida de los niveles piezométricos en estado estacionario.

3. Características geológicas e hidrogeológicas del acuífero

3.1 Marco geológico regional

3.1.1 Cordilleras Béticas: Dominios Externo e Interno

El acuífero Jumilla-Villena se encuentra geológicamente ubicado en las zonas externas de las Cordilleras Béticas, limitando hacia el NW por el macizo ibérico central (Figura 3.1). Las Cordilleras Béticas se formaron durante el Cretácico y parte del Terciario en el margen continental del SE del Sistema Ibérico, como consecuencia de la Orogenia Alpina. Las Béticas se extienden de Gibraltar al cabo de la Nao, prolongándose hacia las islas Baleares.

Las Béticas se dividen en tres dominios distintos: (1) las Penibéticas o sector axial, que presenta el zócalo metamórfico y el relieve de horst y graben; (2) las depresiones en hoyas intrabéticas, que son los bloques hundidos de Antequera, Granada, Guadix y Baza, los más grandes; y Ronda, Orce, cuencas de los ríos Guadalentín y Mula, y Murcia-Orihuela, los menores; y la Subbética (3), con relieves más suaves, donde se encuentran los materiales blandos plegados. Estos son, en cualquier caso, mantos de corrimiento de materiales alóctonos en los que se encuentran ventanas tectónicas.

Las zonas externas de las cordilleras Béticas pueden dividirse a su vez en dos subdominios principales, con características paleogeográficas y tecto-sedimentarias distintas, relacionadas por su proximidad al zócalo paleozoico, que condiciona en gran medida su estructura (L. Jerez, 1973, extraído de la memoria del mapa IGME, 1981). Así, el Prebético puede dividirse en dos grandes unidades: Prebético externo y Prebético interno. La zona correspondiente al acuífero Jumilla-Villena se encuentra situada en el límite entre ambos subdominios, comprendiendo series litológicas pertenecientes a los dos, aunque predominantemente del Prebético externo (Figura 3.1).

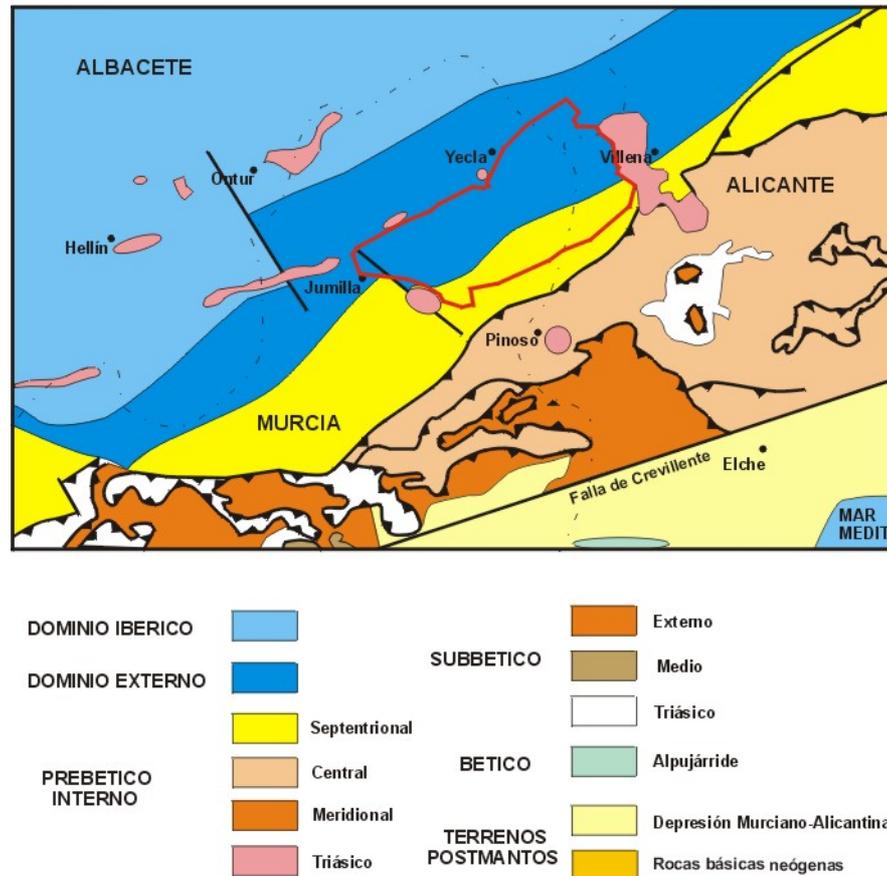


Figura 3.1: Situación geológica regional del acuífero Jumilla-Villena (IGME, 1981).

Las diferencias entre ambos dominios se reflejan principalmente en sus características litoestratigráficas, como son el espesor de sus coberteras sedimentarias o la diferenciación de facies a partir del Jurásico superior. Así, en el Prebético externo el Cretácico inferior es de tipo continental o fluvial, con escasa influencia marina y sus facies son “Weald-Utrillas”, y el Eoceno inferior y el Paleoceno no aparecen representados. En el Prebético interno, el Cretácico inferior presenta facies marinas epicontinentales o neríticas, con abundancia de orbitolínidos y rudistas, incluyendo además potentes series carbonatadas. El Senoniense presenta facies de margo-calizas y calizas depositadas en mar abierto. El Paleoceno si aparece representado y, aunque epicontinental, es de origen marino.

3.1.2 Formación de las cordilleras Béticas

La evolución geológica que ha dado lugar a la formación y estructura actual de las cordilleras Béticas puede ser cronológicamente sintetizada a partir de tres estadios de evolución distintos:

1.- Estadio pre-marginal, durante el que se forma una cuenca intra-placa por efectos transtensionales o “intracontinental rifting” desarrollado durante unos 50 m.a, desde inicios del Triásico hasta finales del Jurásico (García Hernández et al., 1980; Martín-Algarra, 1987: extraído de Martín-Chivelet, 1996). Durante el Triásico superior tiene lugar la formación de potentes depósitos salinos que evolucionan a medio marino de baja profundidad, intermareal con tendencia a inmersión.

2.- Estadio marginal pasivo, por acreción oceánica entre la placa africana y la ibérica, iniciada a principios del Jurásico con continuación durante el Cretácico, incluyendo una fase de acortamiento hace 160 m.a. (Peper and Cloetingh, 1992; extraído de J. Martín-Chivelet, 1996). Durante esta etapa del Jurásico, el ambiente deposicional es bastante uniforme para ambos dominios, Ibérico y Prebético (Gómez y Goy, 1979). Durante el Lías se desarrolla una sedimentación carbonatada en extensas llanuras mareales y canales asociados, mientras que el Dogger queda caracterizado por condiciones de sedimentación propias de plataforma, principalmente en zonas meridionales. Estas características son propias del Prebético interno meridional y el Subbético, respectivamente. El techo del Dogger marcará un cambio de tendencia respecto la sedimentación, cuya primera consecuencia será la reconfiguración de la plataforma carbonatada. Este cambio viene marcado a partir de la presencia de una costra ferruginosa o “hard-ground”. Durante el Jurásico superior (a partir del Malm) se definirá un ambiente continental al norte y marino-costero al sur, pasando por depósitos mareales y submareales en el Prebético externo, así como facies de plataforma en el Subbético.

El Cretácico se inicia con el Barremiense, caracterizado por la sedimentación de depósitos continentales de tipo aluvial. Hacia el Prebético externo, los

depósitos correspondientes al Barremiense se interdigitan con sedimentos costeros en la vertical hacia el sur-sureste de sierra Lacera; aquí destacan los espesores anómalos de las “facies weald”, respondiendo a rellenos de surcos y zonas deprimidas. Por otro lado, hacia el sur, en la zona de la sierra de Salinas y del Carche, en el Prebético interno, los indicios paleontológicos indican una influencia marina. Por tanto, las facies Weald aparecen sólo claras en el dominio indicado.

Tras el Barremiense, durante el Aptiense, la sedimentación es somera de plataforma generalizada para toda la región. A partir de aquí la continuidad sedimentaria no presentará interrupciones a nivel regional. Existe un claro aumento de terrígenos en el sector septentrional, facies Utrillas, dónde se intercalan barras carbonatadas con mayor contenido de carbonatos hacia el sur. Así y progresivamente, se definirá un modelo de sedimentación marino restringido con influencia continental en el sector norte-oriental. Hacia el sur, la sedimentación será de plataforma interna con episodios de lagoon y barras. La continuidad de las facies Utrillas no está clara, pero aparecen bien definidas en el Prebético externo, aunque varían en espesor en función de su localización geográfica.

3.- Estadio de convergencia, a finales del Cretácico y culminando con la destrucción del margen mesozoico pasivo durante el Paleoceno y Eoceno (Ziegler, 1988, extraído de Martín-Chivelet, 1996).

A finales del Albiense existe un claro cambio de condiciones, pasando de un medio somero (lagoon o plataforma interna) a un medio de sedimentación carbonatada. La sedimentación carbonatada continúa durante todo el Cretácico superior, asociado a una reconfiguración de la cuenca que se relaciona con grandes movimientos en la vertical. A finales del Cretácico se produce una emersión a nivel regional. Durante el Paleoceno-Eoceno, en el Prebético interno, la sedimentación continúa encontrando depósitos marinos de plataforma. En el Eoceno persisten las condiciones marinas que pasan a ser continentales en el Oligoceno, respondiendo a una nueva etapa regresiva asociada a un conjunto de movimientos orogénicos. El manto subbético

avanza y a finales del Oligoceno se configurará la cuenca de sedimentación miocena. A lo largo del Mioceno se producen una serie de movimientos que retocan y configuran la cuenca, provocando discordancias intramiocenas de tipo erosivo, angular o progresivo según el comportamiento del sustrato, ya sean efectos halocinéticos o movimientos generales de compresión-distensión. Tras esta etapa compresiva se producirán movimientos distensivos dando lugar a zonas deprimidas y de graben, que se rellenarán con depósitos continentales.

3.2 Situación geológica del acuífero Jumilla-Villena

El acuífero Jumilla-Villena se localiza en el límite entre el Prebético externo y el Prebético interno de las Cordilleras Béticas. La zona se ubica principalmente en el Prebético externo, mientras que el interno queda bien representado meridionalmente, correspondiendo este último a la alineación de la sierra de Serral-Salinas (Figura 3.2). Este accidente orográfico consiste en un pliegue cabalgante, formado exclusivamente por materiales cretácicos de características litológicas y estratigráficas propias del Prebético interno, que cabalga sobre el Prebético externo, situado hacia el norte. El anticlinal cretácico de la sierra de Salinas es vergente hacia el NW, con su flanco sur cabalgado por el Jurásico de la zona de Salinas. El alóctono utiliza como elemento de despegue el Keuper (Figura 3.8).

El Prebético externo aflora en la zona como una unidad de dirección NE-SW que va desde la región de Jumilla y se extiende por casi la totalidad de la de Yecla, quedando interrumpido por el accidente del Vinalopó. Este dominio vergente hacia el NW va aumentando en espesor hacia el SE

El sistema principal de fracturas es de dirección ENE-WSW, semiparalelo a las estructuras principales, siguiendo la tendencia general de las Béticas. Muchas de estas fallas se interpretan como fallas normales, reactivadas a partir de una tectónica de inversión durante el Cenozoico, a partir de la Orogénesis alpina, de características compresionales. Existe también un sistema de fallas de carácter traslacional en dirección WNW-ESE (Figura 3.2). Éste se desarrolló a finales del Mioceno (Doblas et al., 1991)

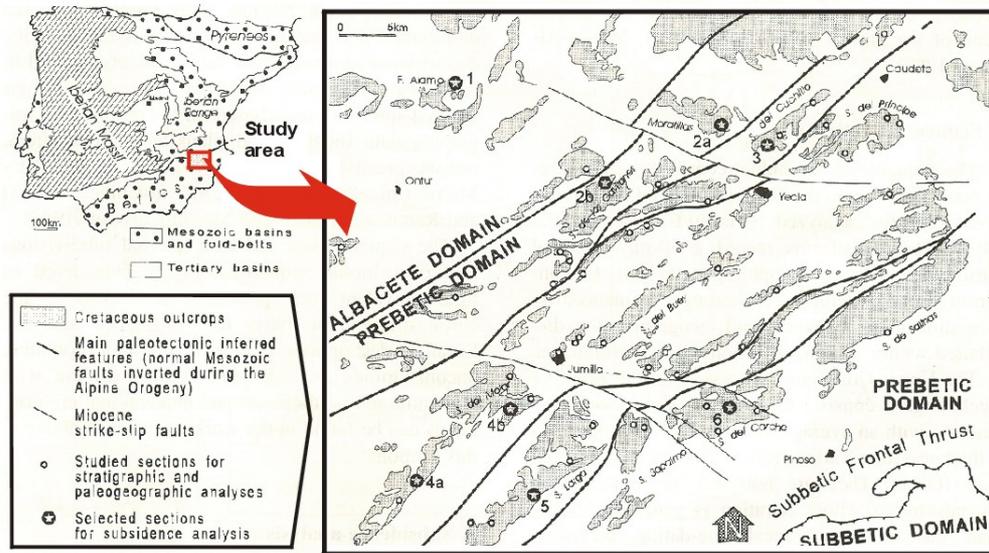


Figura 3.2: Situación estructural regional del acuífero Jumilla-Villena, donde se muestran los afloramientos cretácicos (de Martín-Chivelet, 1996).

La sierra de Serral-Salinas, la sierra del Carche en los límites sur y sureste así como la sierra Larga, en el límite occidental, pertenecerían al Prebético Interno meridional, mientras que la sierra del Buey, del Picarcho, del Molar, del Príncipe y del Cuchillo, y la Lacera, que la limitan hacia el noreste, pertenecen al Prebético externo (Figura 3.3). Estas sierras, constituidas casi exclusivamente por materiales cretácicos, pertenecerían a las series de tránsito.

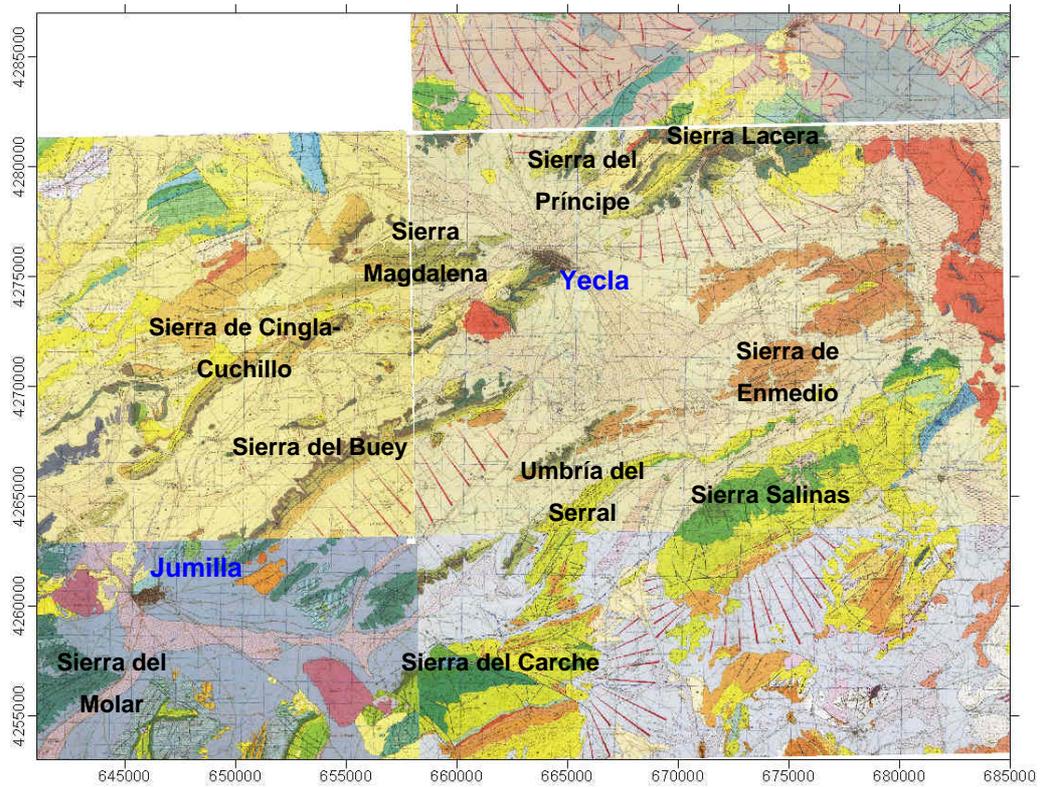


Figura 3.3: Principales accidentes geográficos relacionados con el acuífero Jumilla-Villena.

3.2.1 Estructuras geológicas: dominios estructurales

El establecimiento cronológico de las deformaciones responsables de la configuración estructural de la zona es de difícil determinación, se sabe que ésta se establece básicamente durante el Terciario. En el Mioceno inferior se define claramente una fase compresiva, correspondiente al Burdigaliense inferior (Jerez Mir, L. 1973: extraído de la memoria del mapa IGME, 1981).

Se definen también otras etapas compresivas, configurando de este modo la estructura geológica actual. Se distinguen movimientos estructurales importantes a nivel regional a finales del Jurásico y principios del Cretácico, finales del Cretácico, y Eoceno, de prolongación durante el Oligoceno. En el límite entre el Prebético externo y el interno septentrional, dónde queda enmarcado el acuífero, se produce una elevación regional. Se formarán de este modo una serie de estructuras que eran fosilizadas durante el Mioceno. Estas fases coinciden con movimientos tectónicos muy importantes a nivel

global, relacionados con un desplazamiento del manto Subbético y Prebético interno central (Jerez Mir, L. 1973: extraído de la memoria del mapa IGME, 1981).

Prebético externo

Se caracteriza por pliegues de dirección NE-SW con longitudes de ejes de más de 5 km. En general son pliegues isopacos, vergentes hacia el NW (Figura 3.8) aunque a veces pueden presentar vergencias opuestas, motivadas probablemente por efectos diapíricos o retrocabalgamientos (Figura 3.9). Dado el relativo espesor de la cobertera dentro del contexto regional, son zonas muy aptas para el diapirismo.

Dentro del Prebético externo se diferencian un conjunto de accidentes orográficos relacionados con la configuración geológica regional de la zona. Los más destacables son el accidente del Vinalopó, la sierra Magdalena, la sierra del Cuchillo la sierra Lácer y la sierra del Príncipe

Accidente del Vinalopó

Se trata de una importante discontinuidad, de dirección NNW-SSE, probablemente relacionada con un accidente de zócalo. Se considera una gran falla de desgarre, separadora de diferentes dominios. De las observaciones realizadas a ambos lados de la falla así como por comparación de facies a uno y otro lado de la misma se llega a la conclusión de que este accidente obedece a una falla a través de la que se inyecta el Keuper, probablemente durante una etapa distensiva. El accidente del Vinalopó se sitúa en el límite oriental de la zona de estudio y puede localizarse a partir de los afloramientos del Keuper en esta zona (Rodríguez Estrella, 1977: extraído de la memoria del mapa IGME, 1981).

Sierra Magdalena-Sierra del Cuchillo

La sierra Magdalena (Figura 3.3) presenta una estructura que se corresponde con un sinclinal volcado en el flanco meridional de la sierra y un anticlinal también tumbado y fracturado con vergencia hacia el NE, indicativo de la relevancia del Keuper en el establecimiento de las diferentes relaciones

estructurales. Al intruir éste, provoca estructuras y vergencias anómalas dentro de las líneas tectónicas generales establecidas.

Más al sur, ya en el dominio de la zona de estudio, la estructura de las sierras adyacentes está condicionada en su totalidad por la presencia en profundidad del Keuper que incluso llega a aflorar. Así, en Yecla todos los pliegues y fallas son respuesta de los movimientos halocinéticos del Triásico. Ocurre lo mismo en Umbría de Pava (Figura 3.7) situada al SW de Yecla, estructura de prolongación de la sierra del Buey (Figura 3.11), y de complejidad tectónica que aparece definida por la acción diapírica del Keuper en profundidad.

La sierra del Cuchillo es de estructura más sencilla, fracturada en su zona meridional y influenciada por la inyección del Keuper. Se trata de una serie cretácica aparentemente monoclinas. En el borde septentrional es presumible una fracturación que condiciona una depresión rellena de depósitos marinos de edad miocena. La sierra del Cuchillo queda localizada fuera de la zona de estudio, hacia el norte de su límite septentrional (memoria del mapa IGME, 1981).

Sierra del Príncipe y Sierra Lacera

Hacia el NE de la zona de estudio. Junto con la sierra del Cuchillo, forma parte de un gran bloque que a nivel regional aparece individualizado entre Yecla y Caudete. La sierra del Príncipe es una estructura volcada, tipo sinclinal que alberga en su núcleo material continental del Oligoceno (Figura 3.9). La vergencia es hacia el NW, y a la vez se ve afectada por una serie de fracturas de diferente envergadura que contribuyen a la disposición geométrica de los materiales. Hacia el E, se observa un anticlinal fallado en su núcleo por ambos flancos, que en su parte más oriental da lugar a la sierra de la Lacera, dónde aflora la serie completa del Cretácico para este dominio. La Sierra Lacera constituye el límite NE de la zona de estudio (memoria mapa IGME, 1981).

Prebético interno septentrional

Este dominio viene principalmente representado por la sierra del Serral (hacia el WSW) y la sierra de Salinas, respectivamente (Figura 3.3). Estructuralmente y a nivel regional se trata de un gran bloque que cabalga hacia el NW sobre el Prebético externo, caracterizado por grandes pliegues y por una cobertera muy potente (memoria mapa IGME, 1981).

La sierra del Serral puede individualizarse de la sierra de Salinas ya que es ésta la que verdaderamente aparece cabalgando. El Serral es un bloque separado del anterior, en forma de arco, con fracturación paralela a la estructura y cabalgamientos sucesivos en el flanco norte, provocando una repetición de la serie e incluso inversión de la misma.

La sierra de Salinas (E) aparece definida por un anticlinal de más de 12 km de extensión longitudinal vergente y cabalgante hacia el NW (Figura 3.8). La estructura aparece definida por diferentes formaciones calcáreas cretácicas, afectadas por fallas de pequeño interés sin apenas desplazamientos, con flancos que forman una gran bóveda vergente. En su parte oriental, la sierra aparece afectada por un cabalgamiento de los materiales jurásicos, con un origen que hay que buscarlo en etapas de fuerte compresión y diapirismo. Su terminación occidental parece estar condicionada por una falla de desgarre de dirección NNE-SSW.

Prebético interno central

Queda separado del septentrional por una línea situada al sur de la sierra de Salinas. El contacto es tectónico y en base al análisis de facies de los materiales así como a un estudio regional (Jerez Mir, 1981: extraído de la memoria del mapa IGME, 1981) se deduce un carácter alóctono para este dominio, y desplazado de la zona en estudio.

3.2.2 Cartografía geológica y cortes geológicos

En este apartado se realiza una revisión de la cartografía geológica de la zona de estudio estableciendo la relación geológica existente entre los

diferentes materiales geológicos y la estructura geológica, destacando aquellas estructuras más relevantes desde un punto de vista hidrogeológico. Estas relaciones se han establecido tomando como referencia la cartografía existente, elaborándose también diversos cortes geológicos para conocer la estructura geológica existente en profundidad (Figura 3.4). La información obtenida a través de los cortes y la cartografía en general se ha contrastado con información del subsuelo obtenida a partir de Sondeos Eléctricos Verticales (ITGE, 1992) y a partir de información de sondeos mecánicos.

En síntesis, la zona de estudio se caracteriza por una tectónica alpina que a grandes rasgos viene definida por los dominios tectosedimentarios a los que ya se ha hecho referencia: Prebético externo y Prebético interno. Dentro de cada dominio se diferencian distintos sectores en virtud del estilo de pliegues y fracturación. En general se aprecia una dirección predominante NE-SW que se ve interrumpida en la parte oriental por una discontinuidad (accidente del Vinalopó) de dirección casi submeridiana (NNW-SSE). En cada una de las unidades tecto-sedimentarias se pueden establecer una serie de sectores en base a los distintos tipos de pliegues, vergencias y accidentes importantes. El Keuper, de comportamiento plástico, motiva una serie de despegues a nivel de zócalo, adquiriendo características diapíricas a favor de las discontinuidades más importantes. Se han producido importantes acortamientos en la cobertera que se traduce en pliegues vergentes y cabalgamientos. Destaca a efectos de comportamiento, el claro aumento de espesor de la cobertera que se produce de norte a sur.

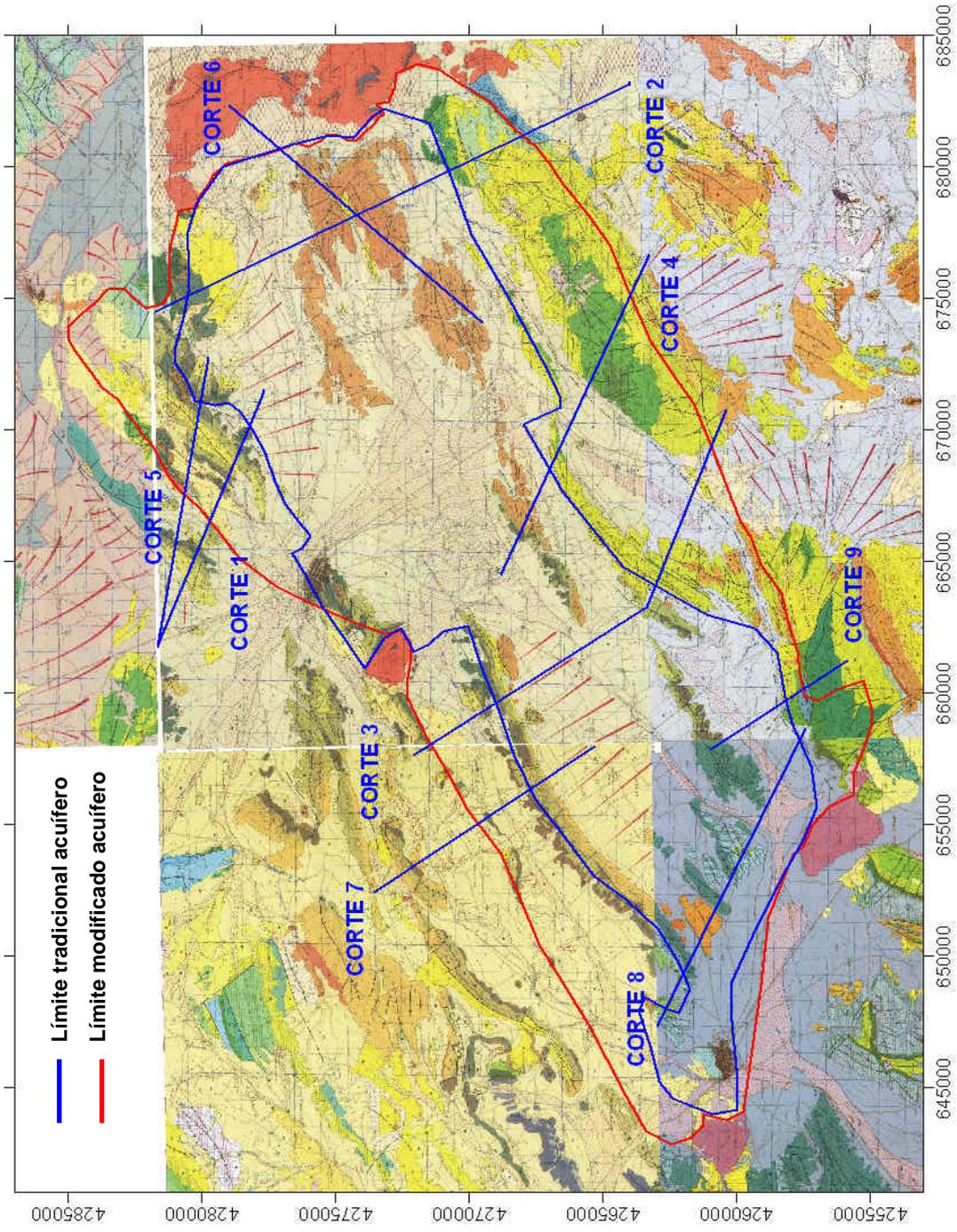


Figura 3.4: Situación de los cortes geológicos de las figuras 3.5 a 3.13.

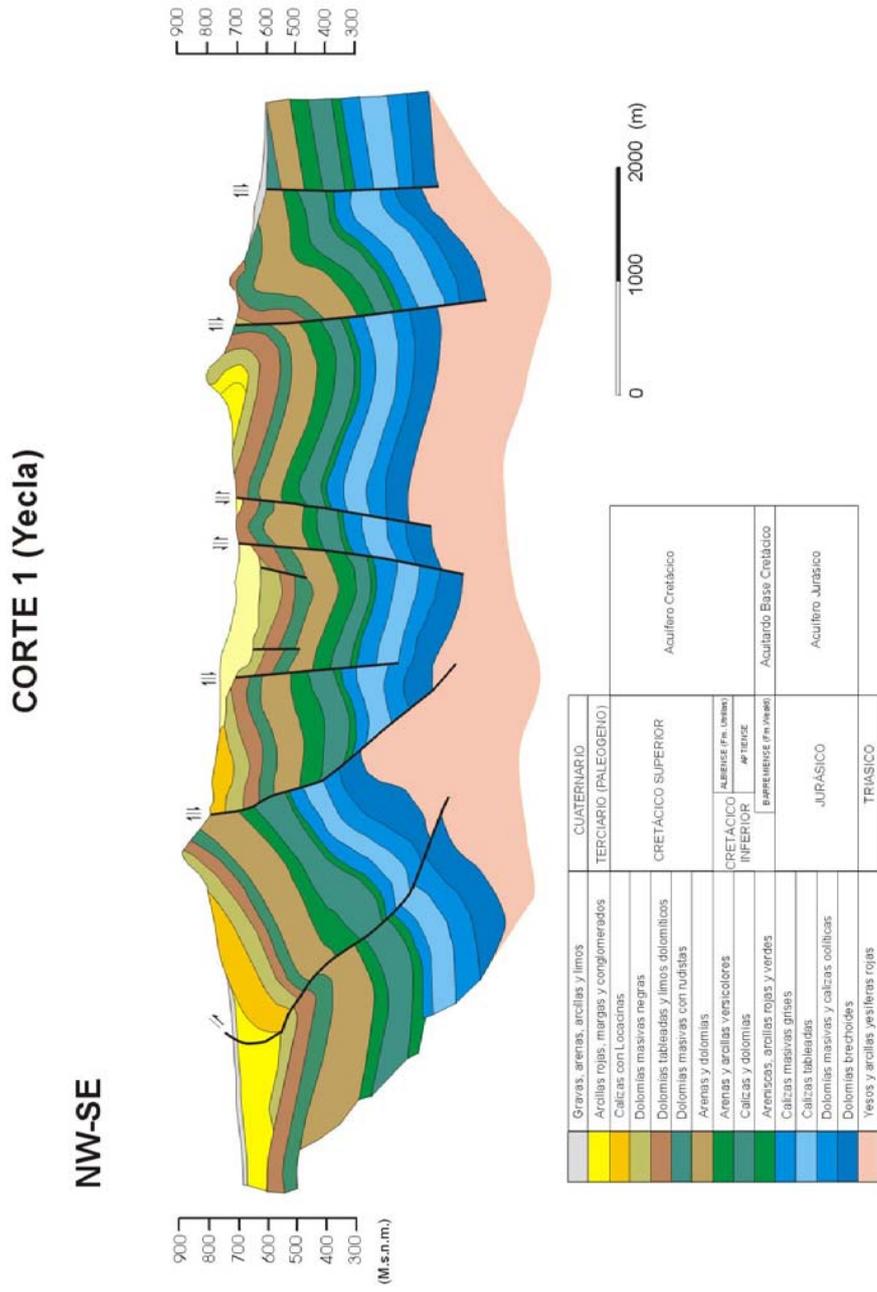


Figura 3.5: Corte transversal al límite de la unidad acuifera en su sector N correspondiente a la Sierra del Príncipe.

Se aprecia una estructura volcada sinclinal vergente al NW que alberga en su núcleo material de origen continental del Oligoceno.

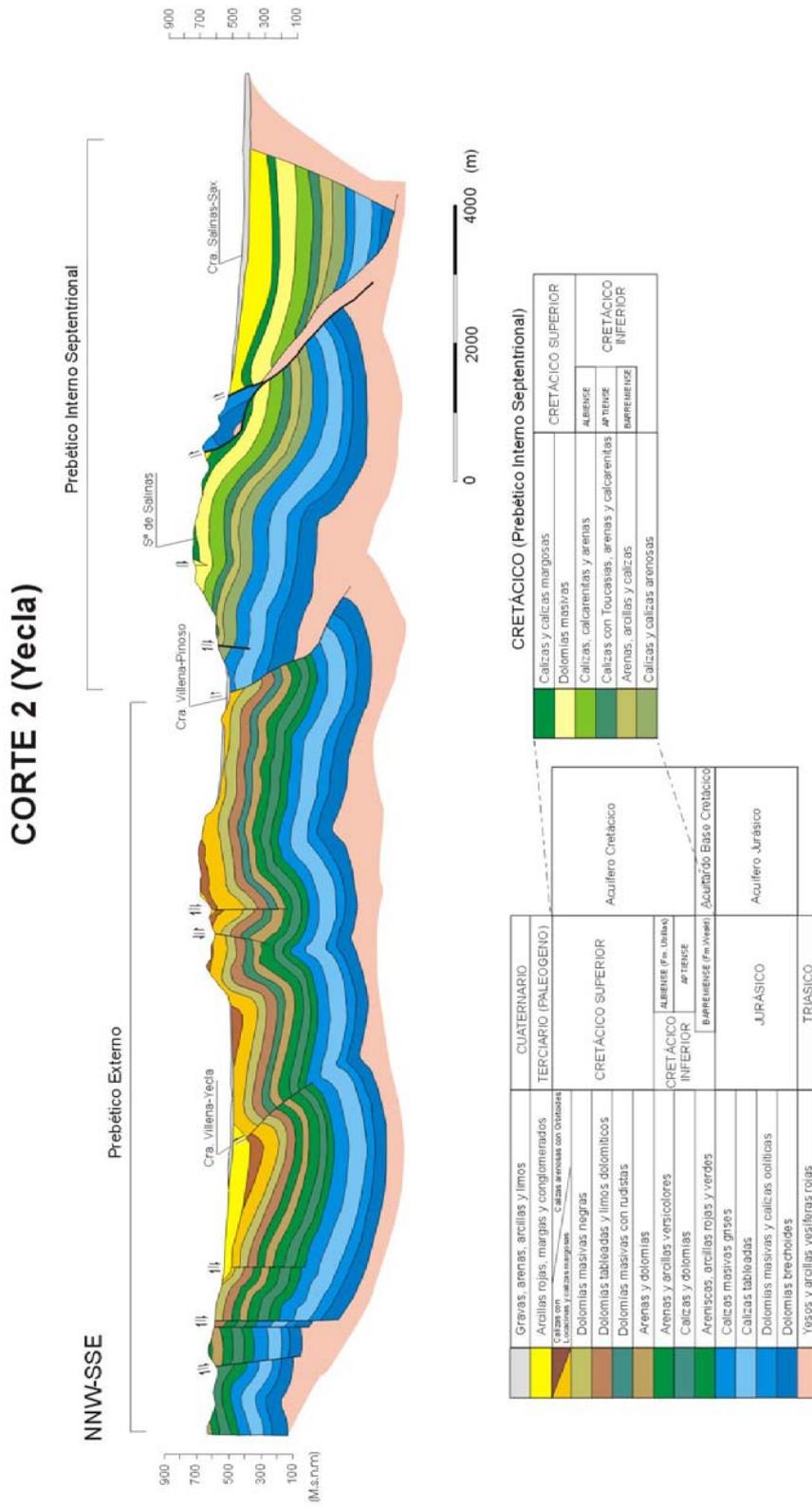


Figura 3.6: Corte que muestra la geología en profundidad del acuífero Jumilla-Villena transversal a su sector oriental.

Se indica con claridad el material perteneciente a ambos subdominios (Prebético interno septentrional y Prebético externo)

CORTE 3 (Yecla)

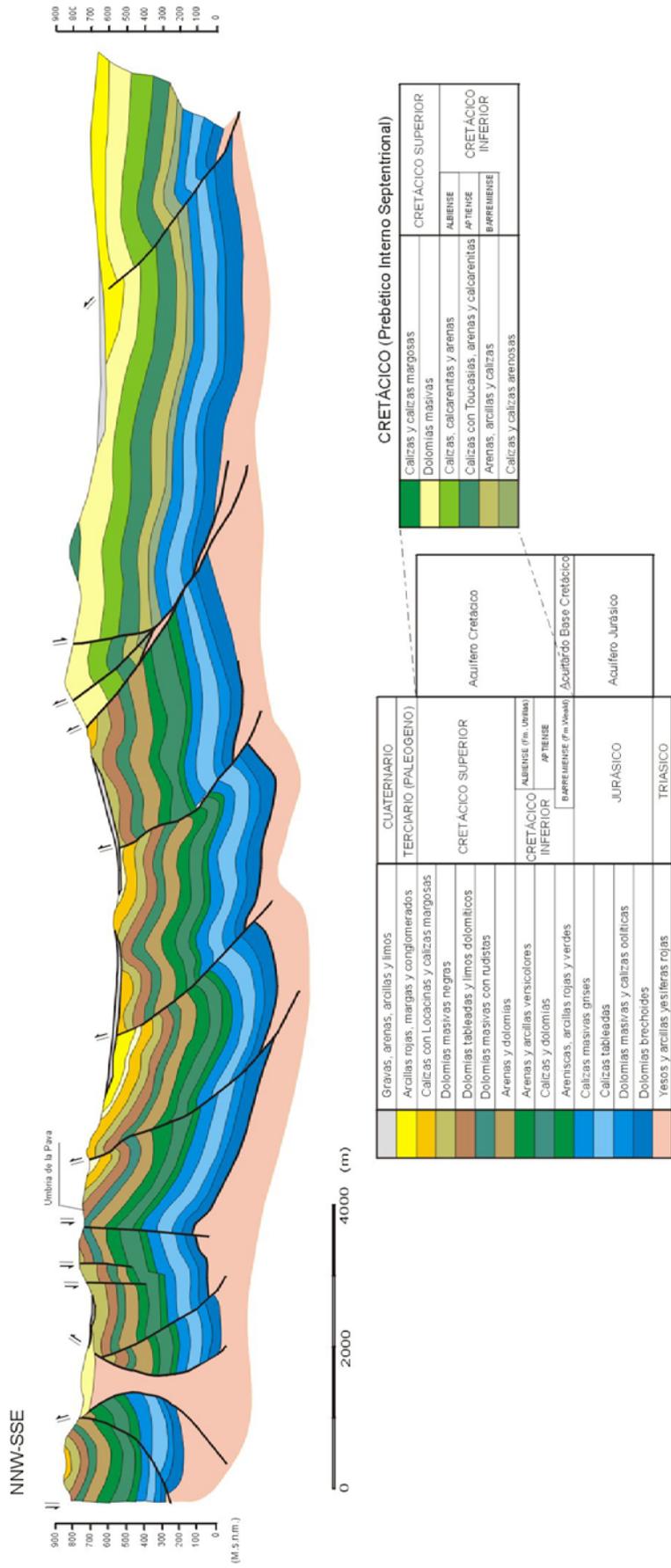


Figura 3.7: Corte transversal al acuífero Jumilla-Villena en su parte central.

El corte atraviesa de NNW a SE la Sierra del Buey, Umbría del Serral y la Hoya del Moñigal, colmatada con materiales terciarios y cuaternarios.

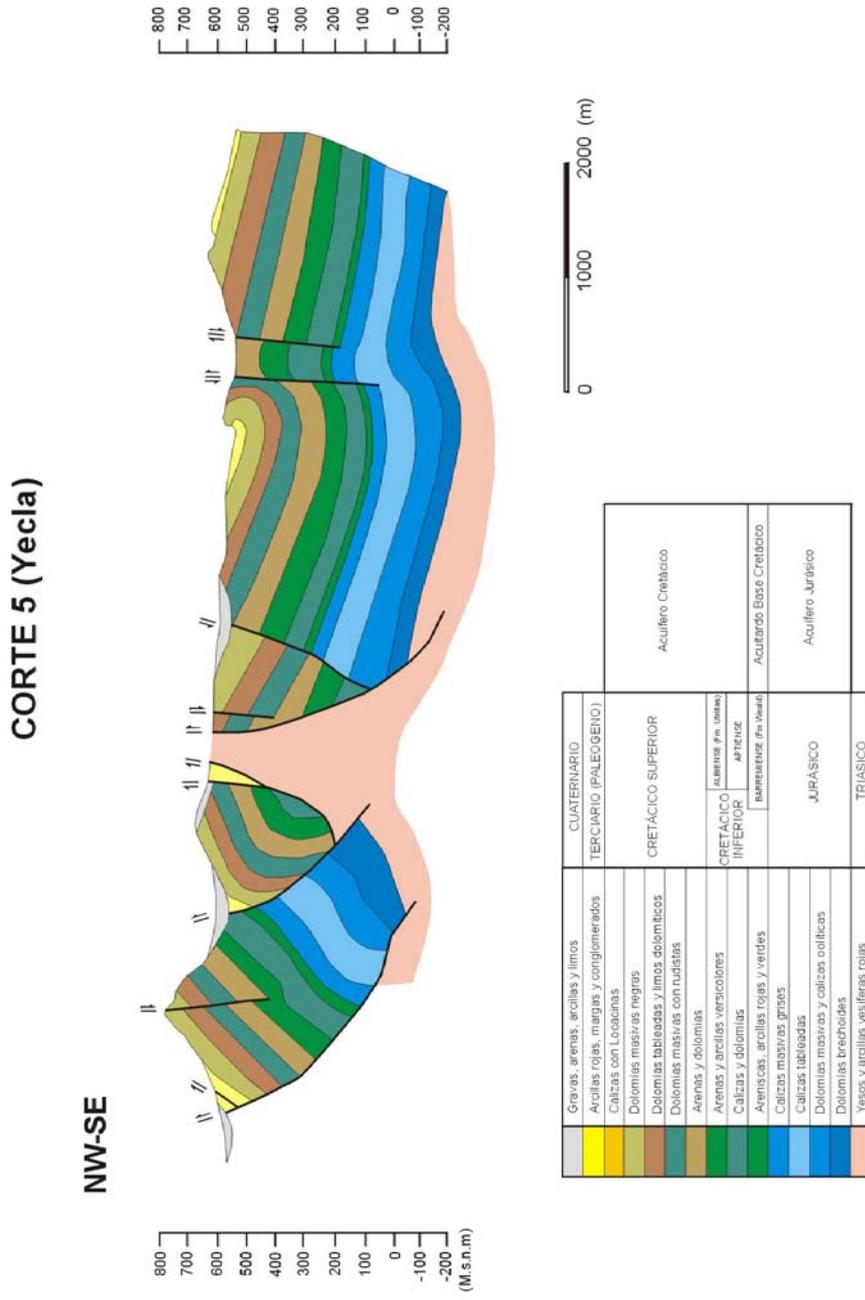
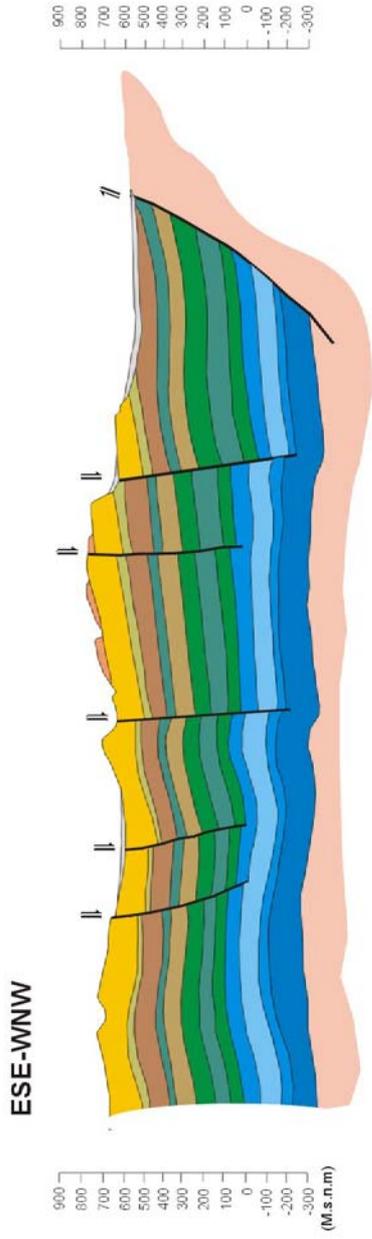


Figura 3.9: Corte transversal al límite de la unidad acuífera en su sector N correspondiente a la Sierra del Príncipe.

Se aprecia un ascenso del material del Keuper que llega a aflorar en esta zona

CORTE 6 (Yecia)



Gravas, arenas, arcillas y limos	CUATERNARIO
Arcillas rojas, mergas y conglomerados	TERCIARIO (PALEOGENO)
Calizas con Locachinas	
Dolomías masivas negras	CRETÁCICO SUPERIOR
Dolomías tableadas y limos dolomíticos	
Dolomías masivas con ruísticas	
Arenas y dolomías	
Arenas y arcillas versicolores	CRETÁCICO INFERIOR
Calizas y dolomías	ALBUENSE (Fm. Umbr)
Areniscas, arcillas rojas y verdes	APTIENSE
Calizas masivas grises	BARREMIENSE (Fm. Voad)
Calizas tableadas	
Dolomías masivas y calizas oolíticas	JURÁSICO
Dolomías brechoides	
Yesos y arcillas yesíferas rojas	TRIÁSICO
	Acuífero Cretácico
	Acuífero Eoase Cretácico
	Acuífero Jurásico

Figura 3.10: Sección transversal al límite E de la unidad acuífera.

Obsérvese el Keuper (Triásico Superior) como límite del acuífero en esta zona.

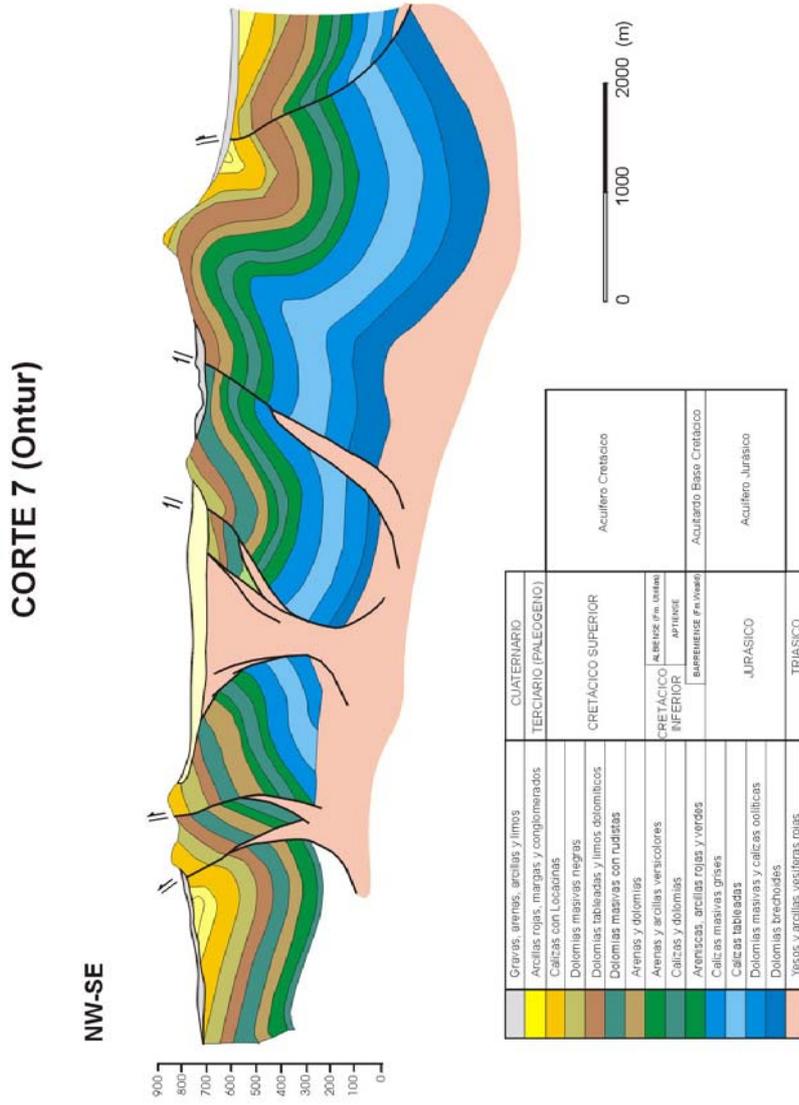


Figura 3.11: Sección transversal al límite NW del acuífero atravesando la Sierra del Buey.

Se puede apreciar la relevancia del Triásico superior en esta zona como potencial límite hidrogeológico.

CORTE 8 (Jumilla)

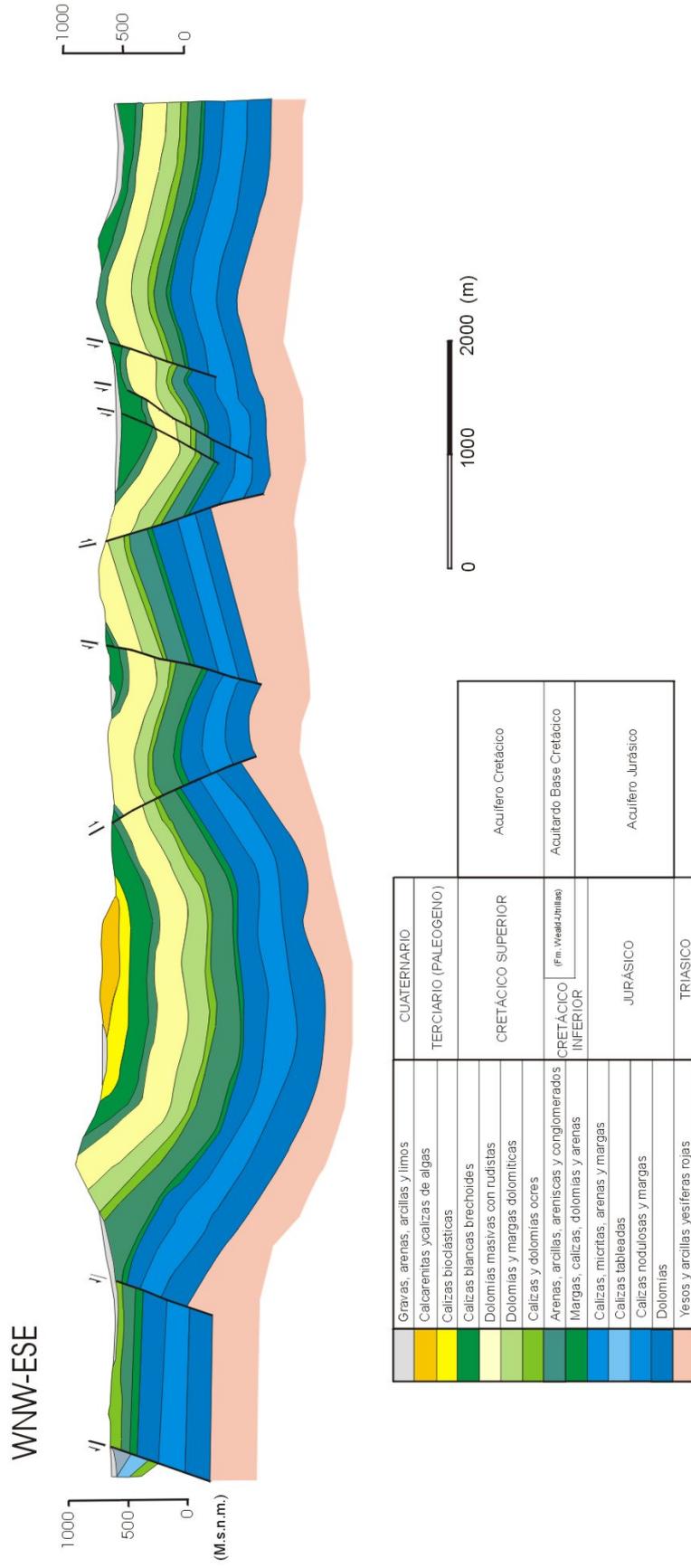


Figura 3.12: Sección transversal al acuífero en la zona de Jumilla.

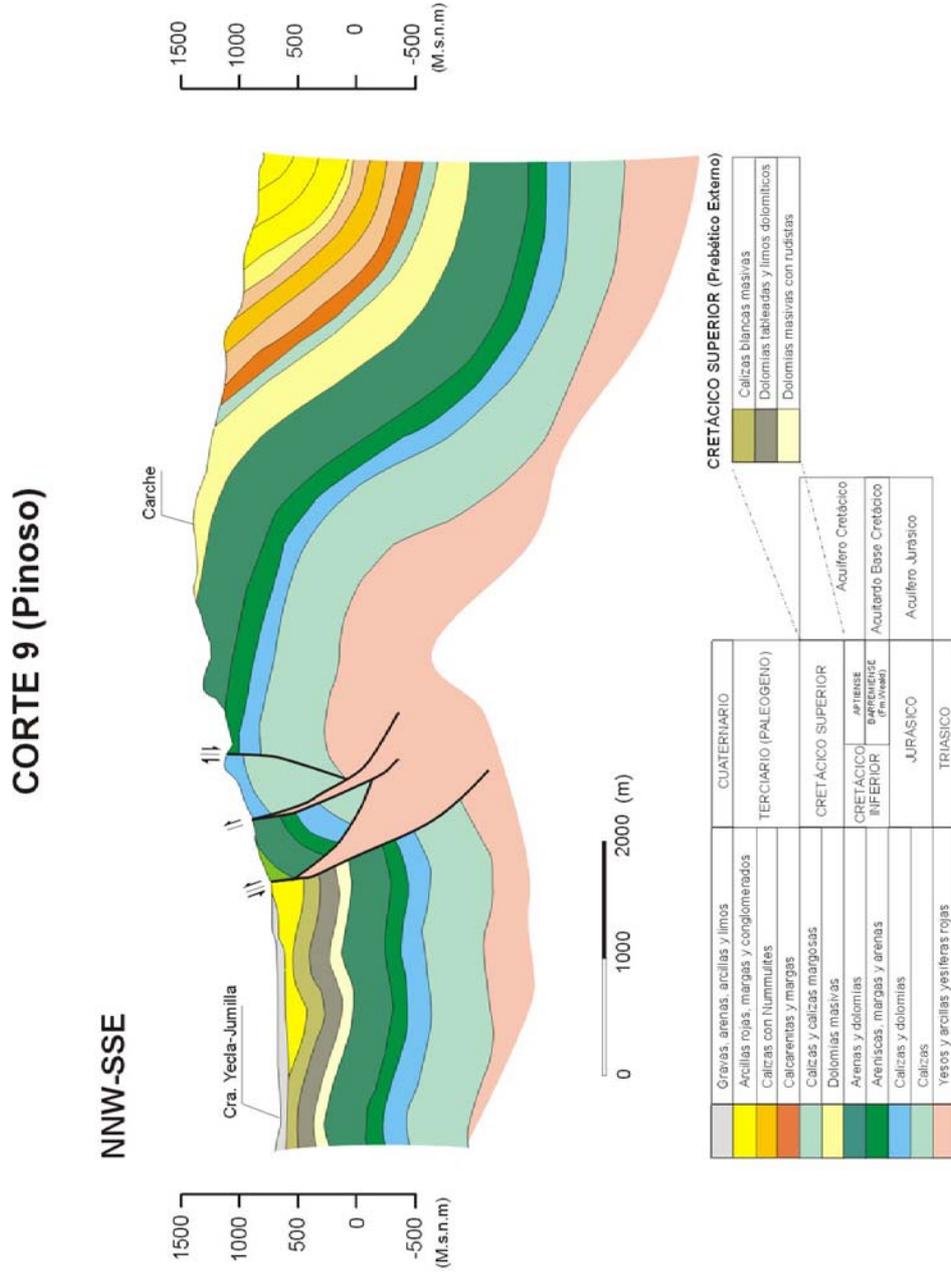


Figura 3.13: Sección transversal al límite S del acuífero Jumilla-Villena, atravesando la Sierra del Carche.

3.3 Límites del acuífero

Tradicionalmente, el acuífero Jumilla-Villena se ha considerado formado por los materiales carbonatados del Cretácico superior, llegando a aflorar en algunas zonas, y limitado sobre todo por accidentes tectónicos. No obstante, en base a la información geológica y geofísica de la que se dispone, creemos que estos límites pueden discutirse en algunos casos, aunque nuestros indicios no son suficientes como para justificar los nuevos límites de forma definitiva, lo que requeriría de un estudio geológico mucho más extenso. En todo caso, será una hipótesis que contemplaremos mediante el modelo numérico en el presente trabajo.

Los materiales del Keuper han sufrido una fuerte halocinesis o diapirismo, provocando grandes saltos verticales y aflorando en el entorno del acuífero. Por tanto, como se verá, debido a las características impermeables del material, éste, en principio, podría considerarse como límite hidrogeológico del acuífero. Hacia el ENE el límite del acuífero viene determinado por estos materiales. En esta zona, los afloramientos del Trías, formados por materiales evaporíticos (yesos y sales) son de gran extensión. Por tanto, el límite se mantiene aquí tal y como tradicionalmente se había considerado.

El límite S del acuífero venía determinado por un cabalgamiento de gran extensión de dirección ENE-WSW, no aflorante, localizado en la vertiente norte de la sierra de Salinas. Este límite se prolongaba en esta misma dirección (hacia el SW) por Umbría del Serral, y hacia el sur por la sierra del Carche. La justificación de usar el cabalgamiento como límite venía dada por el hecho de que en esta zona se consideraba el Cretácico inferior como barrera hidrogeológica, al encontrarse éste verticalizado e independizando el acuífero Jumilla-Villena con respecto al acuífero Carche-Salinas, situado hacia el sur y englobando a la sierra de Salinas. No obstante, la sierra de Salinas presenta en esta zona un alto topográfico que supera en algunos casos los 1000 m de altitud. Independientemente de la conectividad hidráulica que permita el Cretácico inferior, hemos realizado la hipótesis de que desde un punto de vista hidrogeológico la Sierra de Salinas podría constituir el límite

del acuífero como divisoria de aguas. Se trata de una hipótesis de partida de nuestro modelo conceptual, sin embargo, los límites del acuífero en esta zona requerirían de un estudio más detallado que permitieran subsanar la falta de datos en este sector, al existir dudas sobre la geometría o extensión del cabalgamiento considerado hasta ahora como límite. El nuevo límite se intentará corroborar, no obstante, mediante el modelo numérico de flujo. Por tanto, el límite se desplaza hacia el sur en esta zona con respecto a su situación original.

Hacia el SW el límite lo marca la Sierra del Carche, también debido a que se trata de una divisoria de aguas. De esta manera la Hoya del Moñigal quedará dentro del dominio establecido anteriormente, drenando subterráneamente hacia el centro de la cuenca. Hacia el W el límite viene determinado por los afloramientos del Trías en esta zona, respetando el contorno original.

El límite WNW del acuífero venía tradicionalmente determinado por el alto topográfico correspondiente a la sierra del Buey. No obstante, aunque no se pueda afirmar de forma definitiva, existen indicios de que el Trías puede jugar un papel importante más hacia el norte, como indican algunos afloramientos en esta zona. Según esta hipótesis, que será considerada mediante el modelo numérico, la sierra del Buey quedaría totalmente integrada dentro del acuífero Jumilla-Villena. De esta forma, el límite WNW tendría una continuidad lateral por este sector y se extendería a los afloramientos evaporíticos del Keuper en los alrededores de Yecla y Jumilla respectivamente, en dirección WSW-ENE. En la misma dirección, más hacia el norte, el límite se extendería incorporando las sierras de Lácer y del Príncipe como divisorias en este sector.

Estos nuevos límites se indican en la Figura 3.14. La superficie del acuífero de acuerdo con los límites anteriores era de 342 km², y con los nuevos límites pasa a ser de 555 km².

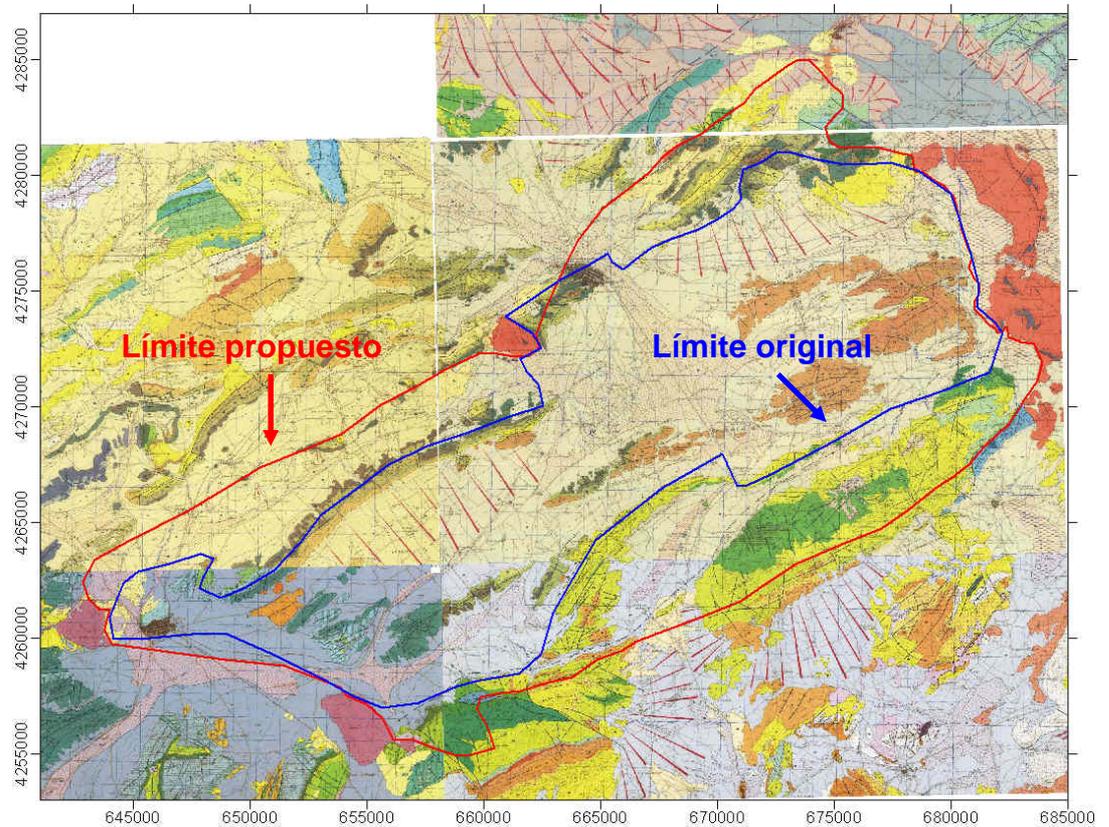


Figura 3.14: Límites tradicionales (en azul) y propuestos (en rojo) del acuífero Jumilla-Villena.

3.4 Características hidrogeológicas

Las características litoestratigráficas de los materiales permiten diferenciar principalmente 4 tipologías en función de sus características hidrogeológicas. Estos 4 tipos o unidades son los que se considerarán en el modelo numérico:

1. **Triásico**, formado por yesos y arcillas, que actúa como base impermeable.
2. **Jurásico**, acuífero formado por dolomías y calizas, de una potencia de unos 300 m
3. **Base del Cretácico Inferior** (Barremiense, facies Weald), formada por areniscas y arcillas versicolores, de unos 50 m de potencia media, que

puede considerarse como de menor permeabilidad que el Jurásico y el resto del Cretácico.

4. **Cretácico Superior y parte del Inferior (Albiense, Apítense)**, El Cretácico Superior se encuentra formado por materiales carbonatados (calizas y dolomías) y es de gran espesor. Queda limitado por los materiales de la formación Utrillas que lo separan del Albiense y Apítense, también carbonatados. Se desconoce la continuidad que poseen los materiales detríticos de la formación Utrillas y, por tanto, el acuífero del Cretácico englobará a los materiales mencionados a efectos prácticos debido a sus similitudes hidrogeológicas y a modo de simplificación.

Como se ha comentado en la introducción, el acuífero más explotado y del que se tiene prácticamente toda la información es del Cretácico superior, sin que se tenga registro accesible de pozos que exploten el Jurásico en esta zona. Aunque algunos aluviales y formaciones miocénicas pudieron considerarse como pequeños acuíferos y ser explotados, la profundidad a la que actualmente se encuentran los niveles piezométricos (de 100 a 200 m por debajo de la superficie del terreno) permite suponer que estos no están saturados actualmente, por lo que pueden no ser tenidos en cuenta en el modelo numérico.

3.5 Inventario de puntos de agua

En total se dispone de 102 puntos en el acuífero Jumilla-Villena con medidas de nivel, 67 con datos de extracciones y 143 con algún dato hidroquímico. El listado de estos puntos se presenta en el anexo 1 de este informe. Adicionalmente, se han incorporado también puntos del acuífero Cingla-Cuchillo y del acuífero Carche-Salinas para su análisis comparativo con los del acuífero de estudio. Todos los datos disponibles se han incorporado a una nueva base de datos en formato Excel. Los datos han sido recopilados de Guimerà et al. (2000), D.P.A (2003), la información facilitada por el Director del Proyecto del IGME procedente de la Base de Datos de la DPA (Diputación de Alicante) y de la Confederación Hidrográfica del Júcar, y los datos de

extracciones proporcionados a través de la DPA de la Junta Central de Usuarios del Vinalopó.

