



MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Instituto Geológico
y Minero de España



DIPUTACIÓN
DE ALICANTE
CICLO HÍDRICO

ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS AL ESTUDIO DE ACUÍFEROS CARBONATADOS. APLICACIÓN A LOS ACUÍFEROS DE CREVILLENTE Y DE QUIBAS (ALICANTE)

MODELO MATEMÁTICO DE FLUJO DEL ACUÍFERO DE QUIBAS.

Septiembre 2008



INFORME	Identificación: H6-004-09
	Fecha: Septiembre 2008
TÍTULO MODELO MATEMÁTICO DE FLUJO DEL ACUÍFERO DE QUIBAS	
PROYECTO ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS AL ESTUDIO DE ACUÍFEROS CARBONATADOS. APLICACIÓN A LOS ACUÍFEROS DE CREVILLENTE Y QUIBAS (ALICANTE)	
RESUMEN Modelo matemático de flujo en diferencias finitas del acuífero de Quibas (Alicante)	
Revisión Nombre: José Manuel Murillo Unidad: Area Investigación en Procesos Activos y Calidad Ambiental Fecha: 15 septiembre 2008	Autores: Catalina Sesmero Responsable: José Antonio de la Orden Gómez

Este trabajo ha sido realizado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), dentro de un Convenio de colaboración suscrito con la Excelentísima Diputación de Alicante (DPA).

Han actuado como directores del estudio D. José Antonio de la Orden Gómez y D. José Manuel Murillo Díaz, por parte del IGME y D. Luis Rodríguez Hernández, por parte de la DPA.

El presente informe ha sido elaborado por D^a Catalina Sesmero Cediell, bajo una asistencia técnica supervisada por el IGME y la DPA.

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	1
2	Antecedentes.....	4
3	ACUÍFERO DE QUIBAS	7
3.1	Localización y contexto geológico	7
3.2	Modelo conceptual del sistema de Quibas.....	13
3.2.1	Balance hídrico del sistema de Quibas	18
3.3	Modelo matemático	19
3.3.1	Definición del mallado.....	20
3.3.2	Límites del modelo.....	20
3.4	Software empleado.....	21
3.5	Régimen estacionario.....	21
3.5.1	Condiciones de contorno	23
3.5.2	Recarga	24
3.6	Calibración en régimen transitorio desde el comienzo de la explotación hasta el año 2004	35
3.6.1	Distribución espacial de los parámetros hidráulicos	35
3.6.2	Recarga	40
3.6.3	Datos considerados en la calibración.....	42
3.6.4	Resultados de la calibración.....	49
3.6.5	Calibración en régimen transitorio para el año 2005.....	54
3.6.6	Recarga	54
3.6.7	Datos de piezometría	55
3.6.8	Datos de explotaciones	55
3.6.9	Resultados de la calibración.....	57
3.7	Estimación de las reservas del acuífero a partir de los resultados del modelo	59
4	BIBLIOGRAFÍA.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Balance hídrico del acuífero de Quibas.	18
Tabla 2.	Estación meteorológica nº 7247	29
Tabla 3.	Parámetros de modelo de Temez para el sector de Chicamo.....	31
Tabla 4.	Valores de infiltración mensuales promedio.....	31
Tabla 5.	Resultados de la calibración del modelo de precipitación escorrentía. Serie de Infiltración (mm/mes).	32
Tabla 6.	Valores de recarga por infiltración considerados en el modelo de Quibas.....	41
Tabla 7.	Puntos de agua del acuífero de Quibas.....	43
Tabla 8.	Datos de piezometría utilizados en la calibración del modelo.....	45
Tabla 9.	Datos de explotaciones proporcionados por la Diputación de Alicante (m ³ /d).	46
Tabla 10.	Datos de bombeo utilizados en el modelo (Continuación).	48
Tabla 11.	Valores de transmisividad calibrados.....	49
Tabla 12.	Balance hídrico del acuífero de Quibas para el año 2004 obtenido de la calibración del modelo matemático.	49
Tabla 13.	Valores de infiltración calculados para el periodo entre enero y diciembre de 2005.	54
Tabla 14.	Datos de piezometría utilizados en el modelo de Quibas para el año 2005.....	55
Tabla 15.	Datos de bombeo utilizados para el año 2005. (m ³ /d)	56
Tabla 16.	Valores de transmisividad obtenidos en la calibración del modelo de Quibas para el año 2005.....	57
Tabla 17.	Balance del acuífero de Quibas obtenido por calibración para el año 2005.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Unidades Hidrogeológicas y límites de los sectores acuíferos.....	3
------------------	---	---

Figura 2.	Localización del acuífero de Quibas.	8
Figura 3.	Geología y cortes geológicos del acuífero de Quibas. Tomados de IGME, 2007	12
Figura 4.	Localización de manantiales.	14
Figura 5.	Sectores del acuífero de Quibas.	17
Figura 6.	Mapa basado en el mapa piezométrico del acuífero de Quibas en régimen poco influenciado (abril 1973), (DPA-IGME, 1983)	17
Figura 7.	Malla del modelo.	22
Figura 8.	Localización de la condición de contorno tipo dren.	24
Figura 9.	Componentes de la aportación en un intervalo de tiempo (modelo Temez modificado)	27
Figura 10.	Localización del sector de Chicamo	30
Figura 11.	Distribución de la recarga en régimen natural.	33
Figura 12.	Piezometría obtenida de la calibración del modelo en régimen natural	34
Figura 13.	Distribución de la permeabilidad y mapa de espesores del acuífero de Quibas.	38
Figura 14.	Distribución de la porosidad.	40
Figura 15.	Puntos de agua del acuífero de Quibas.	44
Figura 16.	Superficie piezométrica correspondiente a diciembre de 2004. Acuífero de Quibas.	50
Figura 17.	Grafico de calibración de la serie de piezometría del punto de observación 60.	51
Figura 18.	Grafico de calibración de la serie de piezometría del punto de observación 65.	51
Figura 19.	Grafico de calibración de la serie de piezometría del punto de observación 44.	52
Figura 20.	Grafico de calibración de la serie de piezometría del punto de observación 50.	52
Figura 21.	Grafico de calibración de la serie de piezometría de los puntos de observación 28 y 29.	53

Figura 22.	Superficie piezométrica correspondiente a diciembre de 2005. Acuífero de Quibas.....	58
Figura 23.	Gráfico de calibración de las series temporales consideradas. Año 2005	59
Figura 24.	Estimación de las reservas en el acuífero de Quibas.....	61

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe es el resultado de los trabajos de modelación de los acuíferos de Crevillente y Quibas, en la provincia de Alicante. Dichos trabajos forman parte del Convenio específico de cooperación firmado entre la Excelentísima Diputación de Alicante y el Instituto Geológico y Minero de España para los años 2004-2006. Asimismo, es el informe final del proyecto interno del IGME titulado "Análisis y optimización de los modelos matemáticos aplicados al estudio de los acuíferos carbonatados de Crevillente y Quibas" aprobado por el Director General del IGME el día 2 de noviembre de 2004.