Las medidas piezométricas van desde el año 1964 hasta el 2005, pero su distribución es muy irregular tanto en el espacio (

Figura 3.15) como en el tiempo. Tan sólo 9 puntos del acuífero tienen series de más de 50 medidas piezométricas, y no abarcan una serie continua larga de años.

Los datos de extracciones abarcan desde el año 1980 hasta el 2003, y su distribución también es muy irregular tanto en el espacio (

Figura 3.16) como en el tiempo. En esta figura se han representado los datos en diferentes colores según la procedencia de los mismos, observándose que la distribución espacial de los datos depende claramente de la fuente. Dicho de otra manera, aquellos puntos que se encuentran en el estudio que INTECSA-INARSA (2003) realizó para la DPA, se distribuyen por la provincia de Murcia (en rojo), mientras que los pertenecientes a la base de datos del IGME/DPA (en azul), conjuntamente con los facilitados por la Junta Central de Usuarios del Vinalopó (en verde), se encuentran distribuidos en la provincia de Alicante.

Respecto a los datos hidroquímicos, hay que destacar que su distribución también es irregular: mientras que la mayoría de puntos del acuífero con datos de nivel están situados en posiciones marginales hacia el SW o hacia el NE, los puntos donde se tienen análisis químicos están mayoritariamente en una posición centrada y hacia el NE (Figura 3.17).

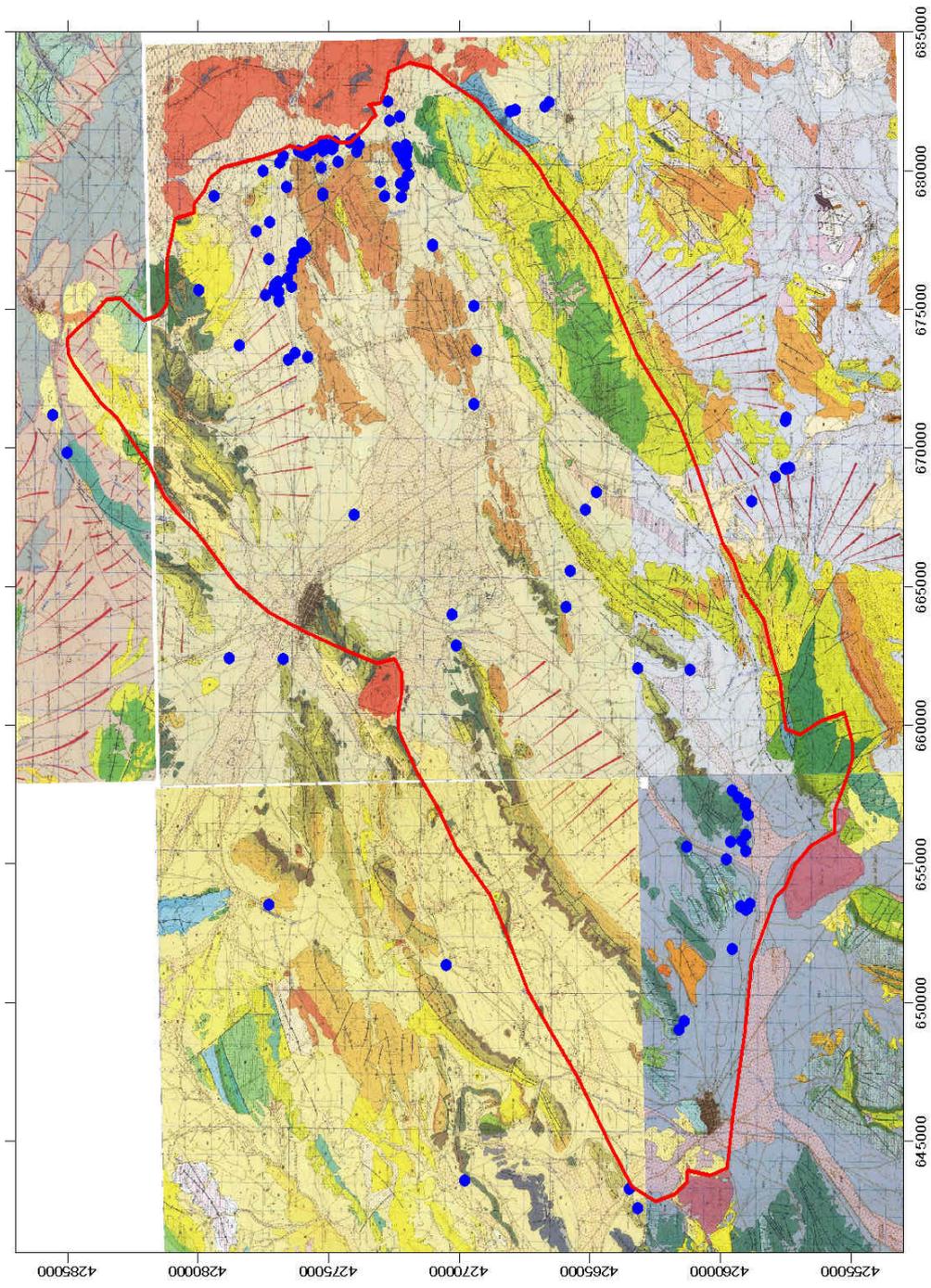


Figura 3.15: Localización de los puntos de agua con información piezométrica del acuífero Jumilla-Villena.

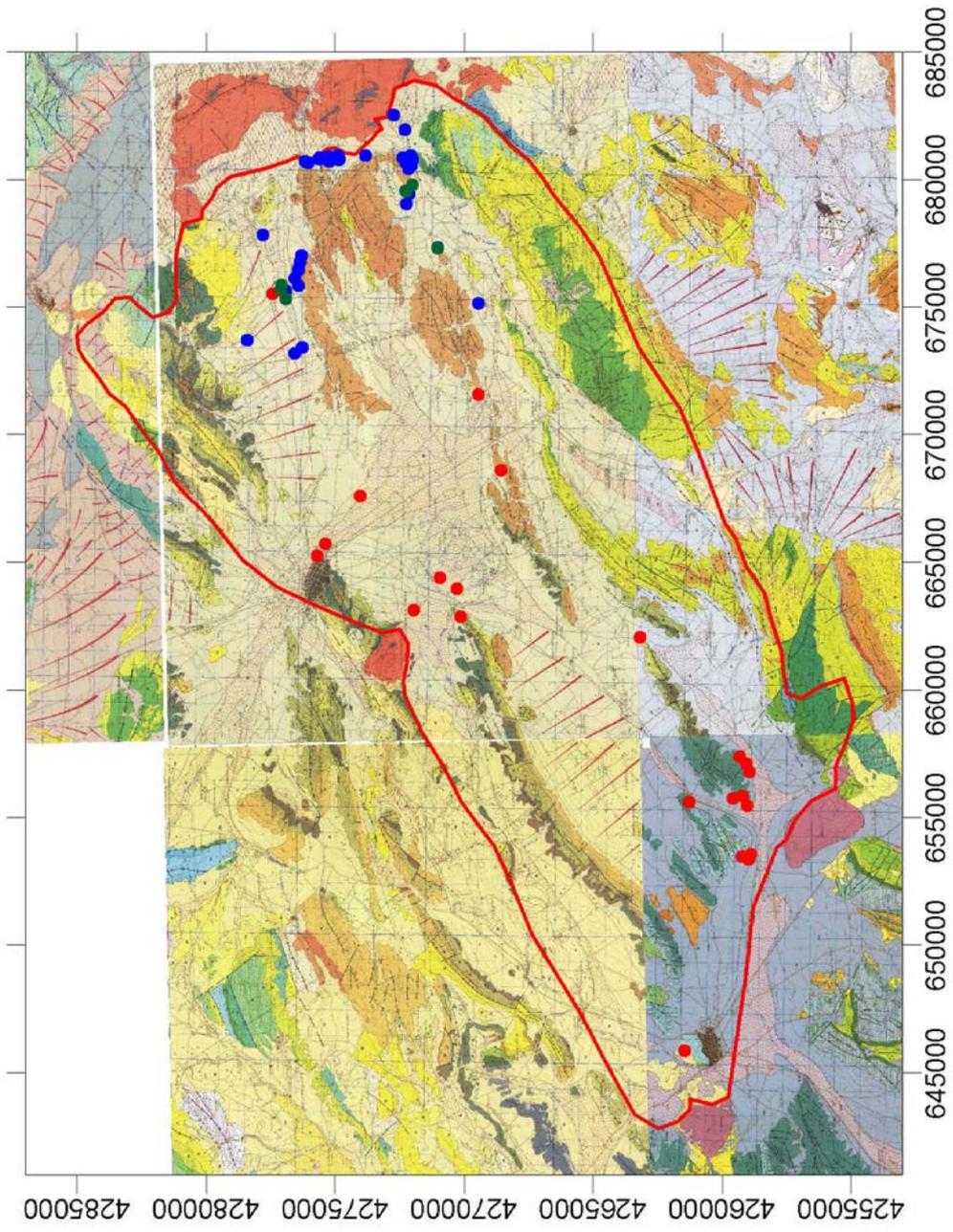


Figura 3.16: Distribución de los puntos del acuífero en los que se dispone de información de extracciones.

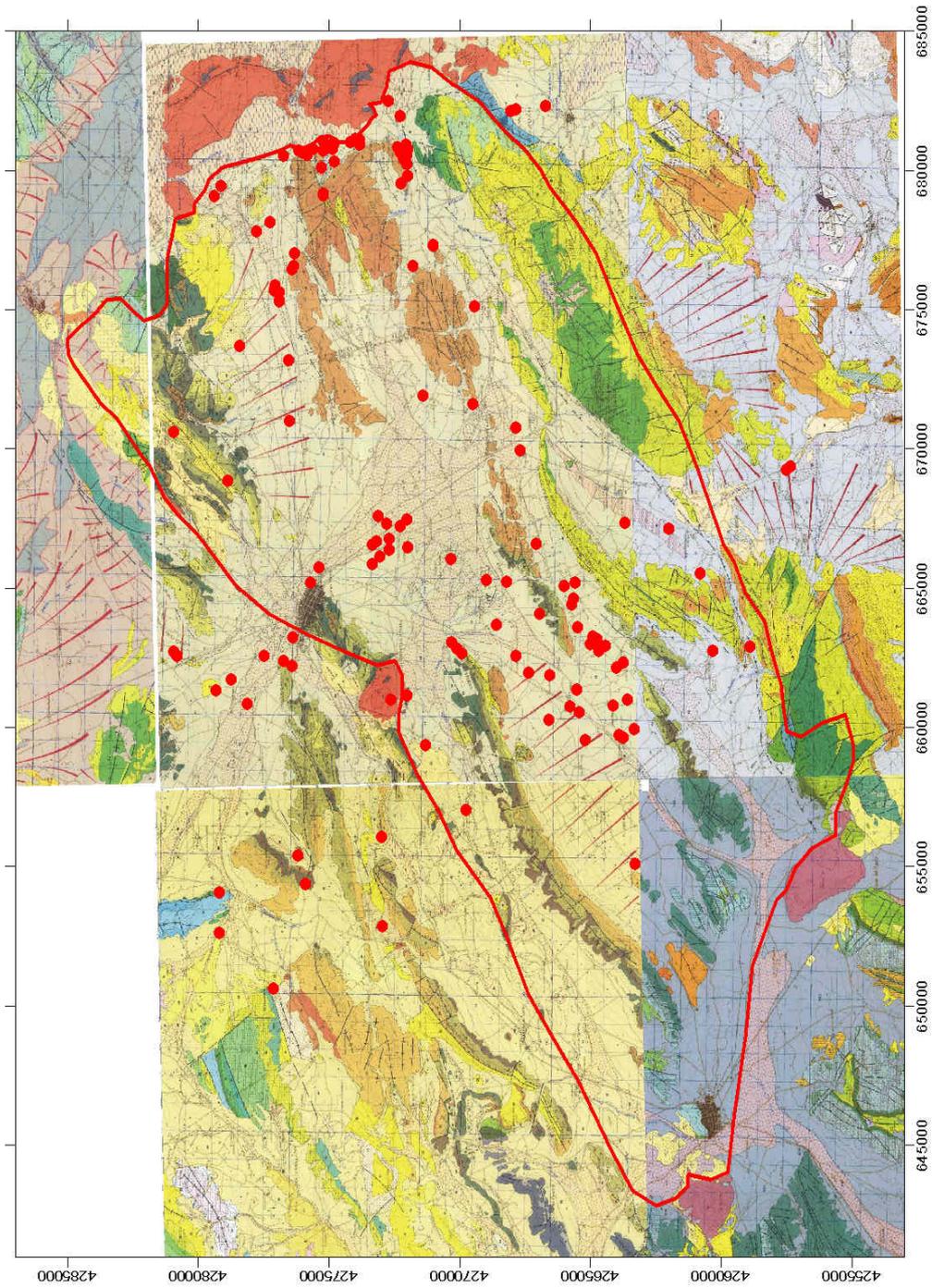


Figura 3.17: Situación de los puntos del acuífero con información hidroquímica

4. Definición geométrica del acuífero

4.1 Información previa para la elaboración de la geometría del acuífero

La geometría tridimensional del acuífero Jumilla-Villena se ha materializado a partir de un conjunto de mapas de líneas isohipsas, es decir, de líneas de igual cota con respecto al nivel del mar, pensados para delimitar en profundidad la posición del techo del Cretácico superior y la base del Cretácico inferior (ITGE, 1993b). Estos mapas de isohipsas, indispensables también para la construcción de un modelo conceptual, han sido extraídos de ITGE (1993b), y se realizaron a partir de una interpretación de datos geofísicos (perfiles eléctricos verticales, ITGE, 1992), transversales a la zona de estudio en dirección NNW-SSE, y de sondeos mecánicos. Estos mapas iniciales de isohipsas se han verificado y corregido en función de los cortes geológicos establecidos en el capítulo anterior.

Los límites del acuífero Jumilla-Villena, tal y como se ha explicado anteriormente, se han redefinido en el presente estudio, albergando parte del acuífero Carche-Salinas. Es necesario, por tanto, considerar las isohipsas del Carche-Salinas correspondientes a la vertiente norte de la Sierra Salinas y la Hoya del Moñigal (ITGE, 1993b). También se han definido los mapas en función de perfiles geoeléctricos verticales.

4.2 Mapas de isohipsas

En base a la información anterior se han definido las posiciones del techo del Cretácico superior y base del Cretácico inferior. Los mapas de isohipsas correspondientes pueden verse en el anejo 2 de este trabajo. De forma indirecta, por extrapolación y manteniendo la potencia de los materiales del Jurásico, de unos 300 m, puede definirse la posición de la base del Jurásico o techo del Trías (Keuper), a su vez considerado como límite inferior impermeable del acuífero.

Como se aprecia en los mapas de isohipsas que se presentan en el anejo 2, los espesores del Cretácico varían notablemente en función de la localización geográfica, aunque en general se sitúan entre 400 y 500 m. Existen algunas excepciones, como es el caso de la Hoya del Moñigal, dónde los espesores se sitúan entre 200 y 300 m.

En el caso de la posición del Trías superior, se aprecia una fuerte variación lateral en función de la localización geográfica. Este efecto se explica a través de los procesos halocinéticos que afectaron al Keuper y que en corto espacio pueden modificar la posición de este nivel en vertical con facilidad.

4.3 Visualización 3D

Para realizar la visualización del acuífero 3D se ha utilizado el propio software Visual Modflow. Aunque inicialmente y en la propuesta de trabajo se pretendía utilizar el programa de elementos finitos GMS (Groundwater Modeling System), el visualizador de Visual Modflow ha resultado también una potente herramienta visual, y de esta manera, y para evitar duplicidades de trabajo, toda la información incluida en los mapas de isohipsas se ha georeferenciado y digitalizado en Surfer y importado directamente a Visual Modflow. De esta manera puede ser utilizada ya directamente en la construcción geométrica del modelo numérico o para otros usos. Las siguientes Figura 4.1, Figura 4.2, Figura 4.3 y Figura 4.4 y Figura 4.5 son visualizaciones 3D y cortes longitudinales y transversales del acuífero realizados con Visual Modflow.

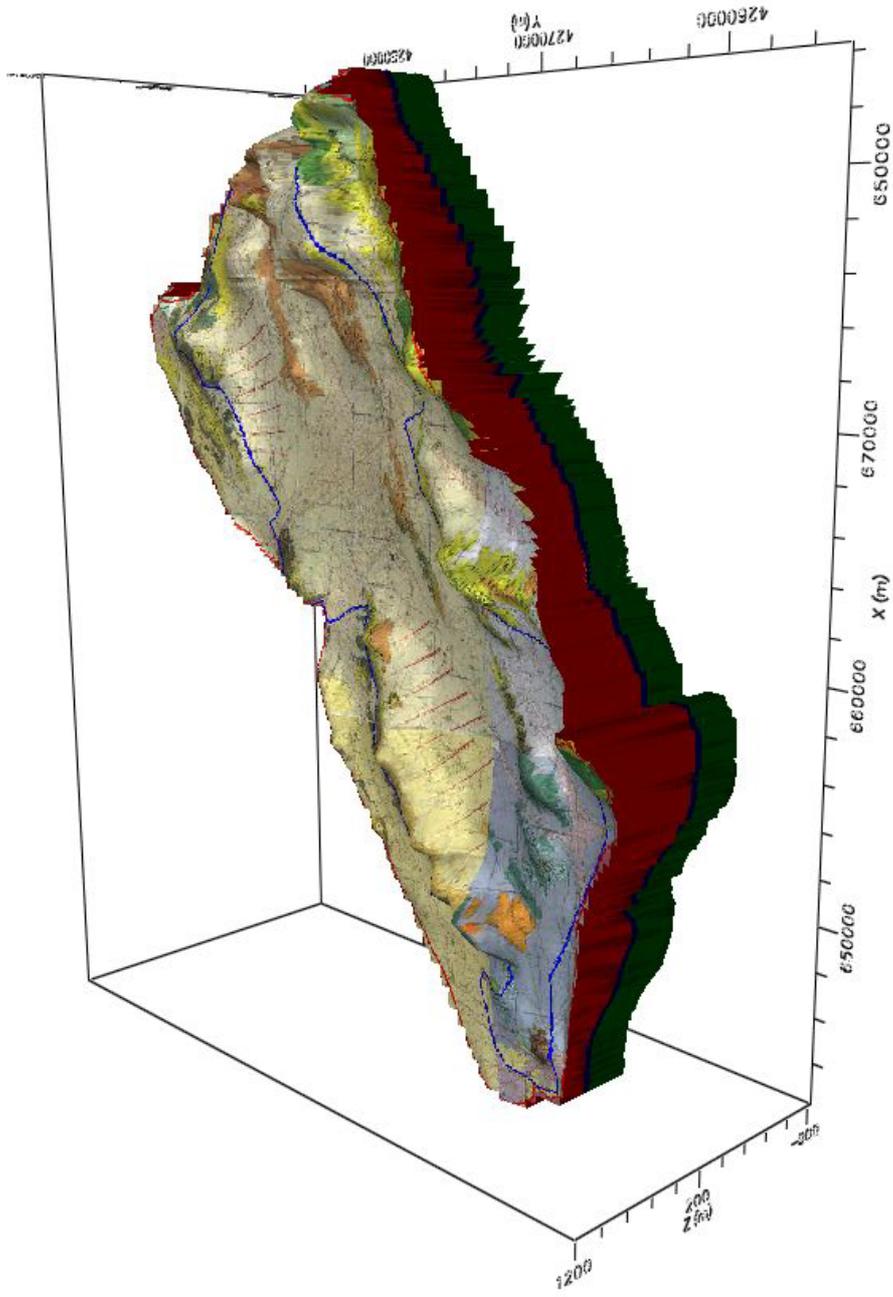


Figura 4.1: Visualización 3D del acuífero Jumilla-Villena. En rojo se representa el acuífero del Cretácico, en azul la base del Cretácico Inferior (Barremiense), y en verde el Jurásico.

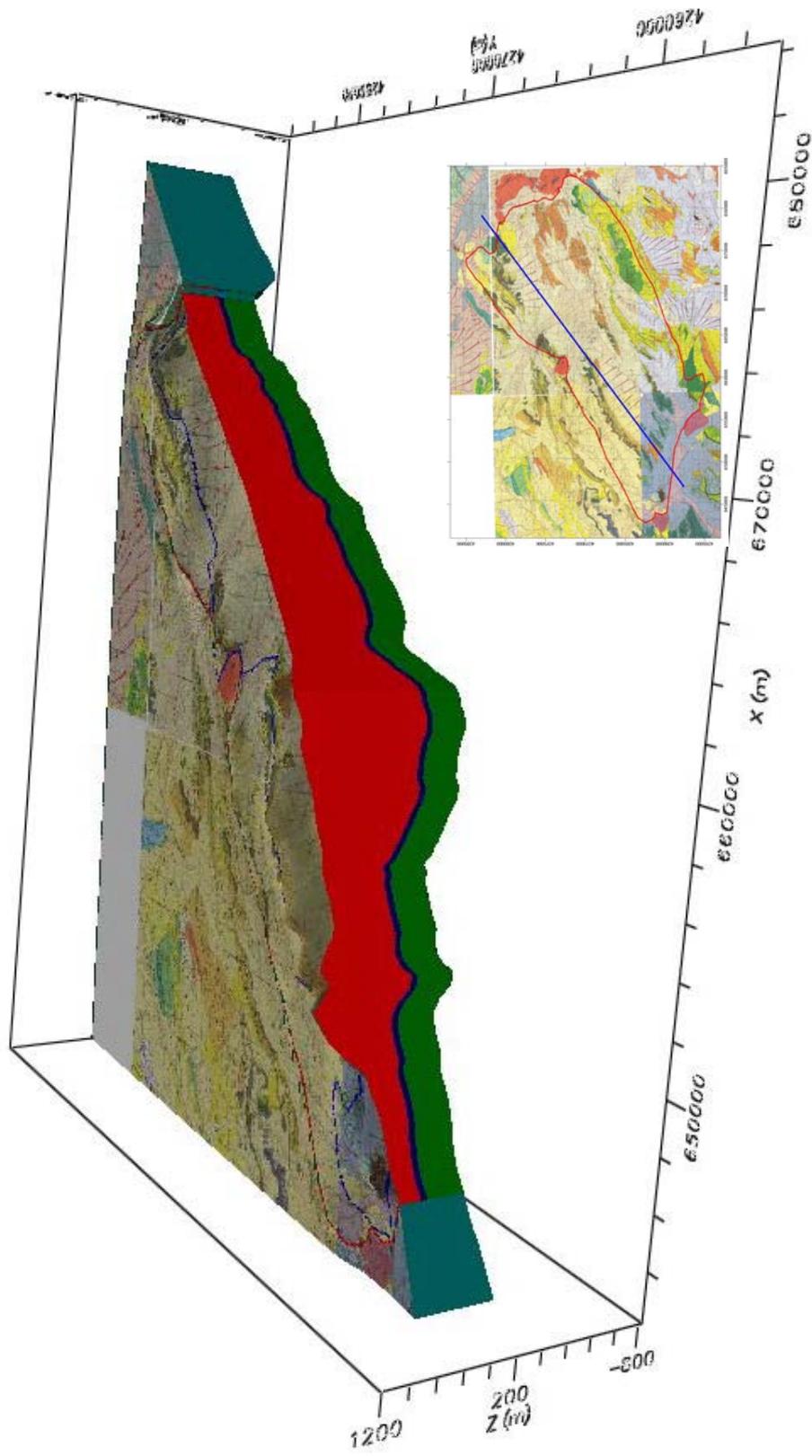


Figura 4.2: Corte transversal del acuífero. Los colores representan el Cretácico, base del Cretácico Inferior y en verde el Jurásico.

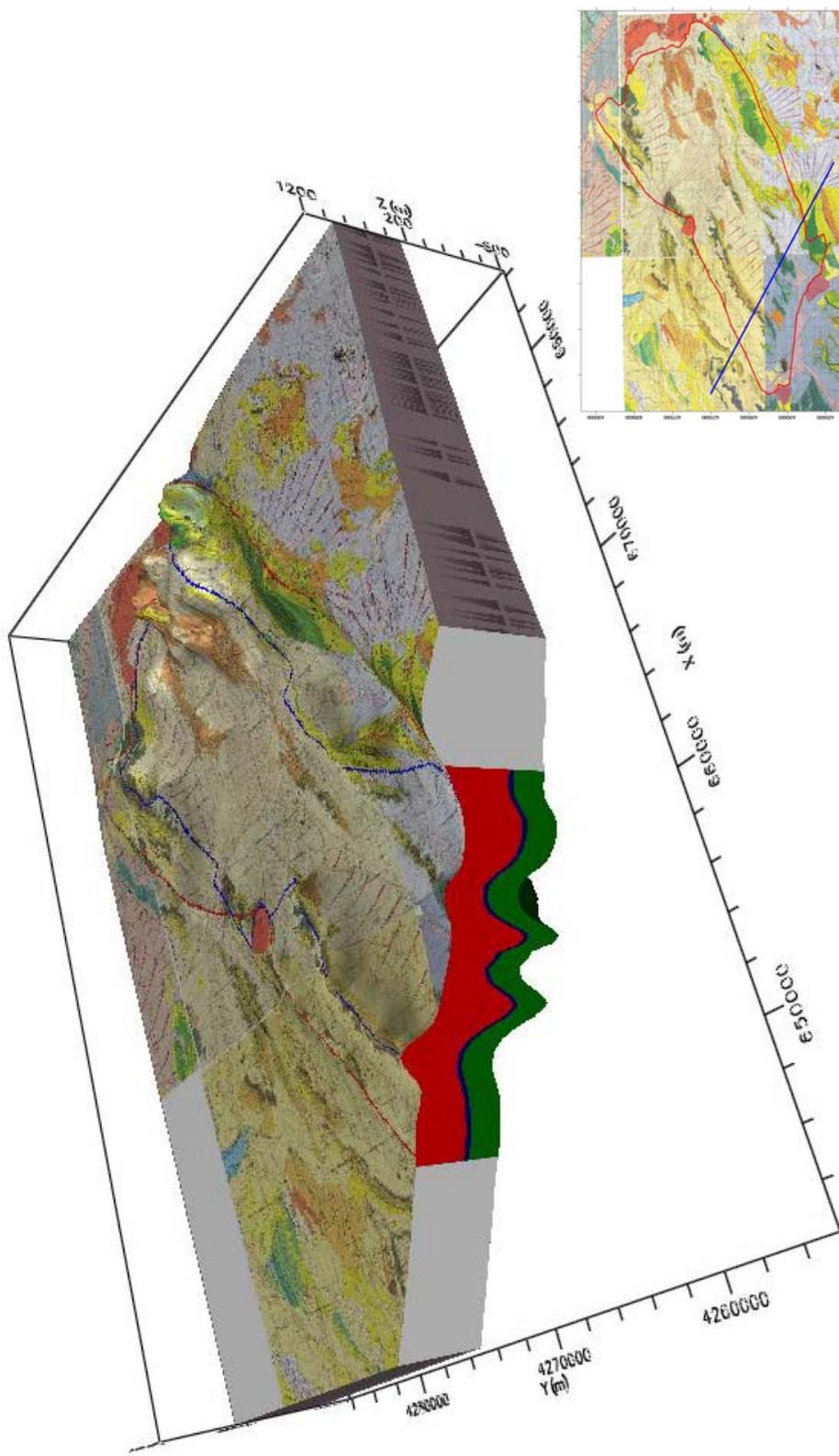


Figura 4.3: Corte longitudinal del acuífero (1). Los colores representan el Cretácico Inferior y en verde el Jurásico.

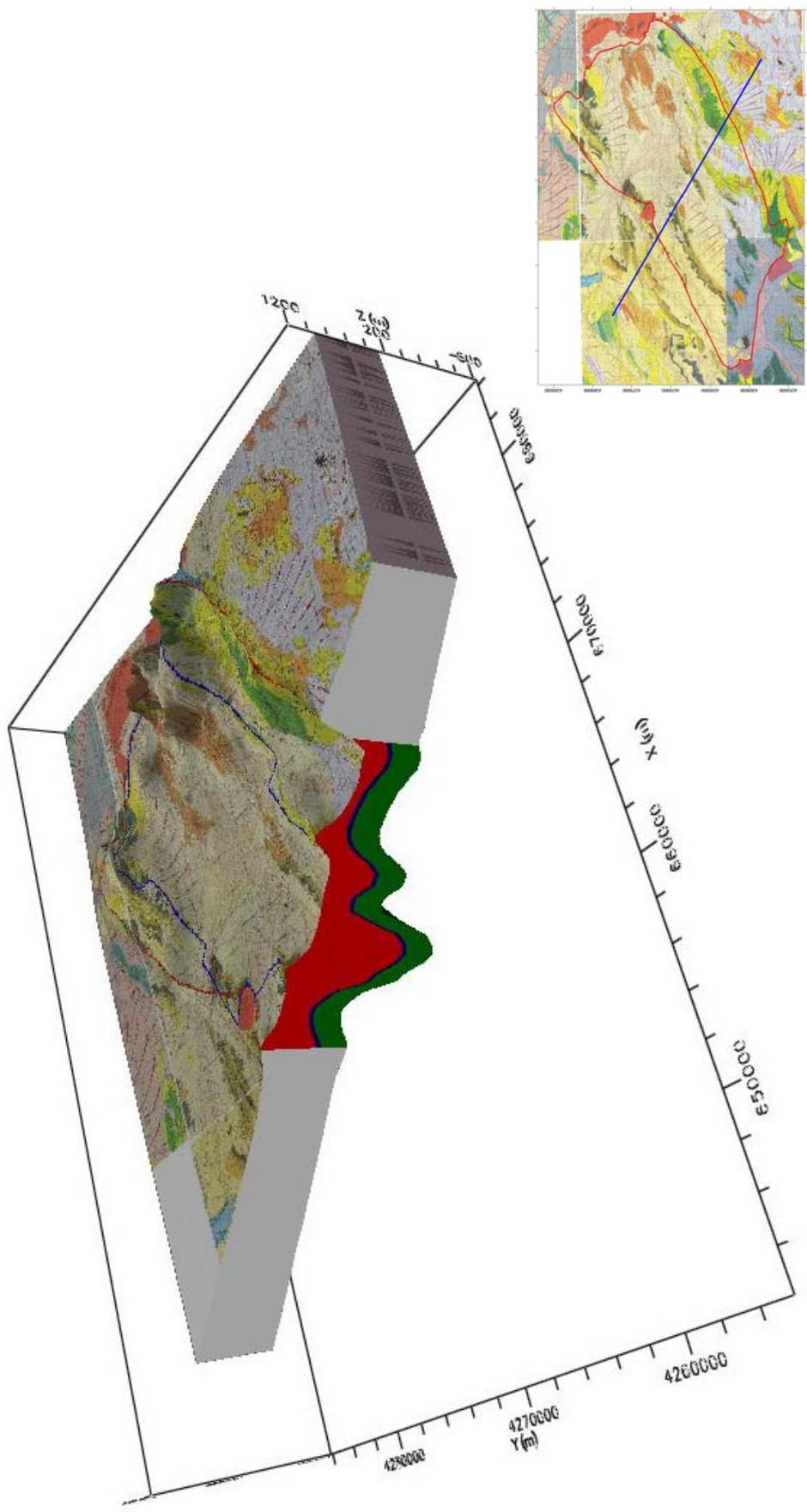


Figura 4.4: Corte longitudinal del acuífero (2). Los colores representan el Cretácico Inferior y en verde el Jurásico.

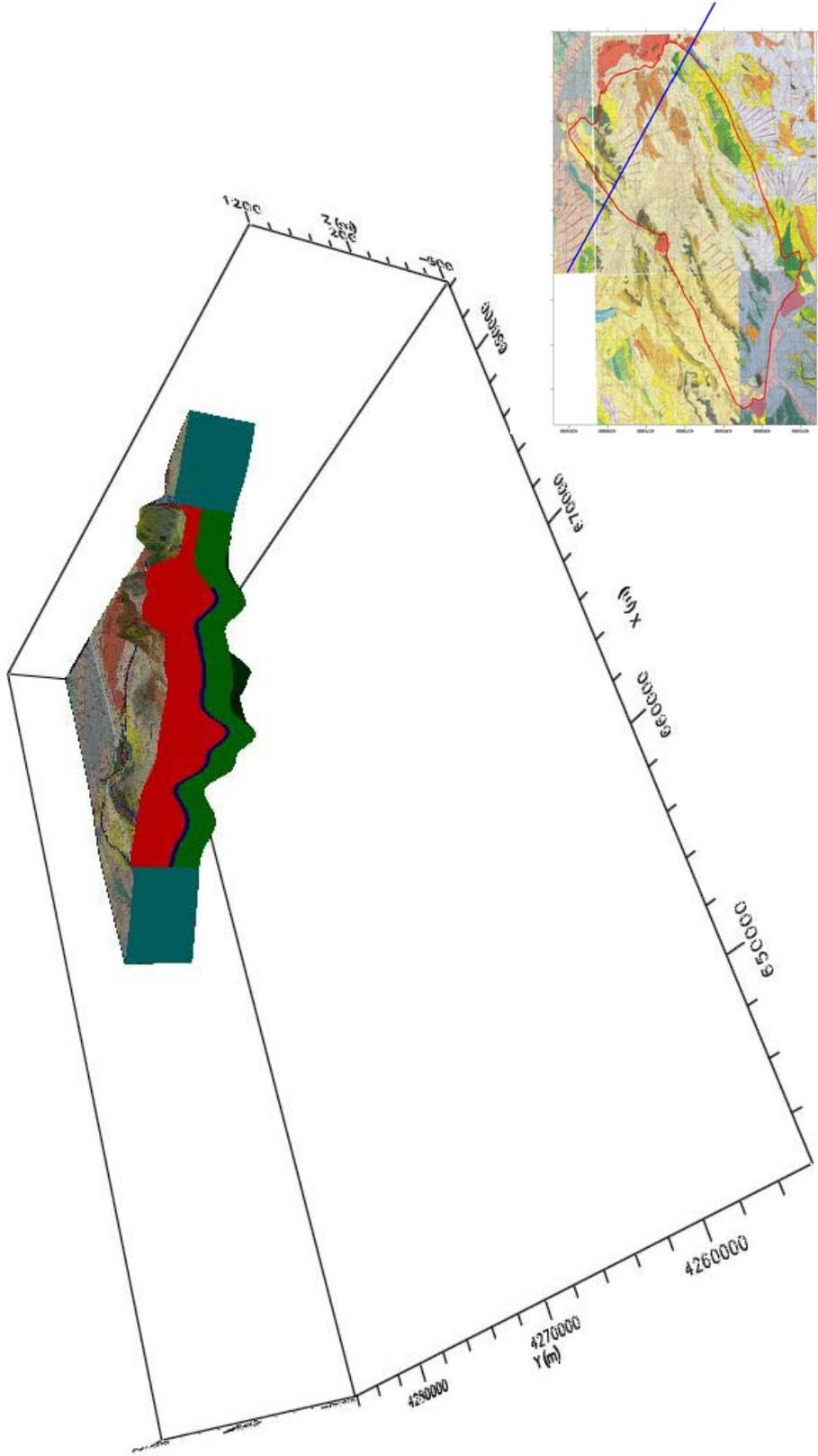


Figura 4.5: Corte longitudinal del acuífero (3). Los colores representan el Cretácico, la base del Cretácico Inferior y en verde el Jurásico.

5. Evaluación de la recarga natural

A lo largo de esta sección se describe cómo se ha estimado la recarga natural en el acuífero.

5.1 Datos hidrometeorológicos

Se dispone de una serie de datos climatológicos de más de 36 años de la estación meteorológica de "Yecla C. H. Segura" (01°06'09"W, 38°37'25", 605 msnm, ID 7275), desde el 01/01/1969 hasta el 30/09/2005. Los datos son pluviometría diaria y temperatura media diaria para este periodo (Figura 5.1). La información se ha verificado y completado con el valor promedio de la serie en aquellos intervalos en que la falta de datos era de más de 3 días seguidos. Aunque existe alguna estación más dentro del contorno del acuífero, al menos otra en Yecla y una más en Villena, la primera no se ha utilizado por tener una serie muy corta de datos, y la segunda por situarse en una posición marginal del acuífero. La estación "Yecla C. H. Segura", al estar centrada, situada entre Jumilla y Villena, y al no existir grandes diferencias de cotas en la mayoría de la extensión del acuífero, se considera suficientemente representativa y con una buena serie de datos.

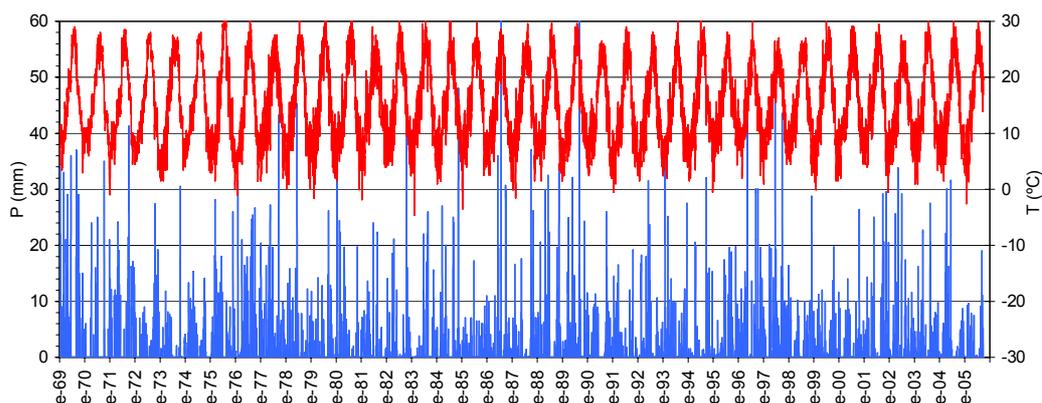


Figura 5.1: Precipitación y temperatura media diarias para la estación meteorológica de Yecla (CHS), desde enero de 1969 hasta septiembre de 2005.

La serie comprende un total de 36 años hidrológicos completos (del 1969-70 al 2004-05). En este periodo, el día más lluvioso fue el 04/09/1989 con un valor pluviométrico de 102.0 mm/día. El día más caluroso fue el 16/07/1975 alcanzándose los 34.0 grados de media, y el más frío el 13/02/1983 con -4.5°C.

La media pluviométrica anual es de 300.8 mm, siendo el mínimo anual de 159.4 mm y el máximo de la serie de 530.3 mm (Figura 5.2). Un año seco tipo tiene una pluviometría de 221.3 mm (25% del gráfico de probabilidad normal de precipitaciones anuales, Custodio y Llamas, 1983), mientras que un año húmedo está en 344.6 mm (75% del gráfico anterior). La temperatura media anual es de 15.1 °C.

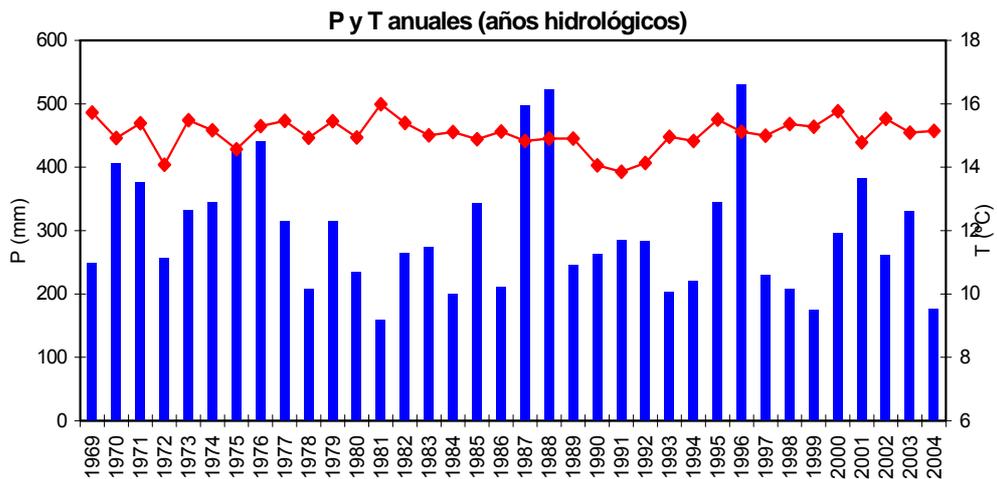


Figura 5.2: Temperatura media y precipitación anual en la estación meteorológica de Yecla CHS, desde el año hidrológico 1969-70 hasta el año hidrológico 2004-05.

Respecto a la distribución de las precipitaciones y temperatura a lo largo del año, la zona de estudio se encuentra dentro de un ámbito típicamente mediterráneo, con concentración de las precipitaciones en la primavera y en el otoño (Figura 5.3). Los veranos son cálidos y muy secos.

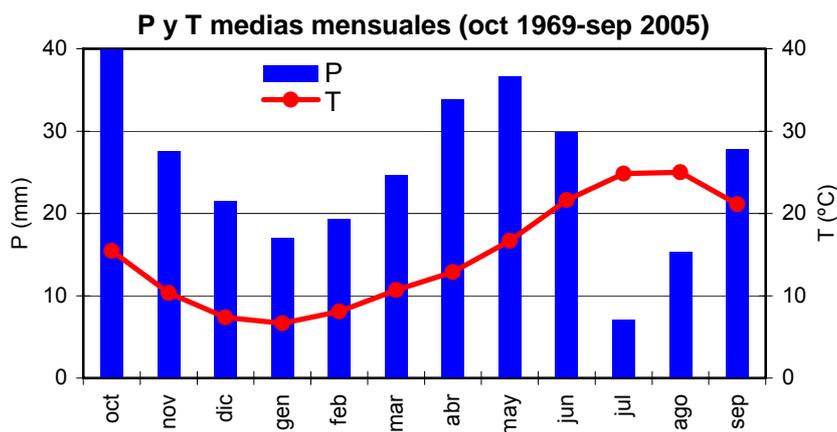


Figura 5.3: Temperatura y precipitación media mensual en la estación meteorológica de Yecla CHS, desde el año hidrológico 1969-70 hasta el año hidrológico 2004-05.

5.2 Balance hídrico y recarga

5.2.1 Método de balance

Los datos meteorológicos que se han podido recabar (temperatura media diaria, T, y precipitación diaria, P, por un periodo de más de 30 años) son estrictamente suficientes para calcular el balance en el suelo (Custodio y Llamas, 1983). Dentro del balance hidrometeorológico, consideramos los términos de lluvia (P), recarga o infiltración profunda (R), evapotranspiración real (ETR) y escorrentía superficial (Es).

Así, el término recarga por unidad de superficie, se expresa como la siguiente función, todos los términos en mm de lámina de agua:

$$R = P - Es - ETR$$

Utilizando P, T y los datos de latitud se calcula la evapotranspiración potencial (ETP) con el método de Thornthwaite y se realiza el balance en el suelo considerando un valor determinado de los parámetros que configuran la Reserva Útil máxima del suelo. Estos parámetros son la capacidad de campo (CC: máximo contenido de agua en el suelo después de perder el agua gravífica), el punto de marchitez permanente (PMP: contenido mínimo de agua en el suelo) y el espesor de suelo. La reserva útil máxima se estima:

$$RU_{max} \text{ (mm)} = [CC - PMP(\text{tanto-por-uno})] \times \text{espesor suelo (mm)}$$

La ETP se calcula con una base de tiempo mensual pero el balance en el suelo ha sido realizado con una base de tiempo diaria. La evapotranspiración real (ETR) será la diferencia entre la ETP y la disponibilidad de agua en el suelo en ese momento (RU). La diferencia se contabiliza como "déficit hídrico" cuando $ETP > RU$.

Debido a la falta de disponibilidad de datos suficientes para hacer intervenir el tipo de cobertura vegetal en el cálculo de la evapotranspiración, se ha considerado que el parámetro que mejor puede simular la distinta ocupación del suelo es la reserva útil máxima. Puesto que el dominio de estudio incluye varios tipos de ocupación del suelo principales claramente diferenciados, se ha considerado que el balance en el suelo sería distinto.

5.2.2 Códigos utilizados

El balance hidrometeorológico se ha realizado con el código Visual Balan 4.0 (Samper y García, 2004) proporcionado por el cliente. Con el objetivo de verificar las herramientas de cálculo del balance hidrometeorológico, este balance también ha sido realizado mediante hojas de cálculo de Microsoft Excel denominado Easy_Bal 2.0 desarrollado en el Departamento de Ingeniería del Terreno de la Universidad Politécnica de Cataluña (Castro y Vazquez-Suñé, Com. Pers.). Para comprobar las herramientas de cálculo se ha utilizado una serie de datos de 22 años, los 22 últimos años disponibles,

desde octubre de 1983 hasta septiembre de 2005 (Tabla 5.1). Los cálculos definitivos y el análisis de sensibilidad se han realizado únicamente con el código Visual Balan.

Tabla 5.1: Comparación entre los códigos VisualBalan y Easy_Bal de los resultados globales del balance hidrometeorológico en mm/año para la serie de 22 años hidrológicos (1983/84-2004/05) considerando una RUmáx de 60 mm.

	Easy_Bal	VisualBalan
P	295	
ETP	899.4	798.2
ETR	279.2	277.2
Escorrentía	3.7	4.4
Recarga	12.1	13.4

Respecto a la comparación de los dos códigos, los resultados son similares, existiendo pequeñas diferencias debidas principalmente al cálculo de la escorrentía y a que en Easy_Bal la ETP mensual se calcula en base a años naturales mientras que en los parámetros Visual Balan en base a años hidrológicos. Los valores medios obtenidos se presentan en la tabla siguiente.

Con los valores promedio se ve que Visual Balan calcula una recarga ligeramente superior debido a que la ETR es ligeramente inferior. A pesar de estas ligeras diferencias los resultados son totalmente comparables.

5.2.3 Estimación de parámetros: análisis de sensibilidad

5.2.3.1 Escorrentía superficial

En la zona de estudio no hay cursos de agua superficial permanentes, y el relieve se caracteriza por una serie de sierras o montes que sobresalen de una planicie. Siendo la zona de estudio lo suficientemente grande, se puede considerar que no se produce escorrentía superficial de agua de lluvia que represente una salida de agua del sistema. Sólo en los episodios de lluvia más importantes se produciría una cierta escorrentía local que podría dar

lugar a pequeños torrentes pero que difícilmente alcanzarían cursos de agua que discurrieran más allá del sistema considerado. De hecho, al S de la zona existen zonas localmente endorreicas como la del Mollidar. Aún y así, en el cálculo del balance de agua en el suelo, se ha considerado que este término existe y se ha contemplado en los dos códigos de cálculo.

Durante el período de 22 años (8036 días) entre el 1 de octubre de 1983 y el 30 de septiembre de 2005 llovió 1404 días. El valor medio de la precipitación de los días de lluvia es de 4.62 mm. Una tercera parte de los días de lluvia la precipitación fue inferior a 1 mm y solamente en 61 ocasiones de sobrepasaron los 20 mm

Con el fin de contemplar la posibilidad de que este término del balance exista, se ha considerado que únicamente habrá escorrentía a partir de un cierto valor umbral. Para Easy_Bal este umbral se fija directamente en mm de valor de laminación, y se ha fijado en 50 mm. Esto implica que las lluvias diarias superiores a 50 mm sufrirán una escorrentía directa cuya magnitud equivaldrá al valor de la lluvia que sobrepase el umbral. En Visual Balan se ha utilizado el método de los Números de Curva. Se ha escogido una curva genérica de manera que el valor de lluvia mínima de aguacero ha sido fijado también en 50 mm.

5.2.3.2 Parámetros del suelo

El valor calculado de la recarga natural mediante un balance hidrometeorológico diario es muy sensible al valor de la reserva útil máxima del suelo (RU_{max}). El valor de RU_{max} depende del espesor de suelo, del contenido de agua en el suelo, de su humedad de capacidad de campo (CC, cuando la presión del agua es aproximadamente de -0.1 bar) y de su humedad del punto de marchitez permanente (PMP, cuando la presión del agua es aproximadamente de -16 bar o succión de +16 bar).

El agua utilizable por las plantas es la que se almacena entre estos dos estados de humedad y se puede expresar en % o en tanto-por-uno de

humedad volumétrica (volumen de agua/volumen total del suelo). Así pues, la R_{Umax} se obtendrá multiplicando el espesor del suelo por la diferencia entre la humedad de capacidad de campo y la humedad del punto de marchitez permanente (Tabla 5.2).

La incertidumbre en R_{Umax} proviene de la incertidumbre en la estimación del espesor del suelo y de la CC y PMP. El uso de los valores extremos de estos parámetros (Samper y García-Vera, 2004) conducen a un rango de variación de CC-PMP de entre 5% (materiales más gruesos) al 15% (materiales más finos). Este rango de variación es similar al que se presenta en De Marsily (1986).

Respecto al espesor del suelo, se ha considerado que puede variar entre 10 y 60 cm, siendo la zona de cultivos la que tienen un suelo más desarrollado y un espesor mayor. Estos rangos de valores conducen a una horquilla para la R_{Umax} que puede variar de 5 y 90 mm de lámina de agua (Tabla 5.2).

Tabla 5.2: Reserva Útil máxima del suelo (RU_{max} en mm de lámina de agua) en función del espesor del suelo (m) y de la diferencia entre la humedad de capacidad de campo y la humedad del punto de marchitez permanente (% volumen).

esp (m)	cc-pm (% humedad volumétrica)					
	5	7	9	11	13	15
0.1	5	7	9	11	13	15
0.15	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	22.5
0.2	10	14	18	22	26	30
0.25	12.5	17.5	22.5	27.5	32.5	37.5
0.3	15	21	27	33	39	45
0.4	20	28	36	44	52	60
0.5	25	35	45	55	65	75
0.6	30	42	54	66	78	90

La mayoría de los valores de RU_{max} encontrados en la literatura entran en este rango. Para realizar los cálculos se ha escogido aquí un valor de RU_{max} de 60 mm para los cultivos en suelos detríticos, 27 mm para el bosque en carbonatos, 22.5 mm para las zonas de matorrales y 18 mm para las zonas menos vegetadas.

Una RU_{max} de 50 mm es muy frecuente en zonas mediterráneas (Custodio y Llamas, 1983) o en climas áridos (Herrera, 2001). En zonas donde el horizonte del suelo esté más desarrollado, se pueden alcanzar valores más elevados de RU_{max} como 63 mm para zona de bosque y monte bajo y hasta 285 mm para la zona de cultivos (Lambán, 1999).

En Soto et al. (2004A) se estima una capacidad de campo para los materiales calizos de 0 a 10 mm (de lámina de agua) y de 25 a 50 mm para los materiales detríticos. Además cualitativamente muestra como a mayor capacidad de campo (RU_{max}), menor es la recarga. Estos valores, al encontrarse en mm, integran el espesor del suelo y en realidad representan la capacidad de campo por el espesor. Casi son valores directamente comparables a RU_{max}, aunque quizás no se haya restado la humedad al punto de marchitez. Con los valores más realistas para la zona de estudio se obtiene que RU_{max} puede variar entre 15 y 60 mm de lámina de agua.

El análisis de sensibilidad de la recarga a la R_{Umax} del suelo se ha realizado mediante VisualBalan para el periodo de 22 años entre 1983/84 y 2004/05. Los resultados se presentan en la Figura 5.4, donde se observa que el sistema es muy sensible a este parámetro. Por esta razón es muy importante tener valores representativos de las zonas estudiadas de la R_{Umax} o de los parámetros del suelo que permitan estimarla.

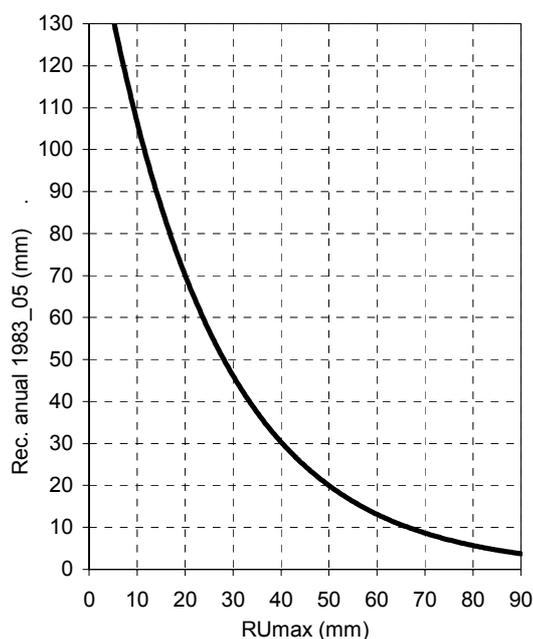


Figura 5.4: Análisis de sensibilidad de la recarga media anual a la R_{Umax} realizado con Visual Balan utilizando los datos de los últimos 22 años del periodo estudiado.

5.3 Usos del suelo y zonificación de la recarga

Para poder realizar un balance más detallado de la recarga en función de la ocupación del suelo, se ha procesado el mapa de usos del suelo procedente de Corine Land Cover. La información se ha extraído de la Aplicación Ocupación Suelo (CORINE) de la página WEB del Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE) del Consejo Superior Geográfico del Ministerio de Fomento (<http://www.idee.es>). Concretamente se ha utilizado los datos del año 2000 con el nivel de detalle 2 (15 clases) (Figura 5.5). De las 15

clases del mapa, en el dominio estudiado no aparece ninguna de las 4 clases correspondientes a zonas húmedas o superficies de agua. De las cuatro clases correspondientes a usos artificiales que corresponden a las zonas urbanas sólo tres aparecen en el mapa y representan una pequeña parte del dominio. Las seis clases restantes ocupan la mayor parte del área de estudio y se agrupan en dos categorías: con cultivos y sin cultivos. Éstas dos categorías corresponden aproximadamente a la distribución de llanos (materiales detríticos) y los relieves (afloramientos calizos) respectivamente, mencionados en la sección anterior.

Con el fin de estimar las áreas de cada una de las ocupaciones del suelo y, posteriormente, poder introducir la recarga calculada en cada zona al modelo numérico, se ha procesado el mapa de usos. Mediante un software de SIG, el formato ráster inicial de resolución de píxel de 53.5 metros se ha vectorizado en una capa de polígonos con los atributos de cada una de las clases existentes en la zona estudiada.

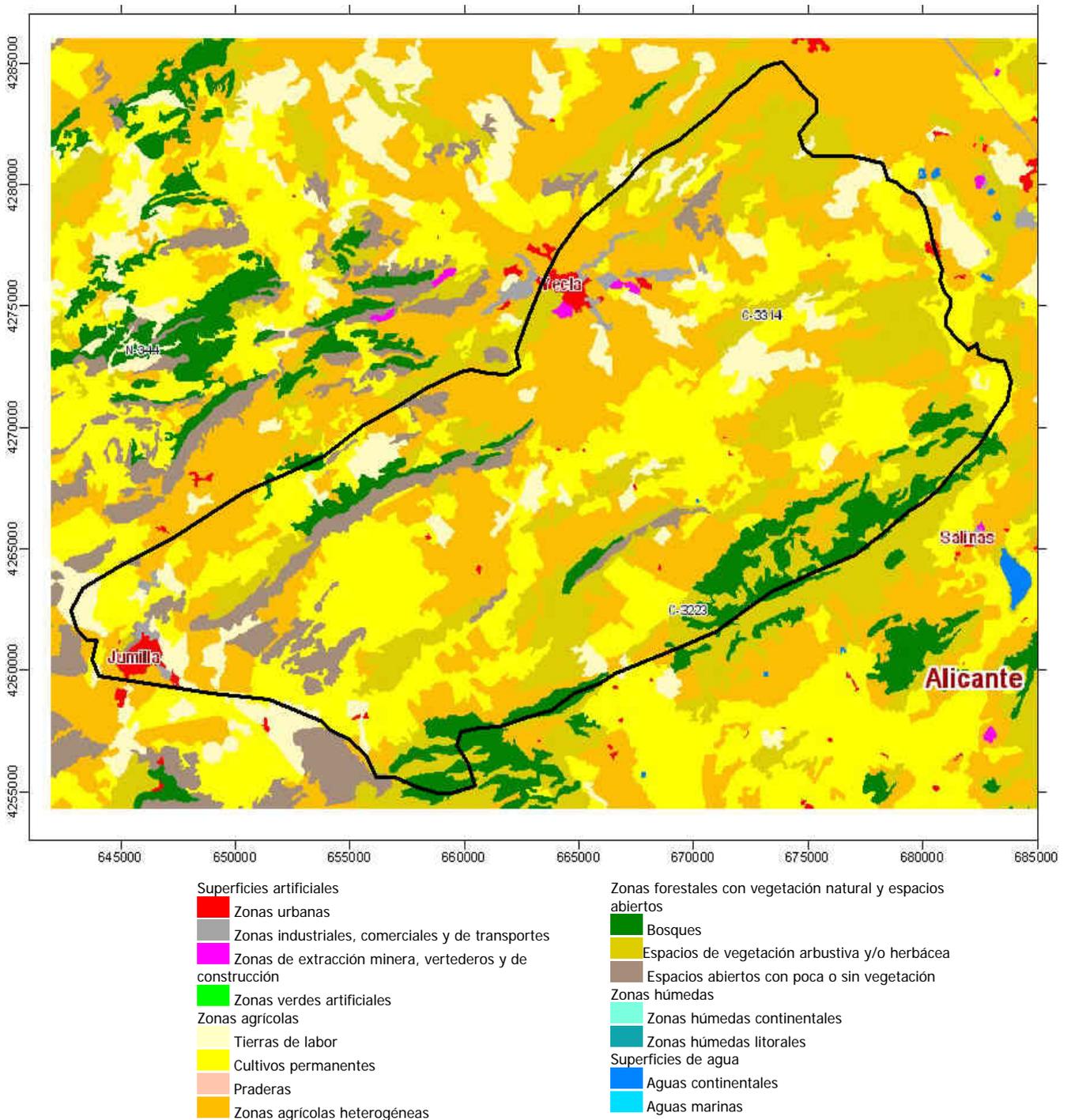


Figura 5.5: Mapa de ocupación del suelo para el año 2000 extraído del Corine Land Cover 15 clases (<http://www.ideo.es>).

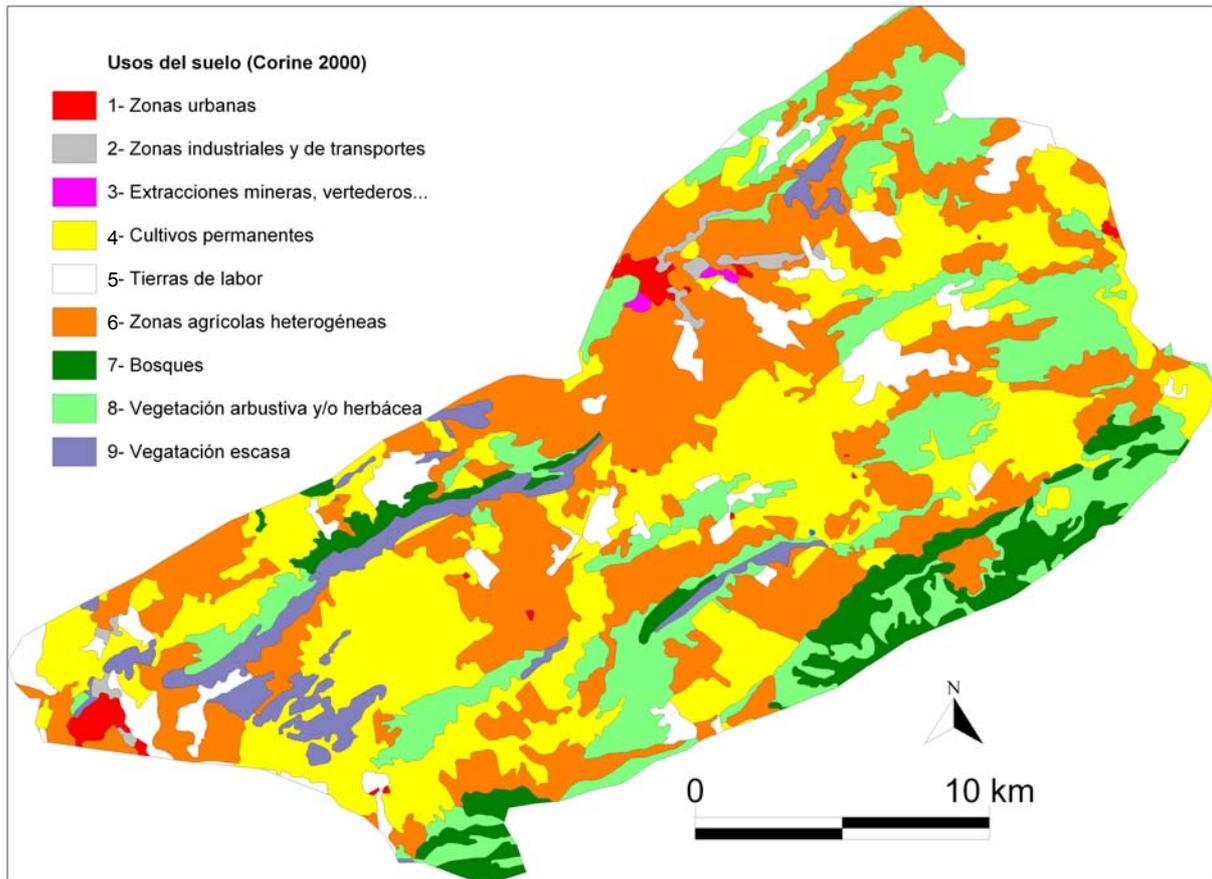


Figura 5.6: Mapa de ocupación del suelo para el año 2000 basado en el Corine Land Cover 15 clases. Sólo 10 clases de las 15 consideradas aparecen en la zona del acuífero. Las zonas artificiales ocupan menos de 10 km². Los cultivos 386 km², y los bosques, arbustos y zonas sin vegetación 159 km².

Para realizar el balance hidrometeorológico del suelo de cada una de estas clases de uso del suelo se han estimado unos parámetros de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y espesor para cada uno de ellos. Esto ha conducido a una estimación de la reserva útil máxima para cada tipo de uso de suelo, que al final es el único parámetro diferencial entre suelos. En la sección anterior de parámetros y de análisis de sensibilidad, se explica y se justifican los valores escogidos.

5.4 Resultados del balance: recarga natural

Utilizando los parámetros escogidos para cada tipo de ocupación del suelo (Tabla 5.3), se ha realizado el balance mediante Visual Balan y se ha obtenido la recarga natural por unidad de superficie.

Tabla 5.3: Parámetros utilizados en VisualBalan para la realización de los cálculos de la recarga natural en cada tipo de uso del suelo.

	Sin vegetación (9)	Monte bajo (8)	Bosque (7)	Cultivos (4, 5 y 6)
Humedad a CC (%)	17	17	17	25
Humedad al PM (%)	8	8	8	10
CC-PM (%)	9	9	9	15
Espesor (m)	0.2	0.25	0.3	0.4
RUmax (mm)	18	22.5	27	60
Humedad inicial (%)	8	8	8	10
P min aguacero (mm)	50			
Num curva escorrentía	87			
ETP	Thorntwhaite			
ETR	Penman-Grindley			
CRPG (mm)	0			
CEPG (mm)	1			
Intercepción vegetación	NO			
Intervención ZNS	NO			

Los resultados de recarga mensual en cada zona obtenidos con Visual Balan se han incorporado en el modelo. La recarga anual para los cuatro tipos de zonas con toda la serie calculada se presentan la Tabla 5.4 y en el gráfico de la Figura 5.7. Puesto que la recarga anual depende, no sólo de la cantidad de lluvia anual si no, sobre todo, de su distribución, es difícil relacionar directamente y exclusivamente la recarga en función de la precipitación total. En los datos presentados se puede observar como en años de similar lluvia, la recarga finalmente estimada es considerablemente distinta.

Tabla 5.4: Recarga anual para los cuatro tipos de usos de suelo.