Ambos acuíferos se encuentran ubicados en la cuenca del río Vinalopó, la cual presenta un alto índice de aridez y una elevada irregularidad de los episodios pluviométricos. Ambos factores contribuyen a otorgar a los embalses subterráneos un papel fundamental en la satisfacción de las demandas hídricas consuntivas.

Este hecho ha provocado que en determinados acuíferos de esta zona, entre los que se encuentra el de Quibas, se haya llevado a cabo una explotación intensiva de sus recursos hídricos, lo que ha dado lugar a una modificación sustancial de las condiciones de flujo y del régimen de funcionamiento.

Asimismo, existe la posibilidad de utilizar excedentes del hipotético trasvase Júcar - Vinalopó, planificado años atrás, pero sin ejecutarse hasta la fecha, para realizar recarga artificial en los acuíferos sobreexplotados de la cuenca media del Vinalopó, entre los cuales se encuentran los dos objeto del presente estudio.

Por ambas razones, la Diputación de Alicante, considera conveniente disponer de un modelo matemático de flujo calibrado del acuíferos, como herramienta para eliminar ciertas lagunas existentes sobre su funcionamiento y para la gestión de los recursos de este embalse subterráneo.

La elaboración de los modelos de flujo exige la realización de una serie de trabajos previos que han permitido satisfacer el primero de los objetivos fijados. Partiendo de la información generada en esas fases previas, y de otra ya existente con anterioridad, se han desarrollado el modelo, procediendo posteriormente a la calibración y validación del mismo.

Atendiendo a la delimitación en Unidades Hidrogeológicas, llevada a cabo por el Ministerio de Obras Públicas y el Instituto Geológico de España (MOPU, 1990) los acuíferos de Quibas y Crevillente pertenecen a sendas Unidades Hidrogeológicas de carácter intercuenca, estando compartidas por las Cuencas Hidrográficas del Júcar y el Segura. Dentro de la demarcación de la Cuenca Hidrográfica del Júcar estas Unidades se identifican con el código 08.52 Quibas y 08.51 Crevillente, mientras que en el ámbito de la Cuenca Hidrográfica del Segura se identifican con el código 07.12 Quibas, 07.11 Crevillente y 07.42 Argallet. En el presente estudio se han considerado únicamente los sectores de las Unidades Hidrogeológicas que se adscriben a la provincia de Alicante.

La reciente adaptación a las pautas marcadas por la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE, de 23 de octubre de 2000) por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de política de aguas de los estados miembros, ha supuesto una nueva definición de los elementos de gestión recursos subterráneos, cuya nueva denominación es la de masas de agua subterránea. De esta forma la Unidad Hidrogeológica de Quibas se corresponde con la masa de agua 080.076 Sierra de Reclot.

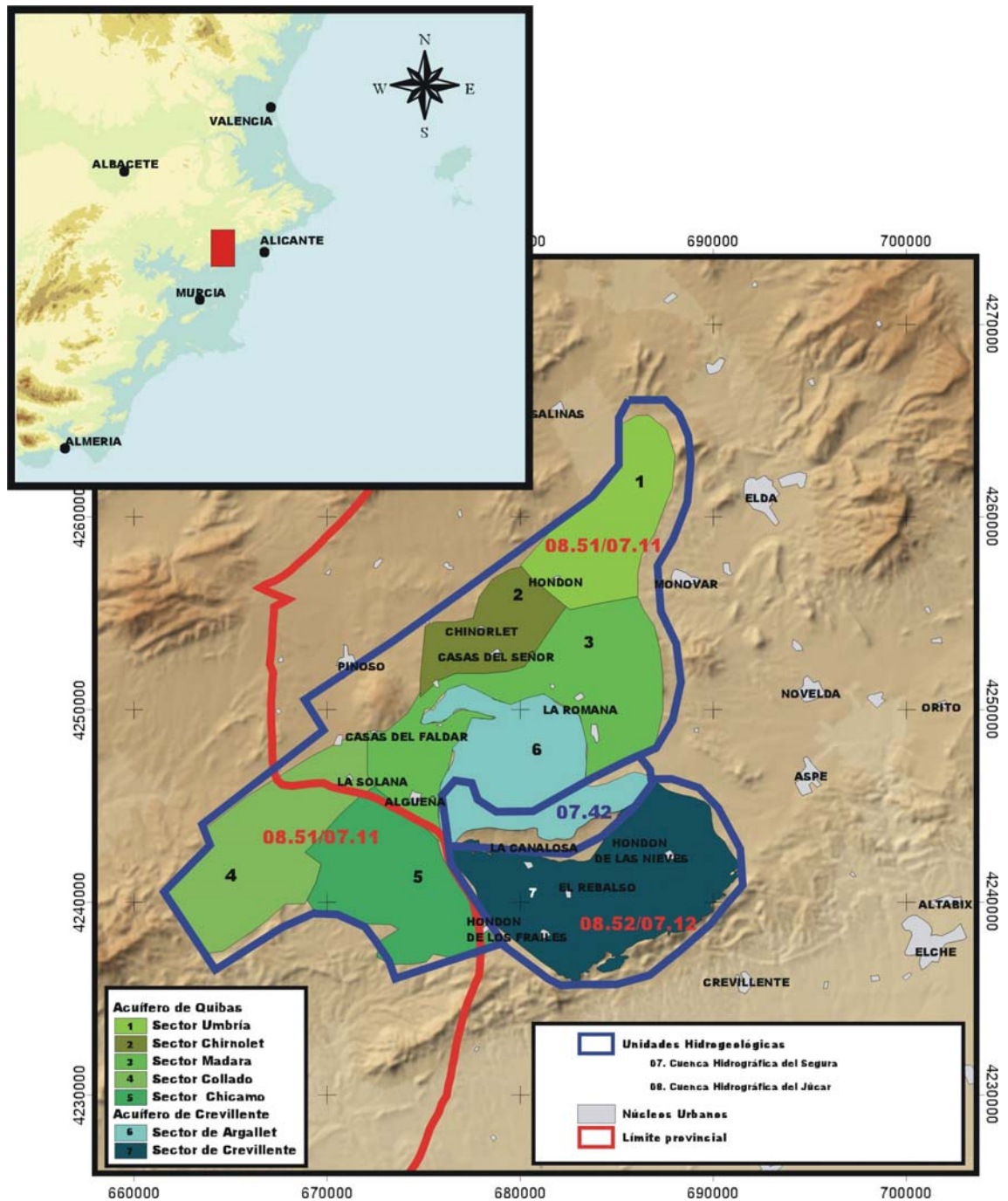


Figura 1. Unidades Hidrogeológicas y límites de los sectores acuíferos.