Año	P (mm)	Rec(mm) RU18	Rec(mm) RU22.5	Rec(mm) RU27	Rec(mm) RU60
1983/1984	273.6	50.4	33.8	20.3	0.0
1984/1985	200.1	49.9	45.4	40.9	7.9
1985/1986	343.9	75.1	57.6	41.9	0.0
1986/1987	212.1	71.7	66.6	61.7	29.7
1987/1988	498.0	174.5	152.8	134.8	38.8
1988/1989	522.1	152.3	129.8	107.4	6.3
1989/1990	245.5	59.6	50.6	43.9	10.9
1990/1991	262.9	77.2	68.2	59.2	21.8
1991/1992	285.9	70.1	52.1	38.2	0.0
1992/1993	283.1	76.1	71.6	67.1	34.1
1993/1994	203.6	57.8	44.3	30.8	0.0
1994/1995	221.3	7.7	5.3	5.3	0.0
1995/1996	345.5	72.2	58.7	45.9	0.0
1996/1997	530.3	198.7	177.6	156.5	80.7
1997/1998	230.6	53.6	47.7	41.8	0.0
1998/1999	208.5	34.9	30.4	25.9	0.0
1999/2000	175.9	5.4	0.0	0.0	0.0
2000/2001	296.7	51.0	37.1	24.5	0.0
2001/2002	382.2	136.7	114.2	98.1	40.3
2002/2003	262.3	39.0	25.5	13.7	0.0
2003/2004	330.3	98.8	89.8	80.9	23.7
2004/2005	177.1	11.3	5.3	0.8	0.0
Promedio	295.1	73.8	62.0	51.8	13.4

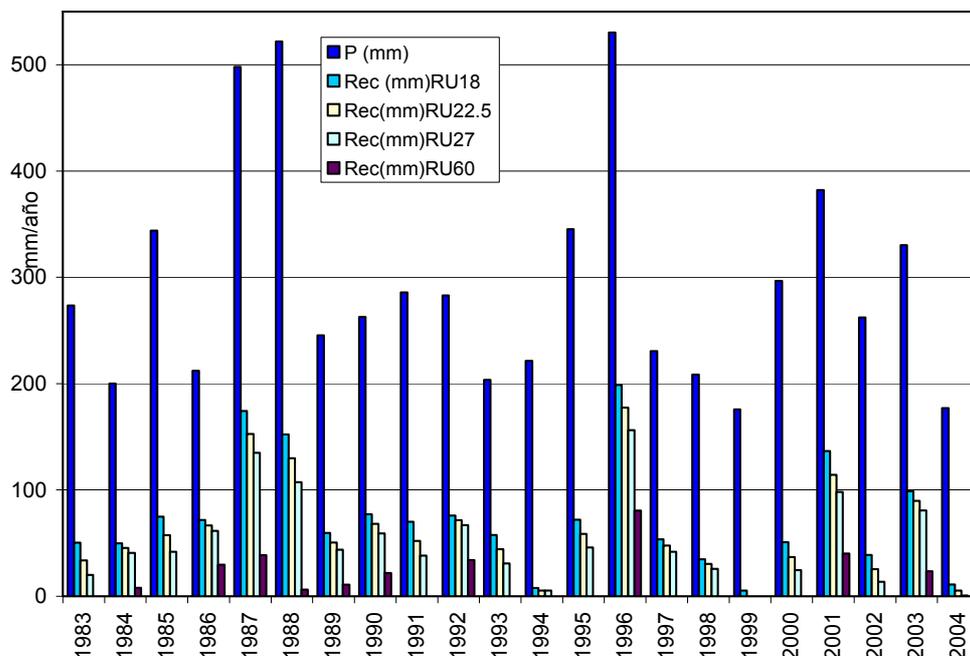


Figura 5.7: Recarga anual en las 4 zonas diferenciadas para los 22 años.

Ponderando la recarga media anual con la extensión de cada tipo de uso de suelo se obtiene la recarga media anual en $\text{hm}^3/\text{año}$ para cada zona y para la totalidad de las zonas del acuífero consideradas.

En la Tabla 5.5 se muestran los resultados del balance en cada zona en valores medios ($\text{mm}/\text{año}$) para los 22 años calculados. Las series mensuales completas se han utilizado en el modelo con ModFlow.

Tabla 5.5: Recarga natural del acuífero en base al balance hídrico en el suelo. Valores medios para la serie de 22 años hidrológicos (1983/84-2004/05).

Clase(*)	Extensión		RUmax (mm)	Recarga natural	
	(km^2)	(%)		(mm/a)	(hm^3/a)
1	4.92	0.89			
2	4.02	0.72			
3	0.74	0.13			
Total Artificial	9.67	1.74			
4	162.60	29.31	<u>60.0</u>	13.38	2.18
5	37.61	6.78	<u>60.0</u>	13.38	0.50
6	186.23	33.57	<u>60.0</u>	13.38	2.49
Total Cultivos	386.45	69.66		13.38	5.17
7	32.85	5.92	<u>27.0</u>	51.80	1.70
8	100.63	18.14	<u>22.5</u>	62.02	6.24
9	25.17	4.54	<u>18.0</u>	73.82	1.86
Total Bosque	158.65	28.60		61.78	9.80
TOTAL ACUÍFERO	554.76	100		26.99	14.97

* Artificial: 1-Zonas urbanas, 2-Zonas industriales, comerciales y de transportes, 3-Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción; Cultivos: 4-Cultivos permanentes, 5-Tierras de labor, 6-Zonas agrícolas heterogéneas; Bosques: 7-Bosques, 8-Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea, 9-Espacios abiertos con poca o sin vegetación.

Se considera que en las zonas de uso artificial del suelo no hay recarga natural del acuífero.

Como se muestra en la tabla anterior, la recarga natural media anual del periodo considerado es de unos 13 mm en la zona de materiales detríticos (zona más extensa, el 70% de la superficie total del acuífero). En la zona de los afloramientos de calizas la recarga es más alta, y supera los 60 mm por año. Este hecho hace que los sectores de relieves calizos, aunque signifiquen sólo el 29% de la extensión del acuífero, representen zonas de recarga

significativas y a través de ellos se realicen 2/3 de la recarga natural del acuífero.

Ponderando los valores de recarga obtenidos con la extensión de cada uno de los dos tipos de materiales respecto a la totalidad de acuífero (555 km²) se obtiene una recarga media anual de 27 mm. Esto que significa unas entradas naturales por recarga de lluvia de unos 15 hm³/año.

Si consideramos que esta recarga media anual por unidad de superficie de 27 mm también es aplicable a la extensión del acuífero considerada en trabajos anteriores, en la que la distribución de ocupación del territorio es proporcionalmente similar, se obtiene que para los 335 km², las entradas por recarga natural de infiltración de agua de lluvia ascenderían a 9 hm³/año. Este valor es significativamente menor al que se menciona en Soto et al. (2004B) que para el acuífero Jumilla-Villena se cifra en 43.2 mm/año (14.5 hm³/año en 335 km²).

En cambio en Soto et al. (2004A) se habla de una recarga media para un año tipo medio de 10.6 mm/año (1.25 hm³/año en 118.27 km²). Esta diferencia puede ser debida a que en Soto et al. (2004A) se ha realizado el balance hidrometeorológico en base datos mensuales, y no diarios como en el presente proyecto. A modo de prueba, mediante Easy_Bal se ha realizado el balance con lluvias mensuales y temperaturas medias mensuales y el resultado obtenido también es de unos 10 mm/año. Esto pone de manifiesto que la escala de tiempo para realizar el balance hidrometeorológico en el suelo es muy importante, puesto que los resultados pueden ser muy diferentes en función de la R_Umax y del régimen de lluvias. En este caso, como las lluvias son escasas respecto a la R_Umax, a mayor intervalo de tiempo de cálculo menor saldrá la recarga. En el balance mensual las lluvias se van acumulando y se aprovechan más para la ETR.

5.5 Retornos de riego

Al no disponer de datos locales sobre dotaciones y retornos de riego se han utilizado los datos de las cuencas hidrográficas (MAPA, 2002). En el Plan Nacional de Regadíos (Sección 4.9) se evalúan las demandas y los consumos de agua para riego. En el análisis anual en regadíos existentes por cuencas hidrográficas (página 379), considerando el suministro bruto (m^3/ha) y la superficie regada (ha), se estiman el suministro bruto (hm^3), los retornos de riego (hm^3) y el consumo de agua (hm^3).

Los retornos de riego se estiman como un porcentaje del suministro bruto, en base al artículo 15 de la Orden Ministerial del 24 de septiembre de 1992, del Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPTA, 1992). Según este artículo, para dotaciones brutas entre 6000 y 7000 m^3/ha y año, los retornos se estiman entre un 5% y un 10% de las dotaciones brutas anuales. Concretamente, MAPA (2002) ha estimado un 7.8% para la cuenca del Júcar y 9.1% para la cuenca el Segura (Tabla 5.6).

Puesto que el acuífero de Jumilla-Villena está entre las dos cuencas hidrográficas, se considera que el suministro bruto y el porcentaje de retorno de riego será un valor estrictamente promedio.

Tabla 5.6: Retornos de riego para las cuencas del Segura y del Júcar (MAPA, 2002) y estimación para el acuífero Jumilla Villena.

	Suministro bruto m^3/ha	Retornos de riego		
		%	m^3/ha	mm
Cuenca del Segura	6240	9.1	568	57
Cuenca del Júcar	6122	7.8	478	48
Acuífero Jumilla-Villena	6131	8.45	518	52

En base al mapa de usos del suelo procesado anteriormente, se ha considerado que la clase “4-Cultivos permanentes” es la que está sometida a riego y por lo tanto, sobre la que hay que calcular los retornos. Aunque se conoce que esta clase debe incluir tanto los cultivos de regadío permanentes como los de secano permanente, no se sabe qué extensión corresponde a

cada uno. Esto implicará que la extensión de cultivos tomada para el cálculo de los retornos estará seguramente algo sobrevalorada, y que por tanto las entradas al acuífero de los retornos de riego deben tomarse como un valor máximo, siendo su valor más probable algo inferior. De esta manera. Y tomando la extensión de 162.6 km² para esta clase (Tabla 5.5), se obtienen unas entradas máximas al acuífero por retornos de riego de 8.5 hm³/año.

Comparando con los valores de la bibliografía, en Soto et al. (2004A) se habla de una recarga por retornos de riego en el “Sector meridional” del acuífero Jumilla-Villena de 1.27 hm³ por año. Este valor se refiere a una extensión total de 118 km² y es algo inferior pero comparable al obtenido en este trabajo de 8.5 hm³/año para 555 km² de extensión total de acuífero. En cambio, en Soto et al. (2004B) se habla de una recarga máxima por retornos de riego en el acuífero Jumilla - Villena de 2.5 hm³ por año y se refiere a una extensión total de 335 km². Este valor es netamente inferior (la mitad) al estimado en el presente estudio.

Los retornos de riego se incorporarán en el modelo como una recarga adicional a la natural aplicada exclusivamente a las zonas de “Cultivos permanentes”. Para ello, a la serie de recarga natural de la zona de cultivos permanentes, con valores mensuales para 22 años, se le sumará un valor mensual correspondiente a los retornos de riego, que según los cálculos descritos más arriba, se estiman en 4.3 mm por mes.

5.6 Valoración de la incertidumbre

La estimación de las entradas de agua al acuífero siempre va asociada a una incertidumbre que deriva de la incertidumbre en los parámetros que controlan cada entrada.

En el caso que nos ocupa se han estimado dos componentes de entrada de agua procedentes de la superficie del terreno: la recarga natural por infiltración del agua de lluvia y los retornos de riego o infiltración profunda de

los excedentes de riego. Cada uno de las dos componentes lleva asociada una incertidumbre que se intenta acotar a continuación.

5.6.1 Incertidumbre en la estimación de la recarga natural

El método utilizado del balance hidrometeorológico de superficie, descrito en las secciones anteriores lleva asociado una serie de incertidumbres de distinta naturaleza y alcance. Algunas de ellas son cuantificables en cierta medida otras no lo son. El origen de las incertidumbres puede ser el siguiente:

Serie de lluvias. Se ha considerado una única estación meteorológica situada en Yecla. Esta población está ubicada en la zona central del territorio considerado pero su representatividad a escala de la totalidad del acuífero puede ser dudosa puesto que se trata de una gran extensión de terreno (555 km²) de forma alargada (40km x 14km) y con zonas relativamente alejadas (a más de 20 km). A esto hay que añadirle el carácter local de los episodios de lluvia en este tipo de clima mediterráneo árido. A pesar de que los eventos de lluvia no sean los mismos en toda la zona, al cabo del año, la cantidad de precipitación y el tipo de precipitación es muy similar en todo el territorio estudiado.

Cálculo de la escorrentía. A pesar de haber utilizado un método muy simple, esta componente no puede comportar un gran error puesto que a la escala del estudio se puede considerar que no hay escorrentía hacia fuera del dominio.

Cálculo de la Evapotranspiración Potencial. No se ha zonificado el territorio considerando explícitamente el tipo de cobertura vegetal ni los ciclos anuales de los cultivos. El método utilizado de Thornthwaite es bastante general pero puede resultar suficientemente representativo.

Cálculo de la Evapotranspiración Real. Este término depende directamente de la ETP y de la cantidad de agua almacenada en el suelo. La cantidad de agua en el suelo disponible para las plantas (reserva útil) en un momento dado

depende de del balance previo y de la cantidad máxima almacenable, es decir de la reserva útil máxima. Este parámetro es intrínseco de cada suelo y es difícil de estimar. Depende de la humedad a capacidad de campo, de la humedad al punto de marchitez permanente y del espesor del suelo.

Para estimar la horquilla de valores de la recarga, utilizando valores relativamente bajos de RU_{max} en las distintas zonas, se obtiene una recarga media anual de 21 hm^3 (respecto a los 15 estimados). Por el contrario, con valores relativamente elevados de RU_{max} , la recarga natural media anual sería de unos 8 hm^3 .

5.6.2 Incertidumbre en la estimación de los retornos de riego

Las dotaciones y el porcentaje de retornos de riego se han estimado mediante datos bibliográficos. La principal incertidumbre radica en la estimación de la extensión de territorio sometida a riego. En este estudio se ha considerado que únicamente los cultivos permanentes (30% de la extensión del acuífero, según el mapa de usos del suelo) están sometidos a riego, pero no se conoce de esta extensión cuánta puede estar asignada a cultivos permanentes de regadío y cuánta a cultivos permanentes de secano. Si se consideran todos los cultivos (70% del acuífero), los retornos de riego anuales serían de 20 hm^3 en lugar de 8.5. Por el contrario, si sólo la mitad de los cultivos se riegan, entonces los retornos serían de 4.2 hm^3 por año.

6. Funcionamiento hidrodinámico y balance hídrico

6.1 Áreas de recarga y descarga

Las entradas al sistema hidrológico se producen en toda el área como resultado de la recarga por infiltración de lluvia y como excedente de regadío de acuerdo con el balance de agua en el suelo. La recarga natural se producirá principalmente en las Sierras (Sierra de Enmedio, Sierra del Buey, Sierra de Salinas, Peñón Grande y Serral) y en las zonas con afloramientos carbonáticos, donde los suelos estarán menos desarrollados (Figura 6.1).

En la sección anterior se ha estimado la recarga media por lluvia y los retornos de riego en todo el acuífero. A estos hay que añadir las pérdidas en las redes de abastecimiento a Jumilla, término que se cuantificará más adelante en el balance hídrico. Las únicas descargas o salidas del sistema son las que se producen por las extracciones para riego y para abastecimiento urbano e industrial, y éstas se centran principalmente en las zonas de Jumilla y de Villena, y en menor medida en Yecla. Debido a que los límites del acuífero son de flujo nulo (impermeables por el trías o divisorias) no cabe esperar en principio transferencia de agua a otros acuíferos o viceversa, aunque esta hipótesis no se descarta.

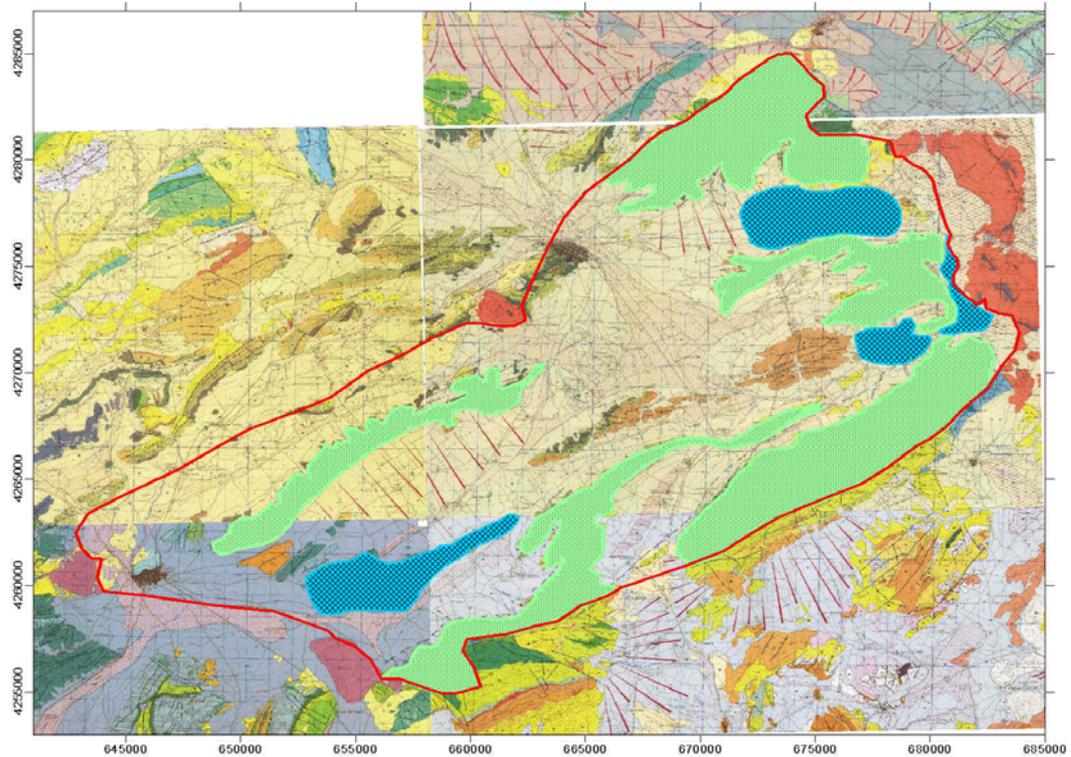


Figura 6.1: Principales áreas de recarga (en verde) y descarga por bombeos (en azul) en el acuífero Jumilla-Villena

6.2 Evolución de niveles piezométricos

El inventario de puntos de agua con información piezométrica y la procedencia de los datos se especifica en el apartado 3.5 de este informe. En base a este inventario de puntos de agua, se han elaborado piezometrías medias en fechas correspondientes a cada 5 años. Hay que destacar que ninguna de ellas refleja el estado estacionario del sistema, ya que según la información inicial que se dispone, ya en la década de los 40 el acuífero se encontraba fuertemente perturbado por las extracciones (se secaron diversos manantiales). También hay que resaltar que, debido a que ahora se disponen de muchos más datos y de un mayor conocimiento del área, la piezometría de la Figura 1 de la propuesta de trabajo no se considera del todo exacta, ya que se sabe ahora que el sistema en la década de los 70 los niveles ya se encontraban fuertemente influenciados. La dirección predominante del flujo en el acuífero en estado influenciado es hacia el NE (Villena) o hacia el SW

(Jumilla), donde se encuentran las extracciones, existiendo una divisoria relativa de aguas en posición perpendicular al flujo que pasa aproximadamente por Yecla, y no hacia el SE como podría haber sido en un régimen estacionario (Figura 6.2).

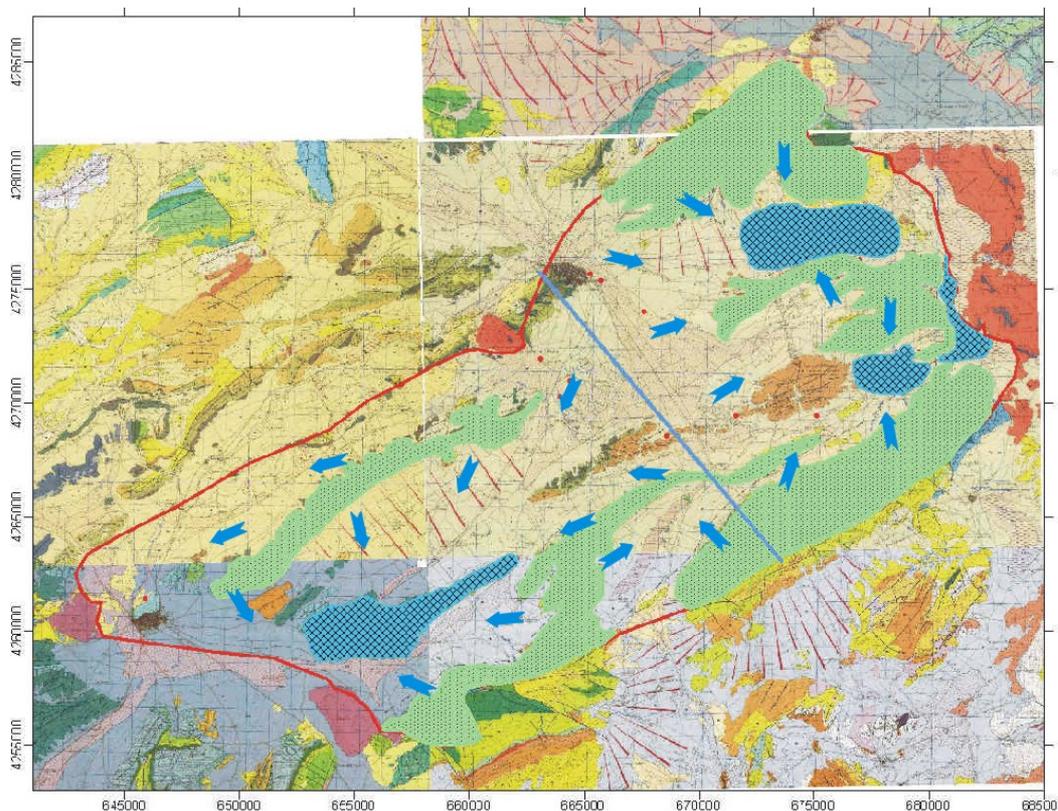


Figura 6.2: Principales direcciones de flujo en el acuífero Jumilla-Villena. Se indica también la divisoria relativa de aguas, y las principales áreas de recarga (en verde) y descarga por bombeos (en azul).

La piezometría de Marzo del 1971 de IGME (1982), ya reflejaba esta disposición de las isopiezas y de las direcciones de flujo subterráneo, direcciones que se mantienen hasta la actualidad. Respecto a las profundidades del agua, ya en 1981 muchos pozos del área de Jumilla superaban los 100 m, y en Villena los 200 m. En todos los mapas disponibles resulta tremendamente difícil el dibujo de líneas piezométricas para todo el acuífero, ya que existen pocos datos para ello. La mayor densidad de los mismos se tiene en los años 1985 a 2000 aproximadamente. Las

piezometrías que corresponden a estos periodos se muestran en las figuras siguientes (Figura 6.3, Figura 6.4 y Figura 6.5).

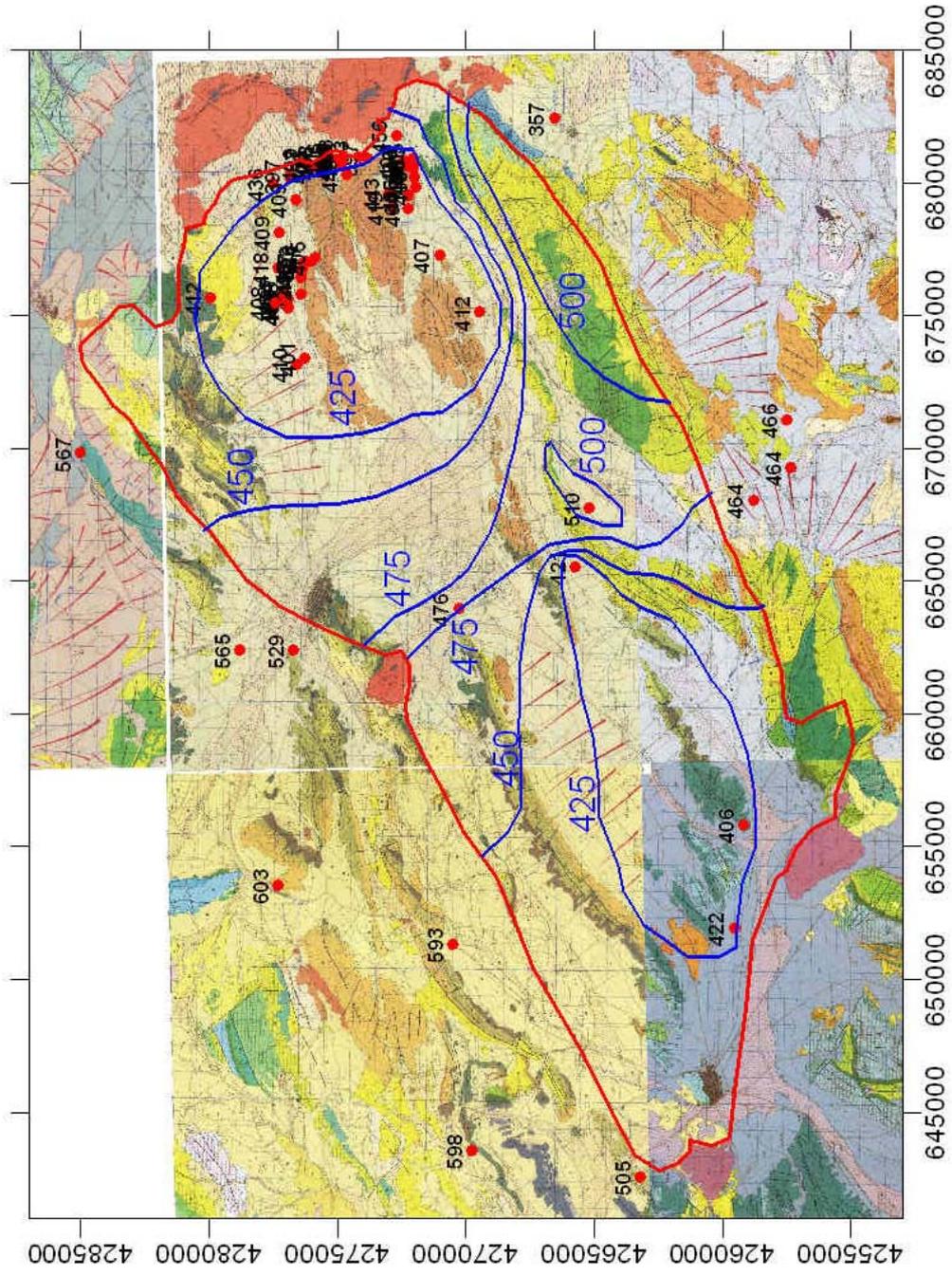


Figura 6.3: Piezometría del acuífero para el periodo 1986-1990.

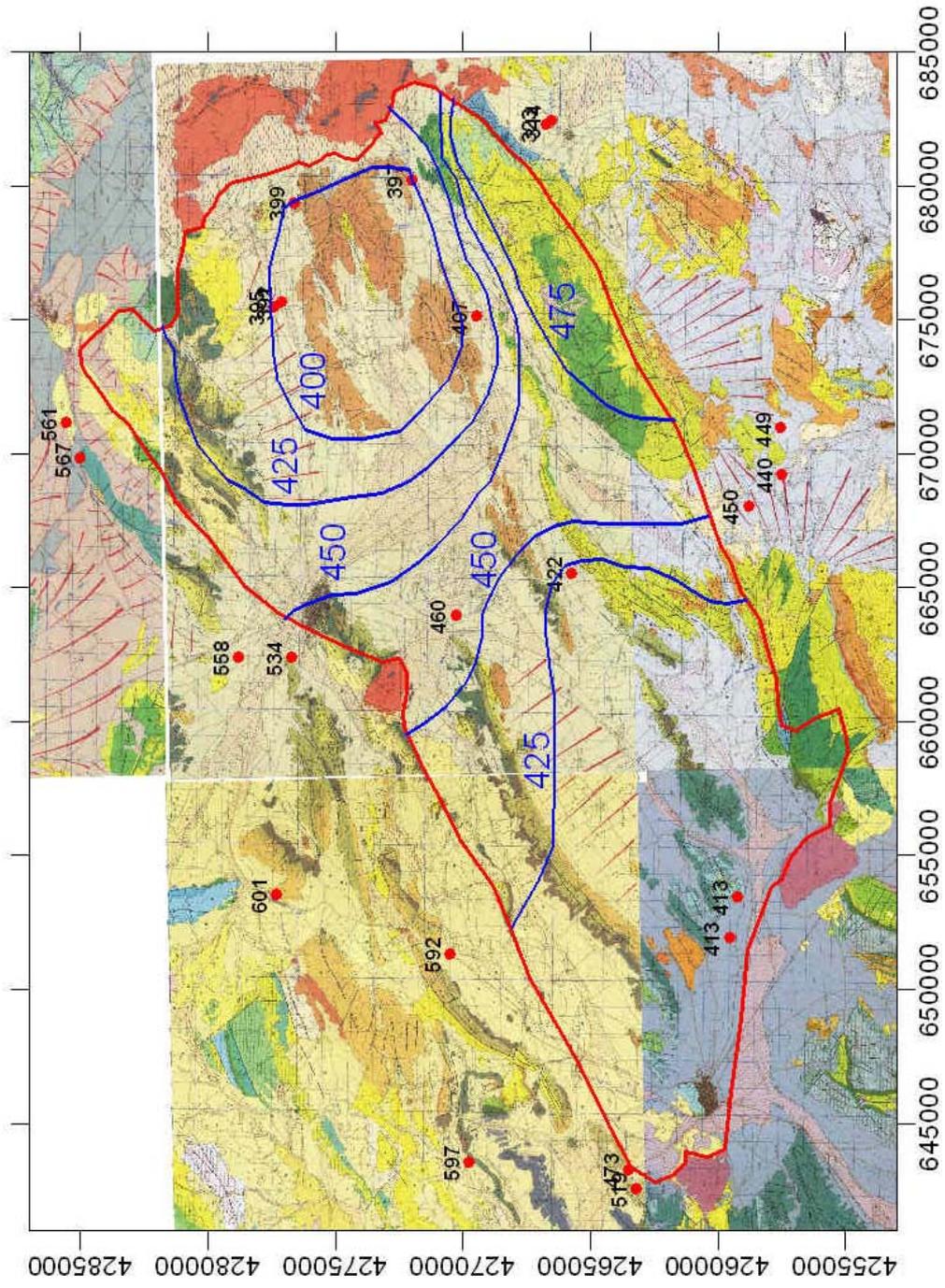


Figura 6.4: Piezometría del acuífero para el periodo 1991-1995.

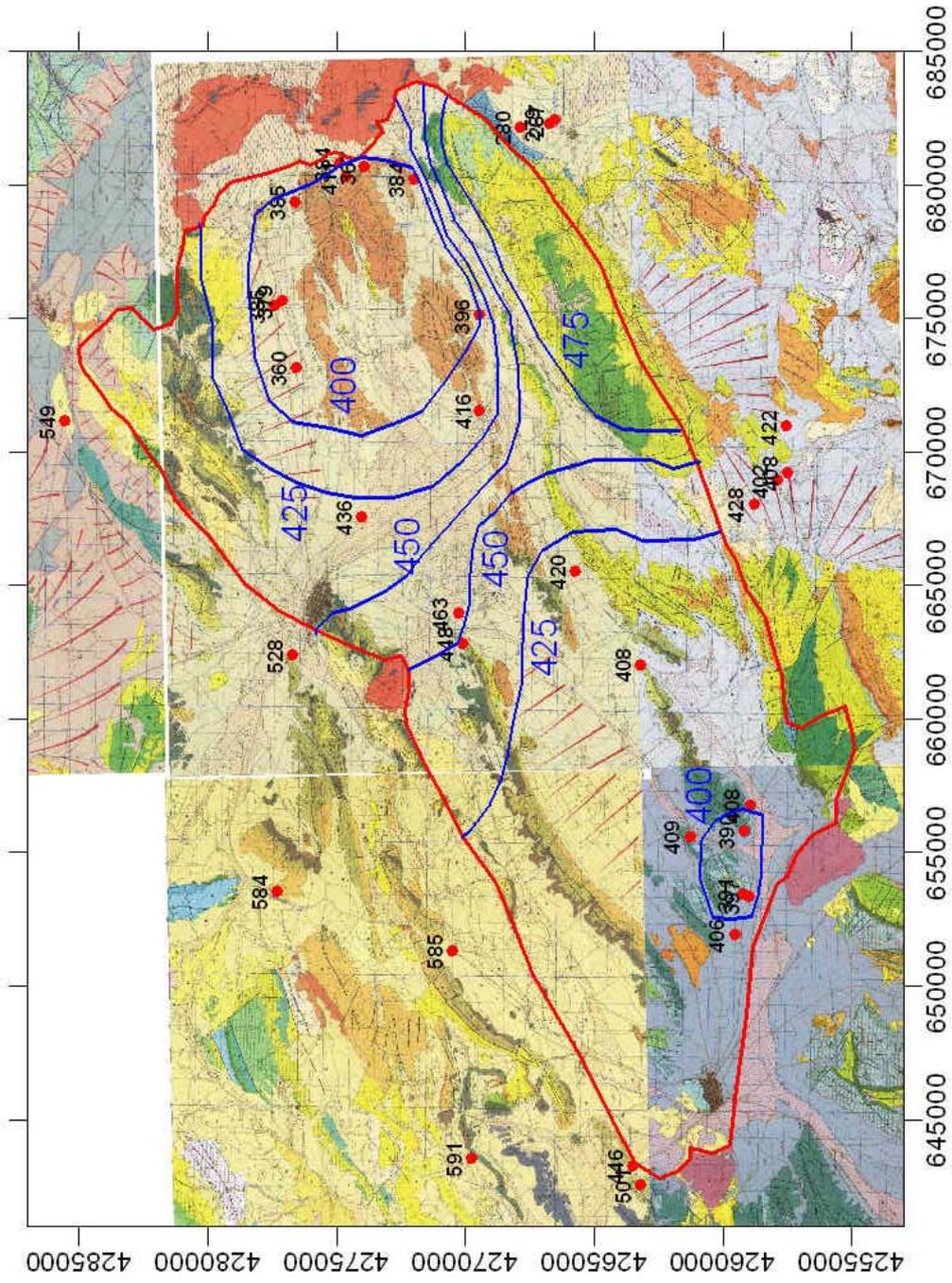


Figura 6.5: Piezometría del acuífero para el periodo 1996-2000.

De acuerdo con lo anteriormente descrito, un corte hidrogeológico del acuífero en dirección NNW-SSE con la posición del nivel freático actual sería aproximadamente el que se muestra en la Figura 6.6. En este corte, los límites del acuífero son hacia el NNW el triás impermeable, y hacia el SSE la Sierra Salinas que constituiría una divisoria de aguas tal y como hemos supuesto en hipótesis anteriores. Aunque este límite pueda estar sujeto a cierta incertidumbre, debido a la presencia de materiales de la base del Cretácico Inferior a baja profundidad, en ningún momento se ha considerado a la base como impermeable y, por tanto, el subafloramiento de un cabalgamiento en este sector no afectaría en gran medida al flujo de agua subterránea, determinado por la divisoria en régimen natural.

Obsérvese que el flujo de agua será desde los límites hacia el centro del acuífero, y una vez aquí hacia el SW o hacia el NE que son los puntos con mayores extracciones de agua. Obsérvese que en algunos puntos la profundidad actual el agua supera los 200 m de profundidad desde la superficie. En Umbría de la Pava, la tectónica provoca que el nivel acuitado del Cretácico Inferior se comporte como tal respecto al Cretácico Superior y al Jurásico al estar en una posición más elevada, y el descenso continuado de niveles piezométricos llegará a provocar pronto compartimentación del acuífero a escala local entre el triás y la base.

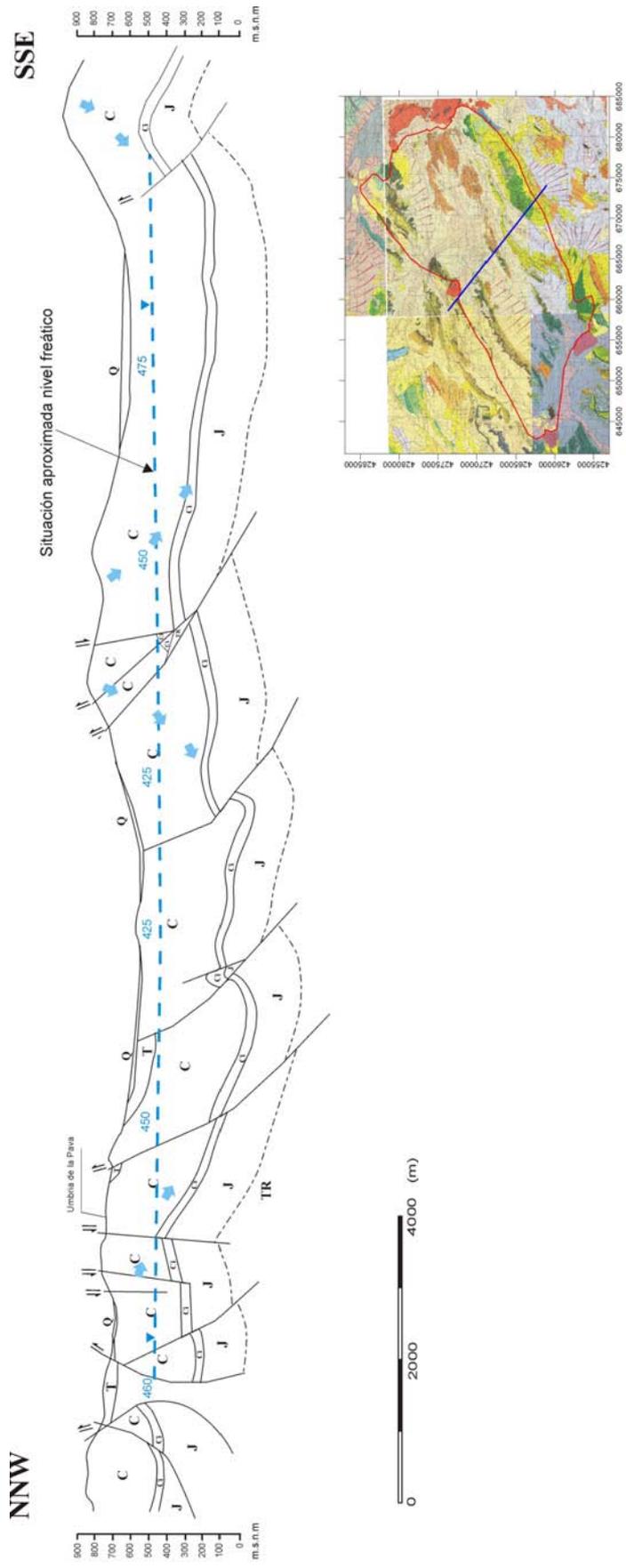


Figura 6.6: Corte hidrogeológico esquemático NNW-SSE del acuífero Jumilla-Villena. Este corte se corresponde aproximadamente con el corte 3 (Figura 3.7).

También se han elaborado gráficos de evolución de niveles en el tiempo para los puntos de agua que existen en cada uno de los tres acuíferos (Jumilla-Villena, Carche-Salinas y Cingla-Cuchillo) con la finalidad de observar si las tendencias de los niveles son las mismas y los acuíferos están bien delimitados entre sí. Con los datos disponibles se observa que las pendientes de descensos de nivel con el tiempo para puntos del acuífero Jumilla-Villena son bastante homogéneas, y los valores de descenso son además bastante parecidos, oscilando de 0.005 a 0.008 m/día (de 1.8 a 3.0 m/año) (Figura 6.7).

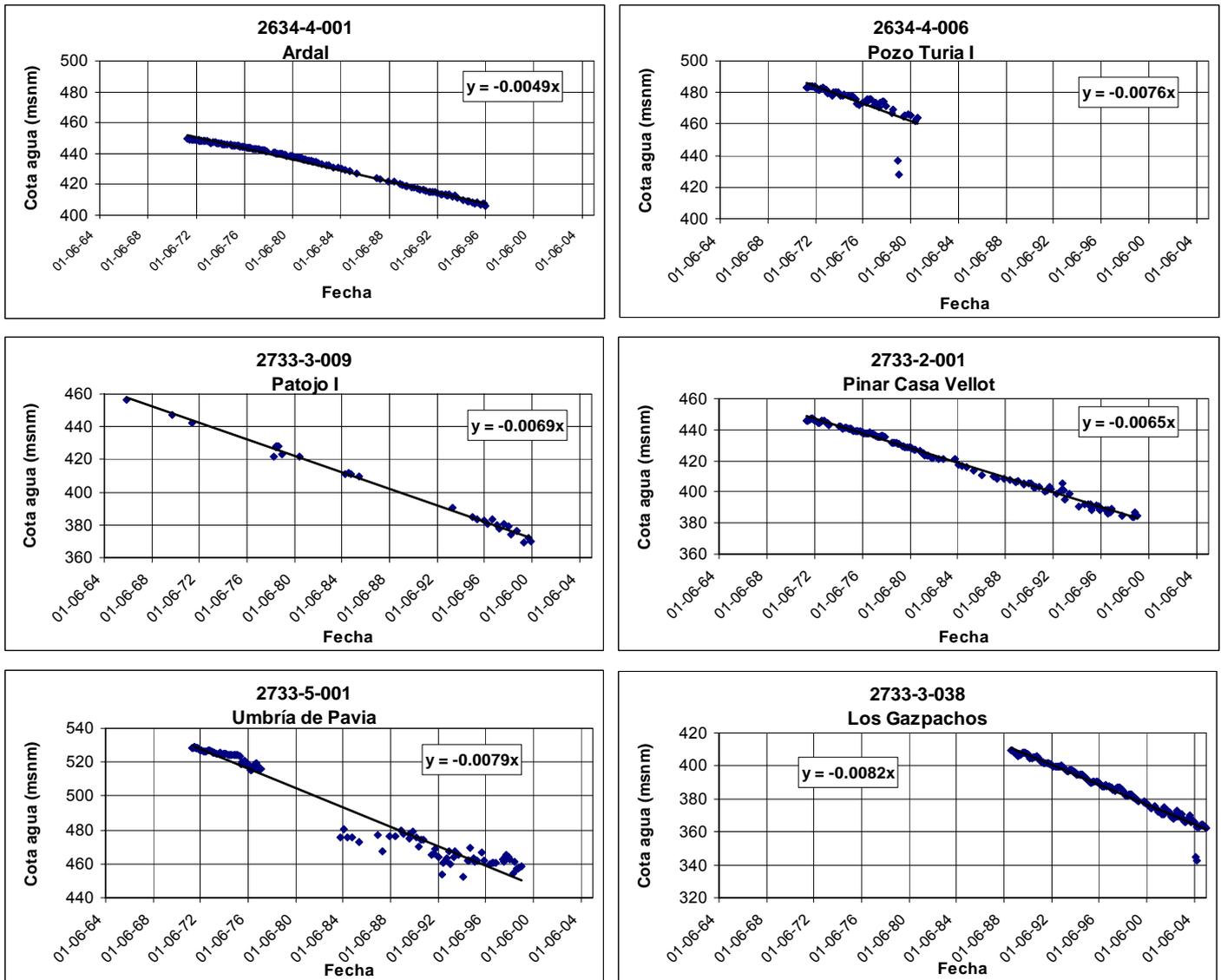


Figura 6.7: Evolución temporal del nivel de algunos pozos del acuífero Jumilla-Villena. Las pendientes de descensos son todas ellas bastante homogéneas y además bastante parecidas entre sí.

Las pendientes de descenso de nivel de puntos del acuífero Carche-Salinas (Figura 6.8) son todas ellas superiores a las del Jumilla-Villena, y las del Cingla-Cuchillo (Figura 6.9) son normalmente inferiores. Las cotas de agua son así mismo muy distintas. Las diferencias de las tendencias al descenso, si se asume que actualmente estos tres acuíferos no están conectados entre sí, son explicables por una mayor extracción o por propiedades hidráulicas diferentes, o bien por una combinación de ambas cosas. Nótese que los puntos como el Pozo Salinas quedan muy cerca del contorno oriental. El hecho de que las pendientes sean homogéneas entre sí y diferentes a las del Jumilla-Villena, abunda a favor de los límites tradicionales del acuífero, donde la base del Cretácico Inferior verticalizado individualiza el Carche-Salinas del Jumilla-Villena. No descartamos esta posibilidad, aunque de cara al modelo numérico creemos que de momento es más coherente utilizar el contorno de divisoria de aguas adoptado.

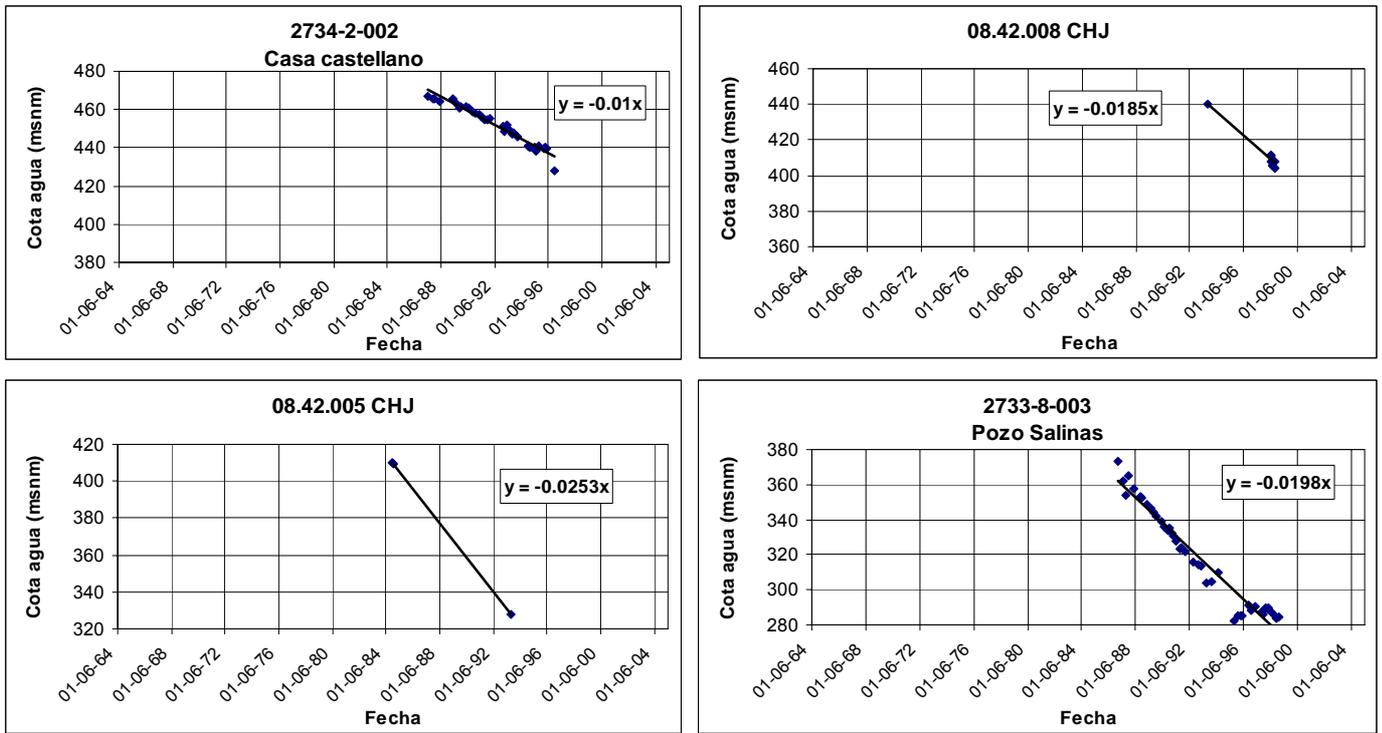


Figura 6.8: Evolución temporal del nivel de algunos pozos del acuífero Carche-Salinas. Las pendientes de descensos son todas ellas superiores a las de los puntos del acuífero Jumilla-Villena.

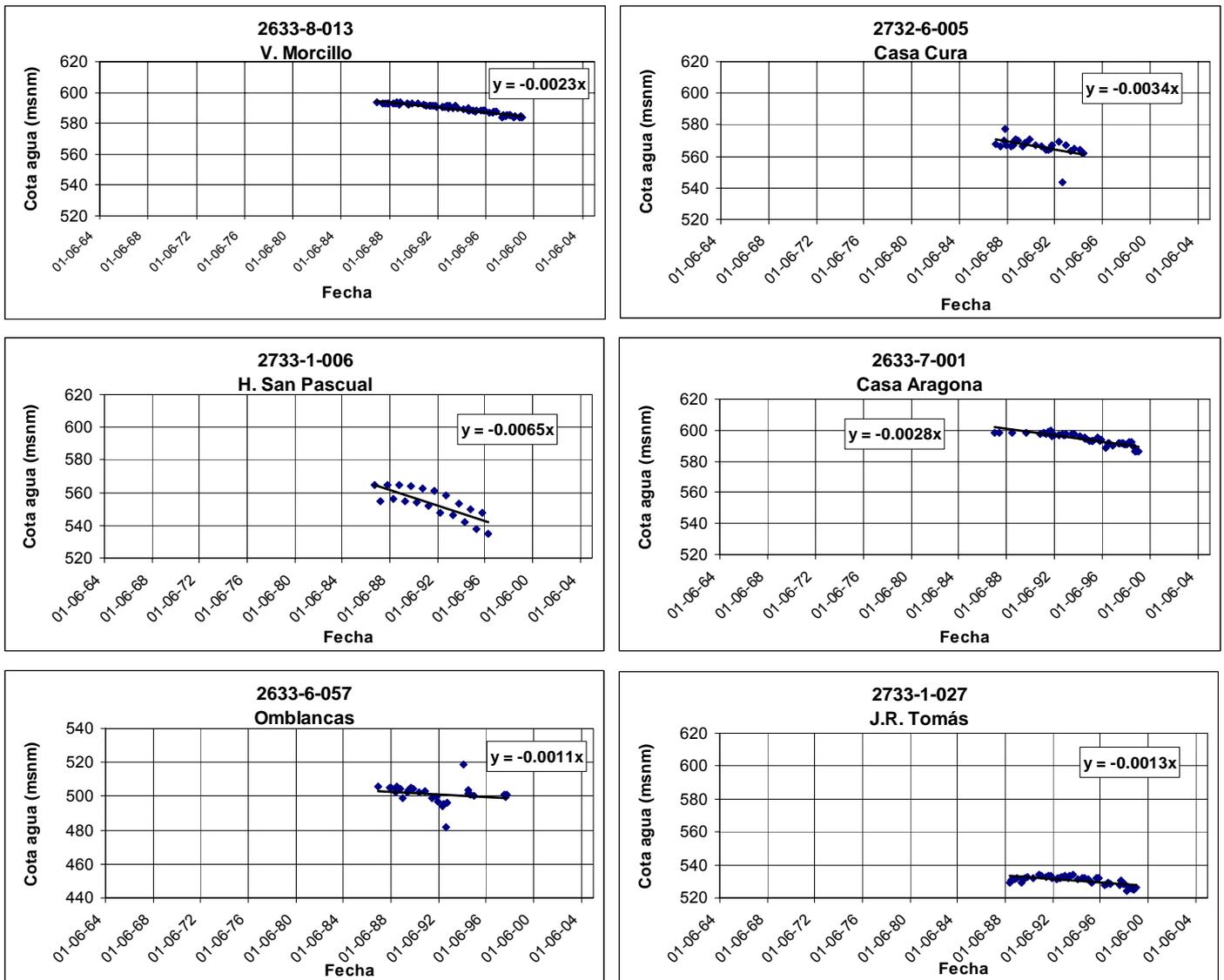


Figura 6.9: Evolución temporal del nivel de algunos pozos del acuífero Cingla-Cuchillo. Las pendientes de descensos son casi todas ellas inferiores a las de los puntos del acuífero Jumilla-Villena.

Los niveles piezométricos han descendido históricamente en el acuífero Jumilla-Villena de manera más o menos constante desde que se tiene registro de ello (sobre el 1964), por lo que se deduce también que no se han producido variaciones muy grandes en el régimen de extracciones. En los gráficos se aprecia además que ninguno de los datos piezométricos de que se dispone refleja el estado estacionario del acuífero en régimen natural antes de las explotaciones, por lo cual el modelo numérico deberá calibrarse sólo en estado transitorio. Debido a que los datos tanto de niveles como de explotación de las aguas subterráneas son muy irregulares en el espacio y en el tiempo, se realizará la calibración del modelo desde el año 1980 al 2005 aproximadamente, que es cuando se tienen más datos, estableciendo como condiciones iniciales la piezometría resultante para el año 1980. Una serie de 25 años se considera ya bastante representativa para la calibración del modelo.

Esta piezometría inicial para las simulaciones del modelo (Figura 6.10) correspondiente al año 1980, se ha obtenido extrapolando hacia atrás los niveles en todo el acuífero a partir de las piezometrías de años posteriores, más fiables porque tienen más datos, y teniendo en consideración la evolución histórica de los niveles, y se considera aproximada.

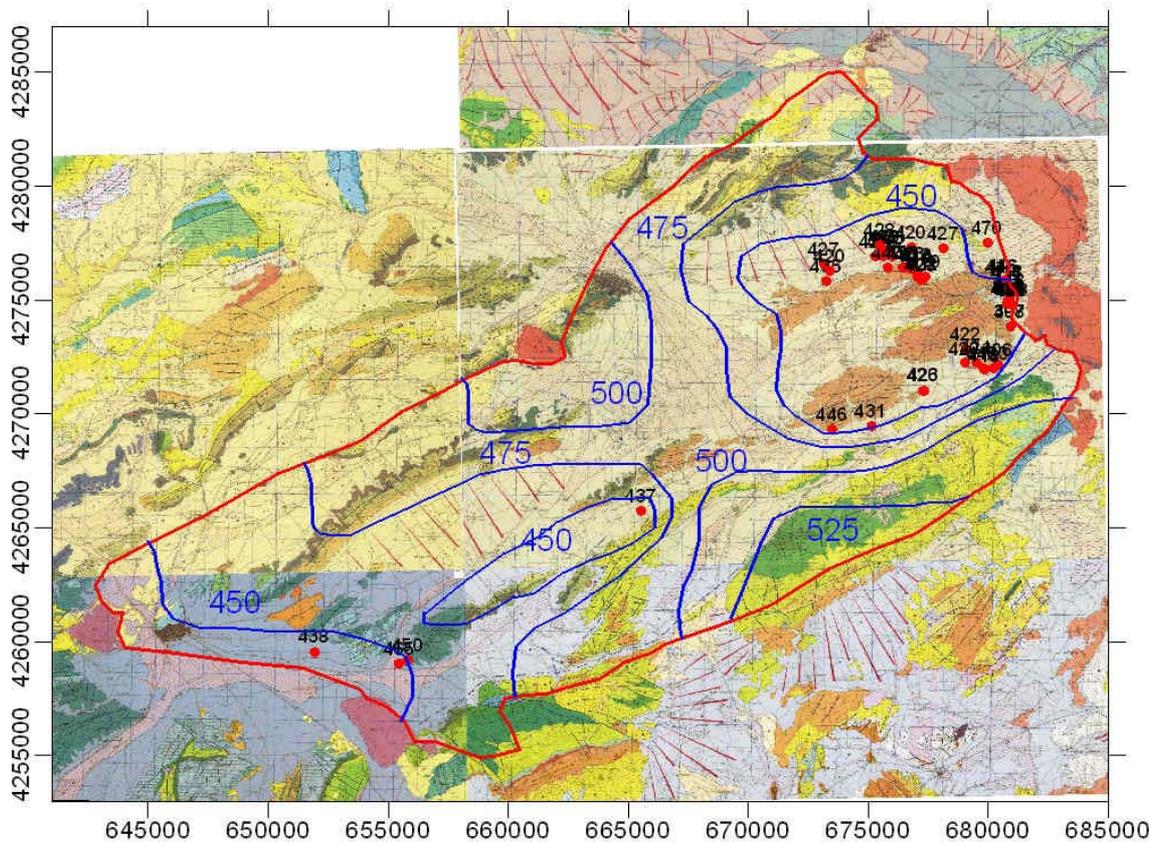


Figura 6.10: Piezometría del acuífero Jumilla-Villena para el año 1980. Ésta se considera como condición inicial para las simulaciones del modelo numérico.

6.3 Evolución temporal de las extracciones

El inventario de puntos de agua con información de extracciones y la procedencia de los datos se especifica en el apartado 3.5 de este informe. Hay que destacar que la escasez de datos de extracciones a lo largo del tiempo complica mucho la definición de su evolución temporal. A modo de ejemplo, la Figura 6.11 muestra la irregularidad en la evolución temporal en uno de los puntos en los que la distribución de los datos en el tiempo es más extensa (Pozo Duero, 263430083).

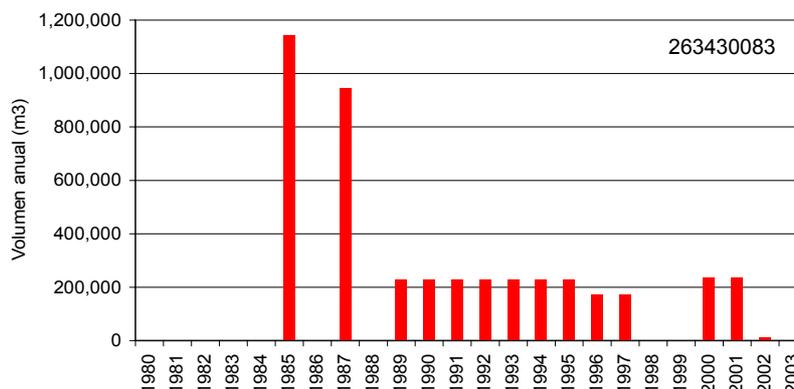


Figura 6.11: Evolución temporal de la extracción en el punto Pozo Duero (2634-3-0083, extraído de INTECSA-INARSA, 2003).

Dada la calidad de los datos que se han obtenido, no es posible definir unas series temporales fidedignas para el modelo numérico, que reflejen la evolución temporal de las extracciones. El modelo numérico de flujo y sus resultados dependerán enormemente de las series de extracciones que se utilicen y es por tanto crucial en el desarrollo de este trabajo.

Dichas series deben reflejar el aumento en las extracciones del acuífero que se desprende de los estudios desde los 20 hm³ aproximados a principios de los años 70 hasta los más de 35 hm³ que se extraían en 1987 cuando se declaró sobreexplotado el acuífero. A partir de esta fecha, las extracciones aparentemente deberían decrecer (según ITGE, 1989, en 1988 eran 25 hm³ aproximadamente), y los valores más actuales (1999-2002) de que se dispone están próximos a los 25-30 hm³. De todas maneras se piensa que faltan datos de una parte importante de las extracciones existentes.

6.4 Hidroquímica

6.4.1 Introducción

Este apartado describe los trabajos relacionados con la hidroquímica llevados a cabo, siendo los objetivos principales los que se detallan a continuación:

- Establecer las características químicas del acuífero Jumilla-Villena
- Relacionar los posibles cambios de composición química con la evolución de las extracciones a lo largo del periodo de estudio

6.4.2 Metodología

Se han utilizado los análisis químicos proporcionados por el cliente, con muestreos a lo largo del periodo 1970 hasta 2002, con diferente distribución espacial y temporal. El inventario de puntos de agua con información hidroquímica se mostraba en el apartado 3.5 de este informe. En particular, se tienen datos de los años 1970, 1972, 1974, 1977-78, 1984, 1988, 1996 y 2000-02. Conviene decir que no existe una red de control formalmente establecida a lo largo de este tiempo y que los puntos suelen estar distribuidos de forma irregular en el acuífero. Así, es difícil establecer tendencias claras que puedan obedecer a la continua extracción del agua y/o abatimiento del nivel piezométrico, ya que muy pocos puntos tienen un registro sistemático. Además, existen lagunas importantes en el tiempo y se observan, como se comentará a continuación, cambios en la composición que es difícil atribuir a efectos naturales. A todo ello hay que añadirle el efecto de que los puntos de muestreo son pozos de extracción que pueden haber estado funcionando previamente al muestreo o no, tienen profundidades mal conocidas y posiciones de las rejillas peor documentadas. Además, en alguna ocasión pueden haber sido re-profundizados, con lo cual, se pierde totalmente la continuidad de las muestras para ese punto.

De todos los datos proporcionados, se han filtrado los errores por el criterio de balance de cargas compensado por la conductividad eléctrica. Así, para un error determinado como (Custodio y Llamas, 1983):

$$E = \frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}} \cdot 200$$

Para los valores de aniones y cationes en meq/l, se han establecido los siguientes límites de error admisible:

C.E. (μS/cm)	50	200	500	2000	>2000
E (%)	30	10	8	4	4

Descartándose todos los análisis que no cumplieran este requisito. En los anejos de este documento se muestra la representación espacial de los datos (válidos y no válidos) por muestreos de los periodos o años indicados, los gráficos logarítmicos de Schoeller Berkaloff, los ternarios de Piper-Hill-Langelier, así como los gráficos ion-ion de algunos de los componentes principales. Para aquellos puntos de los que se contaba más de un análisis se ha representado la variación del contenido de cloruros y de sulfatos en el tiempo.

6.4.3 Análisis de las campañas de muestreo

Como se ha comentado anteriormente, los datos se analizan primero en el contexto de cada una de las campañas de que se disponen, para pasar posteriormente a la evolución temporal de la salinidad (como ion cloruro y sulfato). Los mapas de situación de estas muestras, los análisis de errores y los gráficos se incluyen en el anexo.

6.4.3.1 1970

Este muestreo se extiende además del acuífero Jumilla-Villena, al acuífero Cingla-Cuchillo y a la Rambla del Arabí.

El diagrama de Piper muestra claramente dos poblaciones que corresponden a cada uno de los dos acuíferos principales: Cingla-Cuchillo, más

bicarbonatada cálcica y Jumilla-Villena, donde el agua tiene un porcentaje similar de cloruros y de sulfatos. La proporción de cationes es mucho más equilibrada en ese último (Na-Ca-Mg). Sorprendentemente, la muestra de la Rambla del Arabí (27331046) tiene una composición porcentual más parecida a las del acuífero Jumilla-Villena que a las del Cingla-Cuchillo, aunque el gráfico logarítmico indica una composición cuantitativa relativamente distinta. La relación iónica Cl-Na es coherente en todas las muestras excepto en la de la Rambla del Arabí, en la que el contenido en sodio es proporcionalmente bajo.

6.4.3.2 1972

Complementa la del año anterior. Existen más análisis en el sector oriental y uno en el margen N, cerca de la Fuente de la Negra. Las muestras del sector oriental del acuífero son más cloruradas y bicarbonatadas que las del sector central, que son más sulfatadas. La muestra 273340070, muy cerca del contorno oriental, aparece con un contenido de Cl y de Na altos, del orden de 15 meq/l cada uno, que contrasta claramente con las demás muestras.

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

año-1970

año-1972

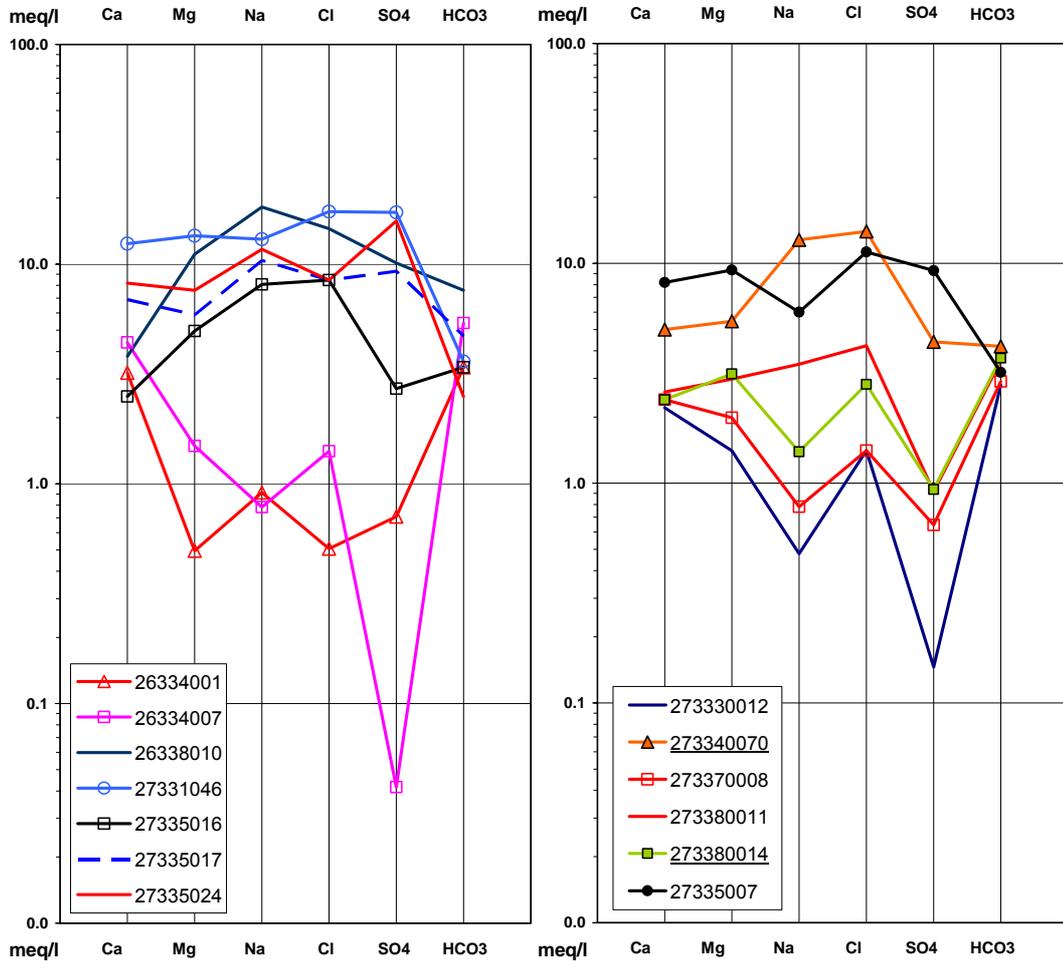


Figura 6.12 Comparación de las composiciones de las muestras de los años 1970 y 1972

6.4.3.3 1974

En este año se realiza el primer muestreo extensivo, lo que permite agrupar las muestras geográficamente en sectores oriental, central y occidental. Se sigue observando la presencia de muestras más salinas cerca de los contornos.

En general, en el sector oriental las aguas son cloruradas sódicas, excepto algunos pozos donde las muestras representan pozos poco penetrantes y son claramente mucho más diluidas que las más profundas. Los contenidos son variables, pero existe claramente una composición que se va diluyendo progresivamente cuanto más lejos está el contorno.