2 ANTECEDENTES

La construcción de un modelo matemático de flujo requiere, como condición previa a la modelación, elaborar un modelo conceptual correcto de funcionamiento hidrogeológico del sistema que se va a modelar. Una parte fundamental de este modelo conceptual es el conocimiento geológico de los materiales que conforman los acuíferos y, en especial, los límites de las formaciones permeables.

Atendiendo a esta necesidad, el Instituto Geológico y Minero de España, conjuntamente con la Diputación de Alicante, planificó las actividades previas necesarias para adquirir ese conocimiento, que se plasmaron en el informe denominado: "Asistencia técnica para la delimitación física de los límites geológicos de los acuíferos de Crevillente y Quibas, en la provincia de Alicante, con vistas a la realización de un Modelo Matemático de Flujo de los mismos." Estas actividades se han estructurado según los siguientes trabajos:

- ⋮ Toma de datos y definición de los límites geológicos de los sistemas a modelar.
- ⋮ Definición de una red de control en la que se ha efectuado una toma de datos sistemática de niveles piezométricos y extracciones.
- ⋮ Delimitación geográfica y geológica de los afloramientos permeables de los sistemas a modelar a escala 1:25.000.
- ⋮ Realización de cortes hidrogeológicos para definir la estructura de los acuíferos en profundidad y las condiciones de contorno.
- ⋮ Encuestas de extracciones de agua, recopilando un dato de extracción para cada uno de los meses que abarca la campaña de medidas realizada, obteniéndose un total de 10 datos en cada uno de los puntos incluidos en la red de control definida.
- ⋮ Campaña de medidas mensuales del nivel piezométrico en cada uno de los puntos de la red de control definida.

- = Cartografía geográfica y geológica de los acuíferos estudiados a escala 1:25.000.
- = Mapa orientativo de permeabilidades en función de la litología. Escala 1:25.000.

Junto con la información proporcionada en el citado estudio, ha sido fundamental, en la realización de los modelos matemáticos de los acuíferos de Quibas y Crevillente, la información incluida en las publicaciones:

-“Mapa de Aguas de la Provincia de Alicante. Segunda Edición. (2007)”;

editado por el Departamento del Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante, en el que se incluye información sobre el funcionamiento hidrogeológico del acuífero objeto del presente estudio, se define el carácter de sus límites y se cuantifica la recarga del mismo, las transferencias laterales, su volumen de explotación y la descarga a través de los manantiales.

-“Las aguas subterráneas de la Provincia de Alicante”

editado en 1982 por la Excelentísima Diputación de Alicante en colaboración con el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). En este documento se recoge una recopilación de toda la información hidrogeológica en el ámbito de la Provincia de Alicante existente hasta ese momento, consistente básicamente en la documentación hidrogeológica disponible en el IGME, fruto de las investigaciones hidrogeológicas que este organismo ha llevado a cabo dentro del Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS) y del Programa de Estudios para la Gestión y Conservación de Acuíferos (PGCA).

Asimismo, se ha recopilado la información procedente de los registros piezométricos de la base de datos del Departamento del Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante, la cual cuenta con una serie histórica que abarca desde 1969 hasta la actualidad; y de la

base de datos Aguas del Instituto Geológico y Minero de España, cuyo primer registro piezométrico en la zona de estudio data del año 1959.

3 ACUÍFERO DE QUIBAS

3.1 LOCALIZACIÓN Y CONTEXTO GEOLÓGICO DEL ACUÍFERO DE QUIBAS

El sistema de Quibas se encuentra en el extremo occidental de la provincia de Alicante, en el límite con la provincia de Murcia y al norte del sistema de Crevillente. Este acuífero constituye una Unidad Hidrogeológica intercuenca, compartida entre las Cuencas hidrográficas del Júcar y el Segura (MOPU, 1990) identificándose como Unidad Hidrogeológica 08.52 dentro de la Cuenca Hidrográfica del Júcar y como 07.12 dentro de la Cuenca Hidrográfica del Segura. La adaptación a la Directiva Marco del Agua de octubre de 2000 transforma la Unidad Hidrogeológica de Quibas en la Masa de Agua Subterránea (MASb) 080.076 Sierra de Reclot. En el presente estudio únicamente se consideran el sector acuífero circunscrito a la provincia de Alicante.

Dentro de los límites del acuífero, en la provincia de Alicante, se sitúan las poblaciones de: Casas del Faldar, Casas del Señor, Cavafría, Chinorlet, Encebras, Hondón, La Romana y Tres Fuentes, y fuera de sus límites pero muy próximos al mismo las poblaciones de Elda, Monóvar, Pinoso y Salinas. En la figura 2 se muestra la ubicación geográfica del mismo.

La orografía de esta zona está fuertemente marcada por las estructuras geológicas presentes e incluye las sierras de La Umbría, Las Pedrizas, Reclot y de los Beltranés. La cota más elevada corresponde al Alto de la Bola (847 m s.n.m.) en la Sierra de la Umbría. Históricamente, se conoce la existencia de un humedal conocido como La Laguna del Toscar, al norte del Hondón, cuyo origen está asociado al estancamiento de la escorrentía superficial, que no se infiltra debido al alto contenido en arcillas de los materiales superficiales, de forma que no está relacionada hidráulicamente con el acuífero. Los únicos cursos fluviales existentes dentro de los límites del acuífero corresponden a ramblas de carácter efímero, como son la Rambla del Derramador y la Rambla de la Gorra, tributarias del Río Vinalopó, fuera de los límites del acuífero; la Rambla de las Tres Fuentes, que nace en la Sierra del Reclot, y la Cañada de Madara.