Las muestras del sector central tienen una composición menos homogénea que las del oriental y, en ningún caso, parecida a las del sector central. La única muestra clorurada sódica tiene unas proporciones desiguales entre Cl y Na (hasta 5 meq/l de diferencia sobre 15 y 20) en comparación con las concentraciones casi parejas del sector oriental. Existen varias muestras sulfatadas magnésicas, y algunas con contenidos de iones mayoritarios muy homogéneos.

Las muestras del sector occidental son cloruradas sódico-magnésicas o bicarbonatadas con una composición catiónica en la que no predomina ninguno de los tres sobre los demás. Existe una muestra (273350018) sulfatada magnésica que predomina sobre las demás.

En general, al igual que en el año 1972, para contenidos bajos, cloruro y sulfato correlacionan bien, lo que ya no es tan cierto para valores superiores a 5 meq/l. La pendiente de la recta de regresión indica que aproximadamente, hay entre 1 a 2 veces más sulfato para concentraciones bajas

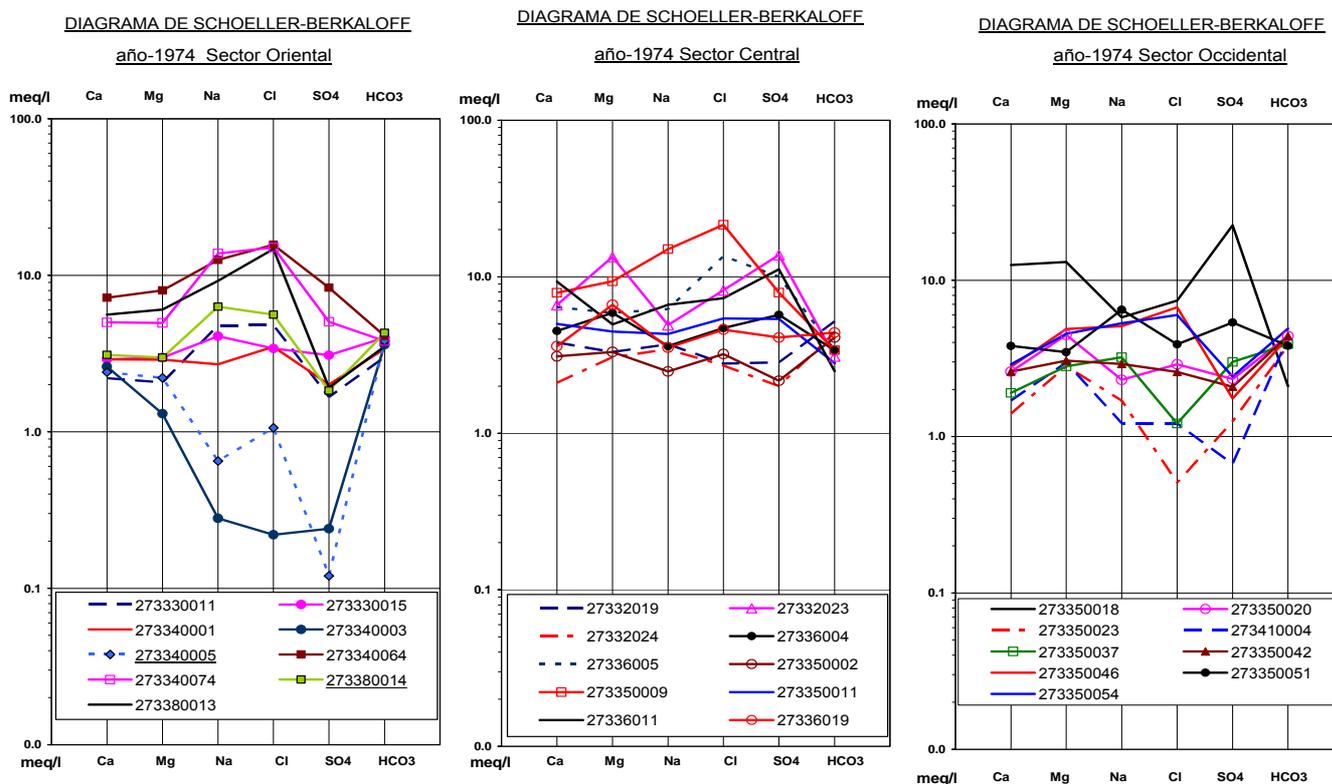


Figura 6.13 Comparación de las composiciones de los distintos sectores en el año 1974.

6.4.3.4 1977-78

Hay dos muestras en el sector central-occidental y el resto en el oriental. Se observa una tendencia clara al aumento en cloruros desde el centro del acuífero hacia el contorno oriental, lo que se pone tanto de manifiesto con los diagramas ternarios como los logarítmicos. Sorprendentemente, una de las muestras más cloruradas corresponde a la del sector central del acuífero, la 273410009, muy cerca del contorno S. La muestra 273350008 está justo al S del domo de la Fuente de la Negra, domina el anión bicarbonato y hay un contenido muy parecido de los otros tres cationes mayoritarios. El ion sulfato es 1.5 meq/l menor que el Cl y hasta 5 meq/l menor que el bicarbonato. Los diagramas ternarios sugieren una buena línea de mezcla o tendencia al dominio clorurado-sódico. Sin embargo,

las muestras situadas más al S del dominio oriental (273370001, 273380006, 273380009, 273380011, son mucho más diluidas, y el magnesio es el catión dominante, en una mejor concordancia con la muestra del sector central del acuífero. Estas muestras se sitúan cerca de la línea del cabalgamiento que delimita la Sierra Salinas.

6.4.3.5 1984

Existen dos muestras, una cerca del flanco S del Cingla-Cuchillo y otra en la Hoya del Mollidar que aparecen claramente diferenciadas de las demás, muy empobrecidas en sulfato, lo que probablemente indica bien dilución por agua de lluvia o bien poca renovación del punto de muestreo y reducción de éstos o una contribución de ambos. En cualquier caso, destacan del resto del muestreo.

Una muestra del sector central (273350001) coincide prácticamente en la misma posición que la 273350008 del muestreo anterior y, aunque de distinta composición, destaca notablemente de las del sector oriental, que siguen siendo cloruradas sódicas en mayor o menor medida, más salinas en el contorno y menos hacia el centro del acuífero.

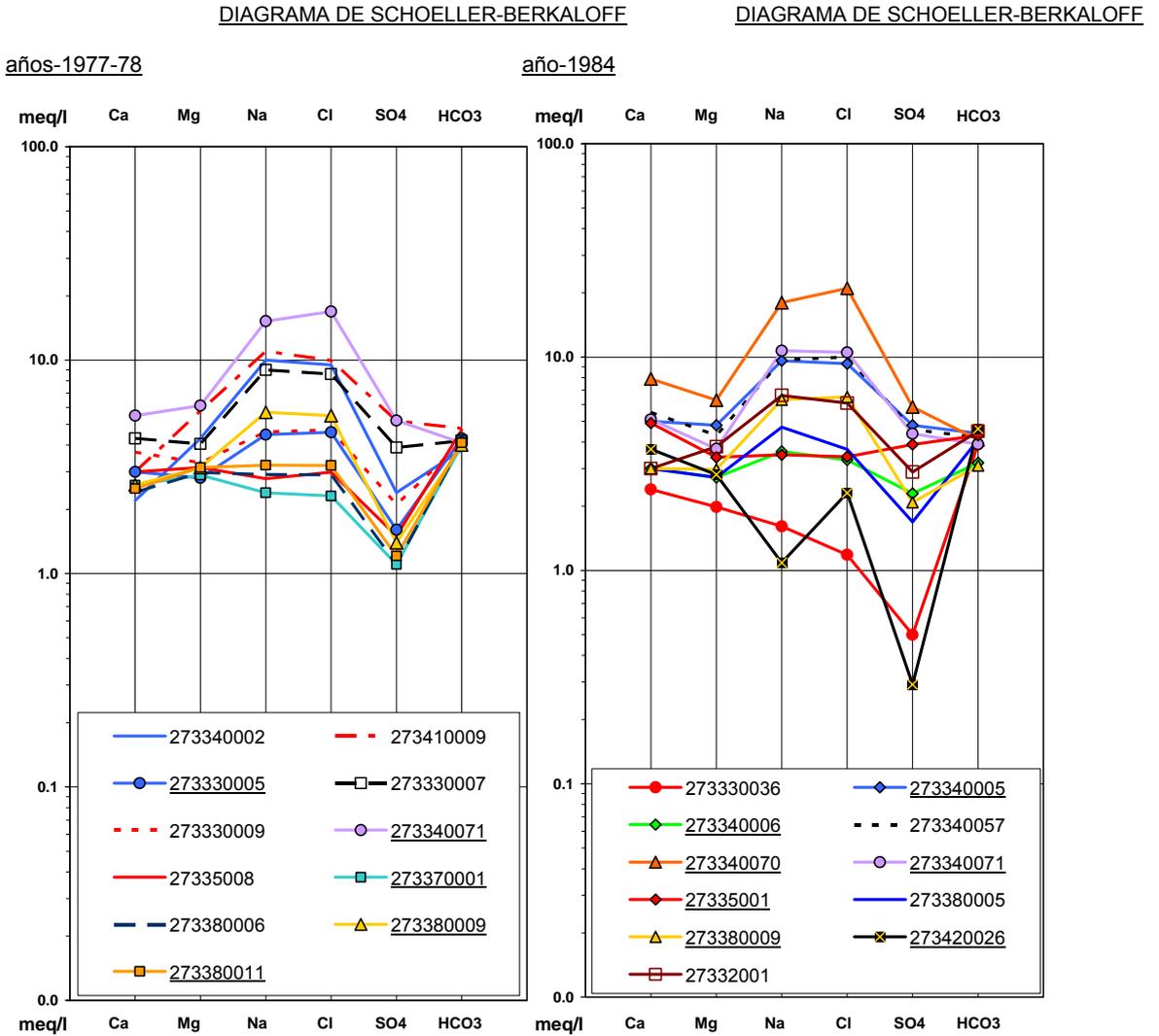


Figura 6.14 Diagramas logarítmicos de las campañas 1977-78 y 1984

6.4.3.6 1988

En este muestreo se observan muestras repetidas respecto a años anteriores: 273420026 en la Hoya del Mollidar y 273350001 en el sector central del acuífero. La muestra del sector central, presenta una composición constante respecto a años anteriores, sin un predominio claro de ninguno de los iones. En cambio, la muestra de la Hoya del Mollidar (273420026), tiene una composición completamente diferente de la el muestreo anterior y muy parecida a la del sector central que se comentaba más arriba (273350001), lo

que parece indicar que la composición anómala del año 1984 se puede deber a que era una muestra poco representativa del acuífero.

En este año se cuenta con una muestra del acuífero Cingla-Cuchillo (273310012), claramente bicarbonatada cálcica y distinta cualitativa y cuantitativamente de las del resto del Jumilla-Villena.

El resto de muestras pertenecen al sector oriental y se repiten las composiciones clorurado-sódicas, con máximos de hasta 20 meq/l de Cl⁻.

6.4.3.7 1996

Existen notables diferencias entre los resultados de esta campaña respecto a las anteriores. Cabe comentar en primer lugar, que las fechas de los muestreos se concentran en su mayor parte en el mes de noviembre, cuando en años anteriores había sido durante el verano o meses igualmente secos, aunque eso no debería ser extremadamente importante ya que los niveles piezométricos no se recuperan entre 1988 y 1996, ni tampoco durante el mismo año hidrológico.

La diferencia más notable es la casi nula presencia de muestras de composición clorurada-sódica en el sector oriental. Solamente la muestra 273330021 aparece con esta composición pero con contenidos de cloruro por debajo de los 10 meq/l. El resto del sector aparece con composiciones o bien muy equilibradas entre todos los iones o bicarbonatada-cálcicas, muy empobrecidas en sulfato y sodio. En cierta medida, esta composición se asemeja más a la del sector central o incluso a las muestras de los años 70 en el sector occidental en Jumilla, que a la tendencia homogénea que venían siguiendo sistemáticamente en todos los muestreos de cloruradas-sódicas. Incluso la muestra 273350001 (Umbría de la Pava) en el sector central, que sistemáticamente mostraba un contenido semejante entre todos los iones, refleja un aumento de bicarbonato y descenso de sulfato y de cloruro.

Existen además, muestras ubicadas fuera el acuífero Jumilla Villena que se comentan a continuación.

La muestra 08.42.004, en el sector de Salinas, muy cerca del afloramiento de materiales jurásicos, presenta una composición claramente bicarbonatada cálcica-magnésica. La muestra 08.42.008 está situada entre El Carche y

Sierra Salinas, es también bicarbonatada cálcica-magnésica, pero con un contenido en cloruro más alto que la anterior. Pese a su proximidad, su composición es muy distinta a la de la Hoya del Mollidar. La muestra 273310012 está en el Cingla Cuchillo y, respecto a muestreos de años anteriores, es sulfatada magnésica-cálcica (cuando antes era bicarbonatada) con un aumento de hasta 5 meq/l tanto de sulfato como de magnesio.

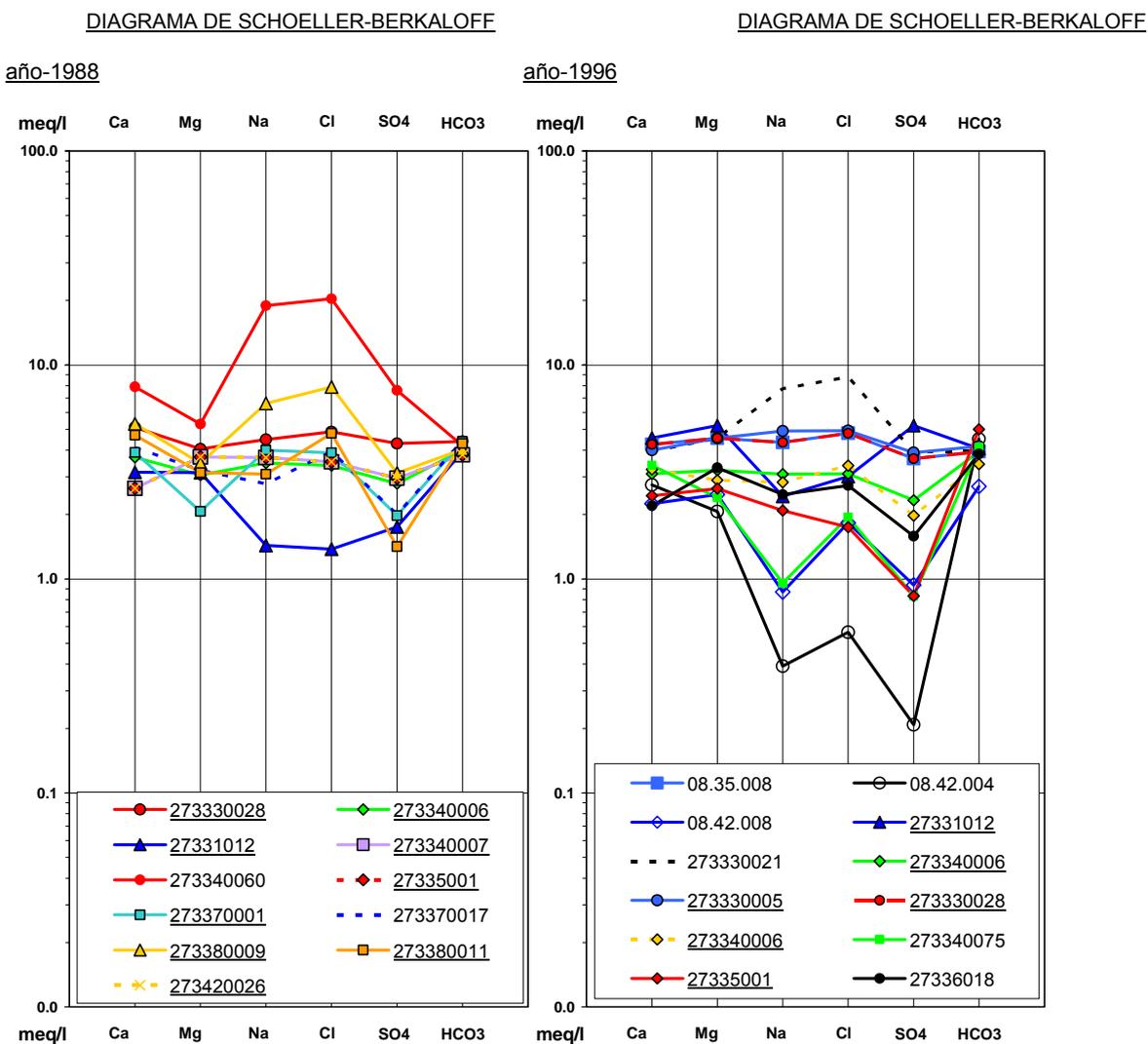


Figura 6.15 Diagramas logarítmicos de los años 1988 y 1996.

6.4.3.8 2000-02

Sólo existen tres muestras que tengan un error aceptable para estos dos años y solamente una de la que se tenga información de años anteriores (273340007 en el sector oriental en 1988). Respecto a ese año, tiene una composición similar, algo más baja en sulfato.

6.4.4 Relaciones iónicas

Las relaciones iónicas que se han estudiado son las que en principio obedecen a los cambios hidroquímicos derivados de la composición mineralógica del acuífero. Así, se han considerado las Cl^-/Na^+ , $\text{Cl}^-/(\text{Na}^++\text{K}^+)$, $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$, $\text{HCO}_3^-/(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})$, $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$, $\text{SO}_4^{2-}/(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})$, $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$. La extensiva presencia de calizas en el acuífero principal, permite suponer que la composición estará en gran medida condicionada por la disolución de la calcita y en menor medida, de la dolomita. También, es notable la presencia de yesos y otros sulfatos que son objeto de extracciones a cielo abierto en algunas partes del acuífero, así como la presencia de estos mismos sulfatos en el triásico que se ha tomado como borde impermeable del dominio. Finalmente, este mismo triásico contiene sales (cloruros) que son objeto de explotación más al S, en el domo de Pinoso.

Sin embargo, todos los muestreos casi sin excepción, dan unos valores de bicarbonato alrededor de los 3-5 meq/l, tanto en el tiempo como en el espacio. Probablemente es debido a las condiciones de los puntos de muestreo, que al ser pozos en explotación, mantienen el agua en el pozo suficientemente aireada como para que se establezca equilibrio con el CO_2 atmosférico. En los casos en que esto no fuera así, es probable que durante el muestreo no se haya aislado suficientemente la muestra del aire y que ésta se haya contaminado con el CO_2 atmosférico, con lo cual, el resultado es el mismo. Así, un ion que podía ser clave para estudiar procesos como la disolución/precipitación de la calcita, debe ser descartado.

La relación Cl/Na parece estar muy bien establecida y ser constante a lo largo de los muestreos. En general, existe hasta un 10% más de Cl que de Na,

hecho que no varía al incluir en el denominador el ion potasio con una correlación significativamente alta, superior al 80% (Figura 6.16). El hecho de que haya un rango de concentración relativamente alto (entre 1 y 20 meq/l) y se observe una sola recta de correlación permite suponer que, en gran medida, el origen es el mismo para todas las muestras.

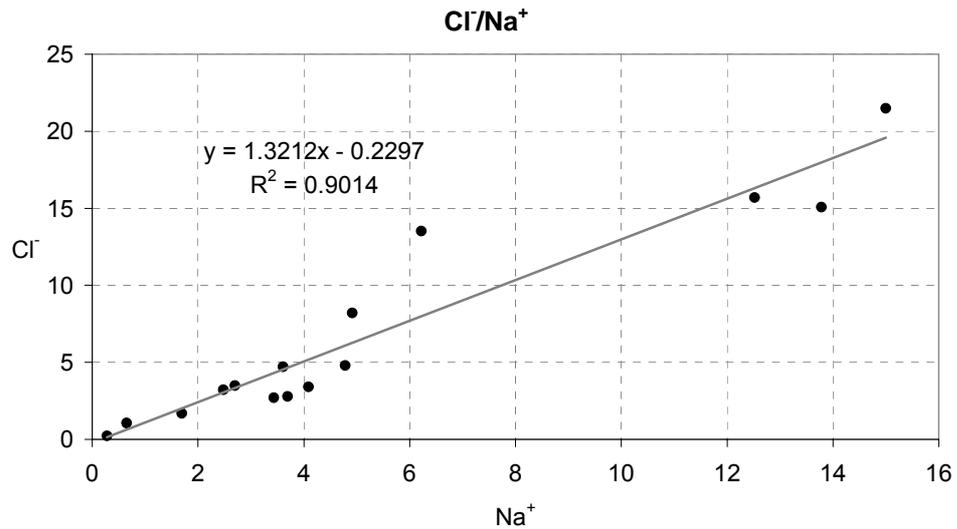


Figura 6.16 Ejemplo de correlación Cl/Na para el año 1974. Valores en meq/l.

La relación $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$ es bastante significativa aunque menos que la anterior. En general se obtienen factores de correlación muy variables según los muestreos (R^2 entre 0.4 y 0.99), que suelen mejorar hasta un factor 0.2 si se incluye en los cationes el Mg^{2+} (Figura 6.17). La mejor correlación del sulfato con el magnesio explica composiciones que se han detectado donde estos dos iones eran mayoritarios, y quizás cabe asociarlo a la presencia de un proceso de disolución incongruente de dolomita más que del propio yeso, abundante éste último en los afloramientos triásicos.

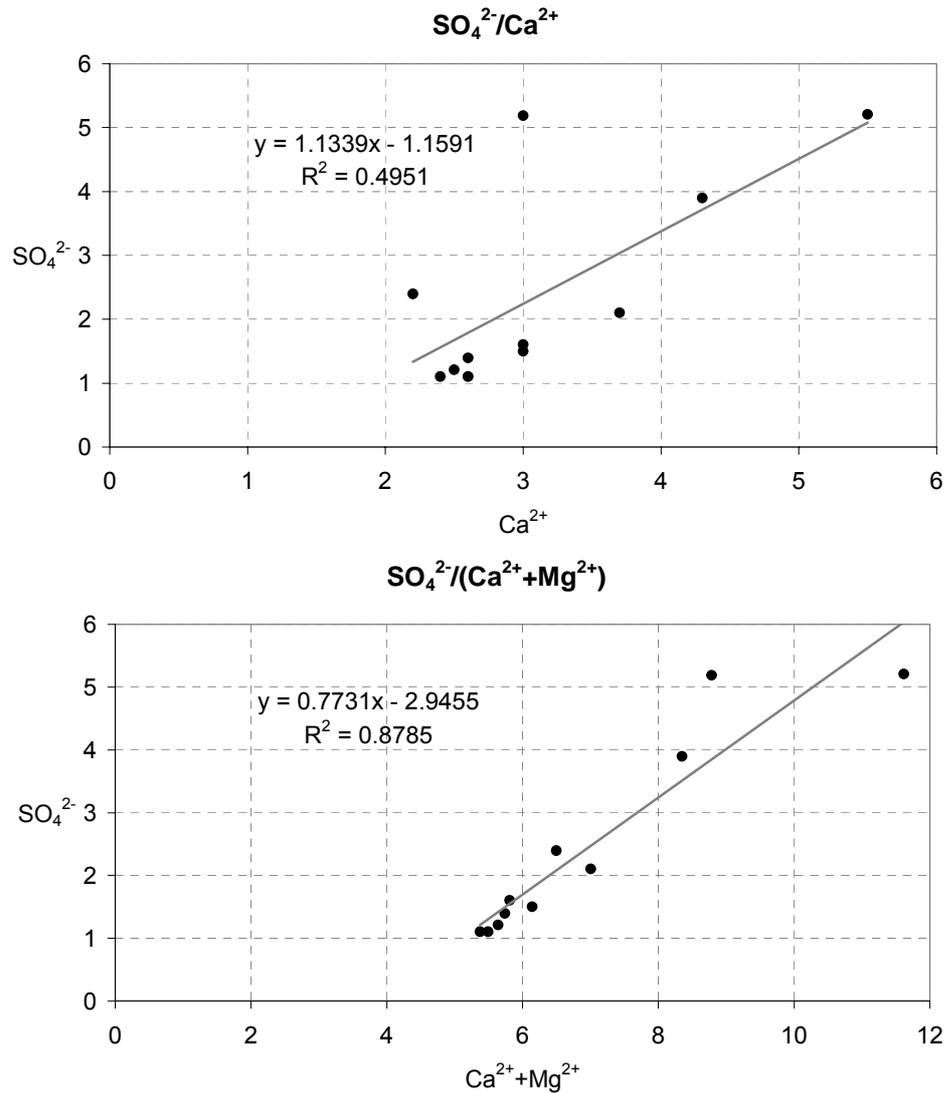


Figura 6.17 Ejemplo de relación sulfato, calcio y magnesio para el año 1978 (en meq/l).

La relación del ion cloruro con el sulfato es algo más errática. Si bien para valores de hasta 5 meq/l existe una correlación aproximadamente doble de cloruro que de sulfato, a partir de ese umbral los valores no siguen una tendencia clara (Figura 6.18).

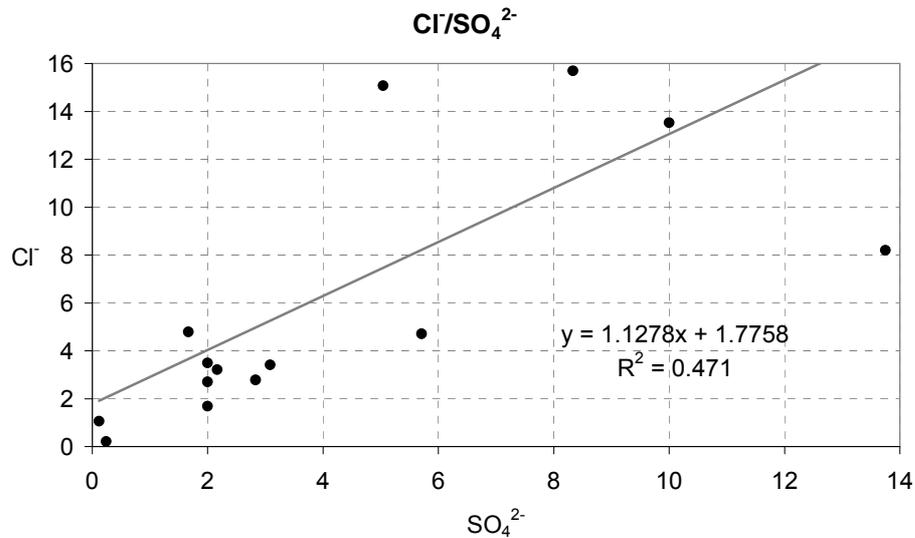


Figura 6.18 Relación cloruro sulfato para el año 1974 (meq/l).

6.4.5 Variación hidrogeoquímica temporal

Se ha intentado analizar la variación de los principales aniones en el periodo de estudio del que se disponen análisis. En el anexo se citan y ubican las muestras que se han utilizado en este diagnóstico.

Se dispone de un total de 14 puntos en los que exista más de un análisis entre 1970 y 2002. De ellos, 3 tienen tres análisis y el resto solamente dos. Uno de los puntos pertenece al acuífero Cingla-Cuchillo (273310012), uno a la Hoya del Mollidar (27340026), uno al sector central (273350001, Umbría de la Pava) y el resto al sector oriental. Así, creemos que la información es relativamente escasa para hacer firmes aseveraciones o llegar a alguna conclusión al respecto. Aún así, hay algunas relaciones que merece la pena comentar.

Durante el periodo estudiado y prácticamente sin excepción, todos los niveles piezométricos descienden, lo que induce a suponer que con el tiempo, la composición química estará cada vez más condicionada por la presencia de agua menos renovada y más próxima a los contornos. Así, cabría suponer

que en general, debería haber una tendencia al aumento en los iones cloruro y sulfato, que son los que se han estudiado.

En el punto 273310012, que es el pozo situado en el acuífero Cingla Cuchillo, los datos de 1986 y de 1998 confirman la tendencia al aumento de cloruros y sulfatos, aunque en una proporción distinta; mientras el cloruro aumenta en un factor aproximadamente 2, el sulfato lo hace del orden del 3.5. Esa misma tendencia se observa en la Hoya del Mollidar entre los años 1984 y 1988. En cambio, en el sector Central, la concentración de sulfato desciende del orden de un factor 4 (200 a 50 mg/l) entre 1984 y 1996 y los cloruros se mantienen estables entre 1984 y 1986 y descienden en un factor 2 hasta 1996 hasta menos de 50 mg/l (Figura 6.19).

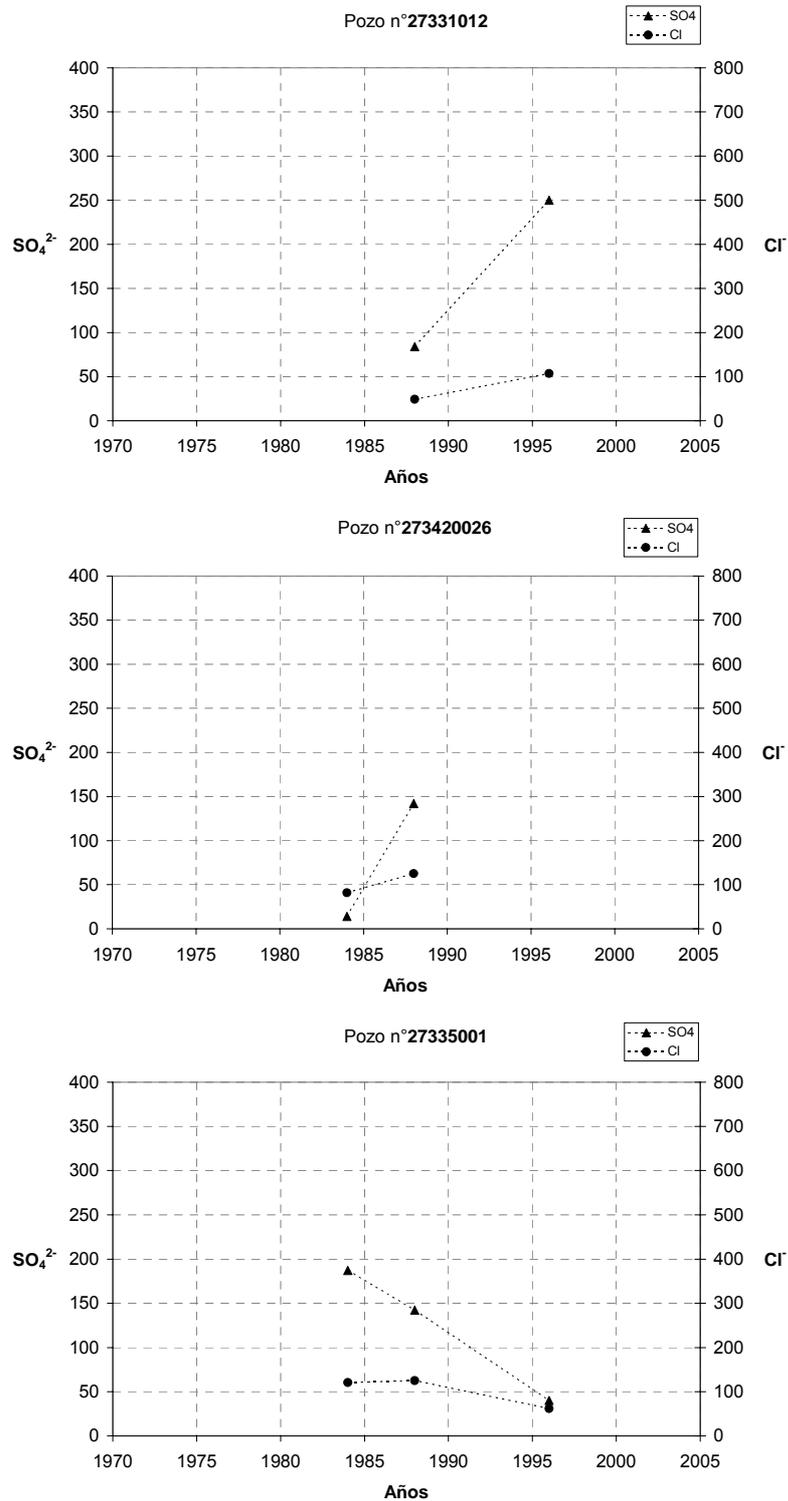


Figura 6.19 Variación de cloruros y sulfato en Cingla Cuchillo., Sector Central. y Holla Mollidar.

En el sector oriental, los puntos más cercanos al contorno son los del cuadrante 4º del mapa 2733 (puntos 2733400xx). Estos puntos muestran un comportamiento muy diverso pese a su relativa proximidad entre ellos y a la proximidad al límite geológico. Dos de ellos aumentan entre 1970 y 1985 (70 y 05) uno disminuye para el mismo periodo (71) y los otros dos se mantienen relativamente constantes (06 y 07). Estos comportamientos tan diferentes entre sí cabe explicarlos bien por una presencia irregular del contorno tanto en términos geológicos como de diferente profundidad de los propios pozos y por diferentes regímenes de bombeo. Así, en relación al contorno, tendrá el mismo efecto un contorno irregular frente a pozos de la misma profundidad que pozos de diferente profundidad en un contorno regular. Aún así, es difícil explicar cómo en un sector donde los niveles han descendido de forma regular durante el periodo de observación, pese a poder tener caudales variables de explotación, algunos pozos mejoran su calidad mientras que otros la empeoran (Figura 6.20).

En el resto del sector oriental, tanto los cloruros como los sulfatos se mantienen relativamente estables (273380011) o aumentan muy ligeramente (273370001).

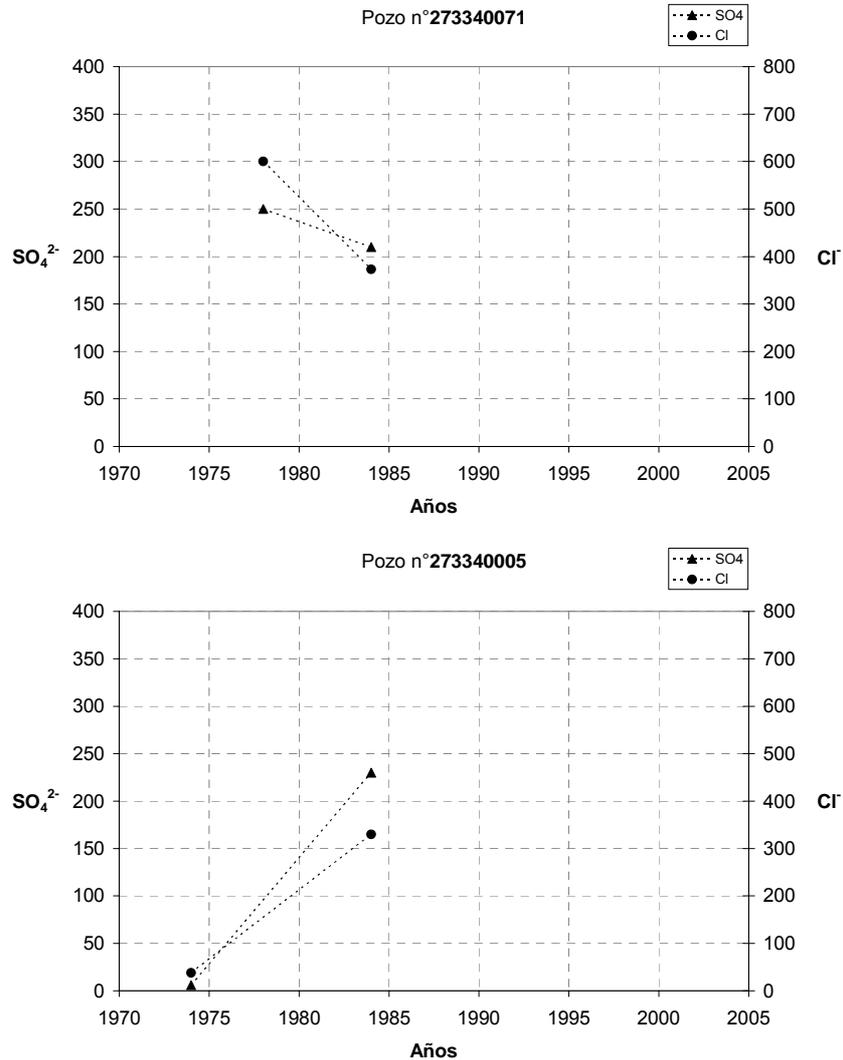


Figura 6.20 Composición en dos pozos cercanos al borde oriental del acuífero.

6.4.6 Conclusiones sobre la revisión de datos de hidroquímica

A pesar de que, tal como se ha apuntado y visto a lo largo del documento, la calidad de los datos no permite avanzar excesivamente en el estudio cuantitativo de la composición química del agua subterránea del acuífero Jumilla Villena, cualitativamente se pueden establecer las siguientes bases.

El agua es de composición clorurada sódica cerca de casi todos los contornos del acuífero, siendo menos mineralizada hacia el interior del acuífero y más

bicarbonatada y sulfatada. Esto se justifica por la presencia de los materiales evaporíticos triásicos que funcionan de límite impermeable de todos los materiales acuíferos.

Los datos que se han utilizado del sector occidental del acuífero (cercano a Jumilla) muestran una composición mayoritariamente clorurada sódica en el sector oriental (Villena), bicarbonatada y sulfatada cálcico sódica y en ocasiones magnésica en el sector central, y los pocos datos que se tienen al Oeste del acuífero, muestran una composición muy heterogénea.

Las relaciones iónicas muestran una buena correlación entre el cloruro y el sodio para todos los sectores y para todos los rangos de concentración, evidenciando un origen común para todos ellos. El cloruro y el sulfato correlacionan bien para concentraciones de hasta 5 meq/l, siendo menos clara su correlación a partir de estos valores. El sulfato y el calcio están bien correlacionados, aunque la correlación mejora notablemente con el magnesio, evidenciando una composición de sulfatos diversa. El único ion que pese a su importancia no se ha podido estudiar correctamente es el bicarbonato debido a que probablemente las muestras están en equilibrio con CO₂ atmosférico y la composición es prácticamente constante entre 3 y 5 meq/l.

Existen pocos datos para establecer una evolución temporal de la composición. Pese al progresivo descenso de niveles generalizado, no se observan tendencias homogéneas en todos los puntos. En el centro del acuífero no parecen observarse tendencias significativas de salinización, sino lo contrario, parecen apuntar a una disminución de cloruros. Esta situación ya se puso de manifiesto, aunque de forma cualitativa, en un informe de los acuíferos del municipio de Yecla (ENVIROS., 1999). Por el contrario, en pozos cercanos al contorno Norte pero en el acuífero Cingla Cuchillo sí se evidencia salinización, igual que en la mayoría de los pozos del sector oriental. Sin embargo cabe mencionar que no todos los pozos de este sector muestran la misma tendencia; existen algunos en los que la composición mejora en la década de los 80, aunque los niveles continuaran bajando.

6.5 Parámetros

Los parámetros necesarios para la elaboración del modelo numérico han sido extraídos de la bibliografía disponible. Estos están referidos mayoritariamente al Cretácico Superior dado que es el acuífero más explotado, y según diversos autores son los siguientes:

Tabla 6.1: Parámetros hidráulicos del acuífero Jumilla-Villena

Parámetro	Cretácico Superior	Cretácico Inferior	Jurásico
Permeabilidad K	10^{-4} m.s^{-1} (1)	10^{-6} m.s^{-1} (1)	
Porosidad eficaz Pe	0,83 % (1)		
	$2 < \text{Pe} < 4$ % (5)		
Transmisividad T	$1000 < \text{T} < 5000 \text{ m}^2/\text{día}$ $\text{T}_{\text{mid}} \sim 3400 \text{ m}^2/\text{día}$ En pozos en los límites, T baja hasta $450 \text{ m}^2/\text{día}$ (1)		
	$500 < \text{T} < 800 \text{ m}^2/\text{día}$ (2)		
Coeficiente de almacenamiento S	- Libre: $0,5 < \text{S} < 4$ % - Confinado: $\text{S} \sim 5 \cdot 10^{-3}$ % (1)		
	$2 < \text{S} < 4$ % (2)		
Capacidad de campo cc	Materiales carb.: 0-10 mm Materiales detr: 25-50 mm (1)		
Espesor b	550 m (1)	150-260 m (1)	
	550 m (2)		
	<500 m (4, U.H. de Serral Salinas)	≤ 280 m (3)	
	550m (5)		

1. Soto Venegas et al. (2004A).
2. DGOHCA-ITGE (1997).
3. De la Torre Sánchez et al. (1995).
4. Corral Lledó et al. (2004).
5. ITGE (1989).

6.6 Balance hídrico simplificado

Seguidamente se efectúa un balance hídrico anual simplificado de las entradas y salidas de agua en el sistema. Este balance anual corresponde a un año promedio desde 1970 hasta la actualidad. Se asume como hipótesis de partida que no existe transferencia de agua a otros acuíferos, dado que sus límites son de flujo nulo, al menos en las últimas décadas.

Las **entradas** anuales medias al sistema hídrico son las siguientes:

- Recarga por infiltración de lluvia: 15.0 hm³
- Retornos de riego: 8.5 hm³
- Pérdidas de redes de abastecimiento: 0.3 hm³ (abastecimiento urbano a Jumilla)
- Entradas laterales: 0

Las **salidas** anuales medias del sistema hídrico son:

- Salidas por bombeos: 30 hm³
- Salidas laterales: 0

El balance se sintetiza en la siguiente tabla:

Tabla 6.2: Balance hídrico anual medio simplificado del acuífero Jumilla-Villena

Balance (hm³/año)	Entradas	Salidas
Recarga	15.0	
Retornos de riego	8.5	
Pérdidas redes	0.3	
Laterales	0	0
Bombeos		30
TOTAL	23.8	30.0

Los valores de recarga media anual asumidos son los que se han calculado y presentado en detalle anteriormente. Las salidas por bombeos aunque son coherentes con los datos de partida, que estiman desde los años 70 hasta la

actualidad unas extracciones anuales entre 25 y 35 hm³/año se cree que se encuentran claramente subestimadas. Los retornos de riego también se han valorado anteriormente, y se han de tomar éstos como un valor máximo por su método de cálculo. De todas maneras, también se piensa que la sobrevaloración de los retornos de riego puede estar compensada globalmente por un valor algo bajo de recarga natural adoptado, dado en las sierras y en la zona de Villena la pluviometría puede ser algo mayor que la considerada. De esta manera es posible que la suma de ambos valores - recarga y retornos de riego- conduzca a una estimación final de entrada de agua en el sistema coherente con la realidad (del orden de 23 Hm³/año). En cuanto a los retornos por pérdidas de agua en abastecimientos de red urbana, están cuantificados para Yecla en INGEMISA (1998a) pero no para Jumilla en INGEMISA (1998b), por lo que el valor del balance es estimativo. No existen en el acuífero obras de regulación o cursos fluviales que puedan considerarse como términos de entradas o salidas de agua en el balance

De los valores presentados en la Tabla 6.2, el déficit hídrico medio anual puede estimarse en unos 6.2 hm³ para el acuífero Jumilla-Villena. Para estimar la coherencia de este valor de 6.2 hm³/año, se puede calcular estimativamente el descenso de nivel (**h**) que supondría en un acuífero limitado lateralmente y con una porosidad eficaz **Pe** de 0.83% (Soto Venegas et al., 2004, valores para el Cretácico Superior) una extracción anual de este volumen de agua. Conociendo el área del acuífero (555 km²), se sabe que:

$$h = \text{Vagua} / (\text{Area} \times \text{Pe}) = 6.2 \times 10^6 \text{ m}^3 / (555 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 0.0083) = 1.34 \text{ m}$$

llegándose a valores de descenso medio **h** coherentes, dentro de la incertidumbre asociada a todos los parámetros, con los descensos medios anuales observados en los pozos del acuífero Jumilla-Villena (de 1.8 a 3.0 m/año, Figura 6.7).

El mismo cálculo puede realizarse suponiendo los límites actuales del acuífero (342 Km²), aunque en este caso la recarga natural media (27 mm/año) será de 9.2 hm³/año. El valor de retornos de riego puede ponderarse

también por la reducción de área para obtener $5.2 \text{ hm}^3/\text{año}$. El déficit hídrico total es entonces de $15.3 \text{ hm}^3/\text{año}$. El valor de descenso medio asociado h que supone esta extracción según la fórmula anterior es de 5.4 m , ligeramente elevado de acuerdo a los descensos observados, aunque dentro de la incertidumbre asociada a los parámetros de cálculo.

No obstante y como veremos en los capítulos posteriores de calibración del modelo, los valores globales de extracciones en el acuífero apuntan a que se encuentran claramente subestimados. Dichos valores deben encontrarse cercanos a los $40 \text{ Hm}^3/\text{año}$ lo que conduciría a un déficit hídrico mayor (del orden de unos 17 Hm^3).

7. Modelo conceptual

El acuífero Jumilla-Villena está formado por materiales sedimentarios mesozoicos pertenecientes al Sistema Prebético, que forma un sistema de cabalgamientos de vergencia NW en sentido amplio. Estos cabalgamientos aprovechan los materiales del Triásico para deslizar, y son precisamente estos materiales los que tienen menor permeabilidad dentro del conjunto. Por este motivo, se ha tomado el Triásico como límite geológico más general y regional del acuífero, respetando las hipótesis formuladas por Guimerà et al (2000). Aunque en ese trabajo se apuntaba a una visión más regional de los sistemas acuíferos de la zona, el mayor grado de detalle del presente proyecto permite individualizar el acuífero Jumilla-Villena dentro de los acuíferos prebéticos gracias a su estructura geológica pero gracias también, a su particular piezometría.

Los materiales que forman parte del sistema individualizado por el Triásico lo forman las dolomías del Jurásico, fracturadas, los materiales poco permeables de la base del Cretácico Inferior y los materiales permeables del resto del Cretácico (calizas) que son el tramo más explotado y que hasta el presente, tiene aguas de mejor calidad. El agua subterránea del acuífero jurásico se considera de mala calidad por su alto contenido en sales (DPA, com pers, 2006) probablemente por su proximidad con los materiales evaporíticos del Triásico. Los límites del acuífero en general lo forman los afloramientos de arcillas y yesos del Triásico, de forma que los contornos se pueden asumir como de flujo nulo. El límite sur es algo más ambiguo, dada la continuidad lateral de los materiales del Jumilla-Villena con los del acuífero conocido como Carche-Salinas, que es un sistema carbonatado, que forma un alto topográfico y que está diferenciado del Jumilla-Villena por los materiales poco permeables de la base del Cretácico Inferior. Dada la más que probable continuidad hidráulica entre ambos acuíferos y que la Sierra Salinas es uno de los altos topográficos de mayor entidad en la zona, se ha considerado como más correcto utilizar este límite como de divisoria de

aguas, uniendo parte del acuífero Carche-Salinas al de Jumilla-Villena. Así, la extensión en superficie del dominio del estudio es de 555 km².

El acuífero se halla en cabecera de la Cuenca del Segura y parcialmente, de la del Júcar, formando por tanto importantes áreas de recarga de estos dos sistemas hidrográficos, en particular del primero. En régimen natural, la recarga por infiltración de agua de lluvia drenaba hacia el Vinalopó (que no es tributario del Júcar) y hacia la Rambla de Jumilla. Son conocidas numerosas fuentes que a principios del siglo XX abastecían a la población y que con la puesta en marcha de los regadíos después de la Guerra Civil española se secaron. A destacar, por ejemplo, la Fuente de la Negra en Yecla, que hasta los años 50 era un baño público de aguas salinas-sulfatadas. Este régimen natural probablemente permitía una continuidad hidráulica desde el límite de la Cuenca del Segura en Montealegre del Castillo -al norte del acuífero Cingla-Cuchillo- hasta el sur del Carche-Salinas, como apuntan Guimerà et al (2000).

Las extracciones de agua subterránea para el regadío abatieron los niveles piezométricos hasta la actualidad, dado que el régimen de explotación probablemente no se ha visto afectado por la declaración de sobreexplotación del año 1987. Esta afirmación tiene como argumento el descenso continuado y con la misma pendiente de los niveles de la mayoría de los pozos de los que se tiene registro de nivel. Esta situación es extensiva al resto de acuíferos del entorno en general, y el descenso en el Jumilla-Villena se puede cifrar del orden de 1.5 a 2.5 m/año. La piezometría actual está condicionada por los descensos en los centros de bombeo que existen en el entorno de Jumilla y de Villena, siendo menos acusado en la parte central del acuífero, en el entorno de Yecla. De hecho, la distribución de niveles observada sugiere una divisoria de aguas en la parte central que, aunque coincide con accidentes tectónicos de carácter regional, se mantiene gracias a la influencia de los bombeos.

Se ha evaluado la transmisividad del acuífero Jumilla-Villena en base a bibliografía y se estima que varía entre los 1000 y 5000 m²/d. Estos valores

son válidos para el Cretácico superior, siendo los de la base del Cretácico inferior aproximadamente hasta dos órdenes de magnitud inferior. Sin embargo, tanto la transmisividad de estos materiales como el coeficiente de almacenamiento de todas las formaciones es demasiado incierto como para tomarlo como estrictamente válido y debe ser objeto de revisión, en particular mediante el modelo numérico.

La composición del agua subterránea del acuífero Jumilla-Villena era probablemente bicarbonatada cálcica en régimen estrictamente natural, salvo en los puntos de descarga en los que estuviera en contacto con materiales evaporíticos. En la actualidad, los bombeos han hecho variar esa composición y se observa la lenta pero progresiva salinización de algunos de los pozos. Este fenómeno está apareciendo en algunos de los pozos más cercanos al límite NE, y ya en la década de los 70 se salinizaron muchos pozos de Villena, situada en el margen NE del acuífero, en la zona llamada Zaricejo, en las proximidades de los afloramientos triásicos. En cualquier caso, la calidad de los puntos de muestreo –pozos totalmente penetrantes en el acuífero–, no permite dilucidar si hay efectos de estratificación del agua subterránea o si esta salinización se ciñe a la parte inferior del acuífero. La distribución en el tiempo de las muestras tampoco permite, de momento, hacer un estudio más extenso. Sí cabe señalar, en cambio, que a pesar de la profundidad del nivel piezométrico en la mayoría de los pozos, gran parte de ellos muestran trazas de nitratos (por debajo de 10-20 mg/l). Esto debe ser un motivo de preocupación de salud pública en la medida que buena parte de la población del municipio de Yecla podría verse afectada en el futuro por ese problema.

En la actualidad, el acuífero se sigue recargando de forma natural por infiltración del agua de lluvia, lo que aproximadamente supone entre 8 y 21 hm³/año. En promedio, se han calculado 15 hm³/año para una serie de más de 20 años con unos parámetros de suelo realistas, pero que tienen asociada cierta incertidumbre. La distribución de la recarga natural varía en función del tipo de terreno; así, se ha distinguido entre los materiales calizos aflorantes del propio Cretácico y los materiales terciarios y cuaternarios que forman las

ramblas actuales y campos de cultivo. Las diferencias que puede haber entre unos y otros son menores al orden de magnitud.

Las descargas, sin embargo ya no son ni las fuentes, ni el Vinalopó ni seguramente tampoco, la rambla de Jumilla, sino solamente las extracciones por pozos. Estas extracciones son la cifra menos conocida de todo el estudio –y de todos los anteriores- y se ha cifrado del orden de más de 30 hm³, para justificar los descensos observados. Del orden del 80% de estas extracciones son para regadío y, aunque los sistemas de riego sean relativamente modernos, los sistemas de distribución del agua hasta las parcelas no. Así, los retornos de riego forman una parte de las entradas del sistema, que junto a las pérdidas del abastecimiento a Jumilla suponen un máximo de unos 8 hm³/año.

En general, en un régimen tan fuertemente influenciado y con tan poco control cuantitativo de las extracciones es muy difícil cuadrar los datos de balance con la piezometría y los parámetros. Todos los datos que se han presentado en ese documento, forman la entrada del modelo numérico de flujo, el cual deberá utilizarse en gran medida para calibrar sobre todo, extracciones, pero también parámetros y, en menor medida, recarga.

En este informe se describe el proceso seguido en la elaboración del modelo numérico del acuífero Jumilla Villena. La información de partida sobre la que se fundamenta el diseño del modelo conceptual se ha presentado y discutido ampliamente en los tres informes precedentes, no obstante, en este capítulo se hará referencia de manera sintética proporcionándole un enfoque aplicado a la modelización numérica.

A lo largo del desarrollo del modelo, se han encontrado una serie de condicionantes y limitaciones, de entre los que destaca la escasa información acerca de las extracciones en el acuífero. Esta información es determinante a la hora de fijar los objetivos de la modelización y el alcance de la misma, dado que la incertidumbre asociada a dichas extracciones hace que mediante

tratamientos diferentes de las mismas, y gracias a la utilización de conjuntos de parámetros hidráulicos diferentes, se puedan reproducir las tendencias de descensos observadas en el acuífero. De la misma manera, dicha incertidumbre también condicionará su utilización como herramienta de predicción en hipotéticos escenarios de gestión (explotación del modelo).

En los informes precedentes ya se ha discutido el modelo conceptual y la complejidad de la información existente (extracciones, hidroquímica, parámetros,...), además de la complejidad geológica del dominio, y es debido a estos condicionantes, por lo que la hipótesis de partida en la realización del modelo será la de la realización del modelo más simplificado posible (principio de parsimonia) que permita obtener una aceptable reproducción de las tendencias piezométricas observadas. Sobre el proceso de desarrollo del modelo se discutirá en detalle a lo largo del capítulo 2.

De esta manera, entre los objetivos que se espera alcanzar con el modelo, se pretende que éste se constituya principalmente como una buena herramienta para testear y validar el modelo conceptual presentado en los informes precedentes, más allá de que sea utilizado como una herramienta para la ayuda a la toma de decisiones en la gestión.

Entre las validaciones a realizar mediante el modelo numérico, destacará la discusión sobre la validez de los límites geográficos del acuífero propuestos en este trabajo con respecto de los tradicionales; especialmente aquel límite que conforma la frontera SE en su contacto con las Sierras del Carche y Salinas, que, cómo se mencionaba en informes precedentes, está sujeto a revisión al existir dudas sobre la geometría o extensión del cabalgamiento que hace que se haya considerado, hasta el momento, a la formación acuitardo de la base del cretácico inferior como una barrera hidráulica al flujo subterráneo, conformando el tradicional límite para el acuífero Jumilla Villena. De la misma manera, también el resto de límites propuestos serán objeto de estudio. Del tratamiento y de las consecuencias que el empleo de unos u otros límites tiene en los resultados obtenidos, así como de la posterior explotación del modelo, se discutirá a lo largo de los capítulos 3 y 4.

El proceso de modelización y de calibración del modelo ha sufrido una evolución debida a pequeños cambios en el modelo conceptual que se considera natural en todo desarrollo de modelos numéricos. En este trabajo concretamente, dichos cambios atienden a justificaciones basadas en criterios principalmente estructurales e hidrogeológicos y serán presentados y comentados con detalle en la sección 3 del informe. Dicha evolución se describe en un Anejo a este informe, acompañado de un diagrama de flujo del proceso de calibración y de una breve descripción de los conjuntos de parámetros utilizados, principales singularidades y resultados en puntos clave.

Teniendo en cuenta las limitaciones asociadas a la definición de unas series temporales realistas de las extracciones en todo el acuífero, conjuntamente con los datos actualizados en algunos puntos del acuífero, posteriormente al capítulo dedicado a las conclusiones, el equipo de trabajo sugiere una serie de recomendaciones encaminadas a la obtención de información válida e incorporación y actualización de nueva información que permita una vez calibrado el modelo, dar una mayor fiabilidad y robustez a los resultados de cara a su utilización como herramienta predictiva y de apoyo a la gestión de los recursos subterráneos de la zona.

8. Desarrollo del modelo numérico

En esta sección se presenta toda la información que sintetiza el modelo conceptual presentado en los informes precedentes y su adaptación o plasmación como modelo numérico.

8.1 Hipótesis asumidas en la modelización

Como se ha comentado anteriormente, el modelo pretende ser lo más simplista posible de manera que permita una buena reproducción de las tendencias de niveles observadas en el acuífero. Obviamente, y dada la complejidad geológica existente, para modelizar el acuífero Jumilla Villena se recurrirá a una serie de hipótesis de partida que permitan facilitar el alcance de los objetivos propuestos.

De partida, se considerará que el acuífero está compuesto por 3 capas de medio poroso (asociadas a las diferentes formaciones geológicas definidas en el modelo conceptual) consideradas isotropas y homogéneas en toda su extensión. De esta manera, no se tiene en cuenta la posible existencia de fracturación o caminos preferentes (heterogeneidades) dentro de cada una de ellas, siguiendo entonces una aproximación de medio poroso en lugar de utilizar aproximaciones más complejas como podrían ser las de medio mixto o fracturas discretas que requieren de gran información adicional sobre la fracturación que hidrodinámicamente controla el sistema.

El hecho de que no existan observaciones de niveles en el acuífero Jurásico hace que no se pueda testear con fiabilidad la influencia (espesor y carácter confinante) que sobre la totalidad del modelo tiene el tramo de acuitardo poco permeable que conforma la base del Cretácico Inferior. Además, teniendo en cuenta el contexto estructural del dominio, en el que los materiales se encuentran altamente fracturados formando bloques que pueden quedar aislados, aunque en general parece que todo el acuífero mantiene una conexión hidráulica, las conductividades hidráulicas que se utilizarán para la calibración del modelo serán tales que no conformarán dicho tramo como

altamente confinante permitiendo una conexión vertical entre los acuíferos Cretácico y Jurásico. Teniendo en cuenta esto, el desarrollo del modelo primará la reproducción del comportamiento hidráulico en el acuífero cretácico del que el grado de conocimiento es mucho mayor.

Por otra parte, y dado que generalmente no se dispone de información sobre la posición y longitud de los tramos de filtro, se considerará que todas las extracciones son totalmente penetrantes en el acuífero.

Finalmente, se utilizará para la realización del modelo un código numérico cuya discretización espacial esté basada en el método de las diferencias finitas siguiendo las prescripciones de la Dirección de Proyecto. El código seleccionado será MODFLOW (Harbaugh, et al., 2000) utilizando como interfaz pre y post procesadora Visual MODFLOW (Waterloo Hydrogeologic Inc; en adelante, VMODFLOW) de manera que permita la agilización del desarrollo y su posterior seguimiento. El equipo de trabajo estima que dicha aproximación se debe mostrar como lo suficientemente robusta, flexible y adaptable para acometer los objetivos propuestos en el marco de este trabajo.

Más adelante y a lo largo de este informe, se discutirá sobre alguna hipótesis adicional asumida en el desarrollo del modelo que por considerarse de menor entidad no se comenta en esta sección.

8.2 Dominio espacial

El dominio objeto de estudio se presentó en la Figura 2.1. A lo largo de ese informe, se discutió ampliamente sobre los límites geográficos tradicionales del acuífero, y en base a criterios geológicos e hidrogeológicos (aparición de afloramientos del Trías en superficie, supuesto como impermeable al flujo, o divisorias de agua), se presentó una propuesta de modificación –ampliación– de los mismos. La traza en superficie de ambos límites se presentó en la Figura 3.14.

Teniendo en cuenta dichos límites, y como estrategia para la modelización se comenzará trabajando por los límites modificados, mayores y que contienen a los tradicionales. No obstante, y dada la flexibilidad que permite el código seleccionado para la modelización mediante la activación y desactivación de celdas contenidas en el dominio en las que se resuelve el flujo en una simulación concreta, dicha estrategia contempla y permite poder modelizar el acuífero siguiendo los límites tradicionales únicamente reduciendo los mismos. La Figura 8.1 ilustra la flexibilidad a la hora de modelar diferentes dominios y cómo los límites tradicionales quedan contenidos dentro de los nuevos límites propuestos.

Basándonos en el modelo conceptual propuesto, el modelo numérico queda compuesto por tres capas que representarán, inicialmente, a los dos acuíferos y al acuitardo. Posteriormente, se presentará y se justificará como dichas capas se zonificarán durante el proceso de calibración del modelo, en base a los niveles piezométricos observados y disponibles.

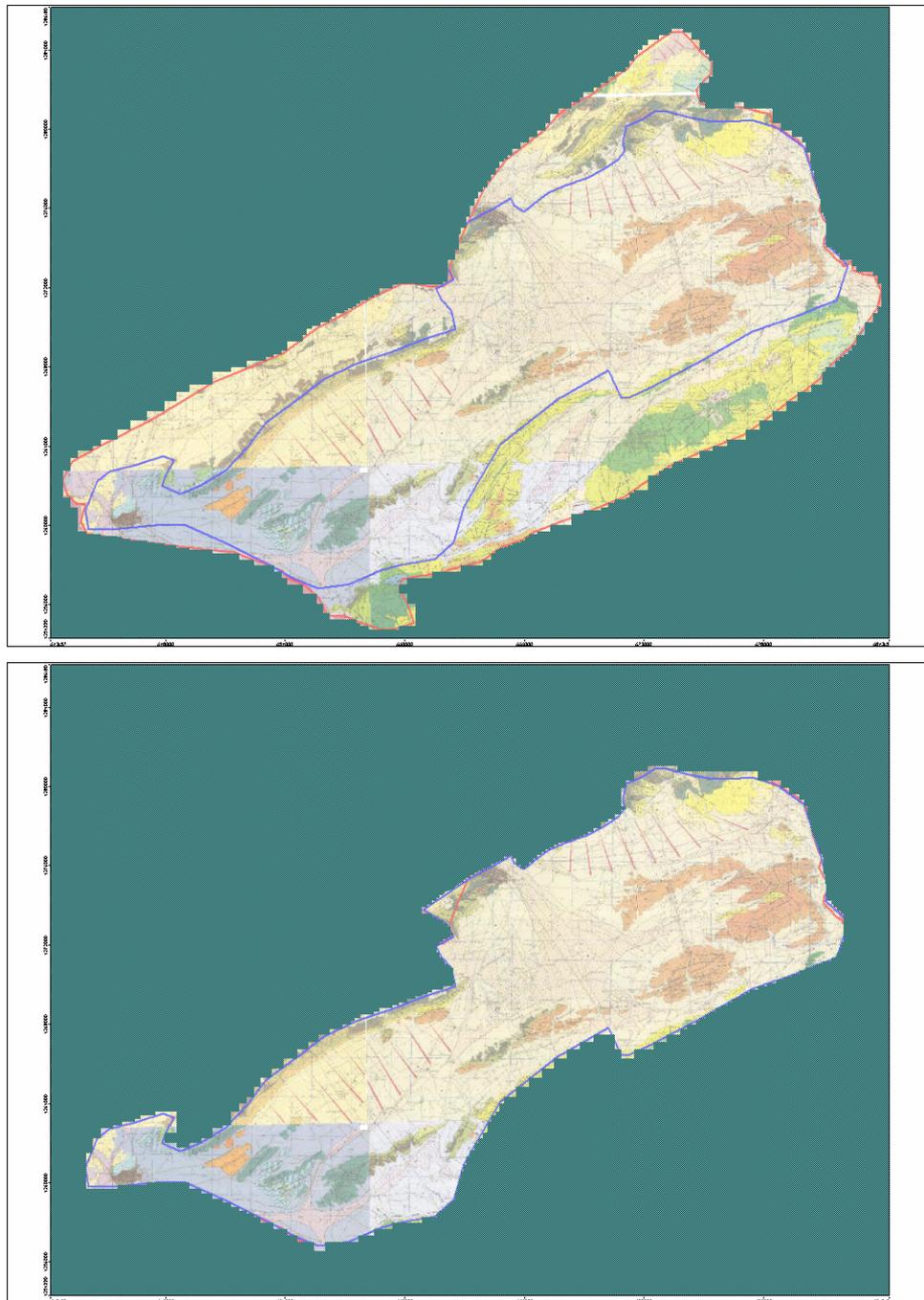


Figura 8.1: Implementación del dominio en VMODFLOW. La figura superior muestra los límites tradicionales (en azul) contenidos en el nuevo dominio propuesto (en rojo). En verde, se observan todas aquellas celdas que no se consideran inicialmente para la modelización

del flujo (celdas inactivas). La figura inferior ilustra el modelo activo siguiendo los límites tradicionales.

La malla de diferencias finitas generada se muestra en la Figura 8.2. En el modelo se han introducido todos los puntos de extracción inventariados y la malla se ha refinado gradualmente alrededor de éstos, tratando de reducir el error de la solución numérica en aquellas zonas en las cuales los gradientes de nivel son mayores.

Además, en el proceso de generación de la malla se ha procurado siempre que en cada celda del modelo no haya más de un punto de extracción, para evitar en lo posible el secado o vaciado de las celdas.

Aunque en las últimas versiones del código MODFLOW existe la posibilidad de la re-saturación de aquellas celdas que se hayan secado durante el proceso de modelización, de manera que sean tenidas en cuenta en posteriores pasos de tiempo, a lo largo de este trabajo se evitará en la medida de lo posible su utilización debido al alto coste computacional que eso conlleva.