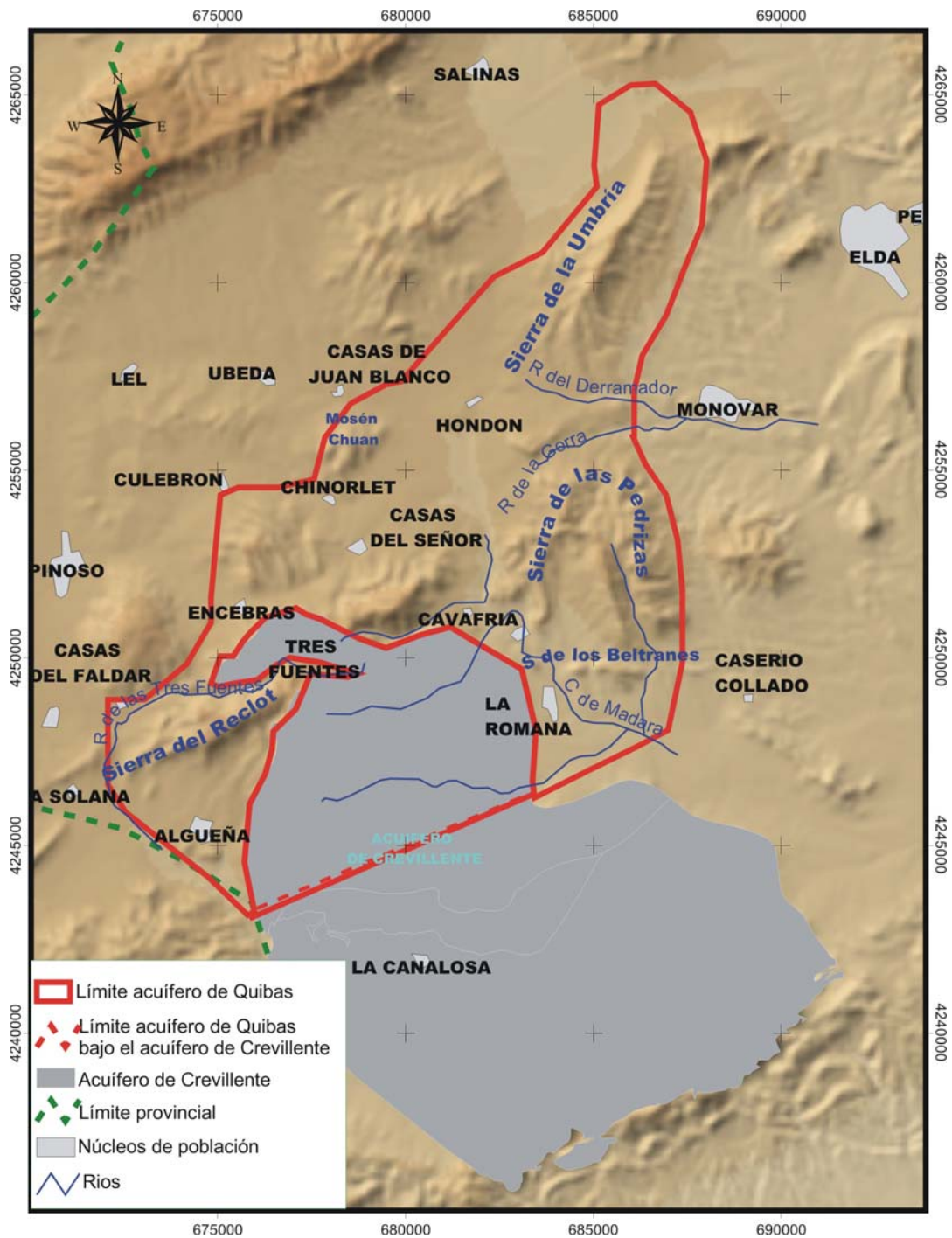


Figura 2. Localización del acuífero de Quibas.

El acuífero de Quibas está encuadrado en el marco de las cordilleras Béticas, y los materiales que lo constituyen, de edad terciaria, forman parte del dominio Prebético.

En concreto las unidades estratigráficas que constituyen el acuífero son de techo a muro:

-Biocalcarenitas y calizas con algas del Mioceno Inferior: Constituida por una alternancia de margas y calizas bioclásticas margosas con abundantes algas, margas blancas y calcarenitas bioclásticas. El conjunto presenta un espesor que puede variar desde los 230 hasta 350 m de espesor.

-Calizas del Oligoceno: Con un espesor medio de 450 m, está constituida por arenas con arcillas, calizas bioclásticas con miliólidos, margas y microbrechas.

-Calizas con nunmulites del Eoceno Medio: Corresponde con la denominada formación Coto y es, desde el punto de vista hidrogeológico, la unidad de mayor relevancia. Está constituida por calizas bioclásticas blancas con abundante fauna. Es de carácter pararecifal, por lo que presenta un espesor muy irregular, que varía entre 250 y 40 m. Presenta una elevada porosidad primaria derivada de su génesis, a la que hay que añadir una elevada porosidad secundaria debida a la alta fracturación que presenta, producida por los diversos episodios de diapirismo y al cabalgamiento de los materiales del Subbético, en la que a veces se observan cuevas de circulación kárstica (DPA-IGME, 1982).

-Margas del Eoceno Inferior: Está formada por margas ocre-verdosas, blancas y rosadas con algún banco de areniscas intercalado. Esta unidad constituye, junto con las arcillas y yesos del Keuper, el sustrato impermeable del acuífero.

-Arcillas y yesos del Keuper: Está formado por margas abigarradas, arcillas rojas y verdes y yesos blancos o coloreados en facies Keuper. Se presentan en forma de grandes diapiros salinos como el Cerro de la Sal, o en la base de las estructuras cabalgantes, en las que constituyen el nivel de despegue, como en el cabalgamiento de la unidad subbética correspondiente al acuífero de Crevillente sobre el acuífero de Quibas, en el sector sureste del mismo.

La extensión del acuífero en la provincia de Alicante es de 179 km² de los cuales 69,8 km² corresponden a afloramientos permeables, lo que supone un 38% de la extensión superficial del acuífero. Del total de la superficie aflorante, 17,9 km² corresponden a afloramientos de calizas del Oligoceno, 15 km² a las calizas del Eoceno Medio y 36,9 km² corresponden a las biocalcarenitas y calizas con algas del Mioceno Inferior. La superficie restante corresponde a afloramientos del cuaternario indiferenciado y a afloramientos de formaciones impermeables. La superficie de acuífero que se estima se encuentra por debajo del cabalgamiento subbético es del orden de 25,75 km².

El acuífero de Quibas se encuentra en el punto de contacto de dos dominios tectosedimentarios, el Prebético Interno y el Subbético, lo que le concede una notable complejidad estructural. Las estructuras geológicas presentan una orientación NE-SW que coincide con las directrices principales de las Cordilleras Béticas, aunque en detalle existen direcciones anómalas provocadas por la tectónica tangencial y el comportamiento diapírico del Keuper. Asimismo, existen fallas de dirección NNW-SSE, casi normales a los ejes de los grandes pliegues, que provocan el desplazamiento lateral de la cobertera.

El manto Subbético, donde se alojan las formaciones acuíferas del conjunto Jurásico que constituyen el sector de Argallet del acuífero de Crevillente, cabalga sobre las formaciones prebéticas que conforman el acuífero de Quibas, actuando el Keuper como superficie de despegue independizando hidráulicamente los acuíferos de Quibas y de Crevillente. A su vez, el acuífero de Quibas se sitúa en el subdominio Prebético Interno Central, el cual cabalga, actuando el Keuper de nuevo como elemento de despegue sobre el Prebético Interno Septentrional.

Todas estas circunstancias estructurales tienen significativas implicaciones hidrogeológicas, tanto por la caracterización de los límites del sistema como por la definición de bloques dentro del acuífero. En función de las características estructurales es posible diferenciar tres sectores:

- Sector septentrional. Se define sobre la base de la estructura anticlinal Zafra-Umbría de dirección N-S, cuyo núcleo lo constituyen, en el extremo suroriental (Sierra de Las Pedrizas), las margas verdes del Eoceno Inferior (base impermeable del acuífero de Quibas); mientras que el subsector nororiental (Sierra de La Umbría) sólo se observa parte del núcleo y el flanco oriental, constituido por materiales oligocenos y miocenos. La dirección discordante que presenta el anticlinal de Zafra-Umbría está fundamentada en la acción de despegue que origina el Keuper sobre la unidad Prebético interna hacia el norte. El anticlinal de Zafra-Umbría, en el extremo suroriental (Sierra de Las Pedrizas) está truncado al sur por una falla normal (situada al noreste de La Romana) hundiendo hacia el norte su eje periclinal. Entre el extremo meridional (Sierra de Las Pedrizas) y el septentrional (Sierra de La Umbría) existe una falla normal de unos 100 m de salto que no ocasiona desconexión hidrogeológica.
- Sector central. al norte del frente de cabalgamiento del subbético, los materiales del acuífero de Quibas se encuentran fuertemente plegados formando un anticlinorio muy apretado en el que las formaciones presentan un buzamiento próximo a la vertical.
- Sector meridional. La estructura principal corresponde a un gran anticlinal de dirección NE-SW (anticlinal de Coto-Gorgorí), oculto en parte por el cabalgamiento del manto subbético (Acuífero de Crevillente). El eje del anticlinal está desplazado por la presencia de varias fallas normales de dirección perpendicular al eje del pliegue.

Al norte de las estructuras anticlinales Coto-Gorgorí, se sitúa el diapiro de Pinoso, cuyo origen puede deberse al desplazamiento del Prebético Interno Central, en el que estos materiales salíferos han actuado como superficie de despegue.

La figura 3 muestra la disposición geológica de los materiales que conforma el acuífero de Quibas, así como varios cortes hidrogeológicos del mismo.

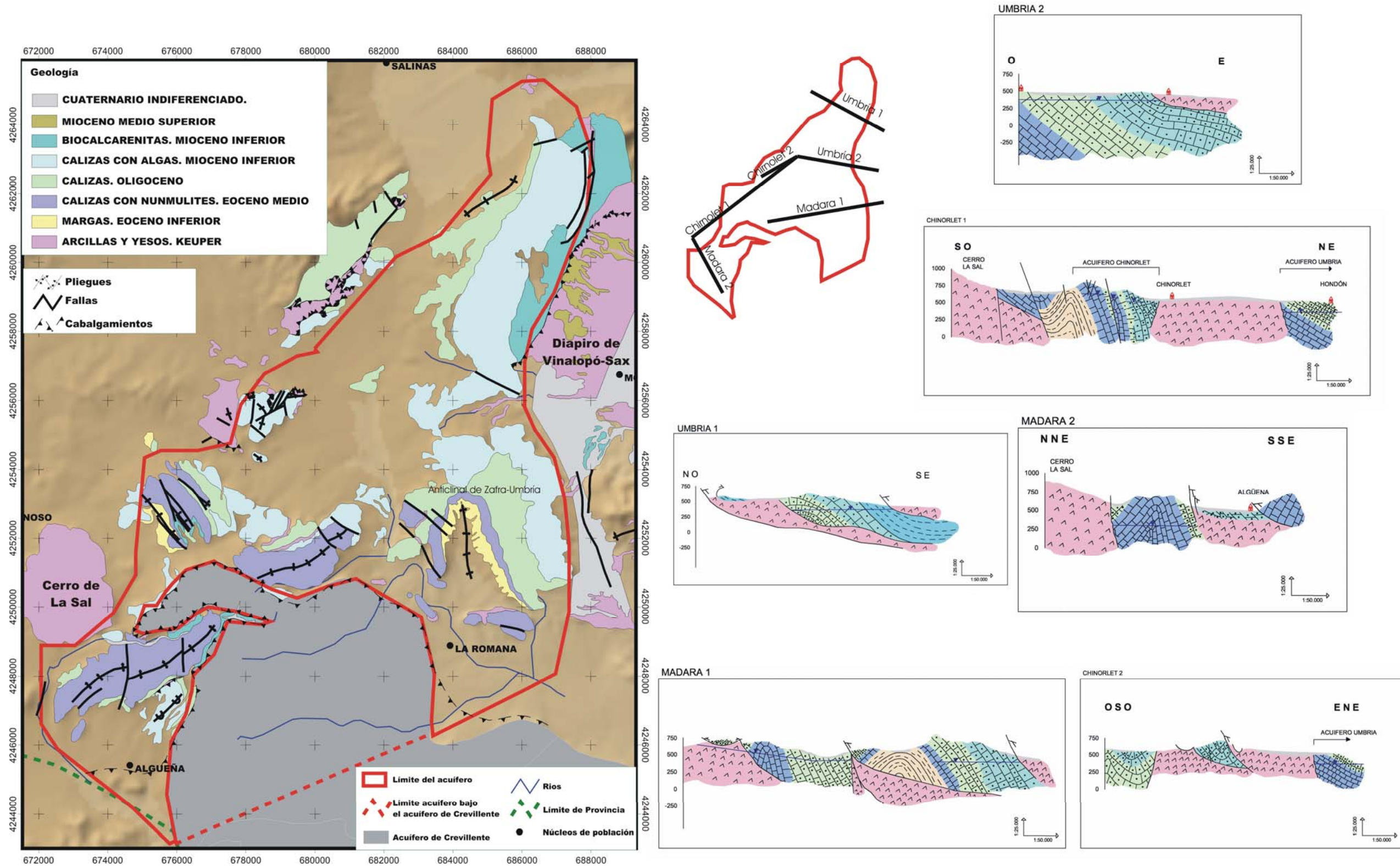


Figura 3. Geología y cortes geológicos del acuífero de Quibas. Tomados de IGME, 2007.