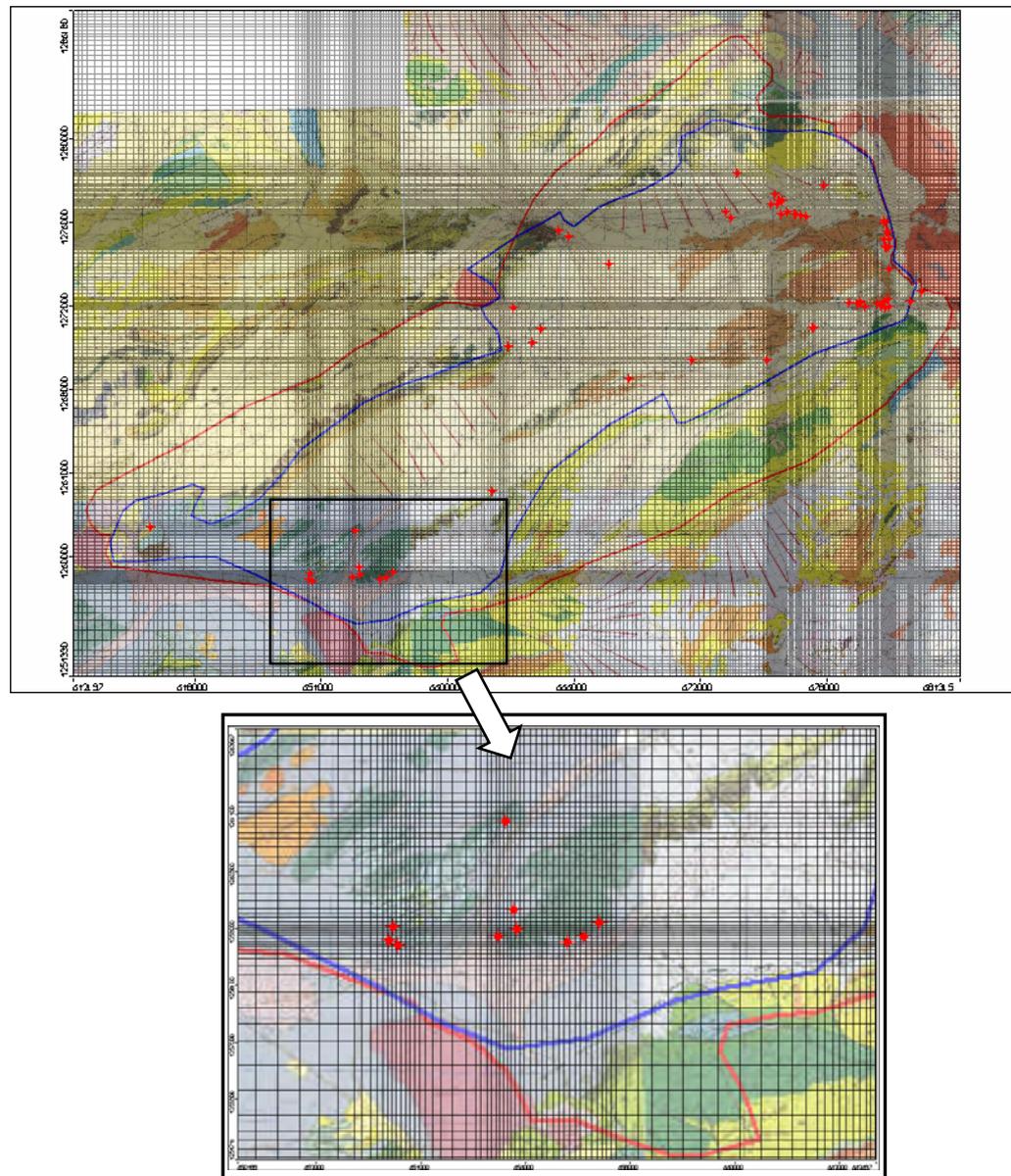


Figura 8.2: Dominio y vista plana de la malla de diferencias finitas generada (arriba). Obsérvese el refinamiento de la misma alrededor de los puntos de extracción. Abajo, y a modo de ejemplo, detalle del refinamiento en la zona del entorno de las extracciones de Jumilla.

Para la construcción 3D del modelo, se han importado los perfiles geoelectrónicos y los mapas de isohipsas que se presentan en los anejos, en formato *grid* de Surfer e interpolado directamente desde el entorno de

VMODFLOW. La estructura tridimensional y las capas que conforman el modelo quedan ilustradas en la Figura 8.3.

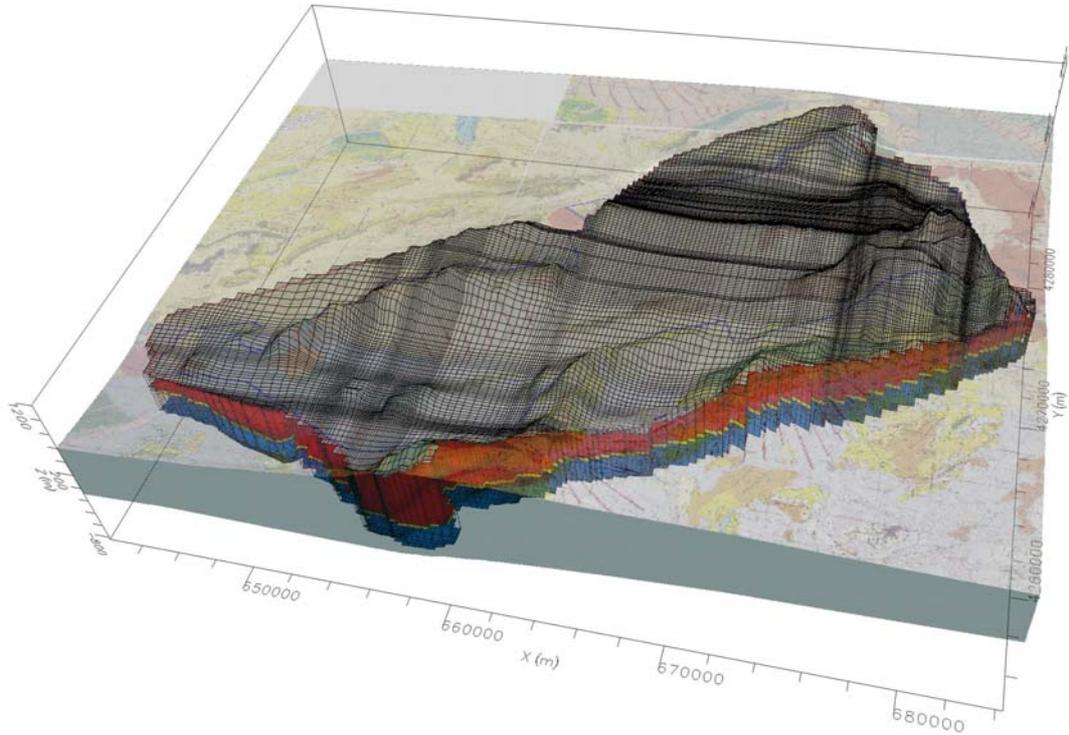


Figura 8.3: Dominio y malla 3D implementada en VMODFLOW. En la figura se observan las tres capas que componen el modelo, así como la topografía interpolada a lo largo de la malla. La escala vertical se encuentra exagerada 5 veces.

Por otro lado, la Figura 8.4 muestra la zonificación de materiales empleada inicialmente en el modelo. Siguiendo el modelo conceptual propuesto, cada una de las tres capas del modelo representa a una de las capas acuíferas existentes. De esta manera, la capa más superficial conforma el acuífero tratado como libre y compuesto por materiales cretácicos; la capa más profunda representa el acuífero compuesto por materiales de edad Jurásica. Ambos acuíferos se encuentran separados por una capa de materiales de menor potencia que representan a los materiales poco permeables existentes en la base del Cretácico Inferior y que hacen las veces de acuitardo.

Según se mostró en la revisión geológica, más concretamente en el corte número 2 (Figura 3.4 y Figura 3.6), el cabalgamiento que conforma el límite tradicional del acuífero en la zona SE del modelo, que pone en contacto Prebético Externo con Prebético Interno Septentrional, se considerará, según el modelo conceptual propuesto, que no constituye una barrera definitiva al flujo. Para la implementación en el modelo numérico se pondrán en contacto los materiales de ambos acuíferos, es decir, no se incluirán los materiales de la base del Cretácico Inferior en esta zona (Figura 8.5). Como se apuntaba, existen bastantes dudas sobre la existencia y validez de este límite y el modelo numérico debería ayudar a discernir sobre ello.

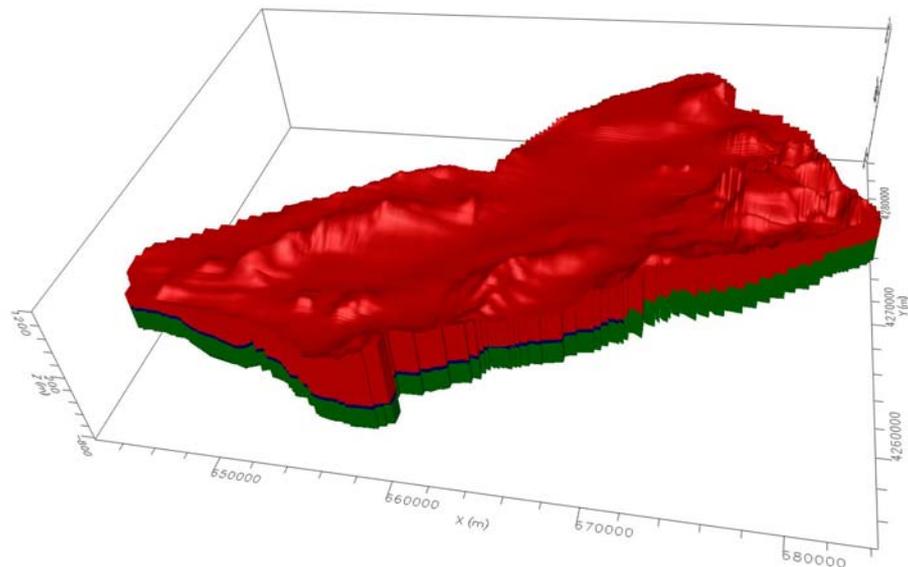


Figura 8.4: Visión tridimensional de los materiales asociados a las capas del modelo. La figura muestra los acuíferos cretácico (en rojo) y jurásico (en verde), separados por una formación acuitardo correspondiente a la base del cretácico inferior (en azul). Nótese que en el entorno de la Sierra Salinas (zona SE) los acuíferos se encuentran en contacto debido a la existencia del cabalgamiento. La escala vertical se encuentra exagerada 5 veces.

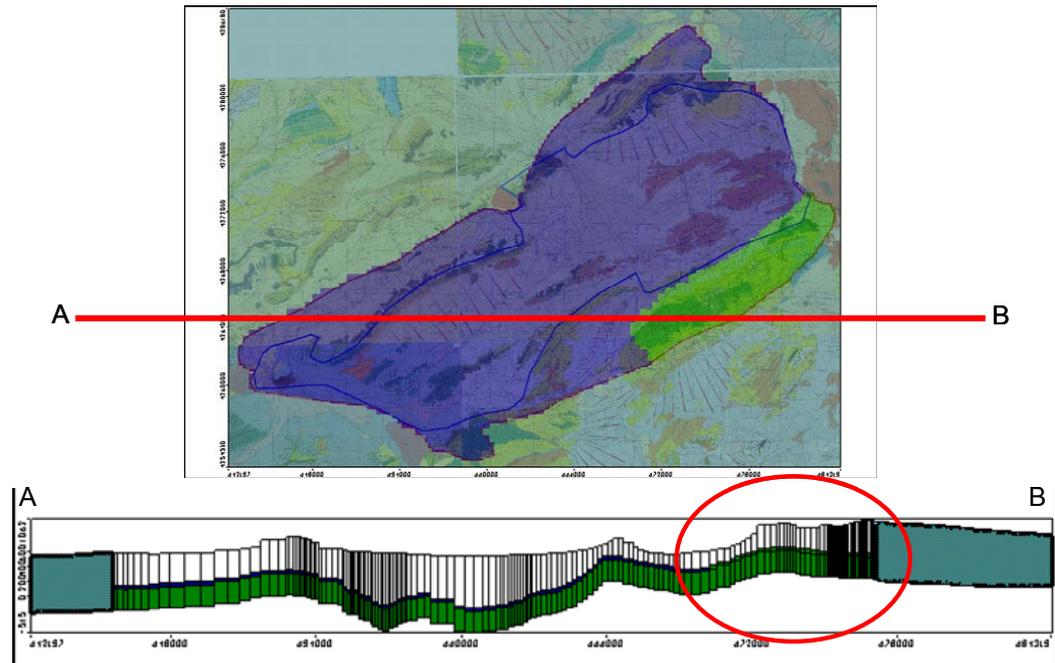


Figura 8.5: Sección que ilustra la implementación numérica en el entorno SE del modelo para la representación del cabalgamiento que pone en contacto los acuíferos jurásicos y cretácicos. La escala vertical en el corte AB se encuentra exagerada 3 veces.

Es importante remarcar que como se verá más adelante, este modelo hidrogeológico de tres capas con las mismas propiedades, será ligeramente variado para así reproducir mejor las tendencias de niveles observadas en las diferentes zonas del acuífero.

8.3 Condiciones de contorno y parámetros

Teniendo en cuenta el dominio espacial presentado, los contornos del modelo se han seleccionado de manera que en todos ellos se puedan asignar condiciones de flujo nulo basándonos en criterios justificables. Así, de esta manera para ambos dominios (tradicional y extendido) los contornos serán de esta tipología. En lo que respecta a la base del modelo se ha seleccionado también un contorno de flujo nulo (contacto de los materiales del Jurásico con el Trías supuesto una barrera hidráulica al flujo).

Además del establecimiento de condiciones de contorno de flujo nulo, se han impuesto en el modelo los valores de recarga natural obtenidos para los diferentes usos del suelo zonificados y justificados en el informe de la Tarea 2. Las diferentes series de recarga por unidad de superficie obtenidas para cada uno de los diferentes usos del suelo se han elaborado partiendo del mapa (ráster) de ocupación del suelo de Corine Land Cover que se presentaban en la sección dedicada a la estimación de la recarga y su posterior vectorización en SIG. Dichas series presentadas se han introducido en el modelo después de importar el mapa vectorizado directamente desde VMODFLOW y asignando a cada uno de los usos su correspondiente serie de recarga calibrada mediante Visual Balan (Samper y García Vera, 2004), tal y como se muestra en la Figura 8.6.

Además del establecimiento de condiciones de contorno y de los valores de recarga natural en el acuífero, en el modelo se han introducido las series de extracciones generadas para los puntos conocidos de bombeo. Sobre la generación e implementación de las series de extracciones se discutirá en detalle en el capítulo 3, dado que los valores variaran sensiblemente en función de los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del modelo.

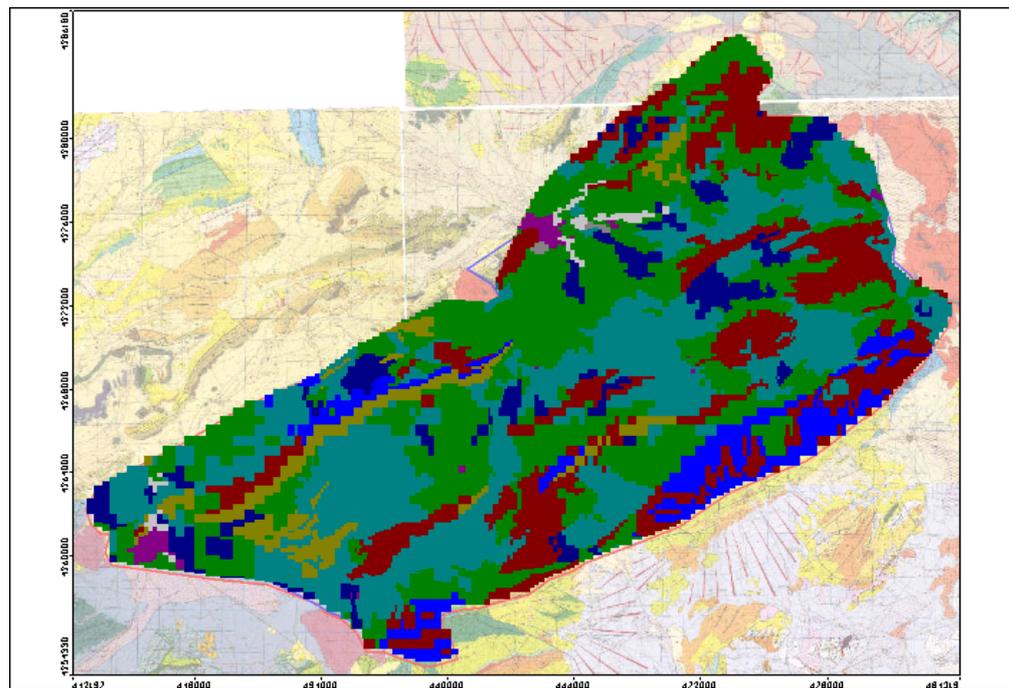
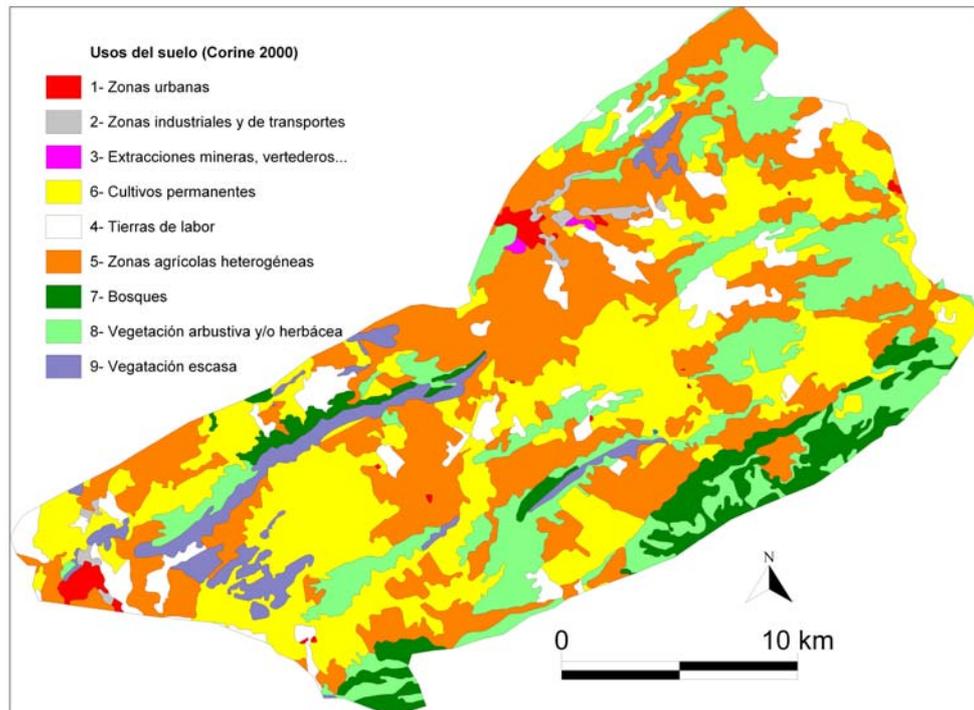


Figura 8.6: Zonificación de la recarga según usos del suelo en VMODFLOW (abajo) directamente importada desde el mapa vectorizado en SIG (arriba).

8.4 Dominio temporal

Anteriormente en el informe del modelo conceptual se ha incidido ampliamente sobre la falta de conocimiento acerca de los datos de extracciones en el acuífero. Este hecho es de suma importancia en este trabajo a la hora de fijar el dominio temporal a modelar y consecuentemente los pasos de tiempo necesarios para la simulación.

Adicionalmente, dado que el funcionamiento natural del acuífero está altamente alterado por el régimen de extracciones impuesto desde hace bastantes décadas y se desconoce con exactitud cual es la situación de partida de los niveles en estado estacionario, el modelo desarrollado no partirá de una solución estacionaria.

Teniendo en cuenta la falta de información, se ha creído conveniente modelar un periodo de tiempo transitorio que comience en 1980, año en el que los registros de niveles comienzan a existir en varios puntos del dominio, y que englobe la declaración de sobreexplotación (1988) hasta la actualidad (2005), de manera que reproduzca de manera más o menos fidedigna las tendencias de decrecimiento de niveles de las que se tiene registro en todo el territorio. De esta manera, en total se han modelizado 26 años en los modelos base, que serán ampliados hasta el año 2035 en algunos de los escenarios de explotación que se simularán. Sobre el alcance de los escenarios de explotación simulados y el tratamiento de las series temporales utilizadas se discutirá en apartados posteriores.

El paso de tiempo ha sido chequeado en las primeras simulaciones de manera que no conduzca a errores numéricos en el cálculo de la solución. Finalmente, dicho paso de tiempo se ha fijado equivalente a 1 mes.

8.5 Selección de condiciones iniciales

Como ya se ha comentado, se han seleccionado como condiciones iniciales para el modelo los niveles piezométricos medidos en el año 1980. Para ello

se ha partido de la piezometría realizada en el dominio para este año y que posteriormente, ha sido interpolada desde VMODFLOW para que todas las celdas tengan asignado un valor de nivel inicial.

Debido a que la información de partida para el año 1980 es escasa, a lo largo de la evolución del modelo el valor de la condición inicial se ha ido variando ligeramente, en función de los valores calculados, en algunas de las zonas del modelo en donde la información era inexistente, respetando los valores existentes en el resto del dominio con el objetivo de mejorar la situación de partida para una mejor reproducción de los valores que se pretenden reproducir.

La Figura 8.7 muestra los valores piezométricos de partida para la generación de la condición inicial y una primera interpretación de la piezometría. En dicha figura se puede observar la escasez de puntos piezométricos y su irregular distribución espacial en el dominio. Dicha escasez permite interpretaciones sensiblemente diferentes, especialmente en la zona de Yecla, tal y como se muestra en la figura inferior, donde se presenta la condición inicial finalmente implementada en el modelo.

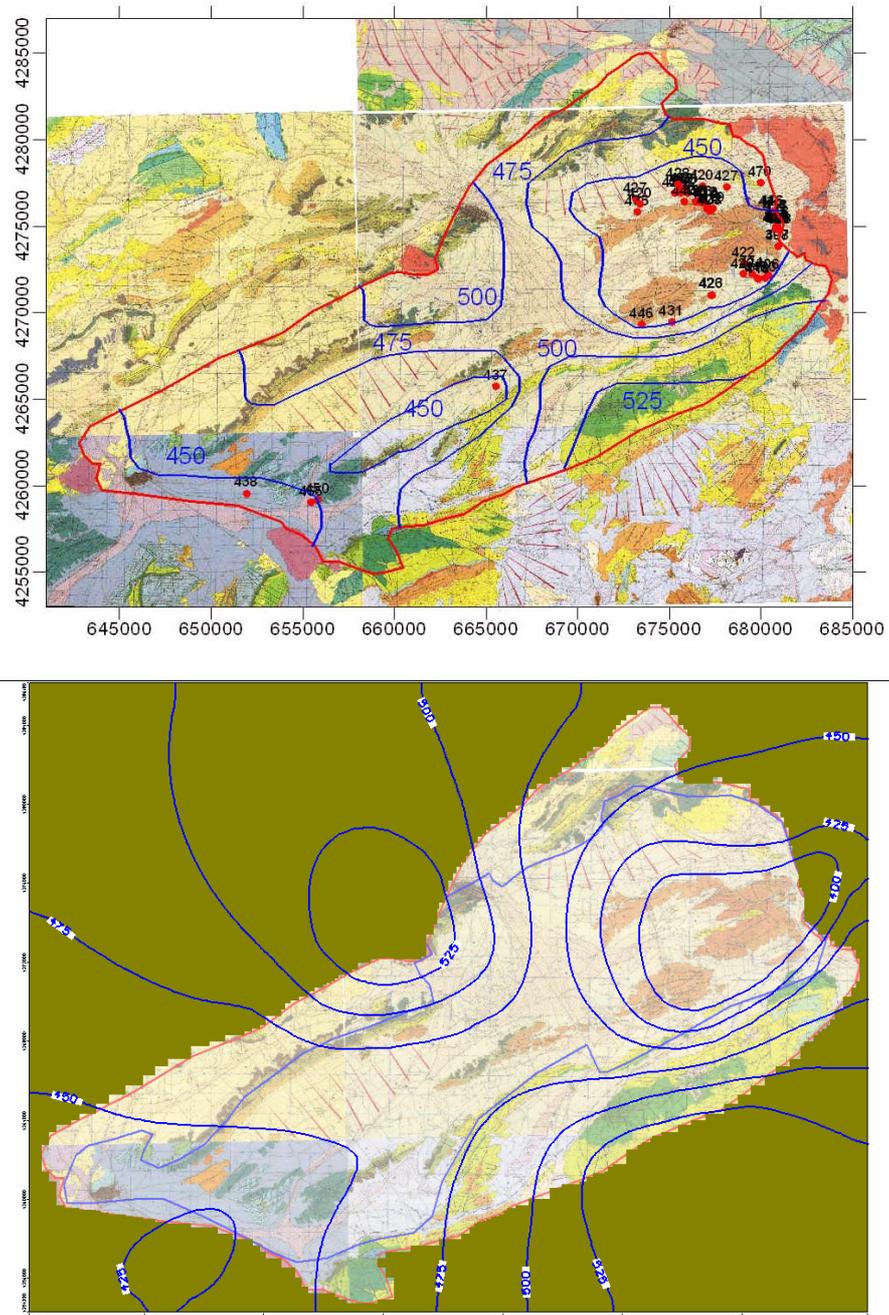


Figura 8.7: En la figura superior se muestran los niveles observados en el dominio para el año 1980, coincidentes con la condición inicial a imponer. En azul, una primera interpretación de la piezometría. Abajo se muestra la condición inicial impuesta en el modelo calibrado.

9. Modelización del flujo subterráneo

En esta sección se describe el proceso –evolución– seguido en el desarrollo del modelo numérico hasta llegar a la versión del modelo que se ha considerado como calibrada (caso base) y a partir de la cuál se simularán los escenarios de simulación acordados.

Después de una breve introducción, se describen los resultados obtenidos en la simulación del flujo en la que se describe el proceso de calibración del caso base, incluyendo las singularidades y pequeños cambios que se han ido introduciendo en el modelo conceptual inicial. Posteriormente el capítulo termina describiendo en detalle cada uno de los escenarios de explotación del modelo.

9.1 Introducción

El proceso de calibración ha consistido en una combinación manual y automática (resolución del problema inverso). Se ha comenzado el acercamiento a la solución de manera manual basándonos en criterios esencialmente hidrogeológicos y estructurales, de manera que el modelo conceptual ha ido variando a medida que ha ido avanzado dicho proceso. Posteriormente, y cuando la solución se ha encontrado más cercana, se ha refinado de manera automática utilizando las herramientas que para este uso se encuentran incluidas dentro del paquete de la versión de VMODFLOW utilizada (Visual PEST; Doherty, 1998).

De la misma manera que para las extracciones, también se han introducido en el modelo todos aquellos puntos en los que se dispone de información de niveles. A menudo el mismo punto de observación de niveles también lo es de extracciones. Los puntos de observación introducidos en el modelo se presentan en la Figura 9.1.

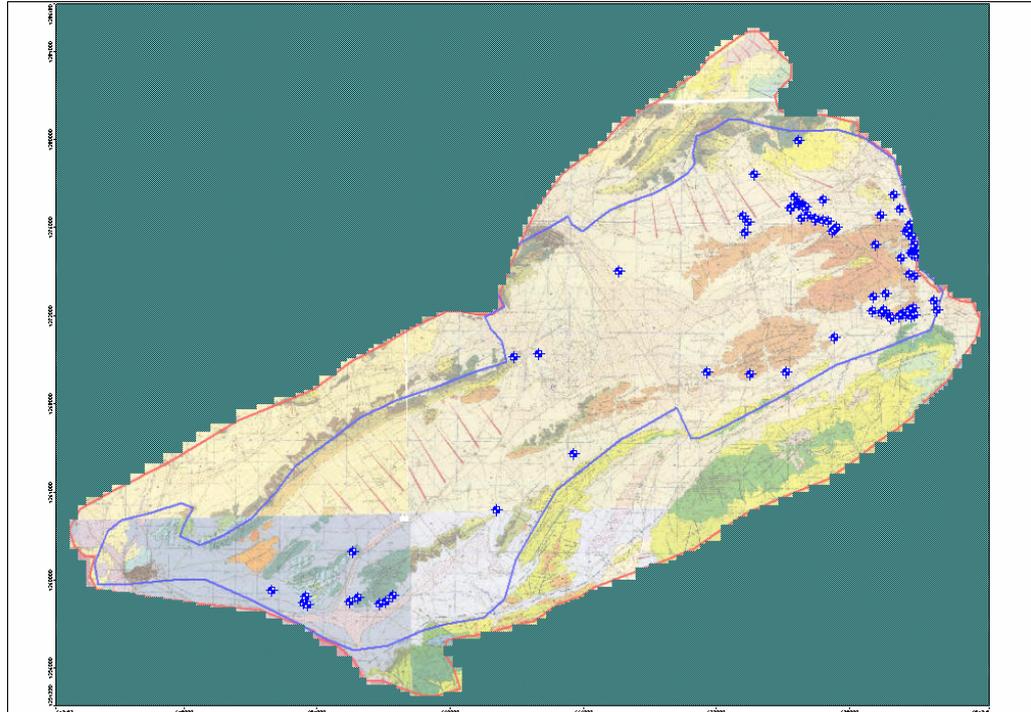


Figura 9.1: Puntos de observación con información de niveles introducidos en el modelo.

Por otro lado, de la información disponible se desprende que a menudo aparecen incoherencias, seguramente causadas por errores en la toma de los datos o en la cota asociada a los mismos. Como ya se ha comentado, de casi la totalidad de estos puntos no se dispone de información acerca de la posición de los tramos de filtro, y por tanto su tratamiento en el modelo será totalmente penetrante.

9.2 Calibración del modelo

A lo largo de esta sección se comentarán los avances más singulares y los cambios realizados en el modelo conceptual hasta la versión que se ha considerado como definitiva, que en el texto será citada como “caso base”.

En los anejos se presentan a modo de resumen una tabla en la que se sintetizan las diferentes versiones del modelo. Dicha tabla servirá de referencia o guía para su posterior revisión y evaluación. Además, y para no

saturar al lector, en ella se presentan los parámetros utilizados así como las principales singularidades introducidas en cada uno de ellos. Esto permite que a lo largo de este capítulo únicamente se describan algunos de ellos.

9.2.1 Selección de puntos singulares

Para la calibración del modelo, de entre los puntos de observación de que se dispone, se han utilizado una serie de puntos singulares que el equipo de trabajo ha considerado como representativos del comportamiento hidrodinámico en las diferentes áreas del dominio espacial. Dichos puntos han sido seleccionados como aquellos sobre los cuáles se dispone una serie lo suficientemente extensa en el tiempo y cuyos datos mantienen una coherencia interna entre ellos y con la mayoría de puntos de su entorno o sector.

A pesar de que aparentemente las tendencias de niveles son muy parecidas dentro del acuífero, cuando se entra en detalle en ellas se pueden apreciar ciertas diferencias. La Figura 9.2 presenta los tres puntos considerados singulares y como los más representativos de los diferentes sectores del modelo. Cada uno de estos puntos reproduce el comportamiento general en los entornos de Jumilla, Villena-Vinalopó y Yecla. En la figura se ilustra cómo las pendientes y los valores de niveles en los citados puntos son diferenciables, especialmente para el caso de las zonas de Villena-Vinalopó y Jumilla.

Los resultados obtenidos en estos puntos para las diferentes simulaciones han sido los que principalmente se han utilizado en el proceso de calibración, aunque obviamente, el resto de los puntos disponibles también han sido tenidos en cuenta.

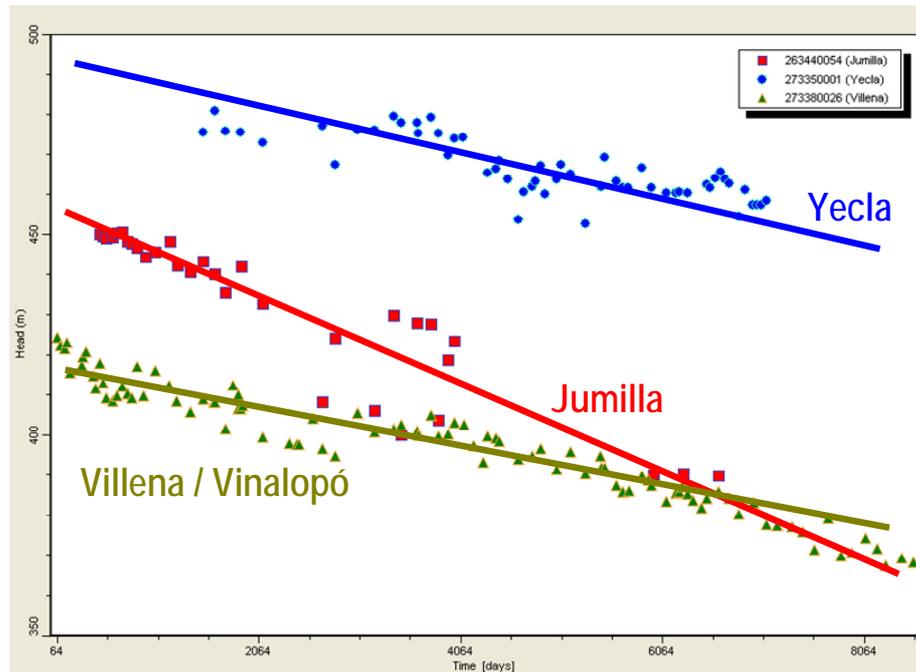


Figura 9.2: Puntos de observación singulares que se consideran como representativos de las diferentes zonas del modelo. El punto 263440054 (color rojo) es representativo del entorno de Jumilla, mientras que los puntos 273350001 (azul) y 273380026 (verde) son representativos de las áreas de Yecla y Villena-Vinalopó respectivamente.

9.2.2 Modelo con datos de extracciones disponibles

Los trabajos de calibración del modelo comenzaron describiendo los resultados obtenidos mediante el modelo menos complejo, en el que se introdujeron las series de extracciones para las que se disponía de registro. Dichos valores, como se ha comentado anteriormente, se habían obtenido de los datos proporcionados por la Dirección de Proyecto del IGME (base de datos de extracciones de la DPA; inventario del informe Intecsa-Inarsa, 2002; e información adicional sobre 7 puntos provenientes de la Junta Central de Usuarios del Vinalopó). Dicha información era irregular tanto en el espacio como en el tiempo, existiendo una laguna considerable de información entre 1988 y 1999.

El objetivo de dichas simulaciones era confirmar de manera fehaciente que el balance hídrico en el acuífero debía ser más deficitario, de manera que las tendencias de niveles calculados fueran como las observadas. Esto implica que para los valores de extracciones disponibles se deberían introducir parámetros no coherentes para poder reproducir los descensos observados.

Las simulaciones se realizaron sobre una malla regular (Figura 9.3) de 200 x 200 metros, en la que se introdujo por simplicidad un valor de recarga promedio como un valor constante (homogéneo) coherente con los valores promedio de recarga anual calculados en la Tarea 2 y obtenidos del balance meteorológico (valor promedio anual alrededor 18 Hm³/año). Los valores de los parámetros introducidos en las diferentes simulaciones se presentan en los anejos, no obstante es preciso indicar que estos son del orden de los finalmente calibrados. Concretamente, los valores de conductividad y coeficiente de almacenamiento de Cretácico y Jurásico son 5E-04 m/s y 0.004 respectivamente, mientras que para la base del Cretácico Inferior son 5E-05 m/s y 0.004.

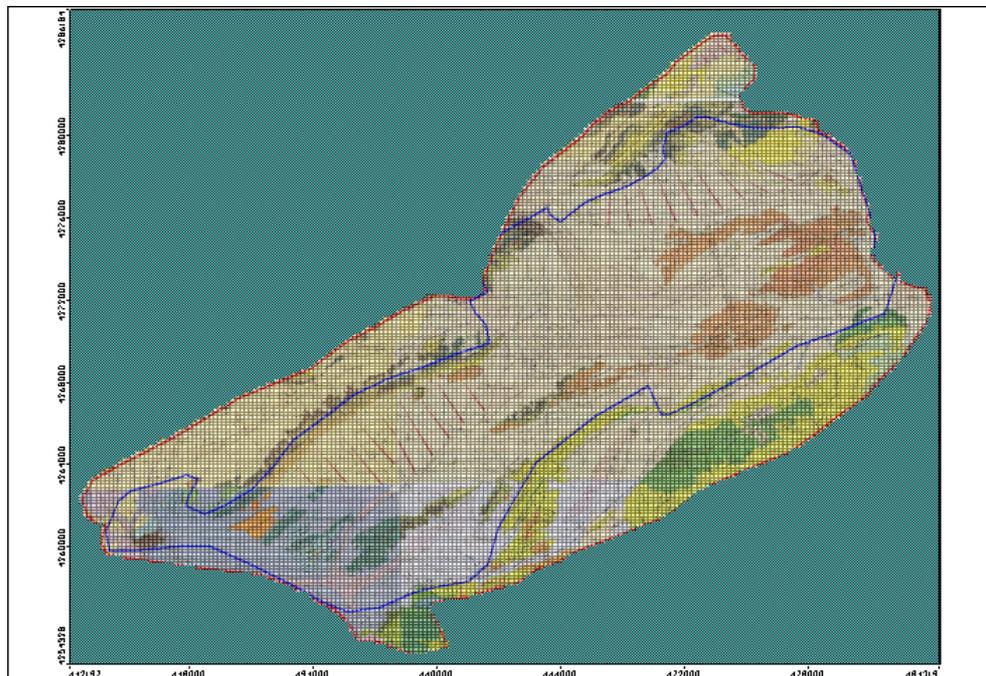


Figura 9.3: Malla regular utilizada inicialmente para evaluar las extracciones disponibles.

Con los parámetros y condiciones descritas, en la Figura 9.4 se presentan los resultados obtenidos en una de las simulaciones realizadas. Es importante remarcar que en las simulaciones realizadas se han variado los parámetros obteniendo resultados similares a los que se presentan en la figura, indicando de manera clara la necesidad de generar series de extracciones más coherentes y realistas. En la figura se puede ver también que las condiciones iniciales seleccionadas son coherentes y que los niveles calculados por el modelo no registran descensos de niveles del orden de los observados. De hecho, los niveles que se registran en todo el dominio son parecidos y con valores del orden de los que se registran en el entorno de Yecla, que por otra parte, son mucho más elevados (~ 40 m) que en el resto de zonas.

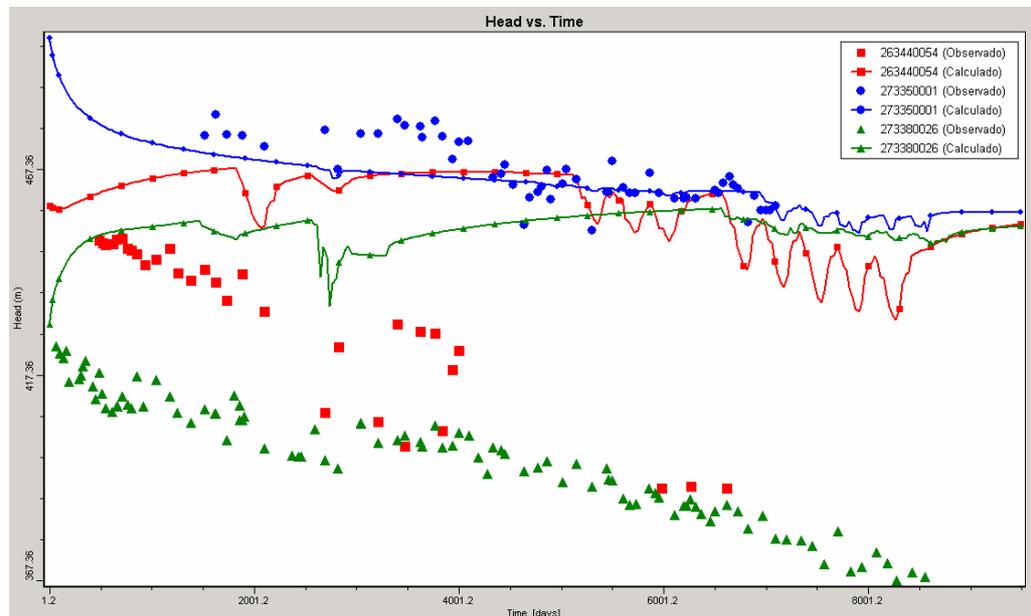


Figura 9.4: Resultados obtenidos en los puntos singulares introduciendo los datos de extracciones disponibles (Run03b).

9.2.3 Proceso de calibración del caso base

Tal y como acabamos de ver, los valores de extracciones sobre los cuáles existe registro no permiten simular los niveles observados en el dominio y por tanto es preciso inferir unas series de bombeos más realistas. Como se ha comentado, el ritmo de descenso de niveles en el acuífero se ha mantenido más o menos constante desde que se tienen datos de nivel, especialmente en

aquellos puntos en los que la serie de extracciones es larga y se considera suficientemente representativa, por lo que no cabría esperar tampoco que hayan existido variaciones importantes en el volumen total anual de extracciones en el acuífero. Por tanto, se ha procedido de esta manera a la hora de diseñar las series temporales de extracciones que se debían introducir en el modelo.

La hipótesis que se ha seguido es la de generación de series de extracciones máximas y para ello en el diseño de las mismas se ha tenido en cuenta el volumen de extracciones en el momento de declaración de sobreexplotación (1987) para los diferentes puntos de los que se tenía valor de extracción en el acuífero ($\sim 32 \text{ Hm}^3/\text{año}$). A este volumen se le han añadido las extracciones en los puntos del Vinalopó ($\sim 6 \text{ Hm}^3/\text{año}$) y 2 puntos adicionales, no representados por los anteriores, de manera que se extraen del acuífero un total aproximado de unos $40 \text{ Hm}^3/\text{año}$; valor que por otra parte es coherente con los que se documentan en la mayoría de trabajos realizados (DGOHCA-ITGE, 1997). Teniendo en cuenta, la mencionada uniformidad de las tendencias de niveles, dichas series temporales se ha estimado que se mantengan constantes a lo largo de todo el periodo de simulación en los 55 puntos que extraen agua en el modelo.

La generación de las series para este escenario hipotético de máximas extracciones se ha construido con paso de tiempo mensual. Los valores finalmente introducidos en el modelo para las series de extracciones se presentan en la Tabla 9.1. En dicha tabla se muestran los totales introducidos en el modelo para las diferentes zonas del modelo.

Estudio del funcionamiento hidrogeológico y elaboración de un modelo numérico de flujo subterráneo en el acuífero Jumilla-Villena

Tabla 9.1: Valores de las extracciones introducidas en los puntos de bombeo del modelo para un año tipo para el escenario de máximos. Este valor se repite a lo largo de todos los años del periodo de simulación.

punto	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	total (m3/año)
263430083	78840	78840	78840	78840	78840	78840	78840	78840	78840	78840	78840	78840	946080
263440004	0	3203	3202	1602	1602	2403	2403	1848	0	0	0	0	16263
263440006	25701	62605	106506	103350	128805	140317	154045	158835	129557	76985	45372	41396	1173474
263440007	14242	14242	14242	34180	34180	34180	34180	34180	34180	14242	14242	14241	290531
263440011	35733	54593	92169	103810	106572	115601	126244	127461	100276	62291	39052	29870	993672
263440012	10800	11664	47844	41256	38880	77868	95148	61560	38772	0	0	0	423792
263440054	2806	4789	8488	9448	14583	17534	19230	18332	16018	6445	4290	5596	127559
263440058	5097	11616	20977	25592	21329	25723	32812	36789	25376	15168	15390	7433	243302
263440059	0	0	0	54000	54000	108000	108000	0	0	0	0	0	324000
273320001	0	0	0	0	0	31635	146853	108225	6993	0	0	0	293706
273320008	0	0	75600	75600	56700	56700	56700	56700	0	0	0	0	378000
273320030	98984	122823	130807	85986	86284	196037	244577	146585	38519	94311	37002	19125	1301040
273330003	18372	64842	7565	19092	87536	63041	161383	49712	20892	7565	0	0	500000
273330015	0	0	435	697	1568	2308	22205	1916	0	871	0	0	30000
273330017	0	11254	3430	6982	27586	21417	31563	19237	5920	12781	2664	0	142834
273330025	298892	298892	298892	298892	298892	298892	298892	298892	298892	298892	298892	298892	3586705
273330026	217764	217764	217764	217764	217764	217764	217764	217764	217764	217764	217764	217764	2613167
273330027	63311	63311	63311	63311	63311	63311	63311	63311	63311	63311	63311	63311	759730
273330028	187875	187875	187875	187875	187875	187875	187875	187875	187875	187875	187875	187875	2254501
273330035	0	28770	8770	17850	70524	54753	80688	49180	15135	32674	6810	0	365154
273330036	22850	24194	0	0	24194	22850	155912	0	0	0	0	0	250000
273330037	0	14312	4363	8880	35084	27238	40139	24466	7529	16254	3388	0	181653
273340006	71299	71299	71299	71299	71299	71299	71299	71299	71299	71299	71299	71299	855584
273340007	0	0	174971	6493	12954	194419	38863	28500	0	12954	0	0	469154
273340008	5084	9244	93364	15253	45388	135193	65078	43678	18026	25883	6009	0	462200
273340060	3064684	337874	337874	2952060	225250	225250	2839435	112625	112625	2726810	0	0	1375313
273340061	180962	180962	180962	180962	180962	180962	180962	180962	180962	180962	180962	180962	2171545
273340065	17607	17607	17607	17607	17607	17607	17607	17607	17607	17607	17607	17607	211283
273340070	0	0	874855	32465	64771	972093	194317	142498	0	64771	0	0	2345770
273340071	0	0	724880	26900	53668	805447	161005	118070	0	53668	0	0	1943638
273340077	22241	22241	22241	22241	22241	22241	22241	22241	22241	22241	22241	22241	266888
273340078	24557	24557	24557	24557	24557	24557	24557	24557	24557	24557	24557	24557	294684
273350001	0	0	33445	33445	32725	122400	128300	72360	3670	0	0	0	459070
273350056	10714	16064	17963	34352	25182	27455	30667	64467	21010	14409	16687	9030	288000
273360018	0	20000	20000	30000	40000	50000	50000	50000	40000	0	0	0	300000
273360034	0	25000	30000	40000	60000	80000	80000	80000	47368	0	0	0	442368
273370001	9537	9797	24428	55884	52870	71295	89012	82989	45009	669	502	335	442329
273370003	0	0	0	4999	13331	10831	2916	5832	8331	8331	3749	0	58320
273370014	0	0	0	6665	17773	14441	3888	7776	11109	11109	4999	0	77760
273370015	0	17953	0	44095	96010	104672	256325	52388	19423	6300	2834	0	600000
273370017	5639	10251	103541	16916	50335	149929	72171	48439	19991	28705	6663	0	512580
273380001	2788	5069	51195	8364	24888	74130	35684	23950	9884	14193	3295	0	253440
273380005	32119	35951	251817	106163	184904	331518	236235	214076	116574	61703	19739	2086	1592885
273380006	18565	16471	87171	52910	86004	175422	136484	110121	32989	20768	4821	0	741726
273380008	0	0	149975	5566	11104	166644	33311	24428	0	11104	0	0	402132
273380009	0	0	199967	7421	14805	222192	44415	32571	0	14805	0	0	536176
273380010	0	0	174971	6493	12954	194419	38863	28500	0	12954	0	0	469154
273380011	0	0	199967	7421	14805	222192	44415	32571	0	14805	0	0	536176
273380013	0	0	11647	0	11647	23294	34941	25624	0	11647	0	0	118800
273370009	40721	31247	64626	68917	61641	99142	108664	106467	74750	60318	68054	45613	830160
273330005	3083	0	3358	5994	5341	41864	58058	36567	21364	640	2166	5058	183494
273330009	28646	27037	38567	44870	39556	37239	87559	89121	47288	13004	1549	10794	465231
273330018	30308	42533	46202	42825	77958	116013	171468	166859	139009	121075	42495	11330	1008075
273330021	145658	145658	145658	145658	145658	145658	145658	145658	145658	145658	145658	145658	1747900
273330023	23750	23750	23750	23750	23750	23750	23750	23750	23750	23750	23750	23750	285000

Total extracciones Jumilla (H3/año)	4.83
Total extracciones Yecla (H3/año)	3.17
Total extracciones Villena/Vinalopo (H3/año)	31.94

total (H3/año)	39.94
-----------------------	-------

A lo largo de la calibración del caso base, se han utilizado inicialmente las series que se presentan en la Tabla 9.1 y las series de recarga zonificadas por usos del suelo presentadas en la Figura 8.6. Mientras las series de recarga se han mantenido constantes a lo largo del proceso de calibración, dichas series de extracciones han sufrido alguna ligera modificación (incremento de valores) en alguna zona para poder ajustar mejor los valores piezométricos observados. Además, tal y como se ha ido comentando, las zonas de parámetros así como los valores en cada una de ellas se han ido modificando a lo largo del proceso de calibración.

No es el objeto de este informe, hacer una extensa descripción del proceso de calibración y de cómo el modelo conceptual ha ido variando en su transcurso, y es por ello que en los Anejos se presenta una guía o tabla que recoge las mayores singularidades y cambios efectuados a lo largo de las distintas simulaciones realizadas. No obstante, en esta sección se comentarán algunos de ellos para ilustrar y justificar los principales cambios realizados.

De esta manera, con las series de extracciones máximas y la recarga previamente comentadas el modelo era capaz de reproducir, con parámetros coherentes, y en el dominio ampliado, de manera correcta los niveles en el entorno de Villena-Vinalopó, mientras que en el resto de zonas esto no era posible, evidenciando la posibilidad de falta de extracciones especialmente en el entorno de Jumilla. Esto se ilustra en la Figura 9.5 donde se aprecia claramente que las pendientes de las curvas de descensos de niveles que el modelo calcula para la zona de Jumilla (línea roja) son inferiores a las observadas, evidenciando que si se considera que los parámetros son coherentes, las extracciones en el entorno de Jumilla están claramente subestimadas. Los parámetros utilizados se presentan en la Tabla 9.3. Además, en la figura se puede observar que los niveles en el entorno de Yecla se encuentran del orden de 40 metros por encima del resto de valores simulados, algo que difícilmente será reproducible con un modelo conceptual como el propuesto.

Tabla 9.2: Parámetros hidráulicos calibrados introduciendo las extracciones definidas para el escenario de máximos (Run11).

RUN_11	zona	Kij (m/s)	Ss (conf)	Sy (no conf)
	cretácico	5x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²
	base cretácico inferior	1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²
	jurásico	5x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²

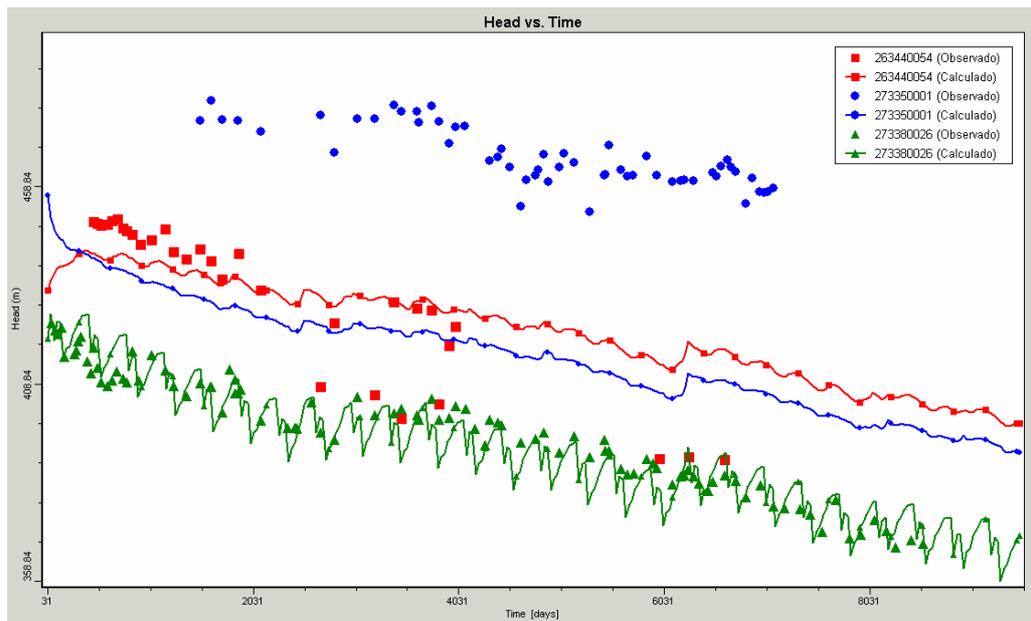


Figura 9.5: Resultados obtenidos en los puntos singulares introduciendo las extracciones definidas para el escenario de máximos (Run11).

9.2.3.1 Modificación de las extracciones en el entorno de Jumilla

Según hemos visto, para evolucionar en la calibración del modelo se requiere introducir unas series retocadas de extracciones en el entorno de Jumilla.

Para ello, se han seleccionado una serie de puntos de este entorno a partir de los cuáles se han modificado algunas de las extracciones anteriormente presentadas en la Tabla 9.1. Dicha modificación se ha estimado a partir de la pendiente de la curva de evolución de los niveles piezométricos calculada por el modelo y la de los niveles observados. De esta manera, los nuevos valores introducidos resultan en un aumento uniforme de las extracciones citadas

desde los 3.6 Hm³/año anteriormente impuestos hasta alrededor de los 10 Hm³/año, siendo de esta manera el total extraído en la zona de Jumilla de 11.4 Hm³/año y el total en el acuífero alrededor de los 46,5 Hm³/año (Tabla 9.3) manteniendo los valores de los parámetros presentados en la Tabla 9.2 sin cambios.

Tabla 9.3: Valores modificados de las extracciones introducidas en los puntos de bombeo del entorno de Jumilla para un año tipo para el escenario de máximos. Este valor se repite a lo largo de todos los años del periodo de simulación.

punto	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	total (m3/año)
263440006	72935	177663	302247	293291	365528	398197	437155	450748	367662	218471	128758	117475	3330129
263440007	40416	40416	40416	96997	96997	96997	96997	96997	96997	40416	40416	40414	824480
263440011	101404	154926	261561	294596	302434	328057	358260	361714	284567	176772	110823	84766	2819880
263440012	30649	33101	135774	117078	110335	220977	270015	174697	110029	0	0	0	1202653
263440054	7963	13590	24088	26812	41384	49759	54572	52023	45456	18290	12174	15881	361992
263440058	14464	32964	59529	72626	60528	72998	93115	104401	72013	43044	43674	21094	690452
263440059	0	0	0	153243	153243	306486	306486	0	0	0	0	0	919459

total (H3/año)	10.15
-----------------------	--------------

Total extracciones Jumilla (H3/año)	11.40
Total extracciones Yecla (H3/año)	3.17
Total extracciones Villena/Vinalopó (H3/año)	31.94

total (H3/año)	46.51
-----------------------	--------------

Mediante la introducción de dichos valores, el modelo se muestra más eficaz para ajustar dichas pendientes con valores de parámetros coherentes, especialmente para el caso de los coeficientes de almacenamiento. Los resultados que ilustran esto se presentan en la Figura 9.6.

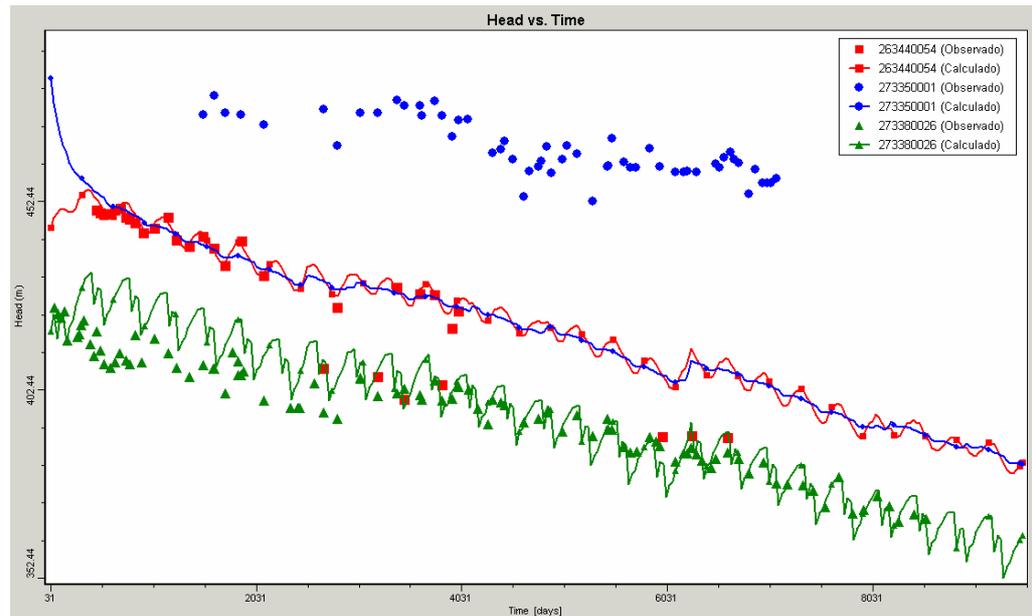


Figura 9.6: Resultados obtenidos en los puntos singulares introduciendo las extracciones definidas para el escenario de máximos y modificando algunas del entorno de Jumilla (Run12).

9.2.3.2 Zonificación de parámetros en el entorno de Yecla

De la Figura 9.6 se desprende una mejora sustancial en la zona de Jumilla. No obstante, el modelo calcula niveles muy parecidos para las zonas de Yecla y Jumilla, no reproduciendo los niveles observados para la primera de ellas. Teniendo en cuenta el modelo conceptual homogéneo con el que se ha trabajado hasta el momento, no es posible reproducir niveles tan diferentes (del orden de 40 m) entre zonas. Por otra parte como se ha mostrado en las tablas de extracciones presentadas, los valores introducidos en el modelo para la zona de Yecla ($3.17 \text{ Hm}^3/\text{año}$) podrían encontrarse subestimados con lo cuál dichas diferencias podrían ser incluso mayores (descensos aún mayores). Por este motivo se propuso una zonación de materiales de manera que permitiese la asignación de propiedades hidráulicas diferentes sobre una misma capa acuífera.

En los mapas de isohipsas utilizados para construir la tridimensionalidad del acuífero se mostraban una serie de fallas transversales que afectaban al

entorno de Yecla. La Figura 9.7 presenta un corte hidrogeológico esquemático en dirección NNW-SSE que pasaría por este entorno. En este corte se ilustra cómo dicho entorno puede quedar aislado hidráulicamente del resto gracias a movimientos tectónicos (fallas direccionales con componente vertical) y gracias a la base del Cretácico Inferior -de más baja permeabilidad- que haría las veces de barrera hidráulica.

También, en la Figura 9.8 se muestra el contexto geotectónico del área del entorno del acuífero Jumilla-Villena, en donde se puede apreciar y corroborar la existencia de numerosas fallas direccionales que permitirían aislar hidráulicamente diferentes zonas del acuífero. Parece justificado pensar, que el contexto estructural tan complejo de la zona de estudio pueda permitir que diferentes áreas del acuífero puedan presentar comportamientos sensiblemente diferentes entre ellas.

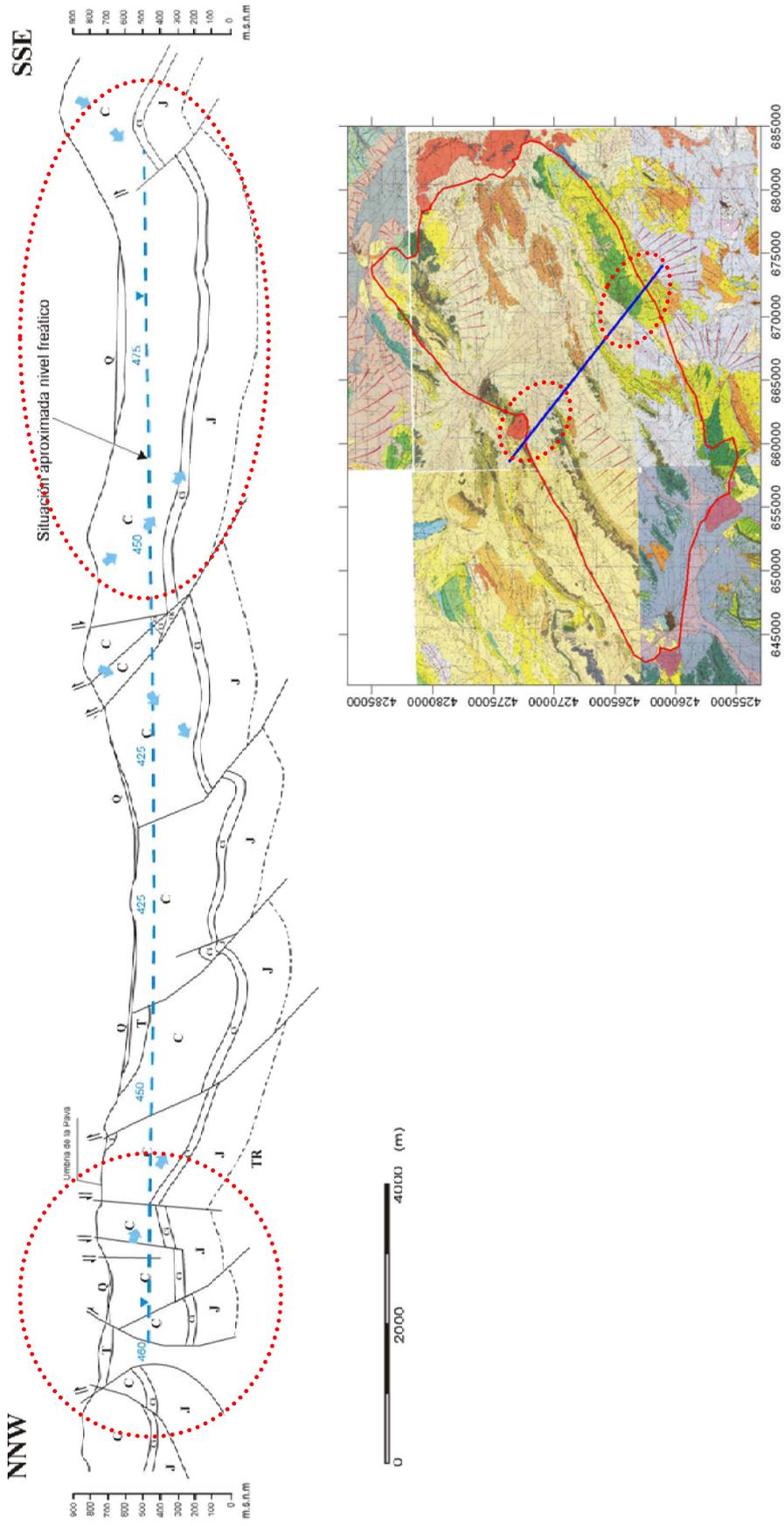


Figura 9.7: Corte hidrogeológico esquemático que ilustra cómo la zona del entorno de Yecia (en círculo rojo discontinuo), puede quedar aislada debido a movimientos estructurales. De la misma manera, la zona de la Olla del Moñigal presenta una situación similar.

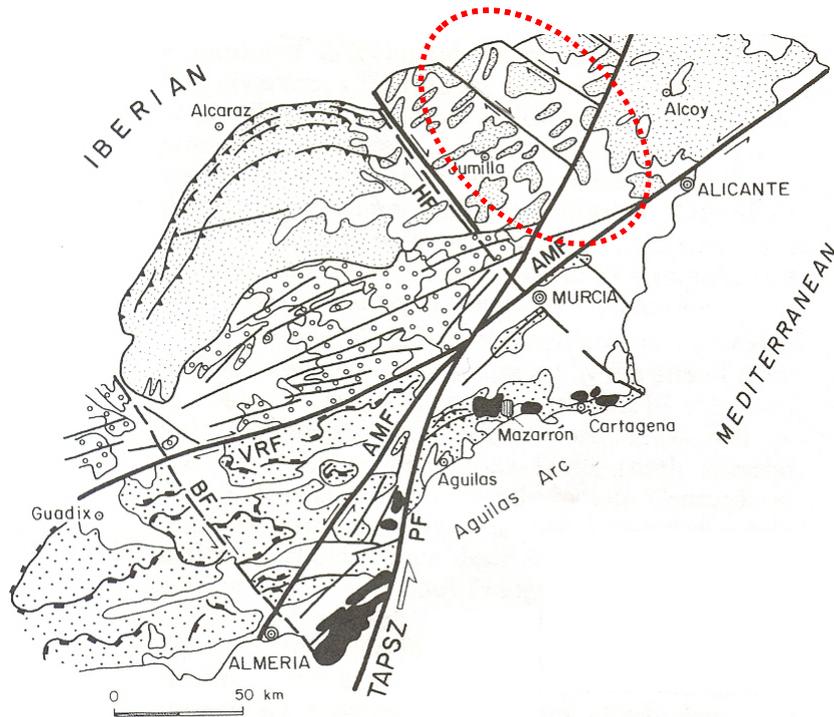


Figura 9.8: Contexto geotectónico del área del entorno del acuífero Jumilla-Villena. En rojo, localización de fallas direccionales que permitirían aislar hidráulicamente zonas del acuífero. Extraído de Doblas et al. (1991).

Teniendo en cuenta lo expuesto, se pretende modificar una zona del entorno de Yecla siguiendo las trazas en superficie de las fallas direccionales documentadas en las figuras anteriores. Para ello, se implementará mediante la creación de una línea de celdas alrededor de dicha zona en las cuáles se aplique una conductividad baja (algunos órdenes de magnitud menor) de manera que se puedan reproducir comportamientos diferentes en las áreas separadas. Se ha pretendido que siempre haya como mínimo 2 celdas con estas propiedades, con el objeto de evitar problemas numéricos asociados a la discretización espacial (diferencias finitas), que se muestra siempre menos adaptable a este tipo de discontinuidades o singularidades que por ejemplo la realizable con elementos finitos.

La Figura 9.9, muestra cómo se ha definido esta zonación en la malla de diferencias finitas existente y cómo dicha zonación sigue la traza de las fallas direccionales descritas anteriormente.

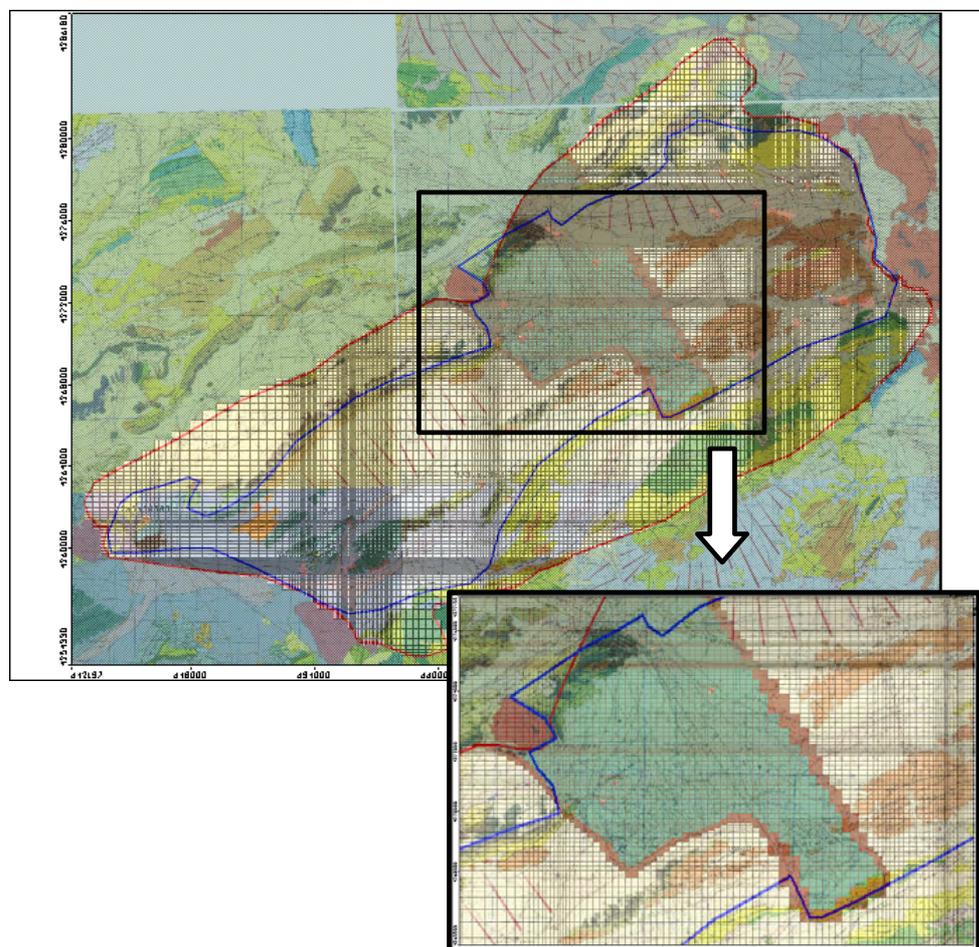


Figura 9.9: Zonificación de parámetros en el entorno de Yecla. Detalle de la malla de diferencias finitas en el entorno de la zona.

De la figura 3.9 se desprende que la zona SE del modelo conecta las zonas de Jumilla y Villena/Vinalopó. Teniendo en cuenta esto, al modelizar el acuífero se observó que para avanzar con el proceso de calibración se debía separar el funcionamiento de las zonas de Jumilla y Villena. Esto mismo se ilustra en la Figura 9.10 donde se observa que para mejorar el ajuste de las tendencias de niveles en Jumilla se requería una reducción del coeficiente de almacenamiento, que justamente era la acción opuesta para la zona de Villena/Vinalopó, para la cuál se requería un aumento del mismo. Los parámetros utilizados se muestran en la Tabla 9.4.

Tabla 9.4: Parámetros hidráulicos calibrados utilizando la zonificación de materiales que ‘aisla’ hidráulicamente la zona de Yecla. Obsérvese que la tabla muestra valores diferentes de almacenamiento para la zona del acuífero Cretácico en el sector de Yecla (Run17).

RUN_17	zona	Kij (m/s)	Ss (conf)	Sy (no conf)
cretácico	Villena-Vinalopó	5x10-5	1x10-2	1x10-2
	Yecla	5x10-5	1x10-5	1x10-3
	Jumilla	5x10-5	1x10-2	1x10-2
base cretácico inferior		1x10-6	1x10-5	1x10-2
jurásico		5x10-5	1x10-5	1x10-2

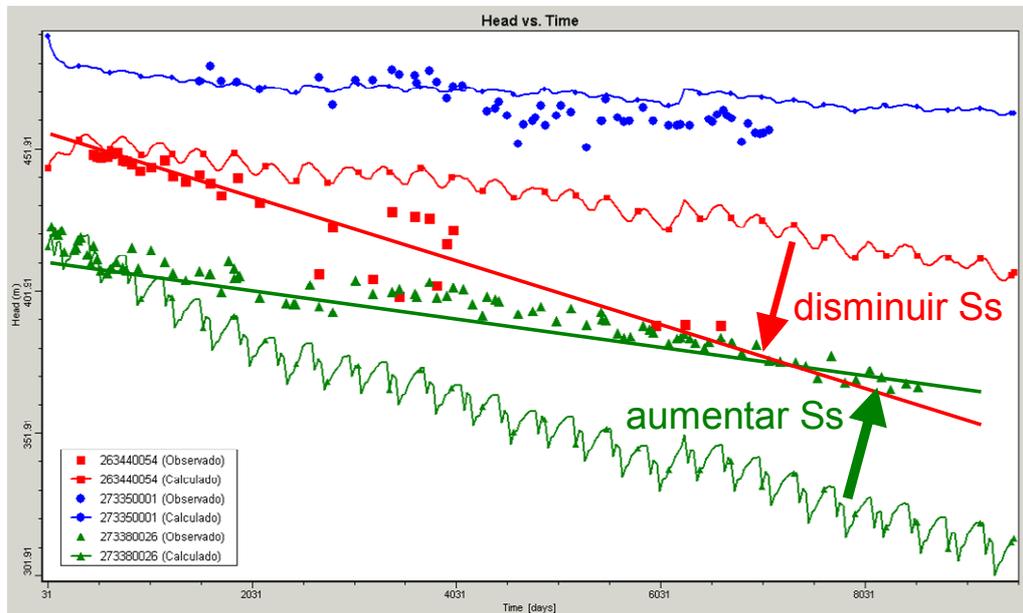


Figura 9.10: Resultados obtenidos en los puntos singulares utilizando la zonificación de materiales que ‘aisla’ hidráulicamente la zona de Yecla mostrada en la Figura 9.9 (Run17).

9.2.3.3 Validez de los límites tradicionales y propuestos

A lo largo de este trabajo se puso en tela de juicio el límite SE del acuífero que coincidía con el cabalgamiento que ponía en contacto Prebético Externo con Prebético Interno Septentrional. De las simulaciones anteriores realizadas y de los modelos conceptual y numérico utilizados se desprende que los límites tradicionales del acuífero, conjuntamente con las hipótesis asumidas

para el aislamiento del entorno de Yecla hacen pensar en la validez de los mismos. Por el contrario, parece difícil obtener una reproducción de los niveles en las diferentes zonas si se tiene en cuenta la inclusión de la zona SE como parte del acuífero Jumilla-Villena.

Siguiendo estos criterios, se pretende reproducir comportamientos diferentes en cada una de las zonas y para ello se desactivarán las celdas de la parte SE del modelo, tal y como muestra la Figura 9.11.

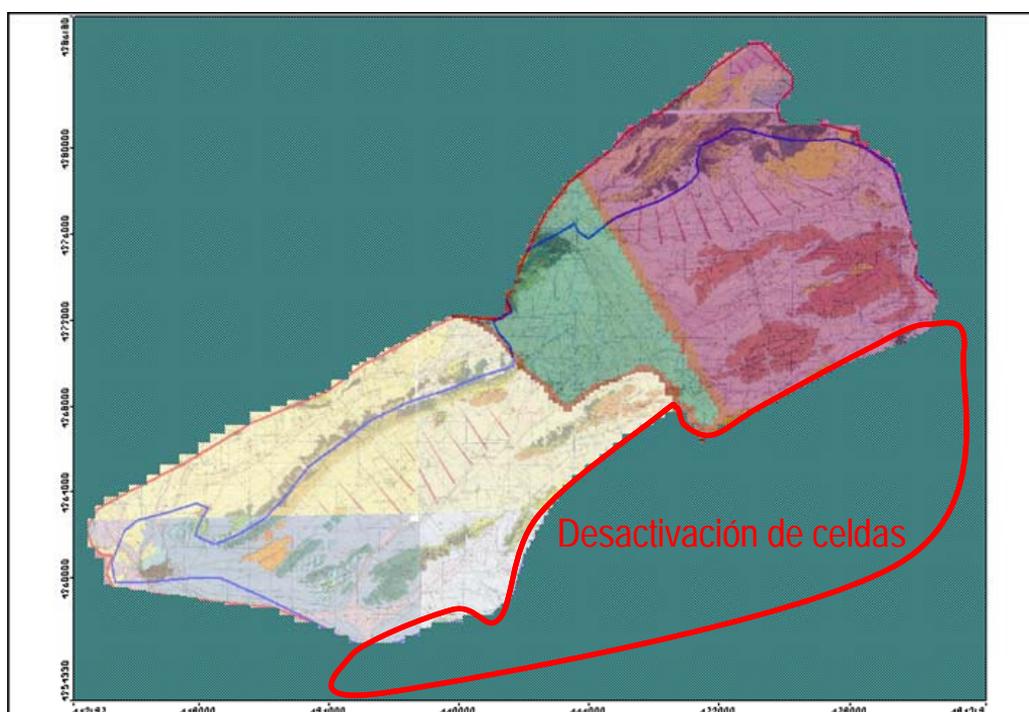


Figura 9.11: Zonificación de parámetros final del modelo desactivando la zona SE del modelo y permitiendo la zonación diferente en cada una de las tres áreas.

Mediante dicho modelo conceptual, parámetros coherentes (Tabla 9.5) permiten la reproducción también coherente de las tendencias de niveles en los puntos singulares, tal y como muestra la Figura 9.12.

Tabla 9.5: Parámetros hidráulicos calibrados para el modelo utilizando la zonificación de materiales mostrada en la Figura 9.11 (Run22). Obsérvese que la tabla muestra valores diferentes para cada zona del acuífero Cretácico.

RUN_22	zona	Kij (m/s)	Ss (conf)	Sy (no conf)
cretácico	Villena-Vinalopó	1x10-5	5x10-2	5x10-2
	Yecla	5x10-5	1x10-3	1x10-3
	Jumilla	1x10-4	3x10-4	3x10-4
	base cretácico inferior	1x10-6	1x10-5	1x10-2
	jurásico	5x10-5	1x10-5	1x10-2

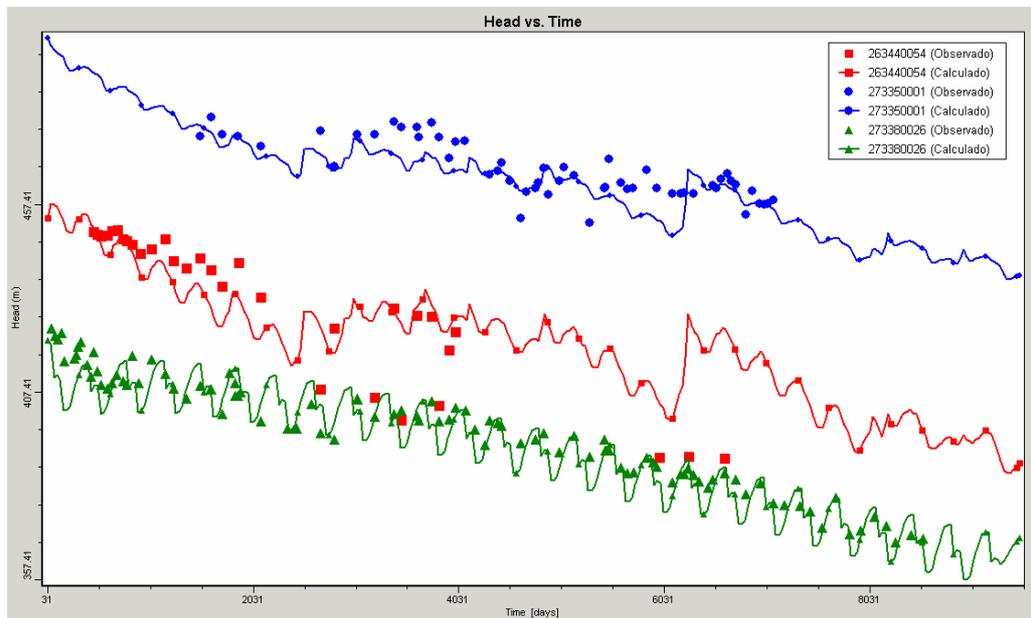


Figura 9.12: Resultados obtenidos en los puntos singulares utilizando la zonificación de materiales mostrada en la Figura 9.11 (Run22).

De la misma manera si se extrae del dominio a modelar la parte NW de dominio y se reduce la extensión del modelo hasta la que engloban los límites tradicionales se pueden obtener los mismos resultados con unos parámetros similares y también coherentes (Tabla 9.6). Esto queda ilustrado en las Figura 9.13 y Figura 9.14. Las diferencias que se pueden observar entre los resultados en los puntos singulares son debidas principalmente a las variaciones existentes entre los parámetros obtenidos en el ajuste. Esto es claramente visible en el sector de Villena-Vinalopó en el que el coeficiente de

almacenamiento para ambas simulaciones es sensiblemente diferente. En términos de difusividad hidráulica (cociente entre conductividad hidráulica y almacenamiento específico, k/S_s), el valor que se obtiene a partir de las Tabla 9.5 y Tabla 9.6 para ambas simulaciones en el sector Villena-Vinalopó son $2.0E-04$ y $3.8E-03$ (m^2/s) para los casos de dominio ampliado (Figura 9.11) y tradicional (Figura 9.13) respectivamente. Dichas difusividades justificarían la diferente variación de las tendencias de niveles calculadas, de manera que en aquella simulación para la cuál dicho valor es menor (dominio ampliado) la variación en los niveles calculados es mayor (Figura 9.12).

A tenor de los resultados, parece que mientras la utilización del límite tradicional SE permite una mejor reproducción de los niveles y el nuevo propuesto no, el resto de límites podrían extenderse sin que los resultados se vean afectados. Las implicaciones que la utilización de la extensión de dichos límites NW puede tener residen directamente en la cantidad de recurso disponible, dado que representa un área mayor a recargar, así como un espesor de acuífero adicional considerable, y no despreciable en términos de recursos subterráneos útiles.

Es importante remarcar que la validez y robustez de dichos dominios no puede soportarse mediante los niveles observados dentro de estas zonas dado que no existe ningún punto de control dentro de las mismas (ver Figura 9.1).

Tabla 9.6: Parámetros hidráulicos calibrados para el modelo utilizando la zonificación de materiales mostrada en la Figura 9.13 (Run20). Obsérvese que la tabla muestra valores diferentes para cada zona del acuífero Cretácico.

RUN_20	zona	Kij (m/s)	Ss (conf)	Sy (no conf)
cretácico	Villena-Vinalopó	5×10^{-4}	1.3×10^{-1}	1.3×10^{-1}
	Yecla	5×10^{-5}	2×10^{-3}	2×10^{-3}
	Jumilla	5×10^{-5}	4×10^{-3}	4×10^{-3}
	base cretácico inferior	1×10^{-6}	1×10^{-5}	1×10^{-2}
	jurásico	5×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-2}

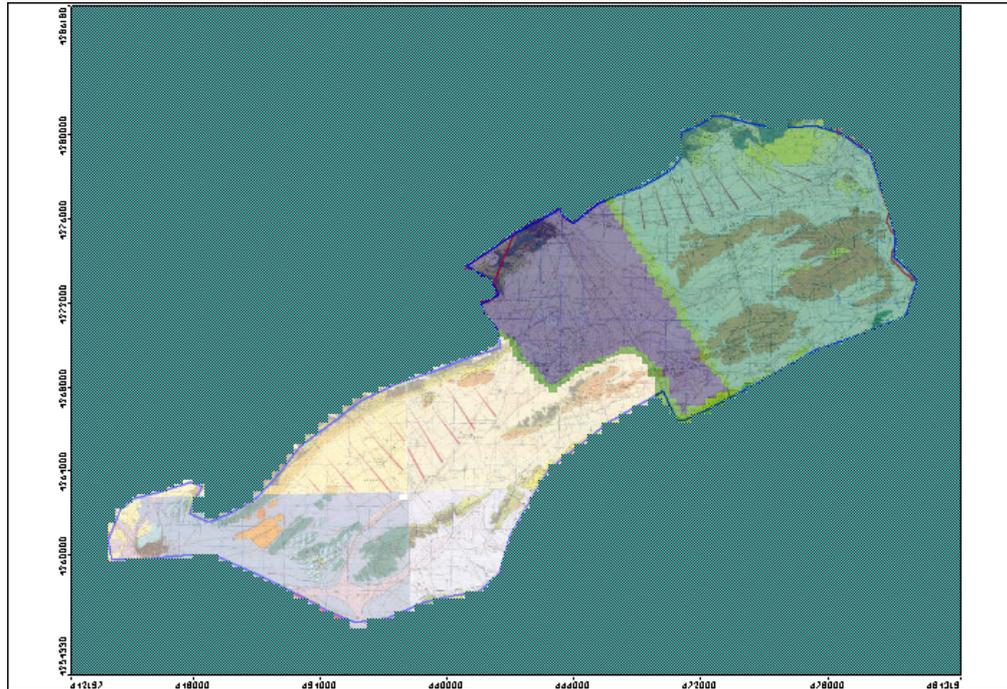


Figura 9.13: Zonificación final de parámetros en el modelo utilizando como límites para el dominio los tradicionales.

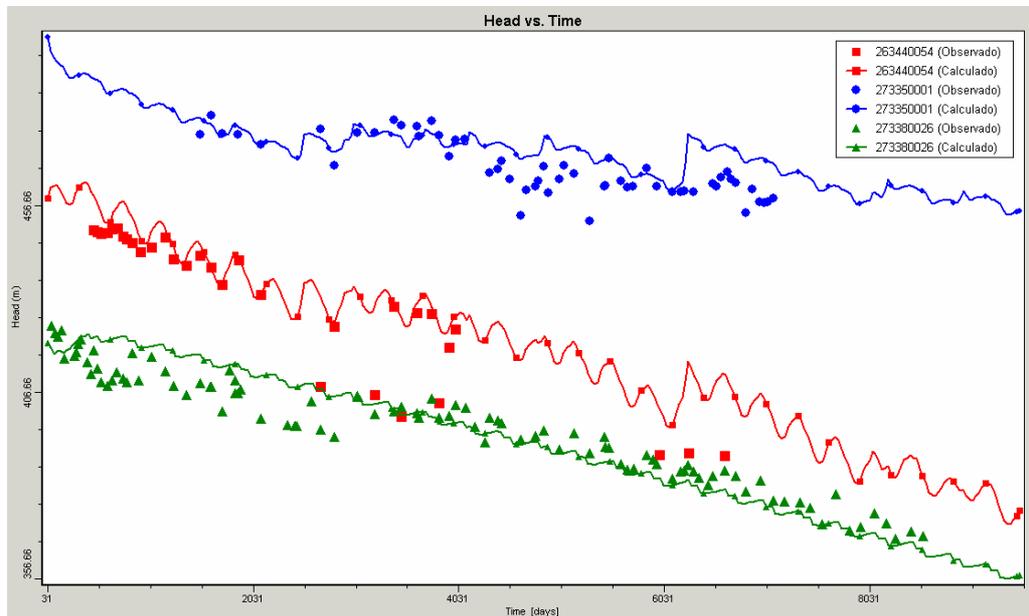


Figura 9.14: Resultados obtenidos en los puntos singulares utilizando la zonificación de materiales mostrada en la Figura 9.13 (Run20).

9.2.4 Caso base actualizado con extracciones de 2006

Finalmente, antes de la simulación de escenarios, la Dirección de Proyecto sugirió la posibilidad de revisión y actualización de las extracciones en el entorno de Villena-Vinalopó dada la disponibilidad de nuevos datos de extracciones actualizados hasta junio de 2006 como consecuencia de un reciente convenio firmado entre el Departamento Provincial de Aguas de Alicante y la Comunidad de Regantes del Alto Vinalopó. Pese a que dichos datos no difieren en exceso de las series introducidas se ha procedido a actualizar y recalibrar las extracciones en Alicante de cara a la simulación de los diferentes escenarios. Las nuevas series de extracciones se presentan en la Tabla 9.7.

En dicha tabla se presentan únicamente aquellos puntos que se encuentran en el sector de Villena-Vinalopó y que han sido modificados. Las extracciones globales en esta zona han variado de los 31.94 Hm³/año que se extraían en el escenario de máximos tal y como estaba definido anteriormente hasta los 26.6 Hm³/año que aparecen distribuidos según la tabla. Dicha reducción supone que las extracciones totales en el acuífero pasan a ser aproximadamente de 41 Hm³/año. Es preciso comentar que algunos de los puntos de extracción actuales no coinciden con los puntos previamente introducidos en el modelo con lo cuál se ha procedido a asignar las series de extracciones con valores conocidos a aquellos puntos introducidos en el modelo que se encontraban más próximos.

De nuevo, introduciendo estas series se han calibrado los parámetros para obtener unos nuevos ajustes para los dos dominios mostrados en las Figura 9.11 y Figura 9.13 correspondientes a los dominios ampliado en la zona NW y tradicional, respectivamente. Los resultados obtenidos para los puntos singulares son muy similares a los mostrados en las Figura 9.12 y Figura 9.14. Por otro lado, se muestran los resultados obtenidos para el dominio tradicional en 5 puntos seleccionados como singulares en el sector de Villena-Vinalopó (Figura 9.15).

Dichos puntos se han seleccionado para mostrar los resultados en los diferentes escenarios de simulación que, como se comentará en la próxima sección, únicamente se referirán al dominio tradicional y se diseñaran especialmente para esta área siguiendo las indicaciones de la Dirección del Proyecto. La localización de estos 5 puntos singulares se muestra en la Figura 9.16.

Los resultados que se muestran en la Figura 9.15 se han conseguido ajustar mediante los parámetros hidráulicos que se muestran en la Tabla 9.8 en la que se presentan los valores obtenidos para cada zona del acuífero después del proceso de calibración. De dichos valores se desprende un valor de almacenamiento de 0.06 para el sector de Villena-Vinalopó. Dicho valor conduce a una difusividad hidráulica de $1.67E-04 \text{ m}^2/\text{s}$. El hecho de que este valor pueda considerarse elevado podría ir directamente relacionado con la incertidumbre asociada al valor de la recarga. En un eventual caso de que el valor de recarga estuviese subestimado dicho coeficiente de almacenamiento podría tomar un valor menor.

Estudio del funcionamiento hidrogeológico y elaboración de un modelo numérico de flujo subterráneo en el acuífero Jumilla-Villena

Tabla 9.7: Valores de las extracciones introducidas en los puntos de bombeo del modelo para un año tipo actualizadas con datos del año 2006 para el sector de Villena-Vinalopó. Este valor se repite a lo largo de todos los años del periodo de simulación.

punto	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	total (m3/año)
273330003	0	0	0	16498	18898	45834	36324	0	1340	25818	7573	0	152285
273330015	0	0	0	3613	0	0	0	0	0	9760	0	0	13373
273330036	0	77253	0	240410	198880	141360	194445	237985	248180	149820	66647	0	1554980
273340008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
273370003	0	0	0	0	0	4170	5638	3781	4656	3885	93	0	22223
273370015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
273380013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
273380014	0	0	0	6954	0	0	0	0	0	13343	0	0	20297
273330005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
273330009	2696	105	10	0	277	26276	53554	64394	17715	339	76	10506	175948
273330017	0	0	246	9936	66889	88251	74725	84226	69713	45430	2622	369	442407
273330018	943	0	4987	105471	119670	135526	69493	187369	116942	79717	52490	41774	914382
273330021	97760	81660	52050	42550	150806	87814	274290	259590	258110	294990	130272	24998	1754890
273330023	104944	59926	125110	319500	179830	232950	285056	286880	298780	200740	196062	26438	2316216
273330025	82218	137647	91989	276973	276947	249128	285490	240273	289460	250937	262855	191773	2635690
273330026	151232	171493	104639	182022	152043	123283	0	0	67456	73588	100415	65169	1191340
273330027	252740	182350	138645	214725	105657	138913	263120	234010	237750	198630	83700	49840	2100080
273330028	268012	133797	205131	197997	237037	225018	273756	244387	273586	237867	249075	200538	2746201
273330035	121500	156550	89693	11887	0	49265	166469	147400	166304	144631	151495	121850	1327044
273330037	0	0	6035	38515	79735	90735	108990	99620	9595	8273	23202	0	464700
273340006	45	0	21	22	31	0	112	104	1235	32	0	0	1602
273340007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
273340060	55081	30379	54964	67689	36354	60596	51569	42833	49969	51826	54213	42968	598441
273340061	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
273340065	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
273340070	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
273340071	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
273340077	129418	138081	84986	43377	97422	128236	152477	136997	155181	133762	139148	109875	1448960
273340078	84596	73485	74193	106882	76105	78890	74362	68222	67662	49872	63432	49702	867403
273370001	0	0	33445	33445	32725	32725	122400	128300	72360	3670	0	0	459070
273370009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
273370014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
273370017	59636	34732	28894	64198	61000	76464	65362	100579	76540	59286	53900	46710	727301
273380001	0	0	0	46350	0	0	0	0	0	812479	0	0	858829
273380005	77257	37594	37137	89286	75451	85560	113984	113705	86804	89834	75941	74279	956832
273380006	80236	44396	39385	90745	75490	87139	113018	121899	100211	62974	82075	79646	977214
273380008	0	0	0	0	1755	21410	0	19524	25240	27549	10335	0	105813
273380009	30657	29509	0	2000	12336	17523	26666	29094	31770	8901	0	24532	212988
273380010	0	0	0	0	0	0	9784	0	0	0	0	0	9784
273380011	0	0	0	0	0	0	16826	0	0	0	0	0	16826
273340004	137770	0	0	58350	234410	245830	154162	67350	131840	245023	196287	70330	1541352

total (H3/año)
26.61

Total extracciones Jumilla (H3/año)	11.40
Total extracciones Yecla (H3/año)	3.17
Total extracciones Villena/Vinalopó (H3/año)	26.61

total (H3/año)
41.19

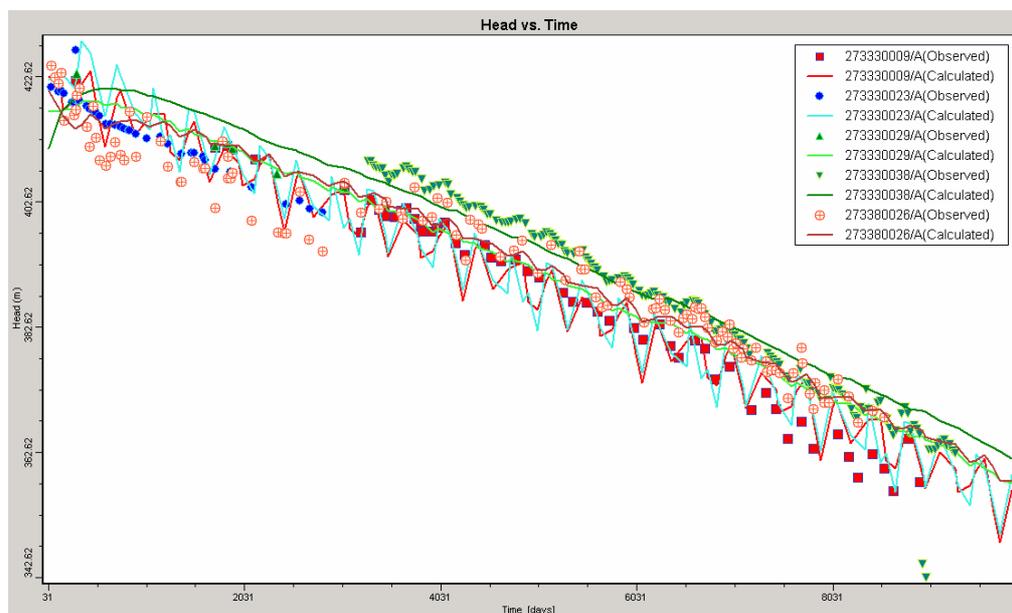


Figura 9.15: Resultados obtenidos en los puntos singulares seleccionados en el sector de Villena-Vinalopó utilizando la zonificación de materiales mostrada en la Figura 9.13 (dominio tradicional) y con las nuevas series de extracciones actualizadas según los datos de 2006 (Run26).

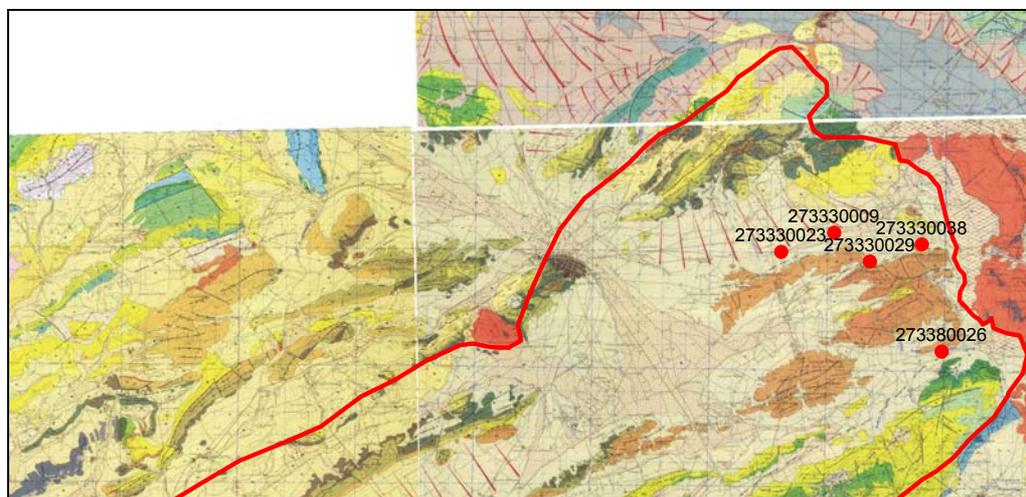


Figura 9.16: Localización de los puntos singulares seleccionados en el sector de Villena-Vinalopó.

Tabla 9.8: Parámetros hidráulicos calibrados para el modelo final. Obsérvese que la tabla muestra valores diferentes para cada zona del acuífero Cretácico.

RUN 26	zona	Kij (m/s)	Ss (conf)	Sy (no conf)
cretácico	Villena-Vinalopó	1x10-5	6x10-2	6x10-2
	Yecla	4x10-5	1.5x10-3	1.5x10-3
	Jumilla	5x10-5	8x10-3	8x10-3
base cretácico inferior		1x10-6	1x10-5	1x10-2
jurásico		5x10-5	1x10-5	1x10-2

Finalmente, mediante la simulación realizada en el dominio ampliado de la Figura 9.11 (RUN25) se ha intentado chequear la validez de dichos límites con respecto a los tradicionales en esta zona. Para ello se ha utilizado una información facilitada por la Dirección de Proyecto sobre el pozo y punto de observación de la Casa del Coronel, cuya localización es próxima a esta zona. De los datos de niveles disponibles, se desprende que aunque el punto tiene una tendencia de descensos muy similar a la del resto parece que sus valores, si se considera que las medidas no están afectadas de error, se encuentran del orden de 30-40 metros por encima del resto.

Aunque, en el modelo se ha incluido este punto dentro del dominio de manera aproximada, la localización del mismo tal y como se ilustra en la Figura 9.17 parece encontrarse cercano a los límites del acuífero Caudete-Villena y fuera de los límites –tradicionales y ampliados- propuestos para el modelo. Esto explicaría que sus valores se encuentren por encima de los valores típicos del acuífero Jumilla-Villena. El hecho que las tendencias de descensos sean muy similares podría ser debido a que los materiales geológicos que conforman ambos acuíferos y los regímenes de extracciones y recargas en ambos podrían ser muy parecidos.

Teniendo en cuenta lo expuesto, no parece posible validar o no la extensión NW del modelo mediante dichos datos y, por ello, a partir de este momento se utilizará únicamente el dominio con los límites tradicionales para la explotación del modelo.

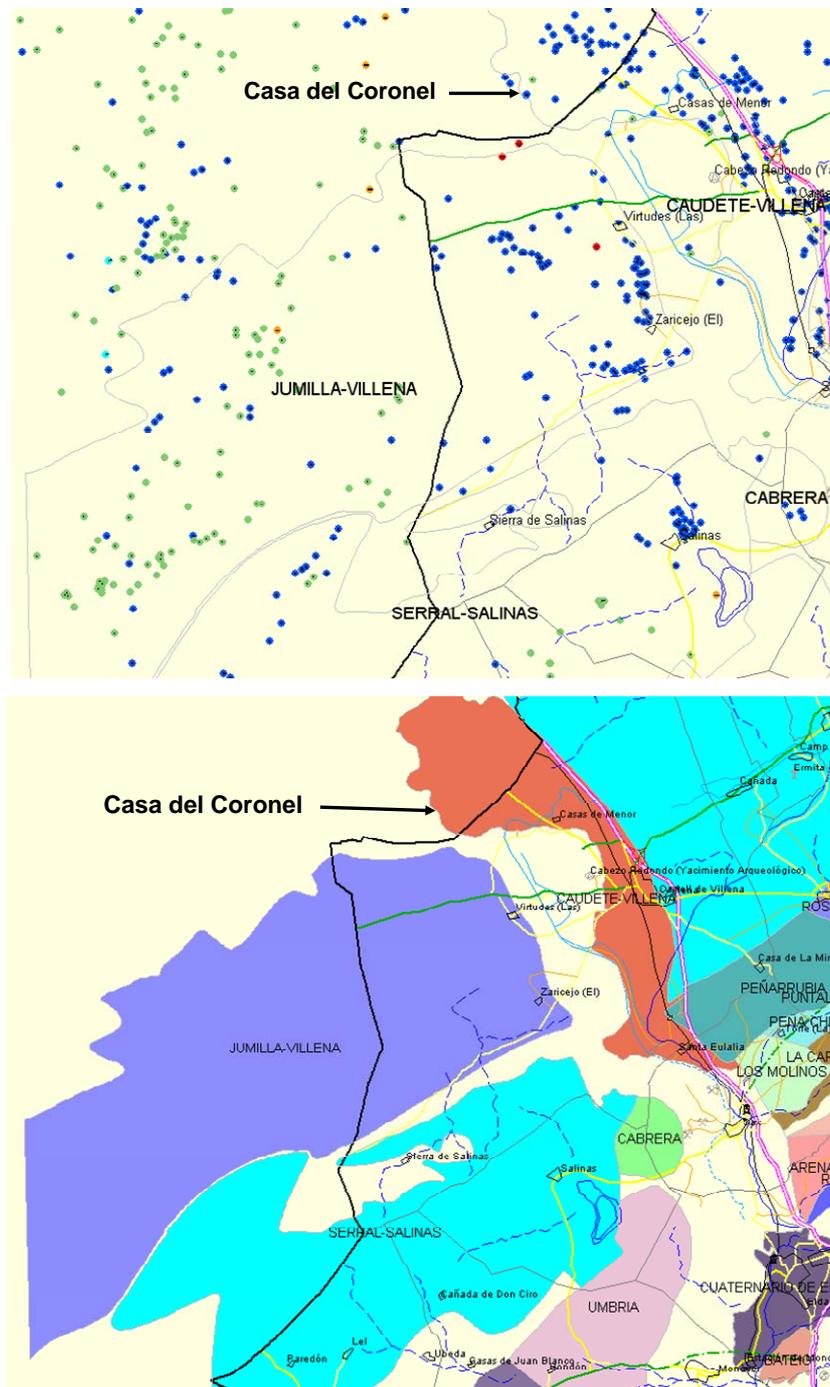


Figura 9.17: Localización del pozo Casa del Coronel. Obsérvese que el punto se encuentra ubicado fuera del dominio tradicional del acuífero Jumilla-Villena y de la ampliación de sus límites propuesta en este trabajo (DPA, 2005).

9.3 Explotación del modelo: Simulación de escenarios

9.3.1 Introducción

A lo largo de esta sección se presentarán los diferentes escenarios seleccionados conjuntamente con la Dirección del Proyecto como interesantes para su evaluación y soporte en la futura gestión de los recursos localizados en la provincia de Alicante. Los escenarios se centrarán entonces en la parte del acuífero que se ubica en Alicante. De esta manera, los cambios que en ellos se producirán únicamente atenderán a variaciones de las series de extracciones en dicha zona del modelo.

En estos escenarios se evaluará la afección que supondría sobre las captaciones el hecho de proseguir extrayendo la misma cantidad de agua sin variar los caudales (Escenario 1), el efecto de la reducción de los caudales de extracción facilitada por el aporte de recursos no convencionales, la disminución necesaria para la estabilización de los niveles (Escenarios 2A y 2B) o la afección hidráulica que supondría que una parte de los bombeos se produjesen -trasladasen- al acuífero basal o Jurásico (Escenario 3).

Dichos escenarios, además servirán para complementar el análisis de sensibilidad del modelo que se presenta en los anejos y que ha sido realizado sobre los dos principales parámetros hidráulicos del modelo, que son los diferentes coeficientes de almacenamiento y las conductividades hidráulicas, dado que se variarán los diferentes caudales de extracción en el entorno de la zona de Villena y Vinalopó.

Tal y como se ha comentado anteriormente los resultados se presentarán sobre los 5 puntos singulares sobre los que se han presentado anteriormente en la Figura 9.15, los resultados obtenidos para la calibración final del caso base, tal y como se decidió conjuntamente con la Dirección del Proyecto.

Por último, es preciso comentar que en estas simulaciones de escenarios los tiempos de escritura de resultados se han reducido, de manera que se tiene únicamente escritura de resultados 1 vez por año, puesto que si la periodicidad de escritura era mayor el tamaño de los archivos generados complicaba su procesado.

9.3.2 Escenario 1

Este primer escenario de explotación ha consistido en evaluar cuál sería la afección sobre los niveles y sobre las captaciones existentes que supondría el hecho de proseguir extrayendo la misma cantidad de agua sin variar los caudales de extracción.

Para ello se han alargado las series de extracciones existentes para un año tipo hasta el año 2035. Los valores introducidos son los que se presentaban en la Tabla 9.1, sobre la cuál se modificaron los puntos que aparecían en las Tabla 9.3 y Tabla 9.7 para las zonas de Jumilla y Villena/Vinalopó.

Además, también ha sido preciso alargar todas las series de recarga hasta el año final en el que la simulación termina (2035). Para ello se ha repetido de manera secuencial en el tiempo el ciclo calibrado mediante Visual Balan (23 años).

La Figura 9.18 muestra los resultados obtenidos en este escenario 1. En dicha figura se pueden observar los descensos al final de la simulación. Es interesante remarcar que en los últimos años los niveles sufren una pequeña desaceleración en las pendientes de descensos. Dicha recuperación de los niveles está directamente relacionada con el secado de los pozos, ya que dicho secado implica que las extracciones globales sobre el acuífero disminuyen. Sobre el secado de pozos, más adelante, posteriormente al análisis de los diferentes escenarios, se presentará una tabla en la que se mostrará la afección directa en cada uno de los escenarios simulados sobre las captaciones introducidas en el modelo. No obstante, como indicación la zona más afectada por el secado de los pozos sería la zona SE del modelo.

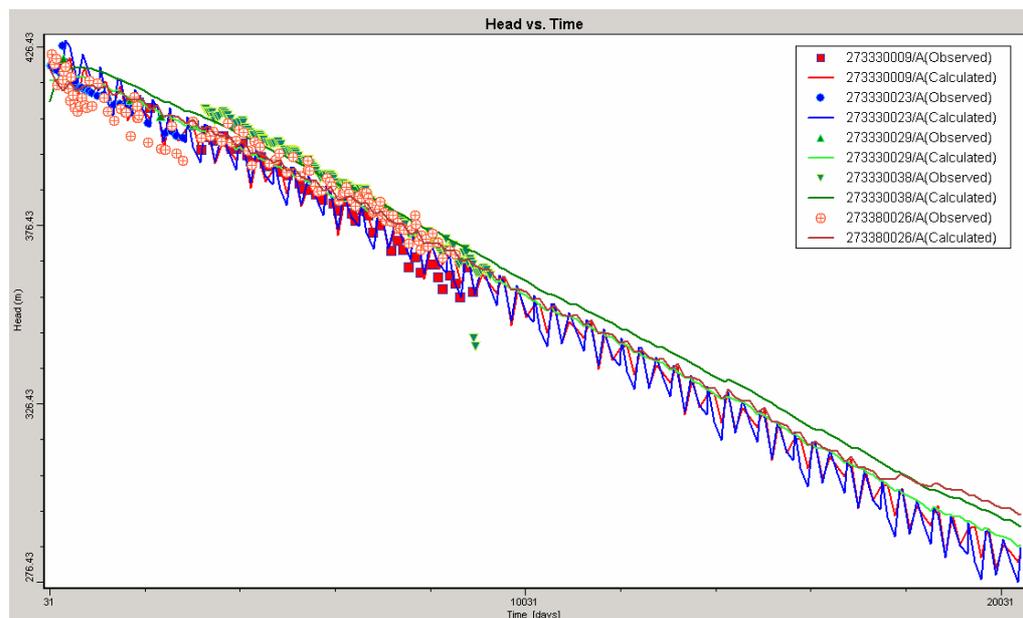


Figura 9.18: Resultados obtenidos en los 5 puntos singulares para el Escenario 1.

9.3.3 Escenarios 2A y 2B

En este caso se pretende calcular la reducción de caudales de extracción necesaria para lograr una estabilización de los niveles piezométricos (descensos nulos).

Dicho objetivo se planteara en dos fases. En una primera (Escenario 2A), se pretende simular la afección o mejora que tendría la reducción de las extracciones causada por la parada de aquellas extracciones que se utilizan para abastecimiento fuera de la comarca. Dicha parada de extracciones, podría venir facilitada por el aporte de recursos no convencionales, más concretamente, de la alternativa de puesta en marcha de plantas desaladoras en el lugar de demanda.

Posteriormente si los niveles no se han estabilizado, en una segunda fase (Escenario 2B) se estimará la reducción necesaria para la estabilización de niveles en la zona, disminuyendo buena parte de los bombeos para riego ante la llegada del trasvase Júcar-Vinalopó.

Para ello, ha sido preciso clasificar las extracciones introducidas en el modelo en los diferentes grupos destinados a abastecimiento urbano o uso agrícola. Dado que un gran número de extracciones, entre las que se encuentran las de la Comunidad de Regantes de Novelda, la Comunidad de Usuarios del Alto Vinalopó o el Canal de la Huerta de Alicante, destinan recursos tanto a abastecimiento urbano como agrícola se ha estimado, siguiendo las indicaciones de la Dirección de Proyecto, un porcentaje de las extracciones del 30% y 70% destinado respectivamente a abastecimiento y riego.

Teniendo en cuenta los porcentajes fijados, se procedió a simular la primera fase del Escenario 2 que supone la parada brusca a finales del año 2006 de las extracciones destinadas a abastecimiento urbano. Los resultados para los puntos singulares se presentan en la Figura 9.19. En la figura se observa que si bien los niveles se recuperan levemente, dicha reducción no es suficiente para el objetivo propuesto, y por tanto se precisa una reducción de las extracciones destinadas a riego. De nuevo, acerca del número de pozos que se ven afectados y se secan en este escenario se discutirá al final más adelante.

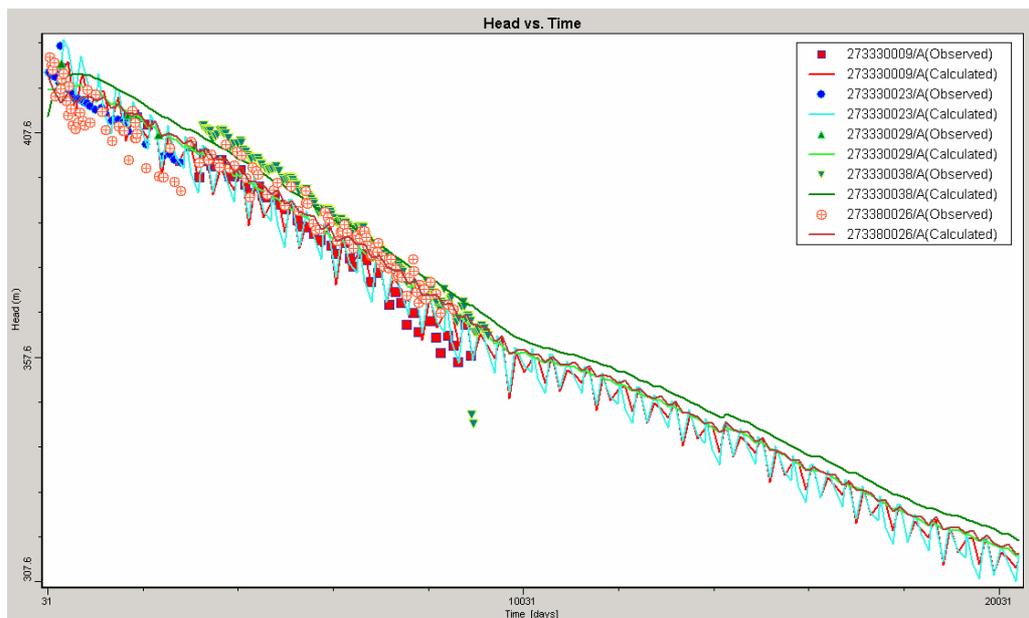


Figura 9.19: Resultados obtenidos en los 5 puntos singulares para el escenario 2A.

Para estimar la cantidad en la que se deben reducir las extracciones destinadas a riego, se ha evaluado cuánto es la recarga promedio en el área objeto de estudio mediante el mapa de usos del suelo en el dominio vectorizado en SIG. De esta manera, se ha estimado una recarga de alrededor de los 6 Hm³/año, y éste será por tanto, el valor objetivo hasta el que el conjunto de las captaciones existentes deberán reducir las extracciones.

Dicha reducción de extracciones se ha ponderado en función del porcentaje que supone cada una de las extracciones respecto del total extraído. Además, se han calculado las series de manera que a partir de la parada de las extracciones para uso urbano (final de 2006), dicha reducción se realice de manera lineal en 5 años, de manera que a final del año 2011 se habrá alcanzado el valor objetivo de las extracciones (alrededor de 6 Hm³/año).

Una vez introducidas en el modelo los resultados se muestran en la Figura 9.20. Ahora sí, la figura muestra como claramente los descensos se estabilizan. Las oscilaciones en los niveles a partir del año 2011 y hasta el final de la simulación son debidas a que la reducción se ha hecho en base a un valor de recarga promedio, pudiendo ser dicha recarga mayor o menor durante estos años.

En este escenario se ha simulado la reducción de las extracciones hasta que el balance en esta área del acuífero deja de ser deficitario. Para ello se deberán extraer del acuífero únicamente 6 Hm³/año en lugar de los 26 Hm³/año aproximados en los que se estiman las extracciones. Esta reducción supone una reducción superior al 75%.

Las series de extracciones finalmente introducidas en el modelo se incluyen a modo de tabla para un año tipo en el anejo correspondiente a la simulación de escenarios (Tabla A.3.2). En dicha tabla las diferentes series se muestran diferenciadas por colores según en función de si su uso está destinado a abastecimiento urbano o riego.

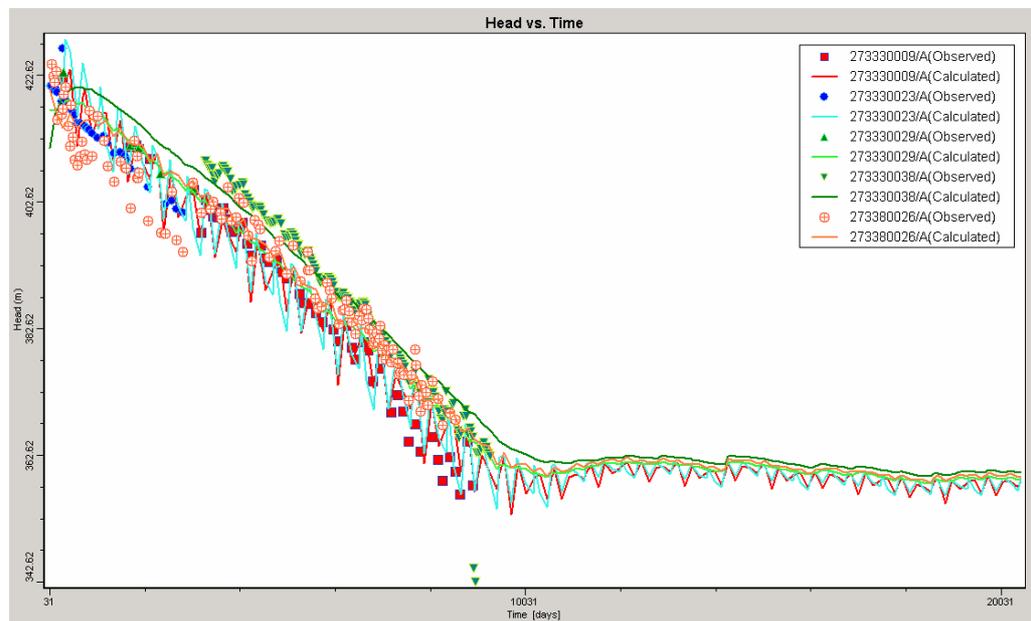


Figura 9.20: Resultados obtenidos en los 5 puntos singulares para el escenario 2B.

9.3.4 Escenario 3

El último escenario simulado consistirá en la evaluación de la afección sobre los recursos que supondría el desplazamiento de algunas de las captaciones que ahora se encuentran ubicadas en el acuífero Cretácico al acuífero inferior Jurásico. Teniendo en cuenta que las zonas más problemáticas en el secado de pozos, como se mostrará, corresponden a las captaciones que se encuentran ubicadas en la zona SE del modelo, en el sector de Villena-Vinalopó. Además, las captaciones que se encuentran en el entorno de Yecla, tal y como se mostró en el corte hidrogeológico de la Figura 9.7 también podrían encontrarse afectadas por el contexto geotectónico que las engloba.

De esta manera, en la simulación se ha seleccionado una serie de puntos del modelo de las zonas citadas y se han hecho llegar a captar del acuífero Jurásico desplazando el filtro con el objetivo de que únicamente capten agua subterránea de dicho acuífero en lugar de ser totalmente penetrantes. Los puntos que se han desplazado se muestran en la Figura 9.21.

Los resultados obtenidos para los 5 puntos singulares se presentan en la Figura 9.22. Aunque la simulación se ha realizado para un total de 43 años, dichos resultados se presentan, además, hasta los 27 años simulados para el caso base del cuál se parte. La Figura 9.23 compara los resultados en los puntos singulares para las zonas de Yecla y Villena-Vinalopó calculados según este escenario (abajo) con respecto a los resultados calculados en el caso base (arriba). Aunque de las figuras se desprende que los descensos son menos acusados para el caso en que los bombeos se desplazan al acuífero Jurásico, especialmente en la zona de Villena/Vinalopó, parece claro afirmar que la afección que supone dicho escenario no parece tener una gran implicación sobre los descensos.

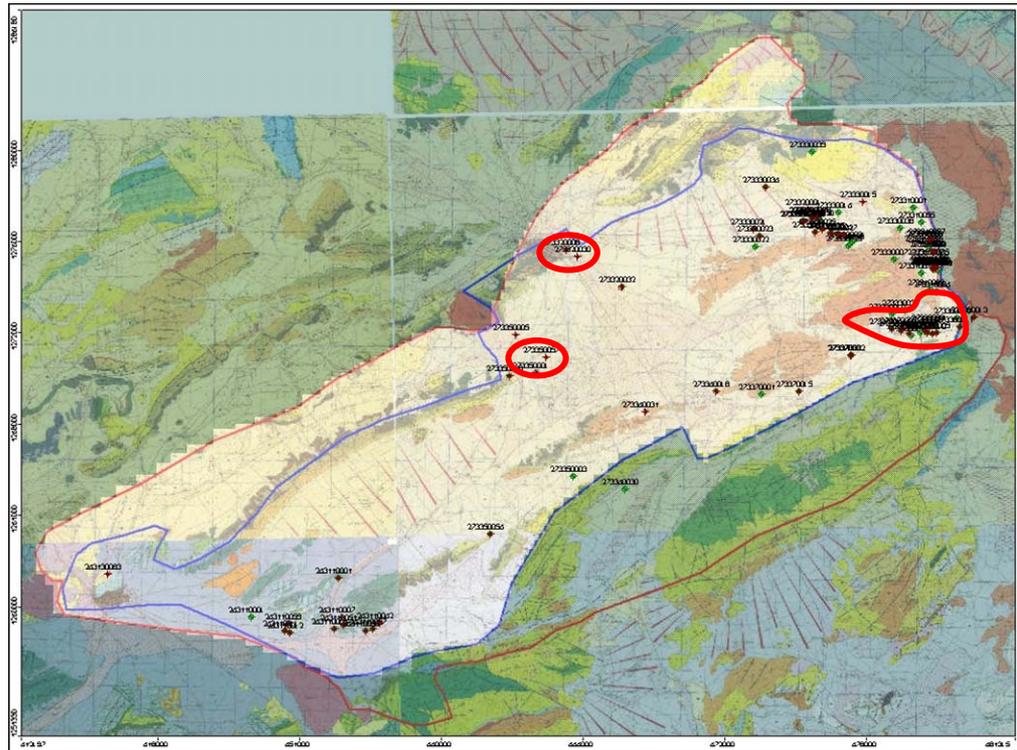


Figura 9.21: En rojo se muestran las captaciones que se han desplazado para captar agua del acuífero Jurásico en la simulación del Escenario 3.

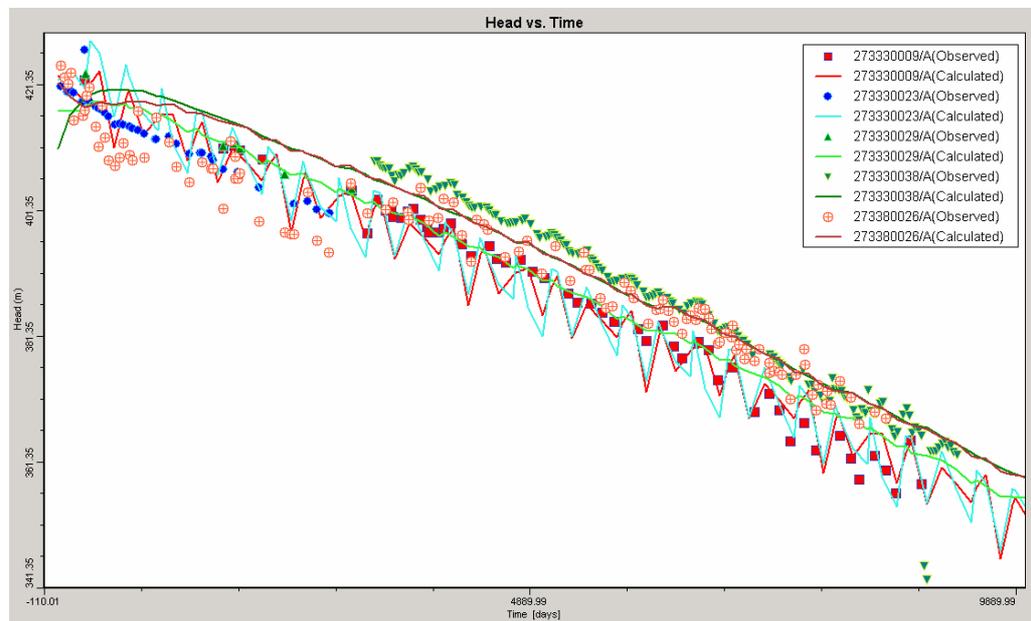


Figura 9.22: Resultados obtenidos en los 5 puntos singulares para el escenario 3.

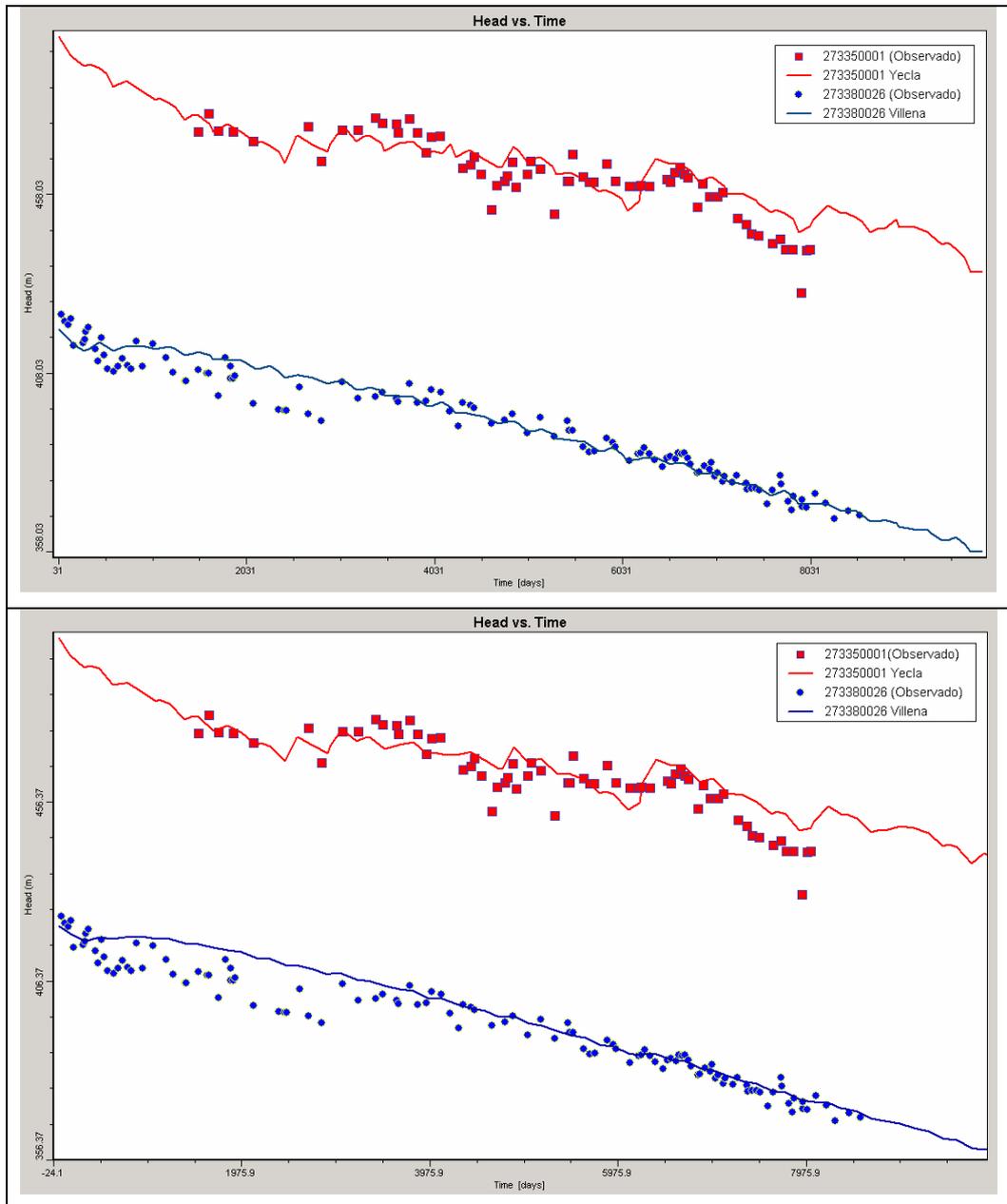


Figura 9.23: Resultados obtenidos en los 2 puntos singulares de las zonas de Yecla y Villena-Vinalopó para el caso del Escenario 3. En la figura se comparan los resultados del caso base (arriba) con los obtenidos en este escenario (abajo)

9.3.5 Secado de pozos

A lo largo de las simulaciones de escenarios realizadas se ha comentado que existía el problema de que algunas de las captaciones se veían afectadas por el descenso provocado al alargar las simulaciones. En la Figura 9.24 se presentan las zonas que se han mostrado como las más problemáticas en el transcurso de la modelización. Como se observa, la zona SE del modelo (Villena), es la más problemática. Las captaciones afectadas se muestran en la Tabla 9.9, en la que se puede apreciar que de las 25 captaciones afectadas por el secado, 22 pertenecen a la zona SE del modelo. La Tabla 9.10 muestra en que momento de la simulación quedan afectadas las captaciones afectadas.

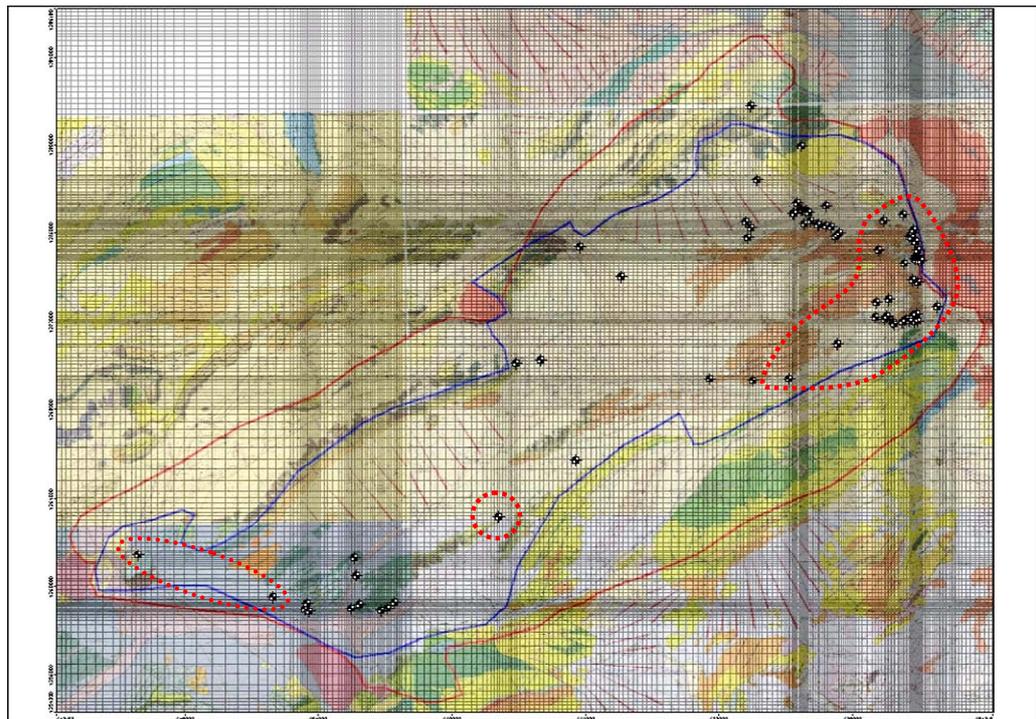


Figura 9.24: Localización de las zonas más problemáticas en el secado de pozos a lo largo de los escenarios simulados.

Tabla 9.9: Captaciones afectadas en el caso base y en los distintos escenarios presentados. Las captaciones para las que la columna de observaciones se encuentra vacía corresponden a la zona de Villena/Vinalopó, que se presenta como la más afectada.

pozo	Caso base	Esc. 1 (56 años)	Esc. 2A (56 años)	Esc. 2B (56 años)	Esc. 3 (43 años)	observaciones
263430083		seco	seco	seco		zona Jumilla
263440001						zona Jumilla
273330007		seco		seco	seco	
273330034		seco				
273330010		seco		seco		
273340060						
273340061						
273340070						
273340071						
273340077		seco		seco		
273340078		seco				
273350056		seco	seco	seco		zona Jumilla
273370001	seco	seco	seco	seco		
273370002		seco		seco		
273370004		seco				
273370015	seco	seco	seco	seco	seco	
273370017		seco				
273380001			seco			
273380005		seco				
273380006		seco				
273380008						
273380009						
273380010						
273380011						
273380013	seco	seco	seco	seco	seco	contorno SE
TOTAL	3	14	6	9	3	

Tabla 9.10: Tiempo de simulación en el que las captaciones afectadas en el caso base y en el escenario 1 quedan secas.

pozo	Caso base	Esc. 1 (56 años)	paso de tiempo	tiempo relativo	tiempo real
273370001	seco	seco	274	22.8	~2002
273370015	seco	seco	274	22.8	~2002
273380013	seco	seco	274	22.8	~2002
273330007		seco	399	32.5	~2012
273340077		seco	406	33.8	~2013
273330010		seco	516	43.0	~2022
273340078		seco	539	45.0	~2024
273350056		seco	539	45.0	~2024
273370002		seco	539	45.0	~2024
273370004		seco	578	48.0	~2027
273380005		seco	590	49.1	~2028
263430083		seco	603	50.3	~2029
273380006		seco	613	51.1	~2030
273370017		seco	658	54.8	~2034
273330034		seco	662	55.1	~2034
TOTAL	3	14			

10. Conclusiones

Dada la complejidad del entorno geológico en el que se encuentra el acuífero Jumilla-Villena y la incertidumbre actual sobre las extracciones, en la realización de este trabajo se ha partido de la hipótesis de simplicidad (principio de parsimonia) y se ha planteado un modelo 'simple' de medio poroso, en el que se han representado 3 capas asociadas a los 3 principales acuíferos descritos en el modelo conceptual. A dicho modelo se le ha ido añadiendo complejidad a medida que ha sido preciso.