3.2 MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE QUIBAS

El acuífero de Quibas responde al esquema de un acuífero de funcionamiento libre cuando afloran los materiales permeables y confinado en las zonas donde el acuífero está cubierto por el impermeable de techo o en el sector comprendido entre las poblaciones de La Romana, Encebras y Algueña, donde el acuífero se encuentra cabalgado por el manto subbético que pertenece al acuífero de Crevillente. El sustrato impermeable está constituido por las margas del Eoceno Inferior y por las arcillas y yesos del Keuper. El impermeable de techo, cuando está presente, está definido por las series margoarcillosas del Mioceno Medio-Superior y, en ocasiones, por las arcillas y yesos del Keuper cuando se produce la superposición de escamas cabalgantes, como ocurre en el flanco este de la estructura anticlinal de Zafra-Umbria. (Ver cortes Umbria 1 y 2 y Madara 1 de la figura 3).

Los límites hidrogeológicos del acuífero de Quibas se definen por estructuras geológicas que configuran límites cerrados, asociados fundamentalmente a la presencia de la formación de arcillas, margas y yesos en facies Keuper, salvo en el límite suroccidental (coincidente con el límite entre las provincias de Alicante y Murcia), en donde es de carácter puramente administrativo y por tanto no responde a ningún criterio hidrogeológico. Este límite se define como abierto y está conectado hidráulicamente con el resto del acuífero que se continúa hacia el oeste en la región de Murcia, donde se localiza el manantial de Chicamo, descarga natural del acuífero. El límite sur del acuífero, en el tramo que se localiza bajo la escama cabalgante del Subbético, no se conoce con exactitud. En base a los estudios previos (IGME, 2007) se estima que el cierre se produce por el choque lateral de las formaciones acuíferas contra los materiales del keuper que aparecen en la base de la escama cabalgante.

En régimen natural, el acuífero se recarga únicamente por la infiltración del agua de lluvia a través de los afloramientos permeables y se descarga, considerando solamente la parte del acuífero adscrito a la provincia de Alicante, por transferencia lateral hacia el resto de acuífero que se extiende hacia el oeste, en la provincia de Murcia. En régimen influenciado, las descargas se producen, además, a través de las explotaciones

que captan el acuífero de Quibas. En la base de datos Aguas del IGME se han localizado datos históricos sobre 11 manantiales, localizados geográficamente en la figura 4, cuyos caudales están comprendidos entre 0,07 y 1,07 l/s. Analizando la geología del entorno de dichos manantiales y el escaso caudal de los mismos, se puede llegar a la conclusión de que, probablemente, la génesis de todos ellos se encuentra relacionada con la escorrentía superficial de los afloramientos de Keuper.

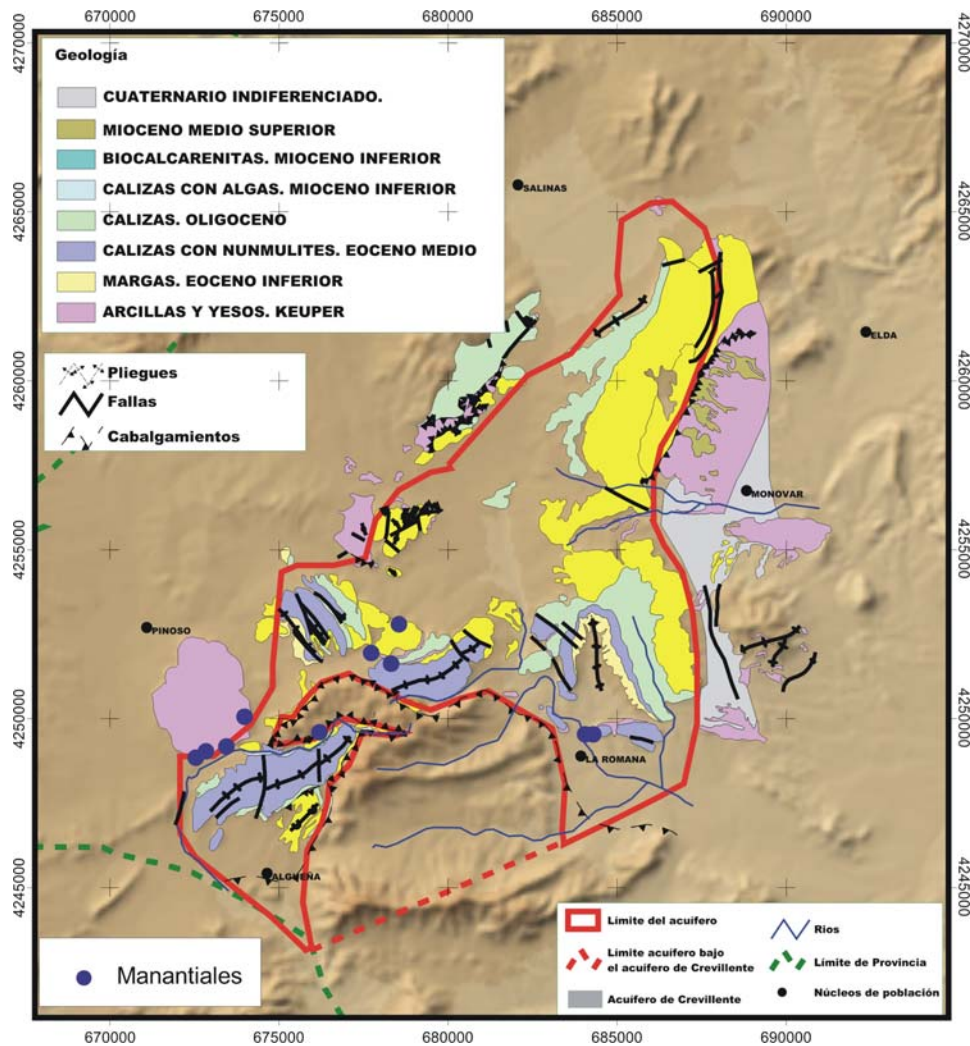


Figura 4. Localización de manantiales.