El código y la metodología de discretización espacial utilizados se han mostrado robustos y han permitido alcanzar los objetivos propuestos en el marco de este trabajo. No obstante, un modelo conceptual que incorpore mayor heterogeneidad, cómo la que requiere la implementación del aislamiento de la zona de Yecla, sería más fácilmente desarrollable mediante modelos de elementos finitos, más adaptables a contornos complejos por su flexibilidad.

El modelo se ha calibrado con unas conductividades comprendidas entre 0.086 m/d y 4.32 m/d, y con unos coeficientes de almacenamiento comprendidos entre 0.06 y 0.0015, valores que por otra parte son coherentes con los documentados en los trabajos previos consultados (Soto Venegas et al, 2004; DGOHCA-ITGE, 1997). El hecho de que en el modelo el almacenamiento obtenido para el sector de Villena-Vinalopó parezca elevado (0.06) podría estar asociado a una subestimación de la recarga en la zona.

Del análisis de sensibilidad realizado (ver Anexo I) se puede concluir que el modelo es más sensible a los cambios en los coeficientes de almacenamiento que a los cambios en la conductividad hidráulica. No obstante, el modelo también se ha mostrado sensible a la disminución en 1 orden de magnitud de las conductividades hidráulicas del acuífero cretácico. En dicho análisis de sensibilidad se ha primado la evaluación de los cambios en dicho acuífero.

Es importante remarcar que el modelo ha demostrado que es una buena herramienta integradora de la información de que se disponía. De esta manera, se ha mostrado que aunque aparentemente los niveles en todo el acuífero parecía que seguían un comportamiento similar, el modelo ha ayudado a entender que éstos difieren considerablemente de unas zonas a otras. Se ha ilustrado a lo largo de este trabajo que el contexto geotectónico existente, conjuntamente con los grandes descensos piezométricos sufridos en las últimas décadas, ha permitido que algunas zonas del acuífero, que a niveles mayores estaban hidrogeológicamente bien conectadas, puedan quedar relativamente aisladas y se comporten de manera bastante independiente.

Por otro lado, el modelo se ha mostrado como una buena herramienta para testear y validar el modelo conceptual propuesto, así como para definir los límites geográficos e hidrogeológicos del mismo. A lo largo del desarrollo del modelo conceptual, se había propuesto una ampliación de los límites con respecto a los tradicionales. Mediante el modelo se ha intentado validar la idoneidad de unos u otros límites, y gracias a la evolución seguida en el proceso de calibración del llamado caso base, se ha podido concluir que el dominio tradicional se ha mostrado más robusto para la reproducción de los niveles en alguna de las diferentes áreas en las que se ha discretizado el dominio, especialmente en la que conforma el contorno SE del modelo.

También se ha intentado validar la extensión del límite NE del modelo, utilizando para ello la información facilitada sobre el punto de observación denominado Casa del Coronel, cuya localización era próxima a esa zona. No obstante, se ha observado que este punto se encuentra fuera de los límites propuestos para el modelo e incluido en el llamado acuífero Caudete-Villena. El hecho de que las tendencias de descensos sean muy similares a las existentes en el Jumilla-Villena podría ser debido a que los materiales geológicos que conforman ambos acuíferos y los regímenes de extracciones y recargas en ambos podrían ser muy parecidos.

Al igual que para este límite NE, el resto de límites propuestos pueden reproducirse con unos u otros límites, y el hecho de que no existan puntos de control incluidos dentro de las zonas propuestas para la extensión, no permite concluir cuál de ambos podría ser más robusto.

El hecho de que no existan observaciones de niveles en el acuífero Jurásico hace que no se pueda testear con fiabilidad la influencia (espesor y carácter confinante) que tiene el tramo de acuitardo asociado a la base del Cretácico Inferior sobre la totalidad del modelo.

Del proceso de modelización y calibración se desprende que actualmente el déficit hídrico en el acuífero Jumilla-Villena se puede encontrar cercano a los 28 Hm³/año, y más concretamente en el sector de Villena-Vinalopó, donde las extracciones totales son del orden de 26 Hm³/año, próximo a los 20 Hm³/año. Como se ha visto a lo largo del proceso de calibración, ha sido preciso aumentar las extracciones en el entorno de Jumilla (11,5 Hm³/año en total) para poder ajustar los valores observados. Sin embargo, los valores de extracciones en la zona de Yecla, se han mantenido constantes a lo largo del proceso y podrían estar subestimados.

De los escenarios simulados se desprende que la parada –reducción- de las extracciones destinadas a abastecimiento urbano no supondría una estabilización de los niveles. Para alcanzar dicha estabilización sería necesaria una reducción anual del orden del 75% en las extracciones actuales, desde los 26 Hm³/año actuales hasta aproximadamente los 6 Hm³/año, en los que se ha estimado la recarga media anual en el sector de Villena-Vinalopó. Esto implicaría el aporte de 20 Hm³/año anuales provenientes de fuentes o recursos no convencionales.

Por otra parte, según se ha visto, el aumento de extracciones en el Jurásico no parece tener una importancia alta en la hidrodinámica del acuífero. Aparentemente, dichas extracciones en el Jurásico podrían ubicarse en el SE de Villena, zona que se ha mostrado como la más proclive al secado de pozos si el régimen actual de extracciones no se reduce. No obstante, se

sugiere algún estudio adicional previo sobre el impacto que sobre la calidad del agua podría tener el aumento de extracciones en el acuífero Jurásico. Sería interesante la simulación mediante modelos de transporte de los cambios en la calidad que podrían existir en el agua.

Las predicciones del modelo una vez calibrado, apuntan a que siguiendo con las extracciones actuales, en el entorno de Villena se producirán con probabilidad, secados de 2 de los pozos considerados antes de 2015. Asimismo, estos secados afectarán a 1 pozo más antes de 2020, 3 antes de 2025, 4 antes de 2030 y a 2 más antes de 2035, sumando un total de 14 de los pozos.

Teniendo en cuenta los escenarios simulados, se comprueba que el modelo puede utilizarse como herramienta de apoyo en la toma de decisiones de gestión, aunque este condicionado a la obtención de más datos fiables sobre las extracciones existentes.

11. Recomendaciones y tareas futuras

Posteriormente al cierre de recepción e incorporación de información para el desarrollo y calibración del modelo numérico, y durante la edición final de este informe, se ha recibido información adicional que no ha sido posible incorporar en el marco de este proyecto. En este apartado se hace alusión a dicha información y se recomiendan una serie de acciones encaminadas a tener en cuenta en posteriores trabajos lo que de la misma se desprende, dado que la incorporación de dicha información podría conllevar algunos cambios en los regímenes de explotación utilizados en el modelo, especialmente para las zonas de Jumilla y Yecla.

Después de la evaluación preliminar de dicha información se ha podido observar que sobre algunos de los puntos, especialmente en los definidos en este trabajo como singulares, existe información adicional que no se ha tenido en cuenta aquí. De esta información se desprenden cambios en las tendencias de descensos en algunos puntos que podrían ser asociados a cambios en los regímenes de explotación del acuífero entre los años 1998-1999. Esto es especialmente claro en algunos puntos de las zonas de Yecla y Jumilla, mientras que la nueva información de la zona de Villena-Vinalopó muestra que la tendencia de descensos no ha sufrido hasta el momento cambios aparentes.

Teniendo en cuenta lo expuesto, parece que efectivamente, las zonas de Jumilla y Yecla tienen un comportamiento diferenciable o aislable de la zona de Villena/Vinalopó, tal y como se ha sugerido a lo largo de este proyecto. No obstante, se refleja que el modelo desarrollado aparentemente pierde validez en el entorno de Yecla y Jumilla a partir de los años en los que se refleja dicho cambio en las pendientes, mientras que sigue siendo perfectamente válido para la zona situada dentro de la provincia de Alicante.

Según lo expuesto en el apartado anterior, de los nuevos datos de niveles recibidos se desprende un cambio en el régimen de las extracciones en el entorno de Yecla y Jumilla que no ha sido calibrado con el modelo numérico

que se ha desarrollado. No obstante, en los alrededores de Yecla y dada la trascendencia que tiene este sector en el funcionamiento hidrodinámico, la información existente debería ser complementada con un mayor detalle de conocimiento de la situación actual en los puntos utilizados que permitiese argumentar en mayor medida su representatividad.

Se sugiere que dichos datos, se introduzcan en el modelo, modificando en su caso el modelo conceptual de dichas zonas. También, se sugiere la evaluación de dichos datos para generar de nuevo series de extracciones realistas que así los contemplen, especialmente en dichos sectores.

Además de la incorporación al modelo de dicha información, sería precisa una revisión de todo el inventario de puntos de agua de cara a dotar de mayor fiabilidad y robustez a los resultados y a permitir la utilización del modelo numérico como herramienta predictiva y de apoyo a la gestión de los recursos subterráneos de la zona.

Sería interesante también la realización de sondeos específicos de reconocimiento geológico, hidrogeológico e hidrogeoquímico ubicados en algunas zonas sobre las que los datos existentes no permiten discernir sobre la validez o no de los límites geográficos tradicionales del acuífero. Dichos sondeos serían especialmente útiles si quedasen equipados como piezómetros de control y si, además, aportasen información sobre el acuífero Jurásico (con filtros en dicho acuífero) de manera que permitiesen obtener las diferencias existentes entre las piezometrías de ambos acuíferos; además de evaluar la continuidad y el carácter confinante de la base del Cretácico Inferior, considerada en este trabajo como acuitardo.

Por otra parte, los citados sondeos permitirían muestrear aguas de los diferentes acuíferos y comprobar y evaluar su calidad ante un eventual traslado de las captaciones existentes hacia el acuífero Jurásico, tal y como se contempló en el Escenario 3. Adicionalmente, deberían realizarse dos campañas piezométricas para todo el acuífero en un mismo año, así como ensayos de bombeo de larga duración en el sector central, para comprobar la

presencia de límites o heterogeneidades hidrogeológicas, de manera que ayudasen a la correcta calibración del modelo.

12. Bibliografía

- BRU RONDA, Concepción (1993). La sobreexplotación de acuíferos y los planes de ordenación hidráulica en la cuenca del río Vinalopó. Alicante. Investigaciones Geográficas nº 11, 1993, Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante, Pp. 93-108.
- CARM (1989). Plan General de Ordenación de los recursos hidráulicos de la Zona 1 (Jumilla-Yecla)
- CHJ (1989). Plan General de Ordenación del acuífero de Jumilla-Villena. Estudio de actualización de la explotación, inventario de puntos de agua y propuesta de ordenación de las extracciones del acuífero de Jumilla-Villena.
- CORRAL LLEDÓ, María del Mar; MURILLO DÍAZ, José Manuel; RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, Luis (2004). Caracterización del funcionamiento de la unidad hidrogeológica de Serral-Salinas (Alicante). *VIII Simposio de Hidrogeología*, pp. 53-62. Zaragoza, España.
- CRESPO Blanc, Ana; Campos, Juan (2001). Structure and kinematics of the South Iberian paleomargin and its relationship with the Flysch Trough units: extensional tectonics within the Gibraltar Arc fold-and-thrust belt (western Betics). *Journal of Structural Geology*, nº23, pp. 1615-1630.
- CUSTODIO E. Y LLAMAS M.R. (1983) Hidrología Subterránea. Ed. Omega, Barcelona. 2 Vols, pp 1-2350
- DE HERIZ, José R. (1918); Memoria sobre las aguas del heredamiento principal de Yecla. Ayuntamiento de Yecla.
- DE MARSILY, G. (1986): "QUANTITATIVE HYDROGEOLOGY. GROUNDWATER HYDROLOGY FOR ENGINEERS". ACADEMIC PRESS, 440 PP.
- DE LA TORRE SÁNCHEZ, María Luisa; GRANDE GIL, José Antonio; SANCHIS MOLL, Emilio; MARTINEZ SILVESTRE, Juan Bautista ; ROMERO MACÍAS, Emilio ; GARRIDO MORILLO, Ramón ; GONZALEZ MARTINEZ, Arsenio (1995). Incidencia medioambiental de una explotación de aguas salinas en el manantial de salinetes (Alicante). *VI Simposio de Hidrogeología*, pp.385-399. Sevilla, España

- DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ALICANTE (DPA), 2005. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.
- DOBLAS M.; LOPEZ RUIZ J.; HOYOS M., MARTIN C., CEBRIA J.M. (1991) Late Cenozoic indentation/escape tectonics in the eastern Betic cordilleras and its consequences on the Iberian foreland. *Estudios Geol.*, 47: 193-205.
- Doherty, J. (1998). Visual PEST: Graphical Model Independent Parameter Estimation. Waterloo Hydrogeologic Inc.
- DGOH (1993). Delimitación y síntesis de características de las unidades hidrogeológicas intercuenas. Informe 2782 Servicio Geológico.
- DGOHCA-ITGE (1997). Catálogo de acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización. Unidad hidrogeológica: Jumilla-Villena (00.16).
- GUIMERÀ, J., S. JORDANA Y J.L. VEGA (2000). EVALUACIÓN Y PROSPECTIVA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS DEL TÉRMINO MUNICIPAL DE YECLA. AYUNTAMIENTO DE YECLA, 56PP.
- GÓMEZ J.J. & GOY, A. (1979). Las unidades litoestratigráficas del Jurásico medio y superior en facies carbonatadas del sector levantino de la Cordillera Ibérica. *Est. Geol.*, Vol 35, pp 569-598.
- GÓMEZ GÓMEZ, Juan de Dios; MURILLO DÍAZ, José Manuel; LÓPEZ GETA, Juan Antonio; RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, Luis (2004). Modelo de gestión conjunta en la comarca del medio Vinalopó (Alicante). *VIII Simposio de Hidrogeología*, pp. 521-530. Zaragoza, España.
- HARBAUGH, A.W., BANTA, E.R., HILL, M.C., AND McDONALD, M.G., 2000, MODFLOW–2000, THE U.S. GEOLOGICAL SURVEY MODULAR GROUND-WATER MODEL—USER GUIDE TO MODULARIZATION CONCEPTS AND THE GROUND-WATER FLOW PROCESS: U.S. GEOLOGICAL SURVEY OPEN-FILE REPORT 00–92, 121 P.
- HERRERA, C. (2001). CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DEL MACIZO DE BETANCURIA. FUERTEVENTURA, ARCHIPIÉLAGO DE CANARIAS. TESIS DOCTORAL.
- IGME (1982). Las aguas subterráneas de la provincia de Alicante. Diputación de Alicante.

- IGME (López Geta, Juan Antonio; Fernández Ruiz, Loreto; Navarrete Martínez, Paloma; Ramos González, Gerardo; Peinado Parra, Tomás), Eptisa (Barba-Romero Muñoz, Joaquín; Rodríguez Hernández, Luis; Aragón Rueda, Ramón; Azcón González De Aguilar, Antonio; Casas Ruiz, Silverio; Domingo Herrero, Lorenzo; Bueno Bueno, Dionisio; Sobrino Fernández Del Moral, Julián; García Gómez, Javier; Obartí Segre, Javier; Garay Martín, Policarpo) (1989). Las Aguas Subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización. p. 206.
- INGEMISA (1998A). Revisión del abastecimiento a Yecla y Raspay. *Actualización de las características hidrogeológicas de la zona 1 (Jumilla-Yecla)*, documento nº 3. Región de Murcia, Dirección General del Agua.
- INGEMISA (1998B). Revisión del abastecimiento a las pedanías del sureste de Jumilla. *Actualización de las características hidrogeológicas de la zona 1 (Jumilla-Yecla)*, documento nº 4. Región de Murcia, Dirección General del Agua.
- INTECSA-INARSA (2003). Actualización de la explotación del acuífero Jumilla-Villena en la Región de Murcia. Diputación de Alicante, Departamento de Ciclo Hidrico.
- ITGE (1988). Perímetros de sobreexplotación en la Cuenca del Segura. Ref. 33171.
- ITGE (1989). Actualización de explotaciones en acuíferos de las cuencas del Segura y Vinalopó.
- ITGE (1992). Campaña de geofísica eléctrica (S.E.V.) en el área de Jumilla-Villena (Murcia-Albacete).
- ITGE (1993a). Investigación Eléctrica en Yecla-Villena.
- ITGE (1993b). Estudio de las reservas de los embalses subterráneos de la Unidad del Prebético de Murcia. Tomo 2, planos, Noviembre 1993
- ITGE (2005). Posibilidades de almacenamiento de las aguas del trasvase Júcar- Vinalopó en los embalses subterráneos provinciales mediante recarga artificial. Aplicación de un modelo matemático para simular la evolución de los recursos hídricos en el acuífero de Jumilla-Villena

- (Alicante) ante diferentes alternativas de gestión. Diputación de Alicante, Departamento de Ciclo Hídrico.
- MARTÍN CHIVELET, Javier; PHILIP, Jean ; TRONCHETTI, Guy (1990). Les Formations à Rudistes du Crétacé supérieur (Cénomanién moyen – Sénonién inférieur) du Domaine Prébétique (Sierra du Cuchillo, Région de Yecla, Espagne). *Géologie Méditerranéenne*, Tome XVII, n° 2, pp. 139-151.
- LAMBÁN, L. J. (1999). Estudio de la recarga y del funcionamiento hidrogeológico de la Unidad Anoia (Cordillera Prelitoral Catalana). Tesis doctoral.
- MAPA (2002). MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. PLAN NACIONAL DE REGADÍOS-HORIZONTE 2008.
- MOPTA (1992). MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES (BOE N. 249 DE 16/10/1992). ORDEN DE 24 DE SEPTIEMBRE DE 1992 POR LA QUE SE APRUEBAN LAS INSTRUCCIONES Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS PLANES HIDROLÓGICOS DE CUENCAS INTERCOMUNITARIAS.
- MARTÍN CHIVELET, Javier (1990). El Cretácico superior del Prebético externo en el norte de Yecla (Murcia). *Estudios Geológicos*, vol. 46 (1-2), pp.111-121. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- MARTÍN CHIVELET, Javier (1994). Litoestratigrafía de Cretácico superior del Altiplano de Jumilla-Yecla (Zona Prebética). *Cuadernos de Geología Ibérica*, n° 18, pp. 117-173. Editorial Complutense, Madrid.
- MARTÍN CHIVELET, Javier (1995). Sequence stratigraphy of mixed carbonate-siliciclastic platforms developed in a tectonically active setting, Upper Cretaceous, Betic Continental Margin (Spain). *Journal of Sedimentary Research*, Vol. B65, n°2, pp. 235-254.
- MARTÍN CHIVELET, Javier (1996). Late Cretaceous subsidence history of the Betic Continental Margin (Jumilla-Yecla region, SE Spain). *Tectonophysics*, n°265, pp. 191-211.
- MARTÍNEZ DEL OLMO, Wenceslao (2003). La Plataforma Cretácica del Prebético y su falta de continuidad por el Margen Sudibérico. *Journal of Iberian Geology*, n°29, pp.109-132. *Documento digital*

- RAMÍREZ DEL POZO, José; MARTÍN CHIVELET, Javier (1994). Bioestratigrafía y cronoestratigrafía del Conianense-Maastrichtien en el sector Prebético de Jumilla-Yecla (Murcia). *Cuadernos de Geología Ibérica*, nº 18, pp. 83-116. Editorial Complutense, Madrid.
- SAMPER, J. & GARCÍA VERA, M.A. (2004). VISUAL-BALAN, UN MODELO INTERACTIVO DE BALANCE HIDROLÓGICO: ESTADO ACTUAL Y DESARROLLOS FUTUROS. IN: VIII SIMPOSIO DE HIDROGEOLOGÍA, ZARAGOZA, 18-22 OCTUBRE 2004, .595-604.
- SOTO VENEGAS, José Manuel; MARTÍNEZ ARIAS, Alfredo; CASES MARTÍNEZ, Cayetano (2004A). Nuevas aportaciones al conocimiento de la unidad hidrogeológica N° 07.05 (Jumilla-Villena) de la cuenca del Segura. *VIII Simposio de Hidrogeología*, pp.205-213. Zaragoza, España.
- SOTO VENEGAS, José Manuel; MARTÍNEZ ARIAS, Alfredo; CASES MARTÍNEZ, Cayetano (2004B). Optimización de la explotación de recursos de agua subterránea en el abastecimiento de la localidad de Jumilla (Murcia). *VIII Simposio de Hidrogeología*, pp. 531-541. Zaragoza, España.
- VILAS, L. ; MARTÍN CHIVELET, J. ; Arias, C. ; GIMÉNEZ, R. ; RUÍZ ORTÍZ, P.A. ; CASTRO, J.M. ; MASSE, J.P. ; ESTÉVEZ, A. (1998). Field Trip Guidebook. 15th IAS International Congress of Sedimentology, Alicante, Spain.
- Visual MODFLOW v.4.1 User's Manual: For Professional applications in Three-Dimensional Groundwater Flow and Contaminant Transport Modeling. Waterloo Hydrogeologic Inc (2005).

Mapas geológicos y cartográficos:

- IGME (1979). Mapa geológico de España. E. 1/50 000, nº 869: Jumilla.
- IGME (1981). Mapa geológico de España. E. 1/50 000, nº 819: Caudete.
- IGME (1981). Mapa geológico de España. E. 1/50 000, nº 844: Ontur.
- IGME (1981). Mapa geológico de España. E. 1/50 000, nº 845: Yecla.
- IGME (1981). Mapa geológico de España. E. 1/50 000, nº 870: Pinoso.
- SERVICIO GEOGRÁFICO DEL EJÉRCITO (1995). Cartografía militar de España. Serie L, E. 1/50 000, nº 844: Ontur.

SERVICIO GEOGRÁFICO DEL EJÉRCITO (1995). Cartografía militar de España.

Serie L, E. 1/50 000, n° 870: Pinoso.

SERVICIO GEOGRÁFICO DEL EJÉRCITO (1996). Cartografía militar de España.

Serie L, E. 1/50 000, n° 869: Jumilla.

SERVICIO GEOGRÁFICO DEL EJÉRCITO (1996). Cartografía militar de España.

Serie L, E. 1/50 000, n° 845: Yecla.

Anejo 1: Inventario de puntos de agua.

Estudio del funcionamiento hidrogeológico y elaboración de un modelo numérico de flujo subterráneo en el acuífero Jumilla-Villena

No.	Punto Num.	Acuífero	Toponimia	X UTM	Y UTM	Inf. Niveles	Reg. Niv.	No. Med.	Inf. Extracc.	Reg. Extrac.	Inf. Quím.
1	263330008	Cingla-Cuchillo		650619	4277129	no		0	no		si
2	263340001	Cingla-Cuchillo		652862	4272957	no		0	no		si
3	263340002	Cingla-Cuchillo		656065	4273006	no		0	no		si
4	263340005	Cingla-Cuchillo	Pozo S. José	653548	4277305	si	5/87 a 6/99	57	no		no
5	263340006	Cingla-Cuchillo		654387	4275897	no		0	no		si
6	263340007	Cingla-Cuchillo		655415	4276189	no		0	no		si
7	263340009	Cingla-Cuchillo		652613	4279215	no		0	no		si
8	263340016	Cingla-Cuchillo		654064	4279203	no		0	no		si
9	263360057	Cingla-Cuchillo	Omblicas	642573	4263185	si	5/87 a 3/98	29	no		no
10	263360059	Cingla-Cuchillo	Sierra Fuente	643276	4263504	si	4/93 a 6/99	24	no		no
11	263370001	Cingla-Cuchillo	Casa Aragona	643578	4269782	si	5/87 a 6/99	45	no		no
12	263380010	Jum-Villena		657038	4269770	no			no		si
13	263380013	Cingla-Cuchillo	V. Morcillo	651340	4270493	si	5/87 a 6/99	55	no		no
14	263430083	Jum-Villena	Pozo Duero	645868	4261446	no		0	si	1985 a 2003	no
15	263440001	Jum-Villena	Ardal	651939	4259560	si	9/71 a 5/96	133	no		no
16	263440004	Jum-Villena	El Ardal 3	655611	4261287	si	5/96 a 2/98	2	si	1985 a 2003	no
17	263440006	Jum-Villena	Pozo Turia I	655468	4259050	si	9/71 a 12/80	55	si	1985 a 2002	no
18	263440007	Jum-Villena	Pozo Zahorra	655761	4259575	no		0	si	1985 a 2002	no
19	263440011	Jum-Villena	Pozo Ebro	653372	4258973	si	01-05-96	1	si	1985 a 2002	no
20	263440012	Jum-Villena	Pozo Segura	653557	4258884	si	01-07-03	1	si	1985 a 2003	no
21	263440054	Jum-Villena	Pozo Turia II	655831	4259200	si	4/81 a 2/98	31	si	1985 a 2003	no
22	263440057	Jum-Villena	Llobregat	657100	4259056	si	01-07-03	1	si	1999 a 2003	no
23	263440058	Jum-Villena	Pozo Guadaluquivir	656787	4258954	si	01-05-96	1	si	1987 a 2002	no
24	263440059	Jum-Villena	Los Bertziales	653465	4259243	si	8/94 a 7/03	3	si	1987 a 2003	no

Estudio del funcionamiento hidrogeológico y elaboración de un modelo numérico de flujo subterráneo en el acuífero Jumilla-Villena

No.	Punto Num.	Acuífero	Toponimia	X UTM	Y UTM	Inf. Niveles	Reg. Niv.	No. Med.	Inf. Extracc.	Reg. Extrac.	Inf. Quím.
25	263440062	Jum-Villena Cingla- Cuchillo	Pozo Arga	657403	4259318	si	01-07-03	1	si	1985 a 2003	no
26	273260005	Cingla- Cuchillo	Casa Cura	669834	4285012	si	6/87 a 11/94	28	no		no
27	273260006	Cingla- Cuchillo	S. Miguel	671182	4285566	si	11/94 a 3/97	13	no		no
28	273310001	Cingla- Cuchillo		661016	4272639	no		0	no		si
29	273310006	Cingla- Cuchillo	H. San Pacual	662410	4278810	si	3/87 a 6/96	20	no		no
30	273310009	Cingla- Cuchillo		662557	4277481	no		0	no		si
31	273310012	Cingla- Cuchillo		662198	4276409	no		0	no		si
32	273310013	Cingla- Cuchillo		662198	4276433	no		0	no		si
33	273310014	Cingla- Cuchillo		660861	4278145	no		0	no		si
34	273310027	Cingla- Cuchillo	J.R. Tomás	662401	4276731	si	10/88 a 6/99	49	no		si
35	273310040	Cingla- Cuchillo		662736	4280932	no		0	no		si
36	273310041	Cingla- Cuchillo		662585	4280833	no		0	no		si
37	273310046	Cingla- Cuchillo		661322	4279343	no		0	no		si
38	273310047	Cingla- Cuchillo		663249	4276374	no		0	no		si
39	273310058	Cingla- Cuchillo		661717	4278739	no		0	no		si
40	273320001	Jum-Villena	Pinar Casa Vellot	675510	4277420	si	9/71 a 6/99	128	si	1981 a 2002	si
41	273320003	Jum-Villena		670603	4280936	no		0	no		si
42	273320008	Jum-Villena	Las Balsillas	665264	4275687	no		0	si	1974 a 2003	si
43	273320009	Jum-Villena		668874	4278879	no		0	no		si
44	273320014	Jum-Villena		665743	4275402	no		0	no		si
45	273320019	Jum-Villena		665876	4273350	no		0	no		si
46	273320022	Jum-Villena		666576	4273344	no		0	no		si

Estudio del funcionamiento hidrogeológico y elaboración de un modelo numérico de flujo subterráneo en el acuífero Jumilla-Villena

No.	Punto Num.	Acuífero	Toponimia	X UTM	Y UTM	Inf. Niveles	Reg. Niv.	No. Med.	Inf. Extracc.	Reg. Extrac.	Inf. Quím.
47	273320023	Jum-Villena		666675	4273193	no		0	no		si
48	273320024	Jum-Villena		666123	4273047	no		0	no		si
49	273320025	Jum-Villena		667585	4273115	no		0	no		si
50	273320026	Jum-Villena		667322	4272787	no		0	no		si
51	273320027	Jum-Villena		666771	4272691	no		0	no		si
52	273320028	Jum-Villena		666371	4272695	no		0	no		si
53	273320030	Jum-Villena	Cañada mortero	665724	4275384	no		0	si	1981 a 2003	no
54	273320032	Jum-Villena	El Hoyo	667600	4274025	si	01-03-98	2	si	1999 a 2003	no
55	273330001	Jum-Villena	QUEBRADAS N° 4	677060	4276051	si	3/71 a 7/88	14	no		no
56	273330002	Jum-Villena	ANTIGUO QUEBRADAS N° 2	677058	4276208	si	10/71 a 7/88	18	no		no
57	273330003	Jum-Villena	LAS MORATILLAS N° 3	675638	4276902	si	3/71 a 7/88	18	si	84,87,88	si
58	273330004	Jum-Villena	POZO FINCA EL CABEZO	678144	4277255	si	3/71 a 9/87	16	no		si
59	273330005	Jum-Villena	QUEBRADAS	675306	4276898	si	6/66 a 7/88	33	si	99 a 03	si
60	273330006	Jum-Villena	ZARICEJO N° 4	679120	4275231	si	01-03-71	1	no		si
61	273330007	Jum-Villena	ZARICEJO N° 12	679137	4275234	si	3/71 a 8/84	2	no		si
62	273330008	Jum-Villena	ZARICEJO N° 13	679162	4275237	si	01-03-71	1	no		si
63	273330009	Jum-Villena	PATOJO N° 1	675680	4277099	si	04/66 a 6/04	68+29	si	99 a 03	si
64	273330010	Jum-Villena	LA SERRATA	679074	4272863	si	7/71 a 9/87	5	no		no
65	273330011	Jum-Villena	RINCON DEL ESPINO	679086	4279401	si	3/71 a 9/74	2	no		si
66	273330015	Jum-Villena	FINCA CHACONERO	677808	4277792	si	3/71 a 6/74	2	si	84,87,88	si
67	273330016	Jum-Villena	FINCA BUENDIA	676806	4277300	si	6/74 a 7/88	4	no		no
68	273330017	Jum-Villena	QUEBRADAS PATOJOS N° 1	675711	4277092	si	8/81 a 11/85	2	si	87,88,89	si
69	273330018	Jum-Villena	PATOJO 2	675869	4277068	si	7/66 a 5/88	8	si	99 a 03	si
70	273330019	Jum-Villena	PATOJO 3	675935	4277014	si	6/66 a 6/03	2	no		no
71	273330020	Jum-Villena	PATOJO 4	676002	4276940	si	01-11-80	1	no		no
72	273330021	Jum-Villena	CASA PLAZA N° 2	673173	4276558	si	5/79 a 10/97	9	si	84	si
73	273330022	Jum-Villena	CASA PLAZA N° 7	673280	4275818	si	01-11-80	1	no		no
74	273330023	Jum-Villena	CAS PLAZA N° 5	673428	4276278	si	6/79 a 9/87	52	si	88	no
75	273330024	Jum-Villena	POZO QUEBRADAS	675819	4276431	si	11/80 a 9/87	3	si	84	no
76	273330025	Jum-Villena	QUEBRADAS N° 3	676484	4276422	si	3/71 a 3/86	5	si	87	no

Estudio del funcionamiento hidrogeológico y elaboración de un modelo numérico de flujo subterráneo en el acuífero Jumilla-Villena

No.	Punto Num.	Acuífero	Toponimia	X UTM	Y UTM	Inf. Niveles	Reg. Niv.	No. Med.	Inf. Extracc.	Reg. Extrac.	Inf. Quím.
77	273330026	Jum-Villena	QUEBRADAS N° 2	676771	4276359	si	3/71 a 4/86	5	si	87	no
78	273330027	Jum-Villena	QUEBRADAS N° 1	677014	4276308	si	11/80 a 3/86	3	si	87	si
79	273330028	Jum-Villena	QUEBRADAS N° 5	676435	4276415	si	5/74 a 3/86	5	si	87	si
80	273330029	Jum-Villena	ESTRECHO PIPA	677197	4275867	si	12/74 a 5/88	7	no		no
81	273330030	Jum-Villena	ESTRECHO PIPA	677288	4275939	si	11/74 a 11/80	4	no		no
82	273330031	Jum-Villena	ESTRECHO PIPA	677389	4276021	si	12/74 a 11/80	2	no		no
83	273330034	Jum-Villena	EL COLLAO QUEBRADAS PATOJOS N° 5	679601	4273011	si	01-06-86	1	no		no
84	273330035	Jum-Villena		676115	4276578	si	9/84 a 1/85	2	si	87,88,89	no
85	273330036	Jum-Villena	LA CARÑARUELA	673703	4278421	si	01-09-84	1	si	88	si
86	273330037	Jum-Villena	QUEBRADAS-D	675336	4276901	si	01-04-88	1	si	87,88,89	si
87	273330038	Jum-Villena	Los Gazpachos	679400	4276600	si	1/89 a 6/05	164	no		no
88	273330039	Jum-Villena	LOMA GORDA	675680	4279970	si	01-05-90	1	no		no
89	273340001	Jum-Villena	EL ZARICEJO	680997	4274202	si	10/71 a 7/90	13	no		si
90	273340002	Jum-Villena	POZO N° 11	680101	4275282	si	10/71 a 6/74	12	no		si
91	273340003	Jum-Villena	SECTOR NUEVO 5	680565	4275842	si	3/71 a 10/81	14	no		si
92	273340004	Jum-Villena	LAS VIRTUDES	679977	4277513	si	10/71 a 10/89	26	no		no
93	273340005	Jum-Villena	ZARICEJO N° 7	680844	4274993	si	3/71 a 2/84	39	no		si
94	273340006	Jum-Villena	Santa Julia	680928	4273833	si	4/72 a 4/86	5	si	87	si
95	273340007	Jum-Villena	ZARICEJO N° 10	680703	4275235	si	3/71 a 6/74	2	si	87,88	si
96	273340008	Jum-Villena	ZARICEJO N° 1	680662	4276046	si	01-03-71	1	si	84,87,88	si
97	273340054	Jum-Villena	EL ZARICEJO	680679	4276050	si	01-07-90	1	no		no
98	273340055	Jum-Villena	LAS VIRTUDES	680284	4276866	si	01-06-86	1	no		no
99	273340056	Jum-Villena	LAS VIRTUDES	680521	4276730	si	01-06-74	1	no		si
100	273340057	Jum-Villena	ZARICEJO POZO N° 2	680708	4276158	si	3/71 a 6/86	6	si	84	si
101	273340059	Jum-Villena	SECTOR NUEVO N° 3	680644	4275825	si	3/71 a 5/88	3	no		si
102	273340060	Jum-Villena	SECTOR NUEVO N° 4	680785	4275599	si	3/71 a 5/88	4	si	87	si
103	273340061	Jum-Villena	SECTOR NUEVO N° 1	680839	4275596	si	3/71 a 5/88	5	si	87	no
104	273340064	Jum-Villena	CASA CANALES	681007	4275195	si	01-06-74	1	no		si

Estudio del funcionamiento hidrogeológico y elaboración de un modelo numérico de flujo subterráneo en el acuífero Jumilla-Villena

No.	Punto Num.	Acuífero	Toponimia	X UTM	Y UTM	Inf. Niveles	Reg. Niv.	No. Med.	Inf. Extracc.	Reg. Extrac.	Inf. Quím.
105	27334-0065	Jum-Villena	SAN FEDERICO	680913	4275236	si	3/71 a 5/88	7	si	87	no
106	27334-0067	Jum-Villena	POZO N° 1	680927	4274858	no		0	no		si
107	27334-0069	Jum-Villena	POZO SAN JUAN	681028	4275229	si	01-03-71	1	no		si
108	27334-0070	Jum-Villena	ZARICEJO N° 8	680768	4274874	si	3/71 a 6/86	2	si	84,87,87	si
109	27334-0071	Jum-Villena	ZARICEJO N° 9	680914	4274879	si	3/71 a 12/90	23	si	84,87,88	si
110	27334-0072	Jum-Villena	ZARICEJO N° 4	680949	4274884	si	3/71 a 11/80	3	si	88	si
111	27334-0073	Jum-Villena	POZO N° 3	680946	4274838	si	3/71 a 3/86	5	no		no
112	27334-0074	Jum-Villena	ZARICEJO N° 6	680917	4274841	si	6/74 a 5/00	2	no		si
113	27334-0075	Jum-Villena	SAN FRANCISCO	680314	4274789	no		0	no		si
114	27334-0076	Jum-Villena	SAN FRANCISCO	680311	4274630	si	6/74 a 5/00	6	no		no
115	27334-0077	Jum-Villena	CARRASCAS N° 3	680818	4274888	si	3/71 a 2/98	5	si	87	si
116	27334-0078	Jum-Villena	CARRASCAS N° 4	680805	4274832	si	3/71 a 12/90	19	si	87	no
117	27334-0079	Jum-Villena	CARRASCAS N° 1	680967	4274798	si	4/72 a 4/85	3	no		si
118	27334-0080	Jum-Villena	CARRASCA N° 2	681038	4274771	si	3/71 a 5/87	4	no		no
119	27334-0081	Jum-Villena	POZO DEL PATIO	681137	4273981	si	6/71 a 7/74	2	no		si
120	27334-0082	Jum-Villena	POZO SANTA JULIA	681098	4273820	no		0	no		si
121	27334-0089	Jum-Villena	POZO SOLANO	680696	4273916	si	7/84 a 5/00	5	no		no
122	273350001	Jum-Villena	Umbría de Pava	663979	4270290	si	9/71 a 6/99	104	si	1987 a 2003	si
123	273350002	Jum-Villena		663048	4270320	si	10/75 a 7/81	44	no		si
124	273350003	Jum-Villena	Casa D. Simón	665565	4265750	si	9/71 a 6/99	109	no		no
125	273350004	Jum-Villena		661161	4272038	no		0	no		si
126	273350005	Jum-Villena	Casa de Barbajo	663122	4271956	no		0	si	1999 a 2003	no
127	273350007	Jum-Villena		659353	4271302	no		0	no		si
128	273350008	Jum-Villena	Umbría de Pava	662861	4270129	si	5/96 a 2/98	3	si	1993 a 2003	si
129	273350009	Jum-Villena		665289	4269001	no		0	no		si
130	273350011	Jum-Villena		663684	4268614	no		0	no		si
131	273350012	Jum-Villena		665232	4268200	no		0	no		si
132	273350014	Jum-Villena		662577	4267872	no		0	no		si
133	273350015	Jum-Villena		664071	4266959	no		0	no		si
134	273350016	Jum-Villena		661973	4267377	no		0	no		si
135	273350017	Jum-Villena		661866	4266577	no		0	no		si

Estudio del funcionamiento hidrogeológico y elaboración de un modelo numérico de flujo subterráneo en el acuífero Jumilla-Villena

No.	Punto Num.	Acuífero	Toponimia	X UTM	Y UTM	Inf. Niveles	Reg. Niv.	No. Med.	Inf. Extracc.	Reg. Extrac.	Inf. Quím.
136	273350018	Jum-Villena		662065	4266591	no		0	no		si
137	273350020	Jum-Villena		665094	4266010	no		0	no		si
138	273350021	Jum-Villena		664640	4265673	no		0	no		si
139	273350023	Jum-Villena		664411	4265705	no		0	no		si
140	273350024	Jum-Villena		665210	4265608	no		0	no		si
141	273350025	Jum-Villena		660758	4265786	no		0	no		si
142	273350026	Jum-Villena		659552	4265195	no		0	no		si
143	273350027	Jum-Villena		660555	4265437	no		0	no		si
144	273350028	Jum-Villena		661357	4265531	no		0	no		si
145	273350031	Jum-Villena		662751	4264678	no		0	no		si
146	273350032	Jum-Villena		662929	4264417	no		0	no		si
147	273350033	Jum-Villena		663162	4264755	no		0	no		si
148	273350034	Jum-Villena		663263	4264914	no		0	no		si
149	273350035	Jum-Villena		662984	4265007	no		0	no		si
150	273350037	Jum-Villena		663598	4265492	no		0	no		si
151	273350038	Jum-Villena		662135	4264023	no		0	no		si
152	273350042	Jum-Villena		660990	4263582	no		0	no		si
153	273350046	Jum-Villena		660794	4264134	no		0	no		si
154	273350051	Jum-Villena		662322	4263751	no		0	no		si
155	273350052	Jum-Villena		659742	4263923	no		0	no		si
156	273350054	Jum-Villena		659640	4263743	no		0	no		si
157	273350055	Jum-Villena		659937	4263341	no		0	no		si
158	273350056	Jum-Villena	Las Gamellejas	662056	4263184	si	2/97 a 7/03	3	si	1987 a 2003	no
159	273350057	Jum-Villena	El Boalaje	664402	4270954	no		0	si	1999 a 2003	no
160	273360004	Jum-Villena		667218	4272287	no		0	no		si
161	273360005	Jum-Villena		666465	4271993	no		0	no		si
162	273360006	Jum-Villena		667466	4272035	no		0	no		si
163	273360011	Jum-Villena		666051	4270345	no		0	no		si
164	273360013	Jum-Villena		671914	4271397	no		0	no		si
165	273360018	Jum-Villena	Fina El Mojón	671585	4269444	si	5/96 a 2/98	3	si	1987a 2002	si
166	273360019	Jum-Villena		670764	4267874	no		0	no		si

Estudio del funcionamiento hidrogeológico y elaboración de un modelo numérico de flujo subterráneo en el acuífero Jumilla-Villena

No.	Punto Num.	Acuífero	Toponimia	X UTM	Y UTM	Inf. Niveles	Reg. Niv.	No. Med.	Inf. Extracc.	Reg. Extrac.	Inf. Quím.
167	273360021	Jum-Villena		669952	4267691	no		0	no		si
168	273360023	Jum-Villena		666604	4267088	no		0	no		si
169	273360030	Carche-Salinas	Hoya Mollidar	667759	4265177	si	6/87 a 12/90	14	no		no
170	273360032	Jum-Villena		667346	4263679	no		0	no		si
171	273360034	Jum-Villena	Los Cerricos	668589	4268572	no		0	si	1987 a 2002	no
172	273370001	Jum-Villena	TINTORERAS	677302	4271034	si	11/65 a 6/88	21	si	84,87,88+ 99 a 03	si
173	273370002	Jum-Villena	TINTORERAS N° 1	677325	4271032	si	11/74 a 10/84	33	si	84	si
174	273370003	Jum-Villena	LA SERRATA N° 2	679448	4272132	si	12/65 a 7/84	5	si	87,88	no
175	273370004	Jum-Villena	MONTE DE LOS SECOS	673523	4269343	si	10/80 a 10/81	3	no		no
176	273370008	Jum-Villena	CASA MOTA	676579	4271782	no		0	no		si
177	273370009	Jum-Villena	LA BOQUERA	679535	4272237	si	6/64 a 5/88	9	si	99 a 03	si
178	273370014	Jum-Villena	LA BOQUERA N° 1	679038	4272222	si	11/80 a 5/88	4	si	87,88	no
179	273370015	Jum-Villena	CASA LUNA	675131	4269452	si	6/74 a 10/97	119	si	84,87,88	si
180	273370017	Jum-Villena	SERRATA	679547	4272263	si	01-05-88	1	si	87,88+99 a 03	si
181	273380001	Jum-Villena	LA BOQUERA	680846	4272387	si	3/71 a 5/88	29	si	84,87,88	si
182	273380003	Carche-Salinas	Pozo Salinas	682458	4266554	si	2/87 a 1/99	44	no		no
183	273380005	Jum-Villena	LA BOQUERA	680414	4272137	si	7/73 a 3/85	6	si	87,88,98,99	si
184	273380006	Jum-Villena	CERRUCHON	679800	4272000	si	11/80 a 6/04	8	si	87,88 + 99 a 03	si
185	273380007	Jum-Villena	LA BOQUERA	679861	4271926	si	9/66 a 5/88	10	no		no
186	273380008	Jum-Villena	LA BOQUERA N° 5	680661	4272275	si	5/78 a 5/88	3	si	84,87,88	si
187	273380009	Jum-Villena	LA BOQUERA N° 1	680929	4272054	si	3/71 a 5/88	4	si	84,87,88	si
188	273380010	Jum-Villena	LA BOQUERA N° 2	680765	4271986	si	7/71 a 5/88	4	si	84,87,88	si
189	273380011	Jum-Villena	LA BOQUERA N° 3	680567	4272035	si	4/72 a 3/86	3	si	84,87,88	si
190	273380012	Jum-Villena	HONDO DE CARBONERAS	681784	4272689	si	01-03-86	1	no		no
191	273380013	Jum-Villena	HONDO DE CARBONERAS	682509	4272735	si	3/71 a 10/84	3	si	84,87,88	si
192	273380014	Jum-Villena	HONDO DE CARBONEAS	681948	4272290	si	9/74 a 10/84	2	si	84	si
193	273380026	Jum-Villena	LA BOQUERA	680238	4272024	si	8/64 a 6/03	115	no		si
194	273410004	Jum-Villena		665546	4260817	no		0	no		si

Estudio del funcionamiento hidrogeológico y elaboración de un modelo numérico de flujo subterráneo en el acuífero Jumilla-Villena

No.	Punto Num.	Acuífero	Toponimia	X UTM	Y UTM	Inf. Niveles	Reg. Niv.	No. Med.	Inf. Extracc.	Reg. Extrac.	Inf. Quím.
195	273410008	Jum-Villena		662764	4260340	no		0	no		si
196	273410009	Jum-Villena		662902	4258912	no		0	no		si
197	273420002	Carche-Salinas	Casa Castellano	668060	4258814	si	6/87 a 11/96	34	no		no
198	273420026	Jum-Villena		667132	4262004	no		0	no		si
199	273420038	Carche-Salinas	Casa Nata	671097	4257492	si	2/87 a 12/90	16	no		no
200	273420044	Carche-Salinas	Casa Paredón	669294	4257357	si	2/87 a 9/87	3	no		no
201	08.35.001	Jum-Villena		655100	4263300	no		0	no		si
202	08.35.007	Jum-Villena		680778	4275604	no		0	no		si
203	08.35.008	Jum-Villena		676560	4276363	no		0	no		si
204	08.42.001	Carche-Salinas		682138	4268054	si	12/04 a 06/05	7	no		si
205	08.42.003	Carche-Salinas		682312	4266713	si	10/93 a 2/00	13	no		si
206	08.42.004	Carche-Salinas		682177	4267870	si	6/96 a 9/96	2	no		si
207	08.42.005	Carche-Salinas		686143	4267051	si	11/84 a 10/93	3	no		no
208	08.42.006	Carche-Salinas		670966	4257526	si	10/93 a 2/00	14	no		no
209	08.42.007	Carche-Salinas		668942	4257899	si	5/00	1	no		no
210	08.42.008	Carche-Salinas		669247	4257496	si	10/93 a 10/98	10	no		si
211	08.42.010	Carche-Salinas		669364	4257354	no		0	no		si

Anejo 2: Perfiles geoeléctricos y mapas de isohipsas del acuífero Jumilla-Villena

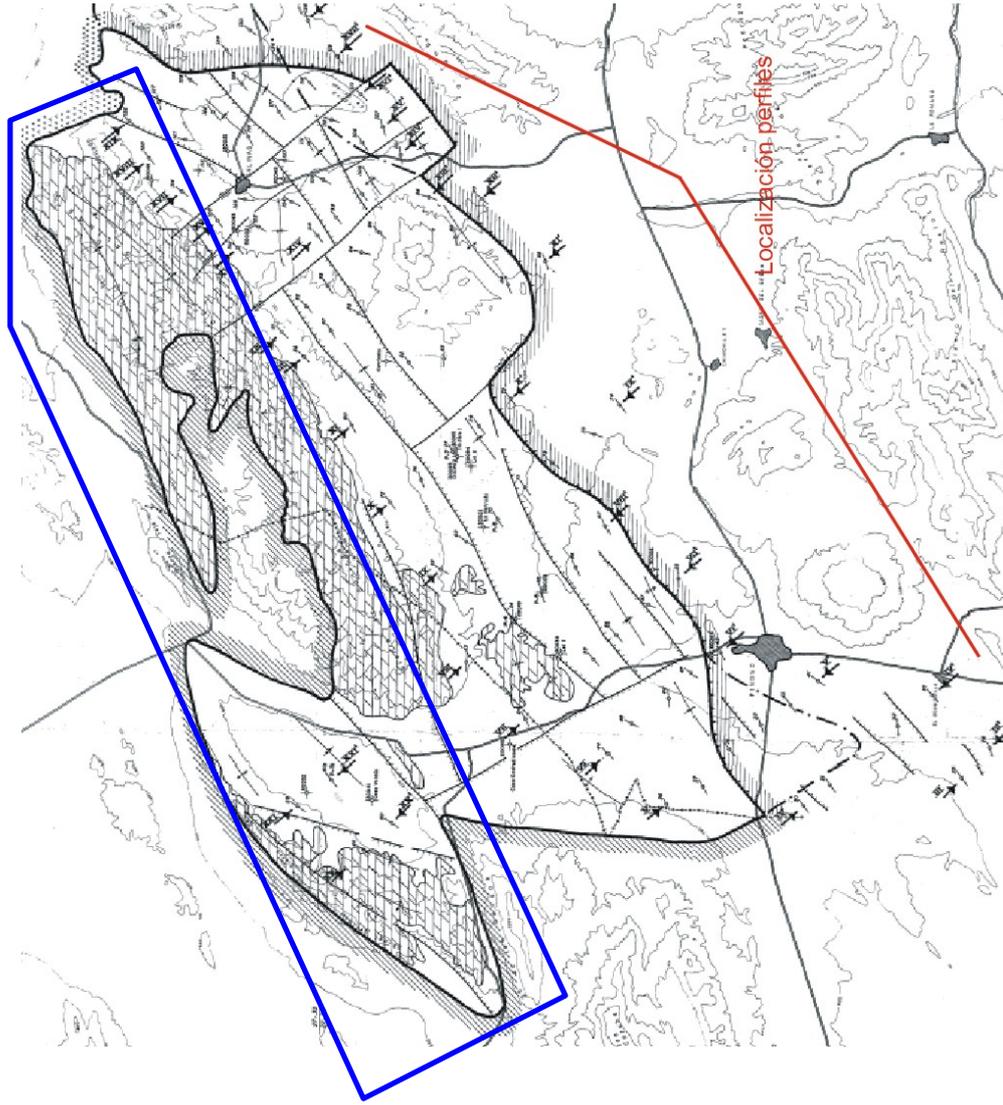


Figura A.2.2.-: Ubicación en planta de los perfiles geoelectricos verticales en el acuífero Carche-Salinas(ITGE, 1993b)

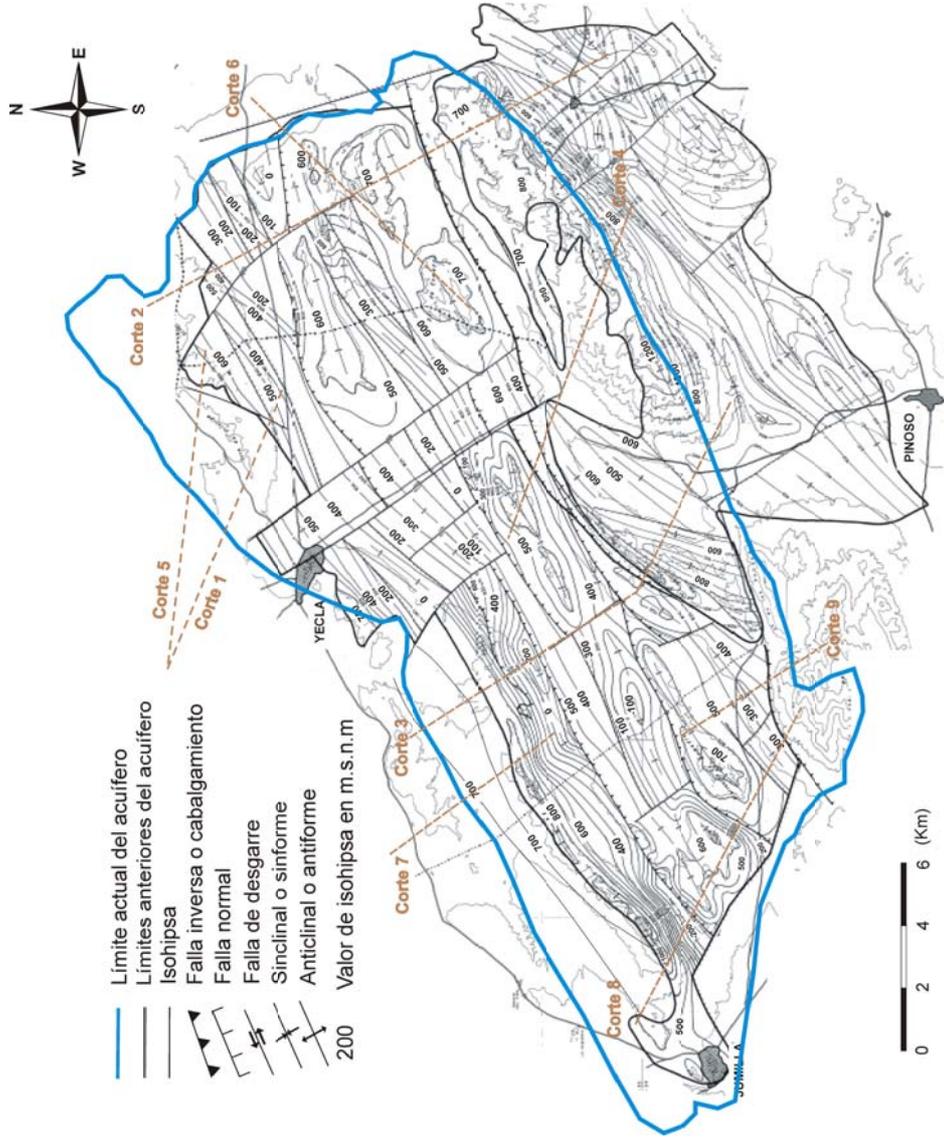


Figura A.2.3.-: Mapa de líneas isohipsas (m.s.n.m) para al techo del Cretácico. Las líneas de igual profundidad coinciden con el relieve en las zonas en las que el Cretácico sup. llega a aflorar, como en la Sierra del Buey o la Sierra de Enmedio(ITGE,1993b)

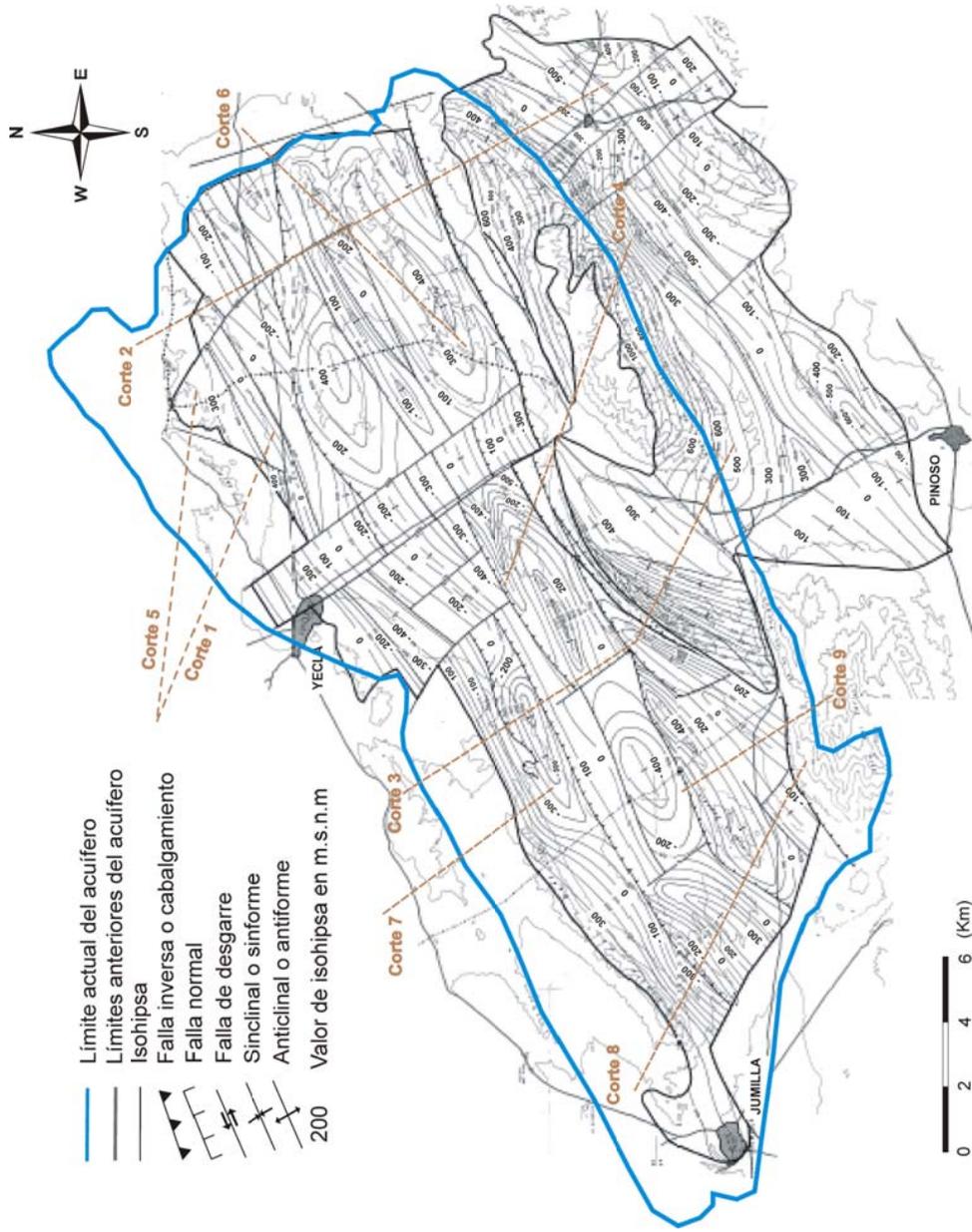


Figura A.2.4.-: Mapa de líneas isohipsas (m.s.n.m) de la base del Cretácico Inferior o techo del Jurásico Superior.

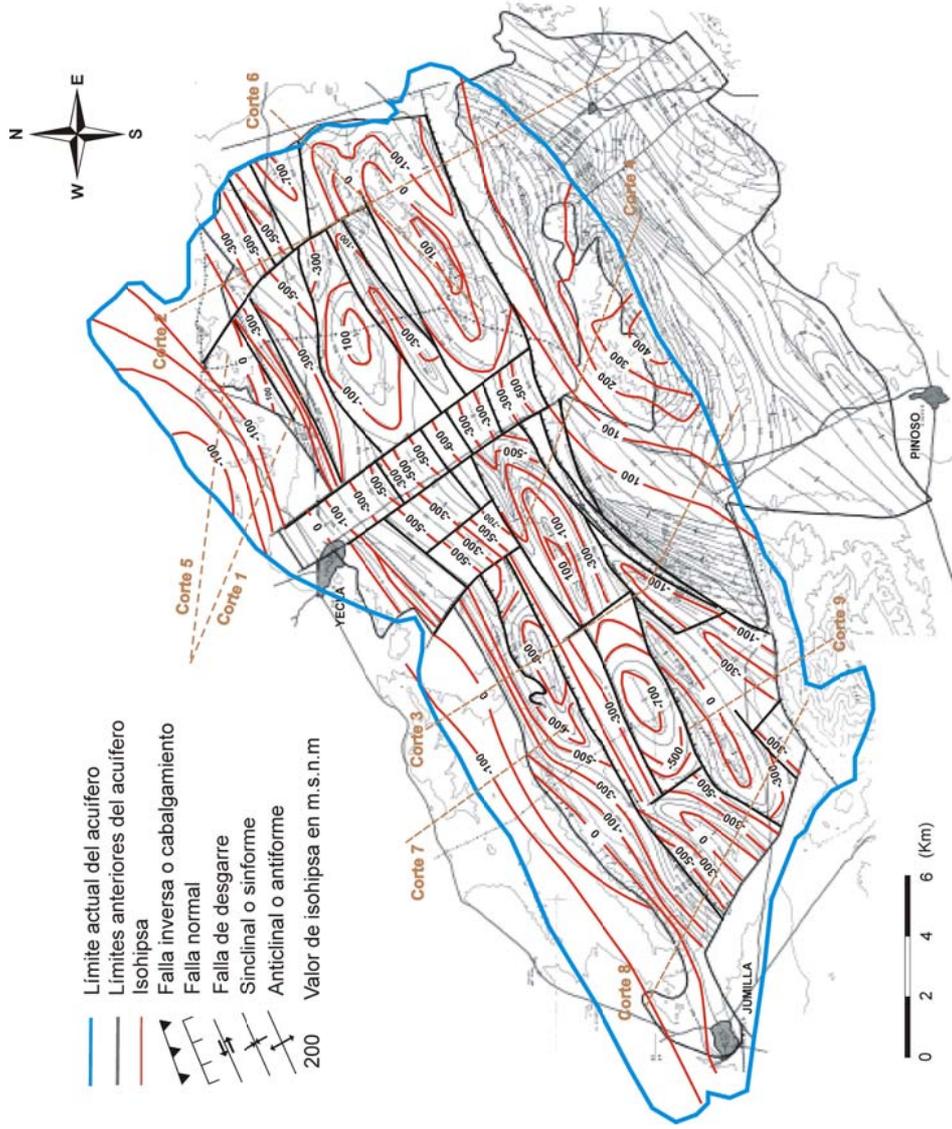


Figura A.2.5.-: Posición de la base del Jurásico (techo del Triásico superior, m.s.n.m.) obtenida por extrapolación de profundidades a partir de los mapas de isohipsas anteriores y de la interpretación de los cortes geológicos.

Anejo 3: Diagramas hidroquímicos.

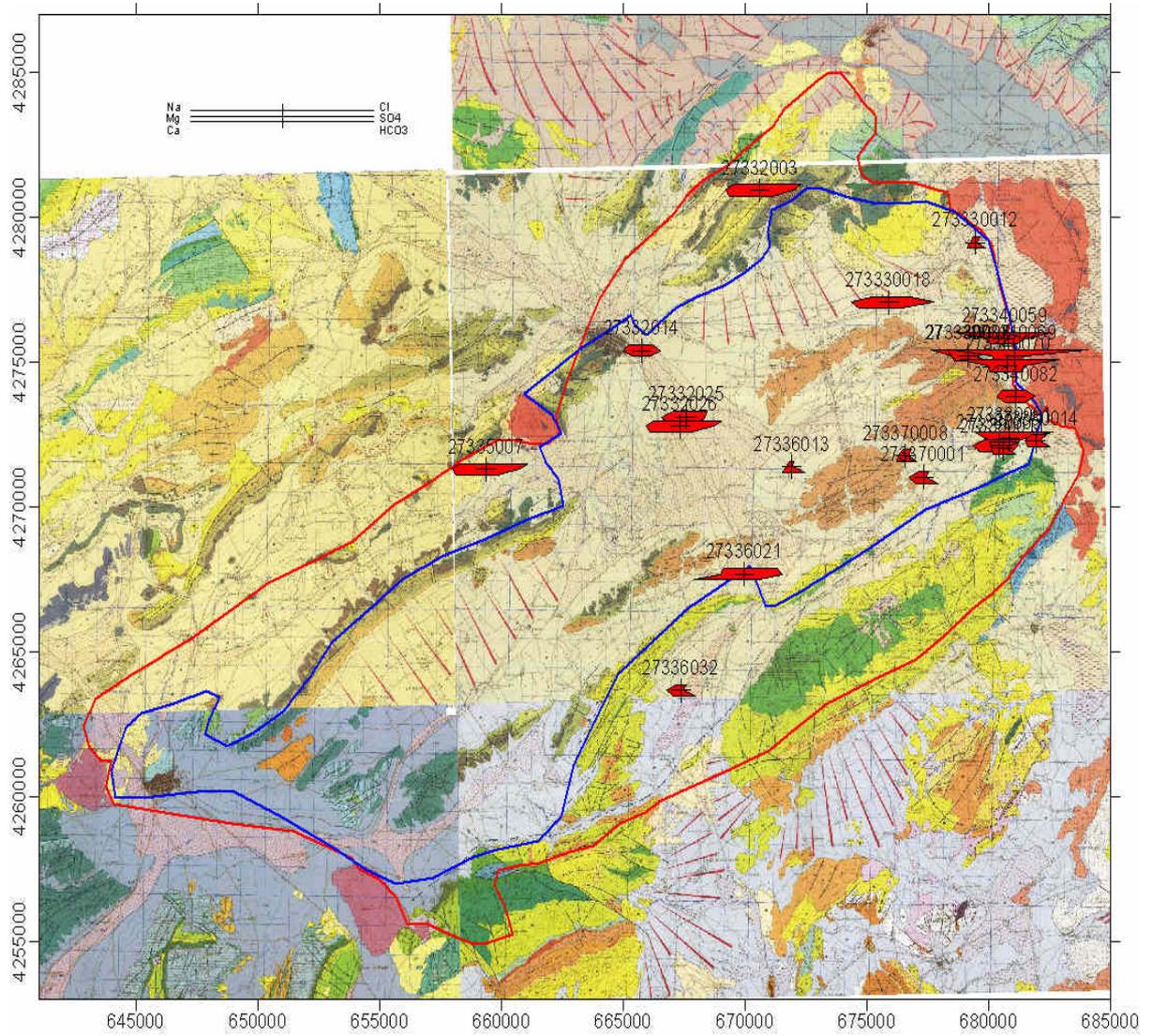


Figura A.3.1: Diagramas de Piper correspondientes al año 1972.