Considerando las características de los límites hidrogeológicos del acuífero y la situación de la descarga natural, en régimen estacionario el flujo subterráneo tenía una componente principal de dirección NE-SO en dirección al manantial de Chicamo. La superficie piezométrica estaría comprendida entre cotas del orden de 470 m s.n.m. en

la zona de la Sierra de Umbría y de 420 m s.n.m. en las proximidades de la población de Algueña, siendo el gradiente piezométrico del orden de 2‰ (figura 6).

Los sondeos de captación existentes en el acuífero de Quibas presentan profundidades que oscilan entre 120 y 215 metros, con una profundidad media de 190 m y con caudales de explotación muy variables (entre 4 y 170 l/s), con un valor promedio de 57 l/s.

La información referente a los parámetros hidrodinámicos del acuífero es muy escasa en la bibliografía consultada. El único dato encontrado apunta a un valor de 6000 m²/d de transmisividad y un 2% de porosidad (DPA-IGME, 1982). En el trabajo realizado por el IGME para recopilar información sobre los acuíferos de Quibas y Crevillente (IGME, 2007) se asignan los siguientes valores de permeabilidad a las formaciones que constituyen el acuífero:

- **Biocalcarentias y calizas con algas del Mioceno Inferior:** Permeabilidades comprendidas entre 10² y 10⁻² m/d.
- **Calizas el Oligoceno:** Permeabilidades comprendidas entre 0,1 y 10⁻⁴ m/d
- **Calizas con Nummulites del Eoceno Medio:** Permeabilidad superior a 1 m/d

La compleja estructura geológica que presentan los materiales que constituyen el acuífero, unida a los descensos piezométricos provocados por la intensa explotación de sus recursos subterráneos, ha propiciado que, en la actualidad, haya sido necesaria la definición de bloques de funcionamiento hidrogeológico diferenciado. De esta forma en el acuífero de Quibas, en la provincia de Alicante, se han identificado los siguientes sectores:

- **Sector de Umbría:** Se localiza en el extremo nororiental del acuífero y engloba el tramo de acuífero que aflora en la Sierra de Umbría, extendiéndose hasta el sur de la

población del Hondón. Puede alcanzar un espesor de hasta 850 m. El límite este del sector corresponde con el afloramiento el diapiro del Río Vinalopó-Sax, mientras que el sustrato y el borde oeste corresponde a las facies Keuper que constituyen el nivel de despegue de la escama cabalgante sobre la que se ubica el acuífero. (Ver corte umbría 1 de la Figura 3). La geometría del acuífero en este sector corresponde con el anticlinal de Zafra-La Umbria de dirección NE-SW.

- Sector de Madara: Se extiende desde el límite del sector de Umbria hasta casi coincidir con el límite provincial entre Murcia y Alicante. Comprende los afloramientos de la Sierra de las Pedrizas y de los Beltranés y los afloramientos de la Sierra de Reclot. En el sector de Madara se incluye el tramo de acuífero que se encuentra bajo el cabalgamiento del acuífero de Crevillente, en el que el acuífero presenta un comportamiento semiconfinado. En este sector el acuífero tiene morfología de antiformal, correspondiendo con la estructura del anticlinal de Coto-Gorgori.

- Sector de Chinorlet: Comprende los cerros de El Chinorlet y Mosen Chuan. Las formaciones geológicas que lo constituyen corresponden con las biocalcareniticas y calizas con algas del Mioceno Inferior. El espesor puede alcanzar los 250 m, aunque la media suele ser del orden de 50 m. Los límites laterales y el impermeable de base corresponden con las arcillas y yesos de Keuper.

La localización de estos tres sectores se muestra en la figura 5.

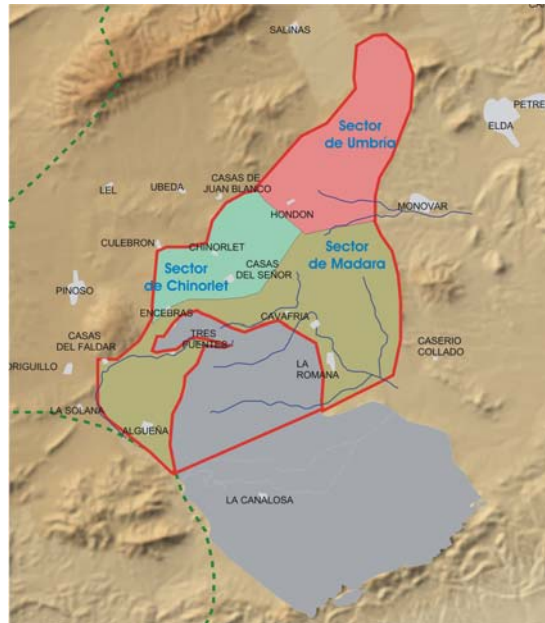


Figura 5. Sectores del acuífero de Quibas.

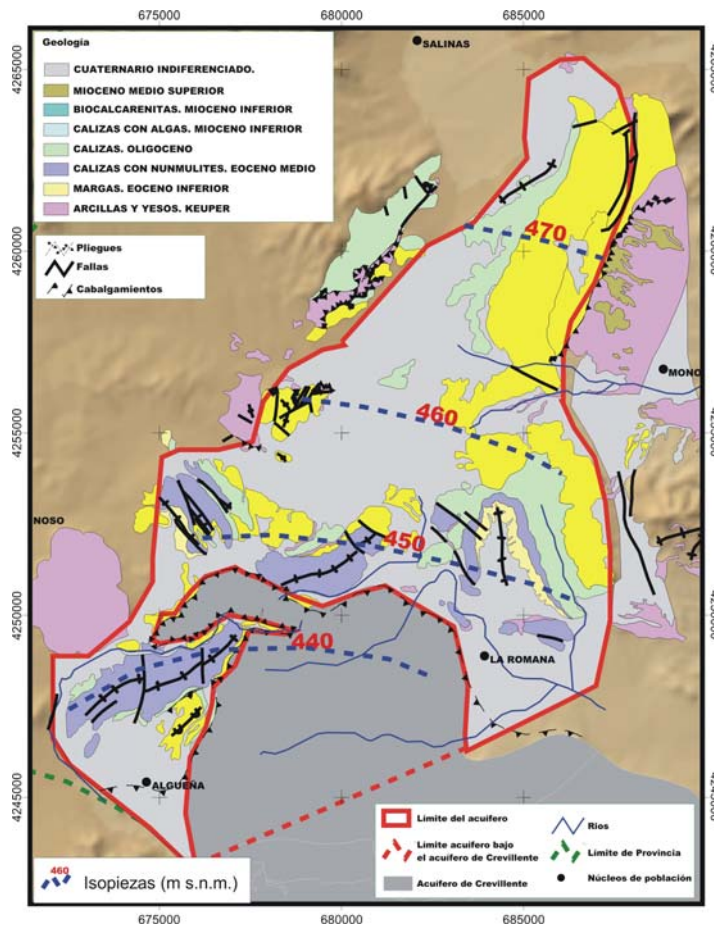


Figura 6. Mapa basado en el mapa piezométrico del acuífero de Quibas en régimen poco influenciado (abril 1973), (DPA-IGME, 1983)