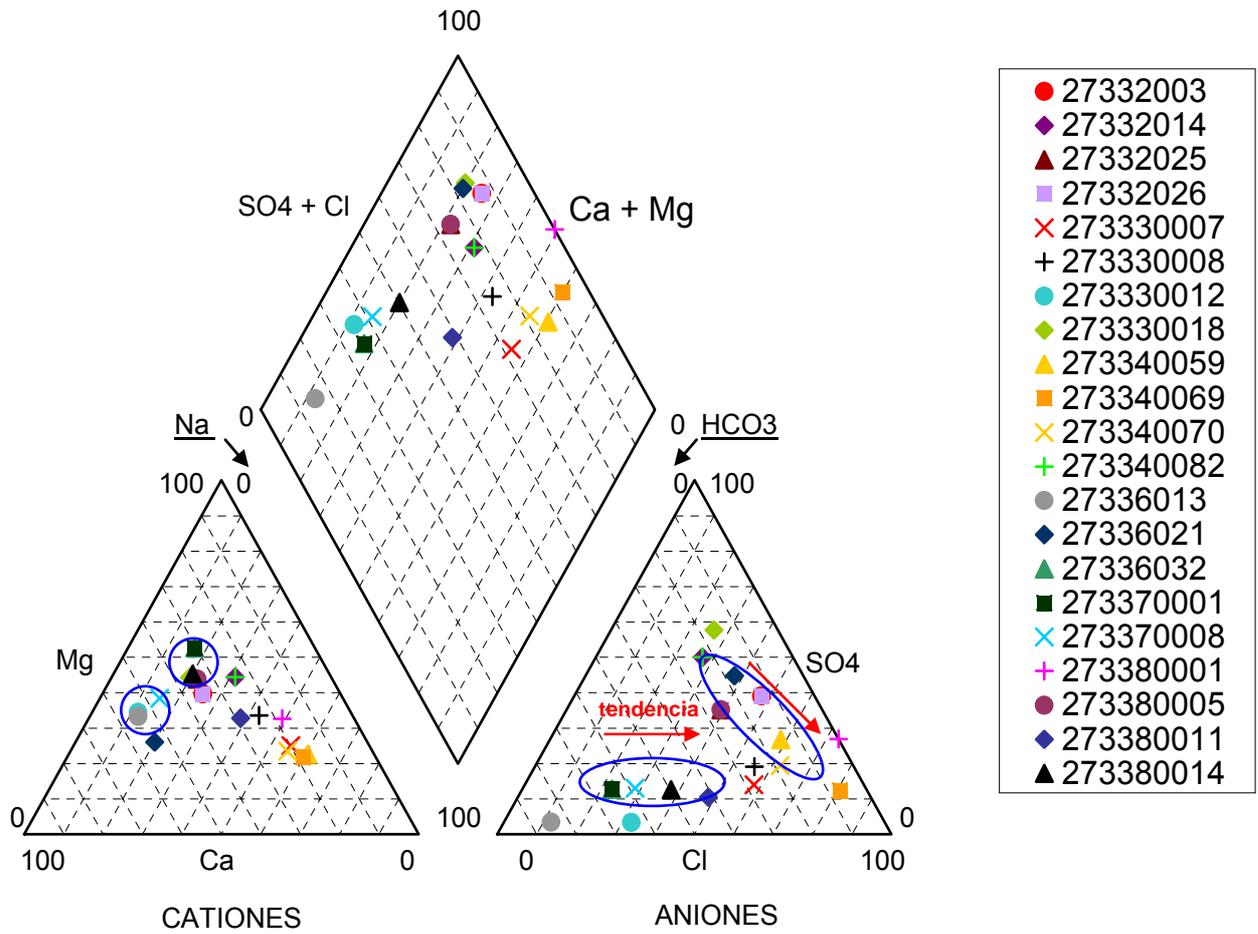


Figura A.3.2: Diagramas de Stiff correspondientes al año 1972.

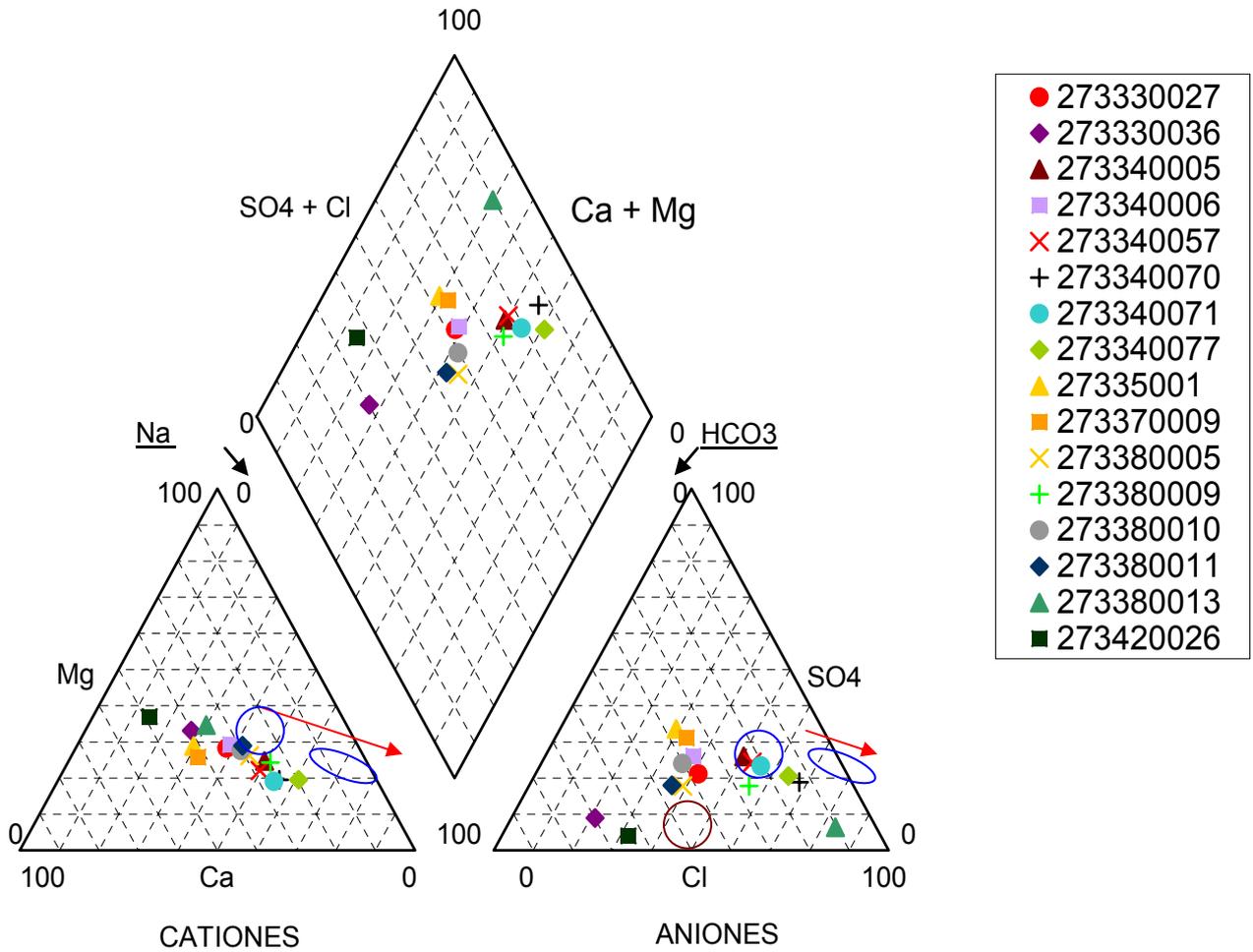


Figura A.3.3: Diagramas de Piper correspondientes al año 1984.

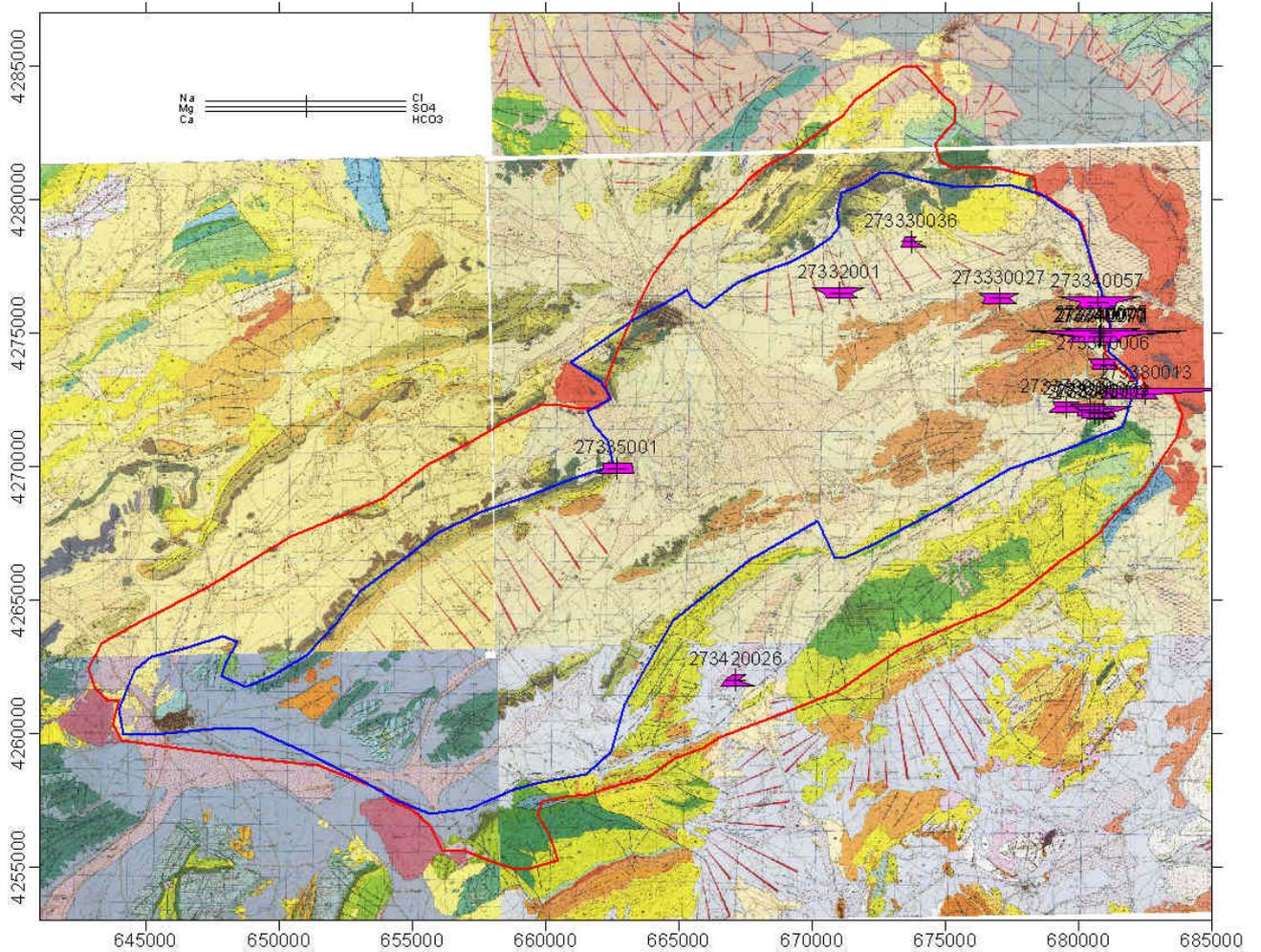


Figura A.3.4: Diagramas de Stiff correspondientes al año 1984.

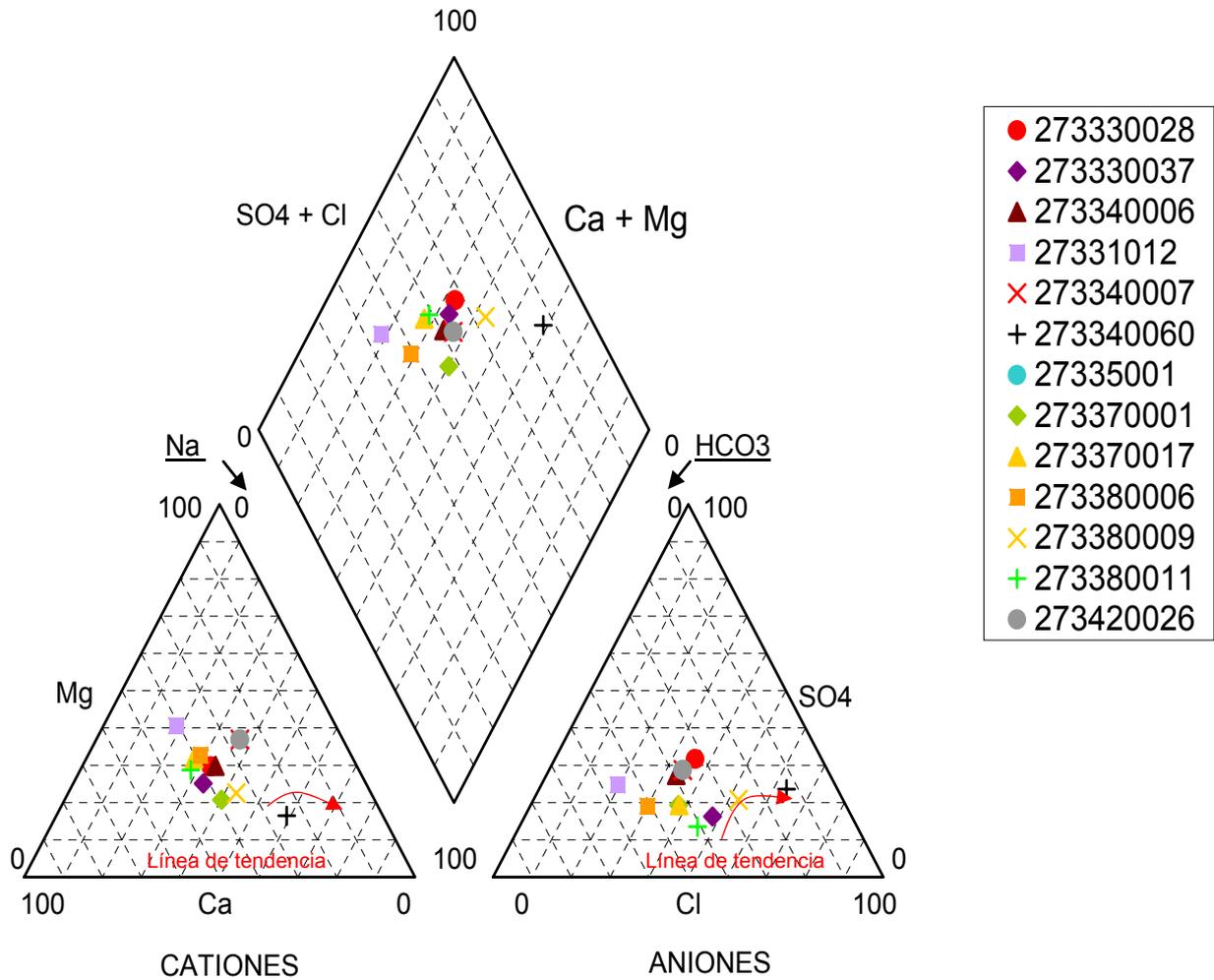


Figura A.3.5: Diagramas de Piper correspondientes al año 1988.

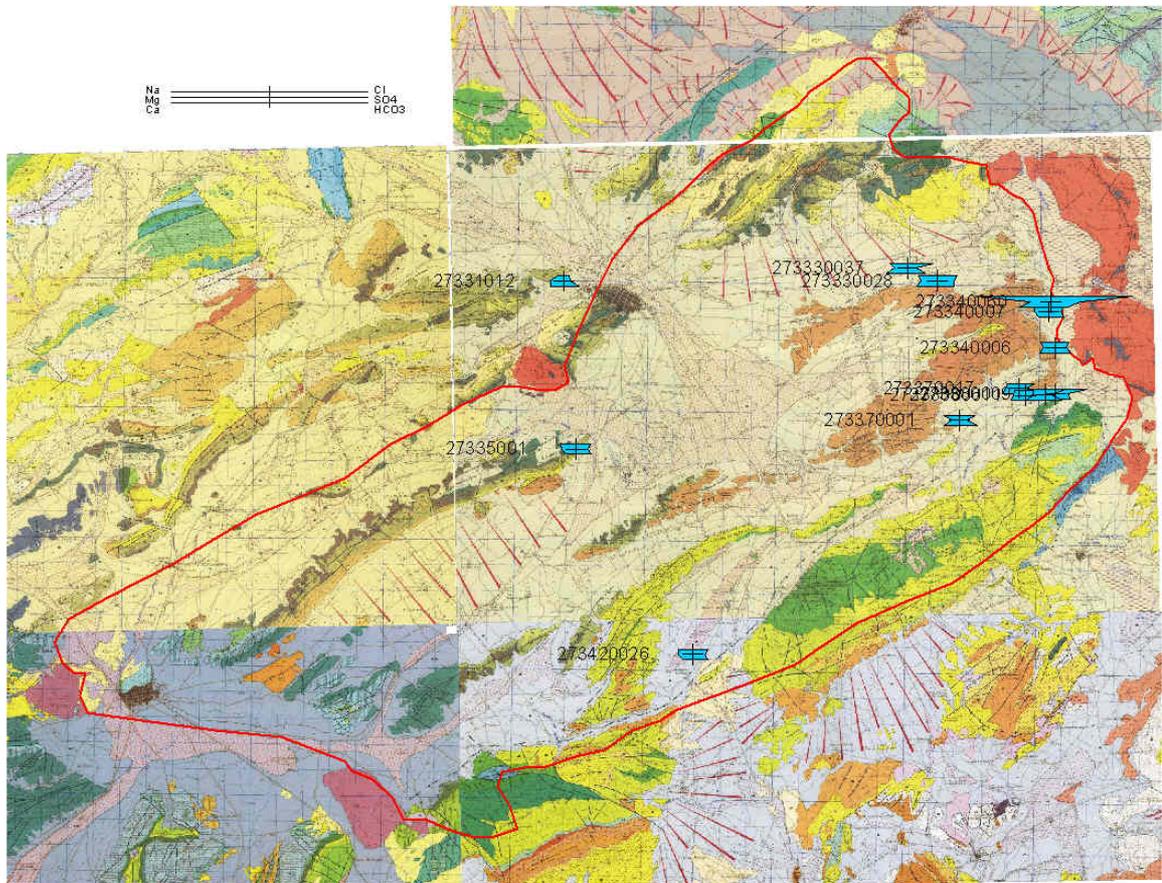


Figura A.3.6: Diagramas de Stiff correspondientes al año 1988.

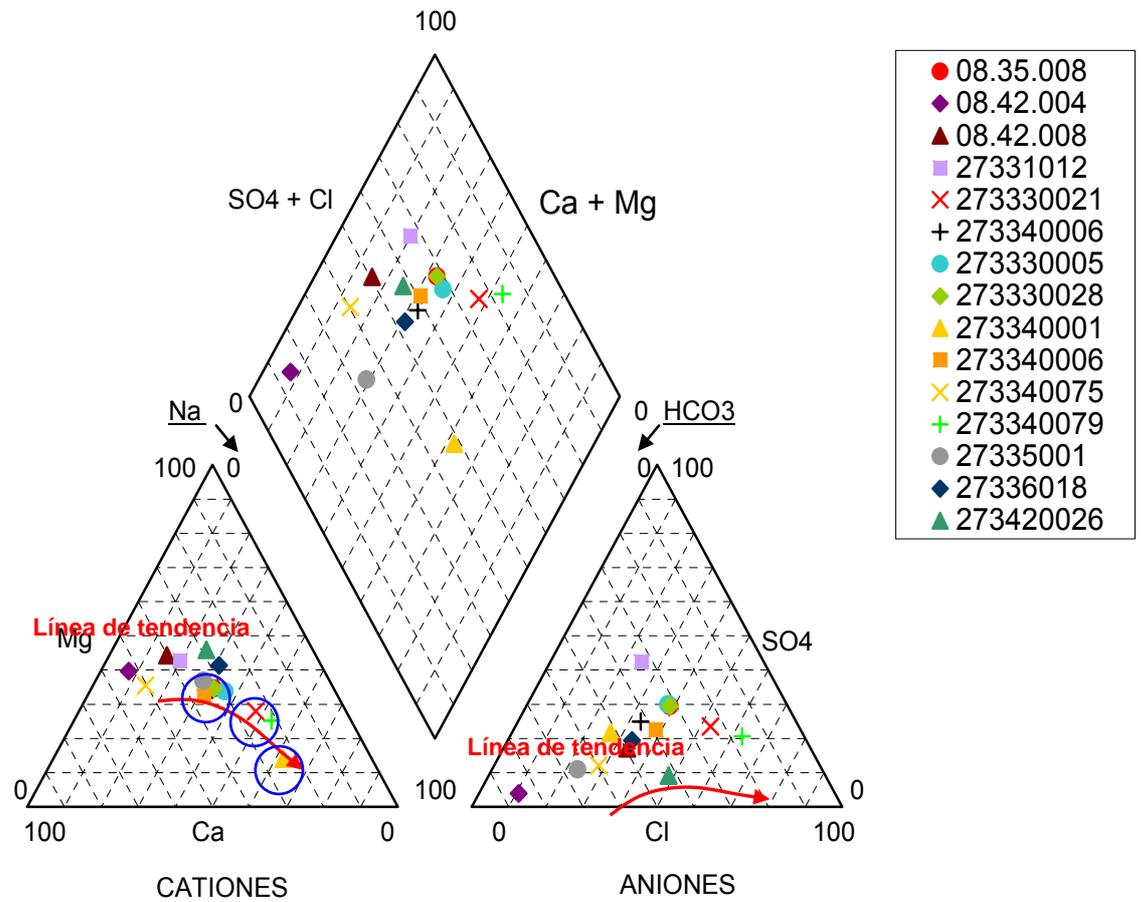


Figura A.3.7: Diagramas de Piper correspondientes al año 1996.

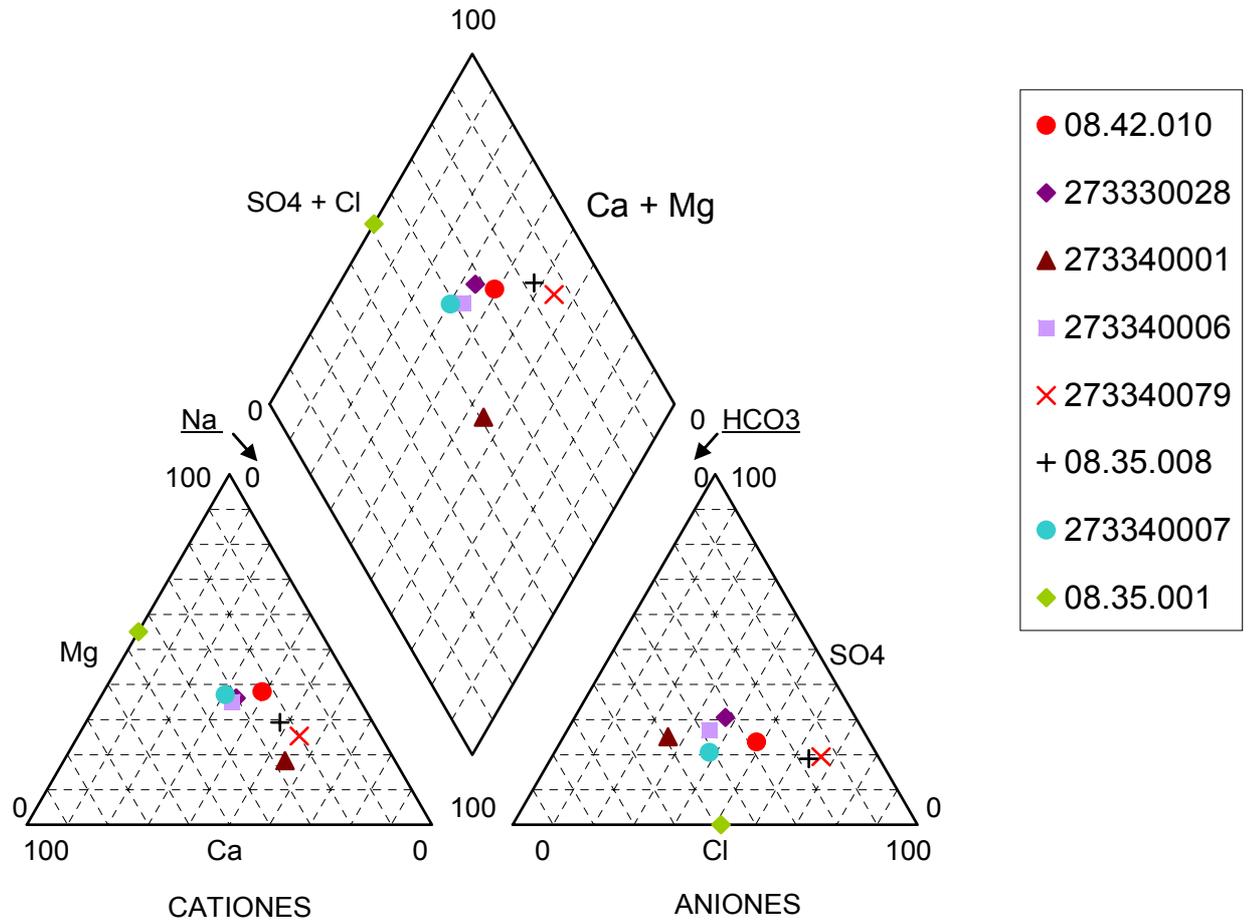


Figura A.3.9: Diagramas de Piper correspondientes a los años 2000-2002.

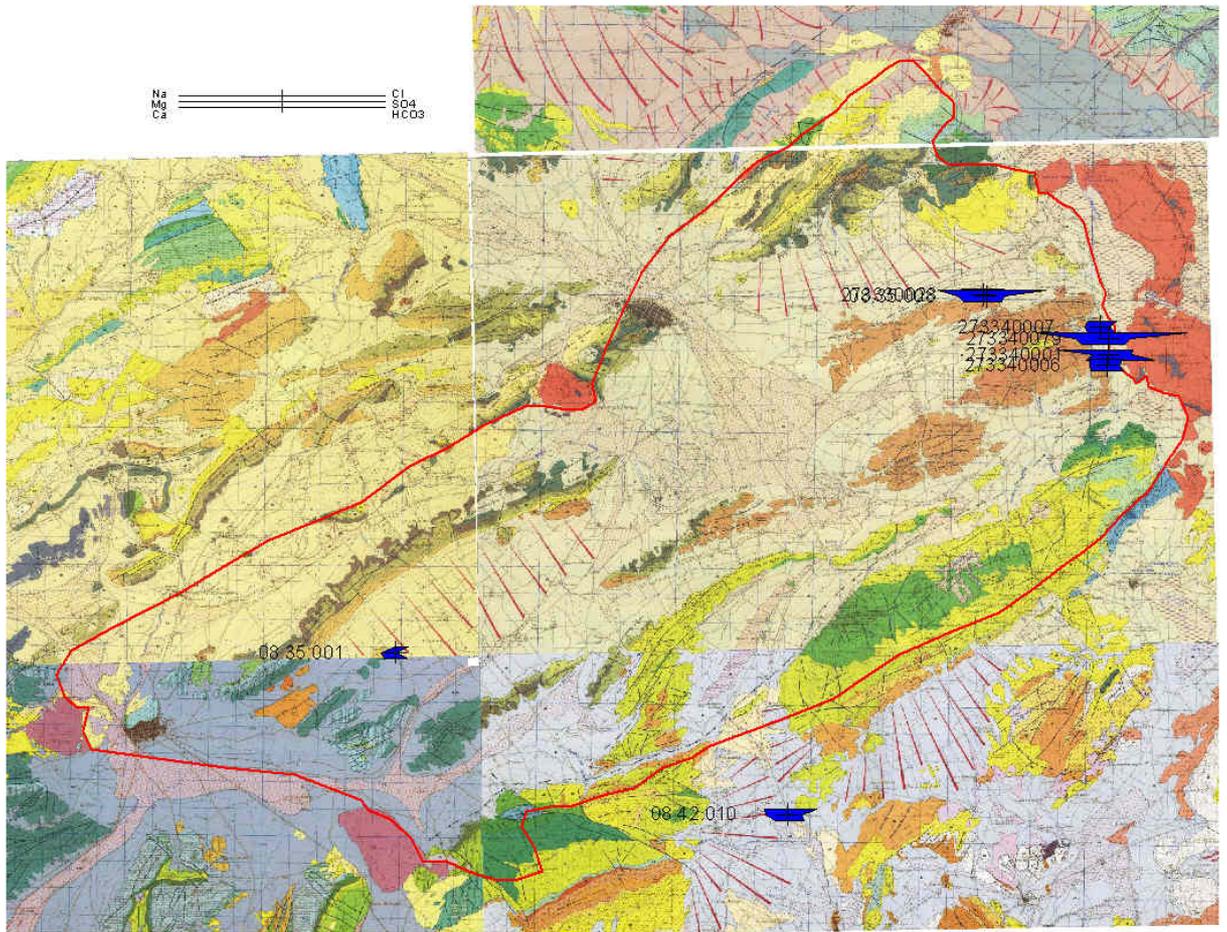


Figura A.3.10: Diagramas de Stiff correspondientes a los años 2000-2002.

Anejo 4: Resumen de las simulaciones realizadas durante el proceso de calibración del caso base. Guía para el seguimiento de los archivos de Visual MODFLOW

En este anejo se muestran a modo de resumen y soporte al informe, las versiones y simulaciones realizadas a lo largo del desarrollo del modelo sobre las que se tiene registro. Se pretende que sea además una guía en la que la Dirección de Proyecto pueda localizar con facilidad el objetivo buscado en una simulación concreta. La Figura A.4.1 muestra a modo de diagrama de flujo el proceso de desarrollo y calibración del modelo.

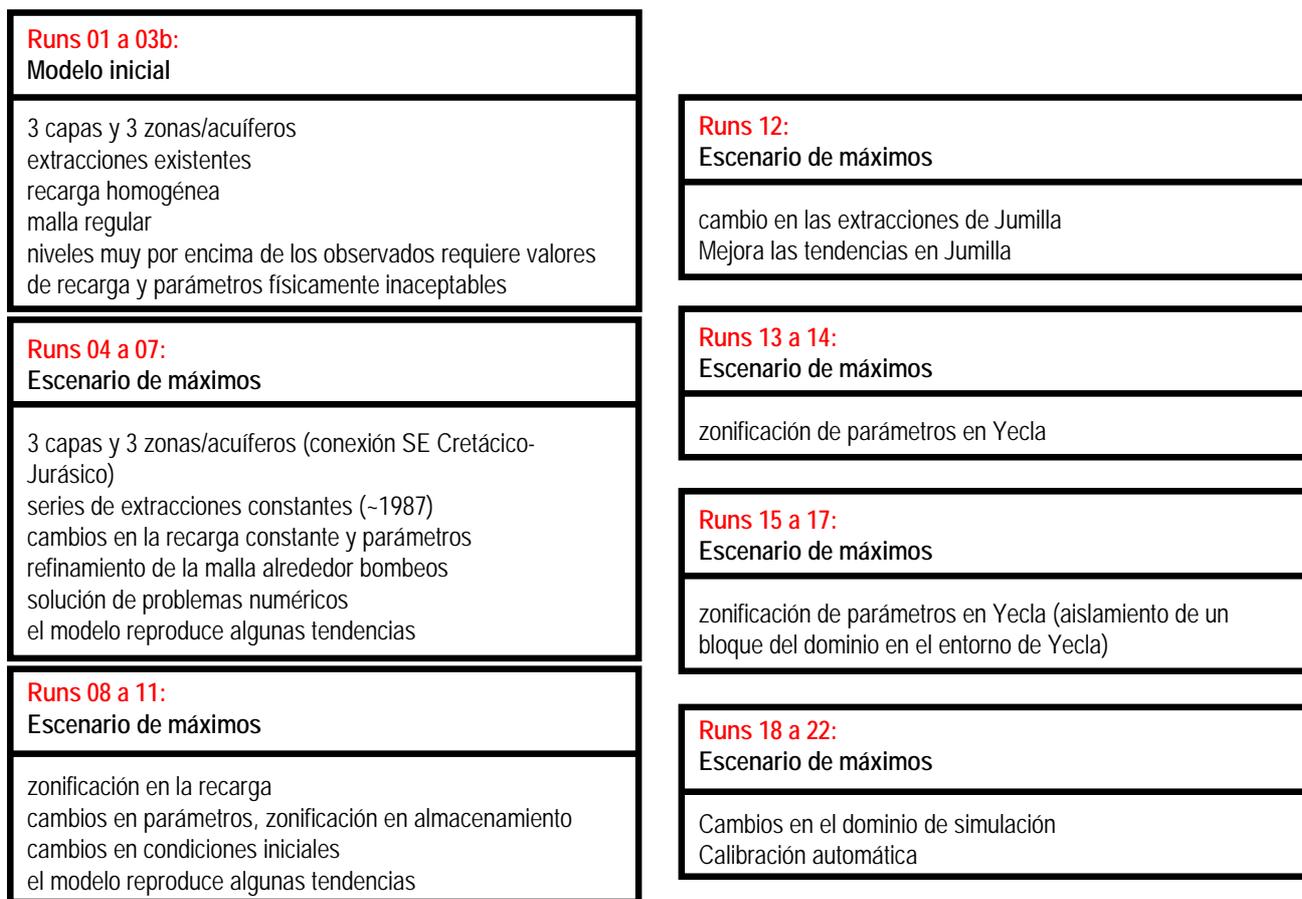


Figura A.4.1 Diagrama de flujo del proceso de desarrollo y calibración del caso base.

Anejo 5: Análisis de sensibilidad sobre Ss y K

Se presenta en este anejo el análisis de sensibilidad realizado sobre la conductividad hidráulica y sobre el coeficiente de almacenamiento. Dicho análisis de sensibilidad se ha enfocado principalmente a los parámetros del acuífero Cretácico, debido a que es del que mayor información se dispone.

Dado que ya conocemos del proceso de calibración que el modelo se ha mostrado más sensible al coeficiente de almacenamiento, las variaciones de este parámetro serán de $\frac{1}{2}$ orden de magnitud arriba y abajo mientras que en el caso de las conductividades dichos cambios serán hasta de 1 orden de magnitud. Se añaden los resultados obtenidos en los 3 puntos singulares definidos para cada una de las zonas del modelo. Además, se muestra una tabla de parámetros en la que los cambios de parámetros con respecto al caso base realizados en cada simulación quedan reflejados en amarillo.

Del análisis de sensibilidad realizado se puede concluir que el modelo es mucho más sensible a los cambios en los coeficientes de almacenamiento que a los cambios en la conductividad hidráulica. No obstante, el modelo también se ha mostrado un poco sensible, especialmente en la zona de Villena/Vinalopó, a la disminución en 1 orden de magnitud de las conductividades hidráulicas del acuífero jurásico (sens_08).

Tabla A.5.1 Valores de los parámetros en cada una de las simulaciones realizadas en el análisis de sensibilidad.

Caso base		zona	Kij (m/s)	Ss (conf)	Sy (no conf)
cretácico	Villena-Vinalopó		1x10 ⁻⁵	6x10 ⁻²	6x10 ⁻²
	Yecla		4x10 ⁻⁵	1.5x10 ⁻³	1.5x10 ⁻³
	Jumilla		5x10 ⁻⁵	8x10 ⁻³	8x10 ⁻³
base cretácico inferior			1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²
jurásico			5x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²

Sens_01		zona	Kij (m/s)	Ss (conf)	Sy (no conf)
cretácico	Villena-Vinalopó		1x10 ⁻⁴	6x10 ⁻²	6x10 ⁻²
	Yecla		4x10 ⁻⁴	1.5x10 ⁻³	1.5x10 ⁻³
	Jumilla		5x10 ⁻⁴	8x10 ⁻³	8x10 ⁻³
base cretácico inferior			1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²
jurásico			5x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²

Sens_02		zona	Kij (m/s)	Ss (conf)	Sy (no conf)
cretácico	Villena-Vinalopó		5x10 ⁻⁶	6x10 ⁻²	6x10 ⁻²
	Yecla		9x10 ⁻⁶	1.5x10 ⁻³	1.5x10 ⁻³
	Jumilla		1x10 ⁻⁵	8x10 ⁻³	8x10 ⁻³
base cretácico inferior			1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²
jurásico			5x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²

Sens_03		zona	Kij (m/s)	Ss (conf)	Sy (no conf)
cretácico	Villena-Vinalopó		1x10 ⁻⁵	6x10 ⁻²	6x10 ⁻²
	Yecla		4x10 ⁻⁵	1.5x10 ⁻³	1.5x10 ⁻³
	Jumilla		5x10 ⁻⁵	8x10 ⁻³	8x10 ⁻³
base cretácico inferior			1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²
jurásico			5x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²

Sens_04		zona	Kij (m/s)	Ss (conf)	Sy (no conf)
cretácico	Villena-Vinalopó		1x10 ⁻⁵	6x10 ⁻²	6x10 ⁻²
	Yecla		4x10 ⁻⁵	1.5x10 ⁻³	1.5x10 ⁻³
	Jumilla		5x10 ⁻⁵	8x10 ⁻³	8x10 ⁻³
base cretácico inferior			1x10 ⁻⁷	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²
jurásico			5x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²

Sens_05		zona	Kij (m/s)	Ss (conf)	Sy (no conf)
cretácico	Villena-Vinalopó		1x10 ⁻⁵	1.1x10 ⁻¹	1.1x10 ⁻¹
	Yecla		4x10 ⁻⁵	6.5x10 ⁻³	6.5x10 ⁻³
	Jumilla		5x10 ⁻⁵	1.3x10 ⁻²	1.3x10 ⁻²
base cretácico inferior			1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²
jurásico			5x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻²

Sens_06		zona	Kij (m/s)	Ss (conf)	Sy (no conf)
cretácico		Villena-Vinalopó	1x10-5	3x10-2	3x10-2
		Yecla	4x10-5	7.5x10-4	7.5x10-4
		Jumilla	5x10-5	3x10-3	3x10-3
		base cretácico inferior	1x10-6	1x10-5	1x10-2
		jurásico	5x10-5	1x10-5	1x10-2

Sens_07		zona	Kij (m/s)	Ss (conf)	Sy (no conf)
cretácico		Villena-Vinalopó	1x10-5	6x10-2	6x10-2
		Yecla	4x10-5	1.5x10-3	1.5x10-3
		Jumilla	5x10-5	8x10-3	8x10-3
		base cretácico inferior	1x10-6	1x10-5	1x10-2
		jurásico	5x10-6	1x10-5	1x10-2

Sens_08		zona	Kij (m/s)	Ss (conf)	Sy (no conf)
cretácico		Villena-Vinalopó	1x10-5	6x10-2	6x10-2
		Yecla	4x10-5	1.5x10-3	1.5x10-3
		Jumilla	5x10-5	8x10-3	8x10-3
		base cretácico inferior	1x10-6	1x10-5	1x10-2
		jurásico	5x10-5	1x10-5	5x10-3

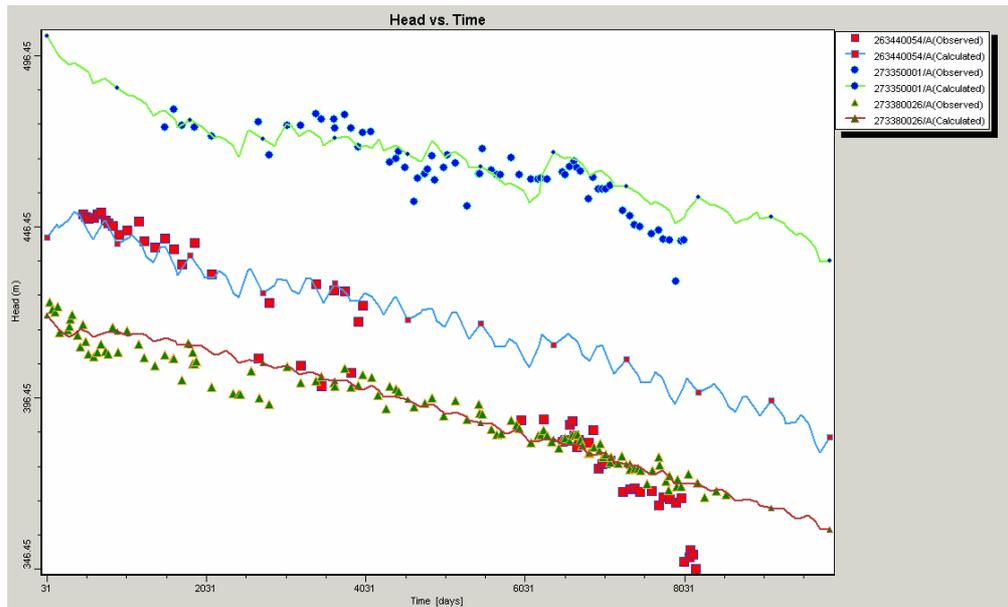


Figura A.5.1 Resultados obtenidos para el caso base en los 3 puntos singulares del dominio.

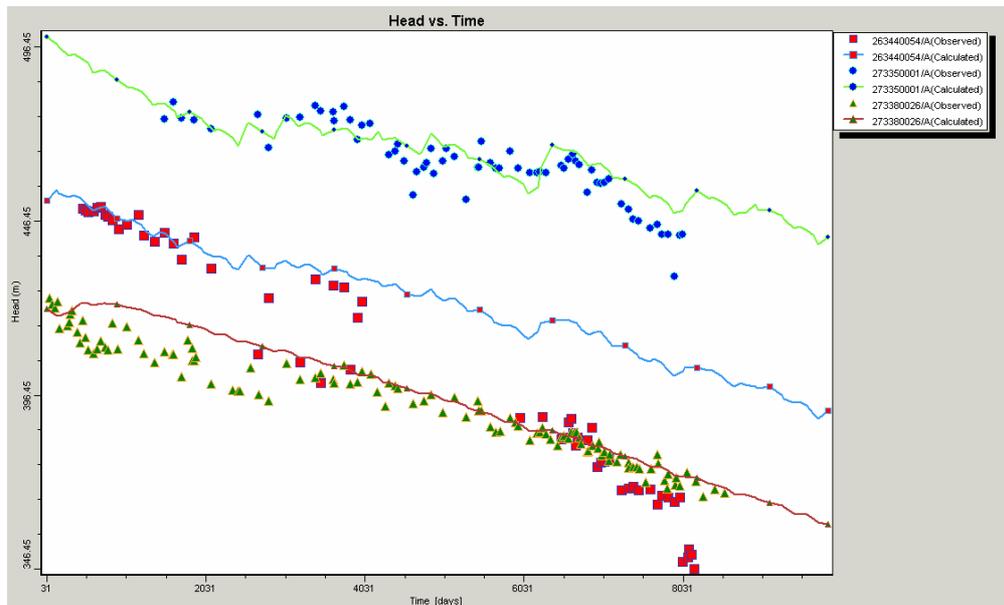


Figura A.5.2 Resultados obtenidos para el caso sens_01 en los 3 puntos singulares del dominio. Sensibilidad a la conductividad hidráulica del Cretácico (1 orden más).

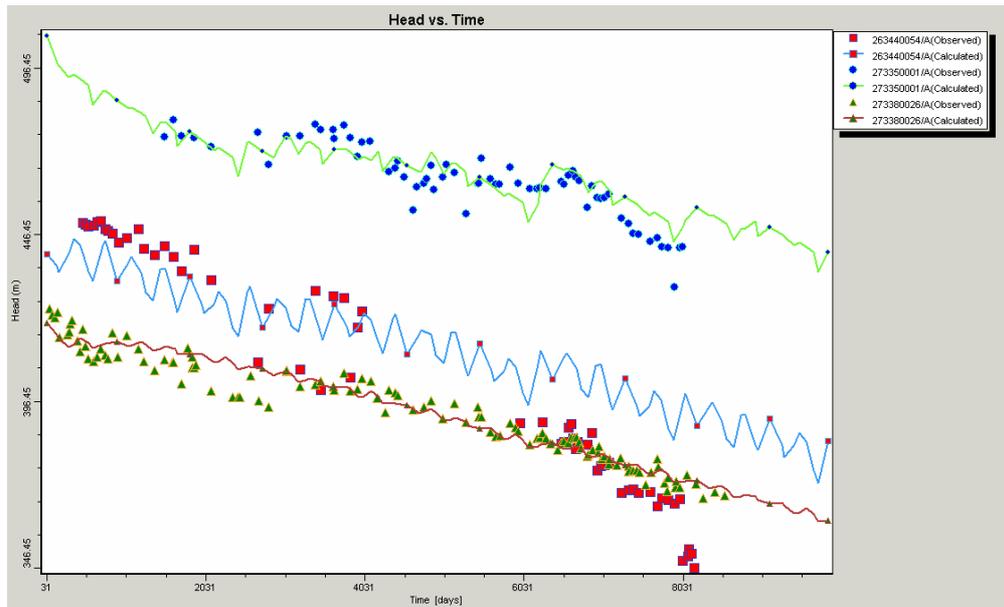


Figura A.5.3 Resultados obtenidos para el caso sens_02 en los 3 puntos singulares del dominio. Sensibilidad a la conductividad hidráulica del Cretácico (1/2 orden menos).

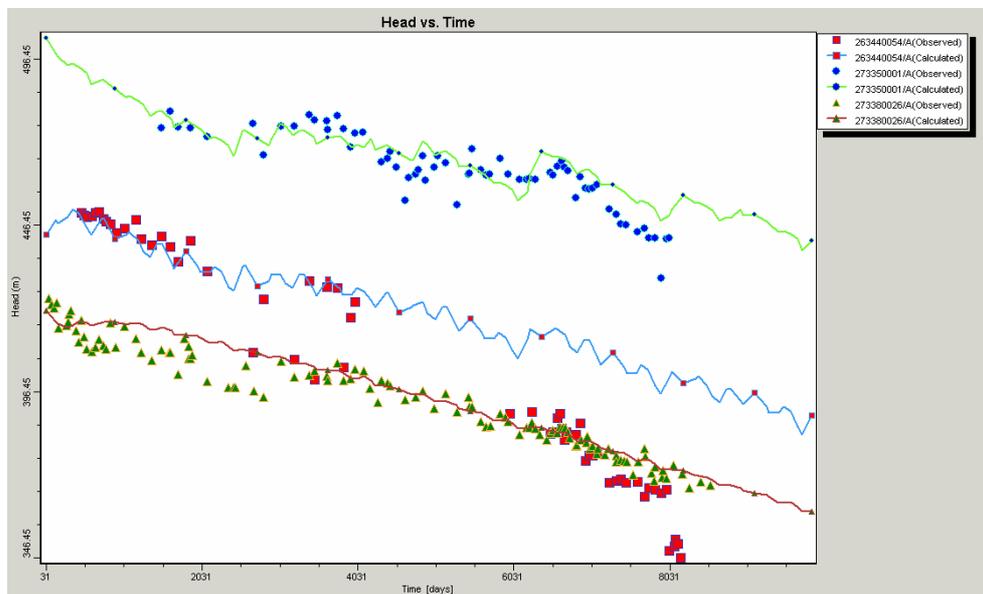


Figura A.5.4 Resultados obtenidos para el caso sens_03 en los 3 puntos singulares del dominio. Sensibilidad a la conductividad hidráulica del acuitardo (1 orden más).

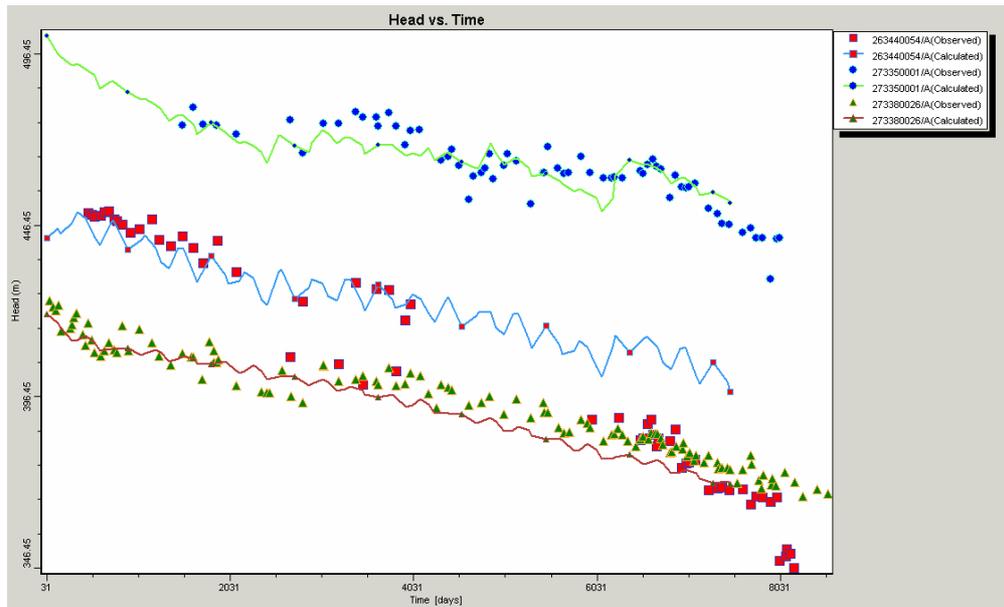


Figura A.5.5 Resultados obtenidos para el caso sens_04 en los 3 puntos singulares del dominio. Sensibilidad a la conductividad hidráulica del acuitardo (1 orden menos)

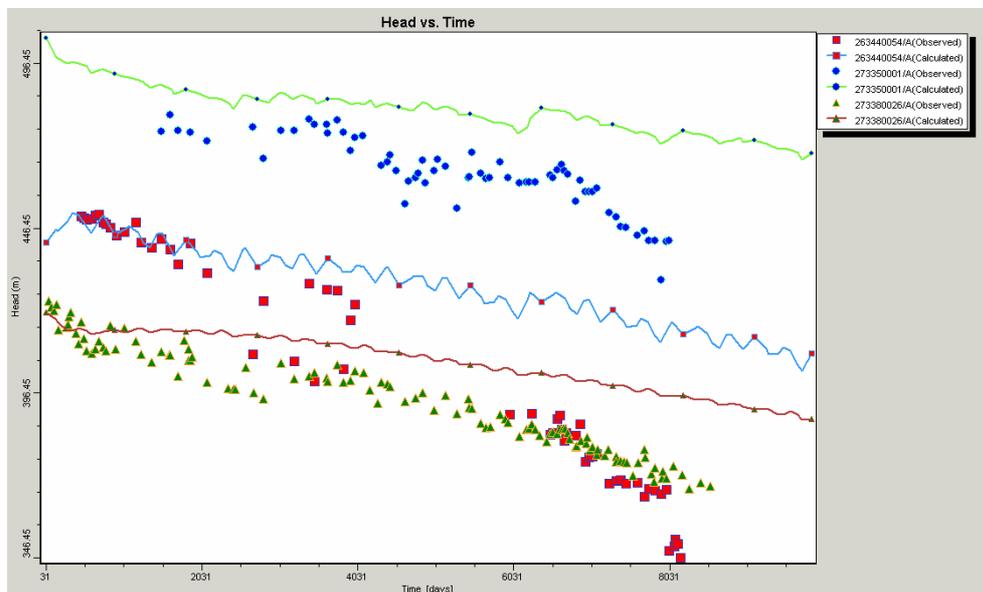


Figura A.5.6 Resultados obtenidos para el caso sens_05 en los 3 puntos singulares del dominio. Sensibilidad al coeficiente de almacenamiento del Cretácico (1/2 orden más).

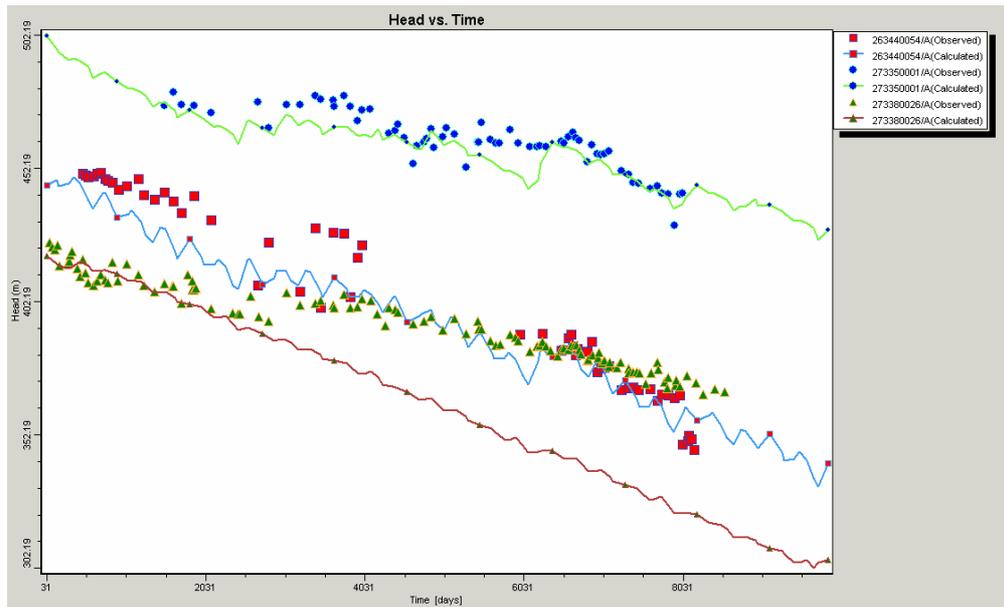


Figura A.5.7 Resultados obtenidos para el caso sens_06 en los 3 puntos singulares del dominio. Sensibilidad al coeficiente de almacenamiento del Cretácico (1/2 orden menos).

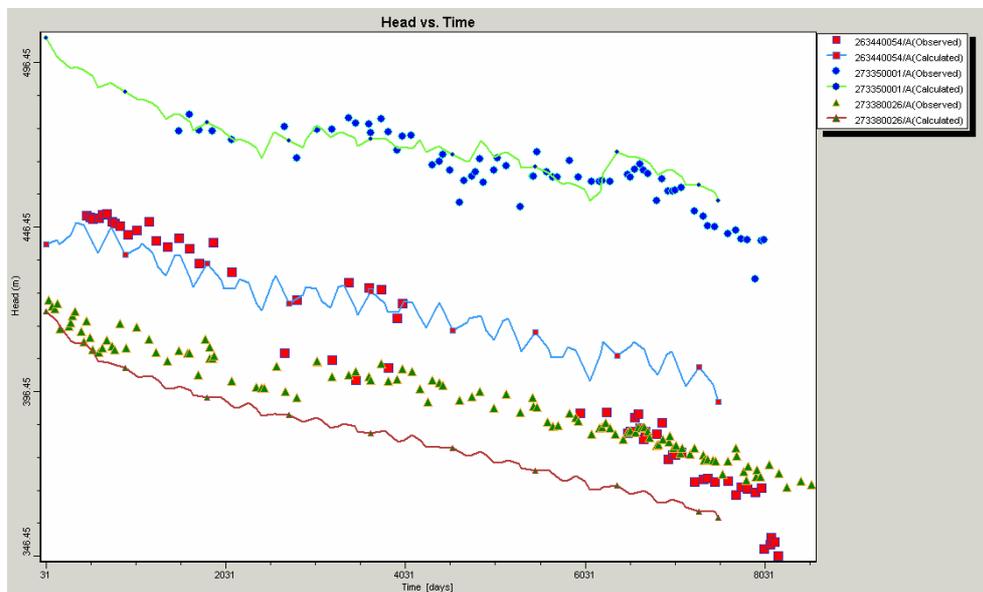


Figura A.5.8 Resultados obtenidos para el caso sens_07 en los 3 puntos singulares del dominio. Sensibilidad a la conductividad hidráulica del Jurásico (1 orden menos).

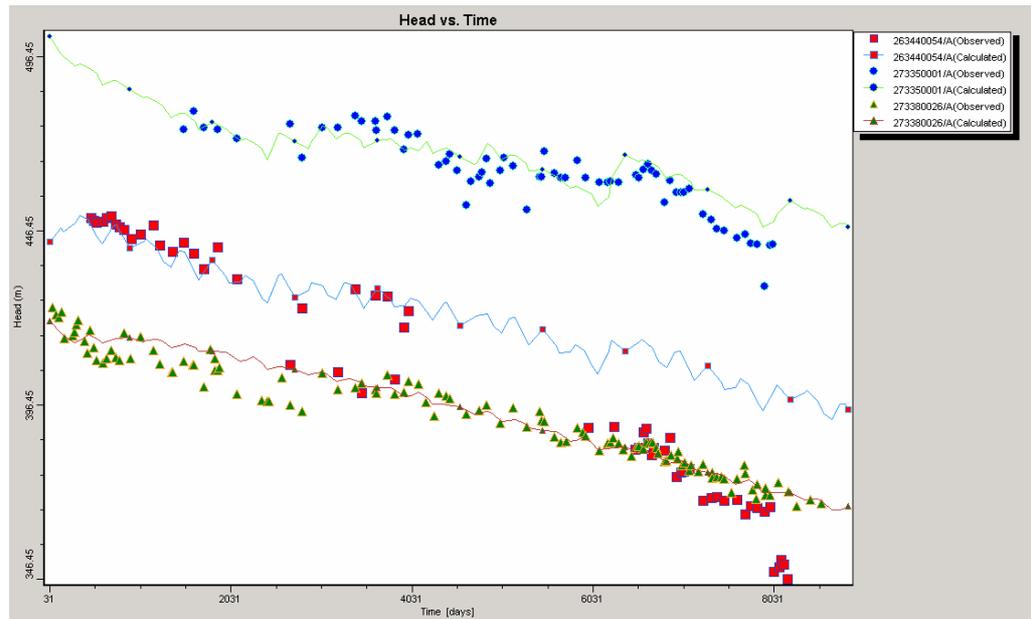


Figura A.5.9 Resultados obtenidos para el caso sens_08 en los 3 puntos singulares del dominio. Sensibilidad al coeficiente de almacenamiento del Jurásico (1/2 orden menos).

Anejo 6: Simulaciones de escenarios de explotación del modelo

En este anejo se presentan a modo de tabla (ver Tabla A.3.1) los escenarios simulados, las simulaciones principales se han descrito detalladamente en el informe, aquí además de estas se sintetizan el resto de simulaciones realizadas.

Además se incluye (ver Tabla A.6.2) la clasificación en grupos realizada para las extracciones de Alicante y que sirven para la simulación de los escenarios número 2.

Tabla A.6.1 Tabla resumen de los escenarios simulados

pasada	Escenario	Dominio	Tiempo de simulación	Series de extracciones	Puntos de observaciones	Observaciones
RUN_20	Caso base	tradicional	26 años	De máximos	Hasta 2003 en pocos puntos	
RUN_22	Caso base	Ampliado en el norte	26 años	De máximos	Hasta 2003 en pocos	
RUN_23	Escenario 1	Ampliado en el norte	56 años	De máximos	Hasta 2006	
RUN_24	Escenario 1	tradicional	56 años	De máximos	Hasta 2003 en pocos puntos	
RUN_25	Caso base	Ampliado en el norte	27 años	Reales en Villena. Resto igual	Hasta 2006	Caudales en Villena facilitados por la DPA. Chequeo de la extensión Norte del modelo con los pozos de Casa del Coronel
RUN_26	Caso base	tradicional	27 años	Reales en Villena. Resto igual	Hasta 2006	
RUN_27	Escenario 1	tradicional	56 años	Reales en Villena. Resto igual	Hasta 2006	
RUN_28	Escenario 2a	tradicional	56 años	Reales en Villena. Resto igual. Parando abastecimiento	Hasta 2006	A final del 2006 se paran las extracciones destinadas a abastecimiento
RUN_29	Escenario 2b	tradicional	56 años	Reales en Villena. Resto igual. Parando abastecimiento y reduciendo riego	Hasta 2006	Estabilización de niveles. Reducción de las extracciones en 5 años (2006-2010) hasta extraer el equivalente a la recarga (~6 Hm ³ /año)
RUN_30	Escenario 3	tradicional	56 años (43)	Reales en Villena. Resto igual. Parando abastecimiento	Hasta 2006	Bombeos en el Jurásico. En el área de Yecla y Villena (SE)

Tabla A.6.2 Tabla resumen de las extracciones en Alicante separadas por grupos en las que cada color se refiere al tipo de uso. En naranja uso privado, en amarillo tanto uso destinado a abastecimiento agrícola (70%) como agrario (30%) y en verde abastecimiento urbano (100%).

bombes_modelo	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	sept	oct	nov	dic	anual
273330003	0.0	0.0	0.0	549.9	609.6	1527.8	1171.7	0.0	44.7	832.8	252.4	0.0	4989.0
273330015	0.0	0.0	0.0	120.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	314.8	0.0	0.0	435.3
273330036	0.0	2759.0	0.0	8013.7	6415.5	4712.0	6272.4	7676.9	8272.7	4832.9	2221.6	0.0	51176.7
273340008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
273370003	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	139.0	181.9	122.0	155.2	125.3	3.1	0.0	726.5
273370015	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
273380013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
273380014	0.0	0.0	0.0	231.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	430.4	0.0	0.0	662.2
273330005	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
273330009	87.0	3.8	0.3	0.0	8.9	875.9	1727.5	2077.2	590.5	10.9	2.5	338.9	5723.5
273330017	0.0	0.0	7.9	331.2	2157.7	2941.7	2410.5	2717.0	2323.8	1465.5	87.4	11.9	14454.6
273330018	30.4	0.0	160.9	3515.7	3860.3	4517.5	2241.7	6044.2	3898.1	2571.5	1749.7	1347.5	29937.5
273330021	3153.5	2916.4	1679.0	1418.3	4864.7	2927.1	8848.1	8373.9	8603.7	9515.8	4342.4	806.4	57449.4
273330023	3385.3	2140.2	4035.8	10650.0	5801.0	7765.0	9195.4	9254.2	9959.3	6475.5	6535.4	852.8	76049.9
273330025	2652.2	4916.0	2967.4	9232.4	8933.8	8304.3	9209.4	7750.7	9648.7	8094.7	8761.8	6186.2	86657.6
273330026	4878.5	6124.8	3375.5	6067.4	4904.6	4109.4	0.0	0.0	2248.5	2373.8	3347.2	2102.2	39531.8
273330027	8152.9	6512.5	4472.4	7157.5	3408.3	4630.4	8487.7	7548.7	7925.0	6407.4	2790.0	1607.7	69100.7
273330028	8645.5	4778.5	6617.1	6599.9	7646.4	7500.6	8830.8	7883.5	9119.5	7673.1	8302.5	6469.0	90066.4
273330035	3919.4	5591.1	2893.3	396.2	0.0	1642.2	5370.0	4754.8	5543.5	4665.5	5049.8	3930.6	43756.4
273330037	0.0	0.0	194.7	1283.8	2572.1	3024.5	3515.8	3213.5	319.8	266.9	773.4	0.0	15164.6
273340006	1.5	0.0	0.7	0.7	1.0	0.0	3.6	3.4	41.2	1.0	0.0	0.0	53.0
273340007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
273340060	1776.8	1085.0	1773.0	2256.3	1172.7	2019.9	1663.5	1381.7	1665.6	1671.8	1807.1	1386.1	19659.5
273340061	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
273340065	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
273340070	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
273340071	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
273340077	4174.8	4931.5	2741.5	1445.9	3142.6	4274.5	4918.6	4419.3	5172.7	4314.9	4638.3	3544.4	47718.9
273340078	2728.9	2624.5	2393.3	3562.7	2455.0	2629.7	2398.8	2200.7	2255.4	1608.8	2114.4	1603.3	28575.4
273370001	0.0	0.0	1078.9	1114.8	1055.6	1090.8	3948.4	4138.7	2412.0	118.4	0.0	0.0	14957.7
273370009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
273370014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
273370017	1923.7	1240.4	932.1	2139.9	1967.7	2548.8	2108.5	3244.5	2551.3	1912.5	1796.7	1506.8	23872.9
273380001	0.0	0.0	0.0	1545.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26209.0	0.0	0.0	27754.0
273380005	2492.2	1342.6	1198.0	2976.2	2433.9	2852.0	3676.9	3667.9	2893.5	2897.9	2531.4	2396.1	31358.5
273380006	2588.3	1585.6	1270.5	3024.8	2435.2	2904.6	3645.7	3932.2	3340.4	2031.4	2735.8	2569.2	32063.8
273380008	0.0	0.0	0.0	0.0	56.6	713.7	0.0	629.8	841.3	888.7	344.5	0.0	3474.6
273380009	988.9	1053.9	0.0	66.7	397.9	584.1	860.2	938.5	1059.0	287.1	0.0	791.4	7027.7
273380010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	315.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	315.6
273380011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	542.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	542.8
273340004	4444.2	0.0	0.0	1945.0	7561.6	8194.3	4973.0	2172.6	4394.7	7904.0	6542.9	2268.7	50400.9

TOTAL (Hm3/año)
26.21