3.2.1 Balance hídrico del sistema de Quibas

La información más reciente referida al balance hídrico del acuífero de Quibas es la que se recoge en el Mapa del Agua de la Provincia de Alicante (DPA, 2007) en el que se incluye un balance para un año tipo medio, diferenciado para cada uno de los sectores hidrogeológicos definidos en el acuífero, tal y como se muestra en la tabla 1. Atendiendo a estos datos, el balance del acuífero de Quibas es claramente deficitario, tanto por sectores como en total. Es importante destacar que en el balance incluido en la siguiente tabla no se considera la transferencia lateral que existía entre el sector de acuífero perteneciente a la provincia de Alicante y el sector murciano. Atendiendo a los datos incluidos en el apartado anterior (gradiente hídrico de 2‰ y permeabilidad media del sector de Madara en la zona de contacto de 2 m/d), se estima que, en régimen no influenciado, el volumen de agua que pudiera pasar hacia el sector murciano, considerando un espesor saturado de 330 m y un frente de contacto de 7.600 m, sería del orden de 3,6 hm³/año.

hm ³ /año (medio)	<u>Sector de Umbría</u>	<u>Sector de Madara</u>	<u>Sector Chirnolet</u>
Entradas			
Infiltración de agua de lluvia	1.0	1.5	0.08
Total	1.0	1.5	0.08
Salidas			
Drenaje a cauces y manantiales	0	0	0.06
Bombeos	5.0	3.7	0.1
Total	5.0	3.7	0.17

Tabla 1. Balance hídrico del acuífero de Quibas.

3.3 MODELO MATEMÁTICO

Con objeto de representar la evolución del acuífero de Quibas y en función de la información disponible de piezometría y explotación, se han elaborado tres modelos matemáticos del acuífero. Con el primero de los modelos se ha pretendido reproducir el estado piezométrico del mismo en régimen no influenciado antes del comienzo de las explotaciones, que según la documentación consultada comenzaron en la década de los años 60.

La información de piezometría y en especial de bombeos disponibles para el acuífero de Quibas desde el comienzo de las explotaciones es escasa, y por lo general de carácter anual, salvo para el año 2005, en que los trabajos previos realizados (IGME, 2007) han permitido disponer de datos mensuales de piezometría y bombeos. Por esta razón, y con el fin de adaptar la simulación del acuífero en régimen transitorio a los datos disponibles, se han elaborado dos modelos en régimen transitorio: el primero de los ellos, con un paso de tiempo anual, representa la evolución piezométrica desde 1970 hasta el año 2004. El segundo, de paso mensual, representa la evolución del acuífero para el año 2005.

Como se ha indicado en apartados anteriores, el régimen de explotaciones al que ha sido sometido el acuífero de Quibas, combinado con la compleja estructura geológica del mismo, ha propiciado la aparición de sectores de funcionamiento hidrogeológico independiente. Lógicamente, esta desconexión se ha ido produciendo de forma paulatina y depende directamente de la cota del muro del acuífero, distinta en cada uno de los sectores, y del volumen de explotación en cada sector, por lo que no es posible establecer un momento concreto a partir del cual se pueda considerar que la desconexión hidráulica es efectiva en todos los sectores. Por esta razón, en la realización del modelo de Quibas se ha asumido la simplificación, y el error en la calibración que ello conlleva, de simular el acuífero como un acuífero continuo de funcionamiento único.

3.3.1 Definición del mallado

El acuífero de Quibas se ha discretizado en una malla de una sola capa de 33 columnas y 44 filas (Figura 7). El tamaño de celda corresponde a un área de 500 x 500 m. La superficie activa del modelo abarca un área total de 141,25 km².

La superficie del terreno se ha construido a partir del mapa digital del terreno (MDT) que se ha obtenido de la cartografía 1:25.000. Como superficie del muro del acuífero se ha aceptado la simplificación de introducir una superficie plana con cota 100 m s.n.m. a fin de evitar los problemas de convergencia derivados del descuelgue de celdas. Una superficie más próxima a la realidad puede originar diferencias considerables en la cota del muro del acuífero en puntos muy próximos, debido al alto grado de complejidad estructural que presente el acuífero de Quibas. No obstante, como se indica en los siguientes apartados, esta diferencia entre la cota real del muro y la simulada se ha tratado de compensar durante el proceso de calibración mediante el ajuste de los valores de permeabilidad asignados.

3.3.2 Límites del modelo

Los límites del sistema de Quibas se consideran cerrados y coinciden con los afloramientos de las formaciones impermeables que constituyen el sustrato del acuífero, salvo el límite oeste, coincidente con el límite provincial entre Alicante y Murcia, que se ha simulado como un límite abierto. De esta forma, el límite oriental coincide con el afloramiento del diapiro de Vinalopó-Sax. El límite noroeste viene determinado por el afloramiento de las arcillas del Keuper que forman el nivel de despegue sobre el que se apoya la escama cabalgante que constituye el propio acuífero, y por el afloramiento del diapiro del cerro de la Sal, al sur de Pinoso. En el sector central del límite sur, el cierre de acuífero se produce por el choque en profundidad de las formaciones permeables con el nivel de arcillas y yesos de la base del cabalgamiento subbético sobre el acuífero. Finalmente en el extremo suroriental, el límite está constituido por el afloramiento de la formación de margas impermeables del Eoceno Medio en el núcleo del anticlinal Zafra-Umbría que condiciona la morfología del

acuífero en este sector. El área comprendida desde el sur del afloramiento del cierre periclinal de Zafra-Umbría hasta el límite oficial del acuífero, no se ha considerado dentro de la zona activa del modelo, ya que corresponde a afloramientos o subafloramientos de las formaciones de margas del Eoceno Medio y de las arcillas y yesos del Keuper.

3.4 SOFTWARE EMPLEADO

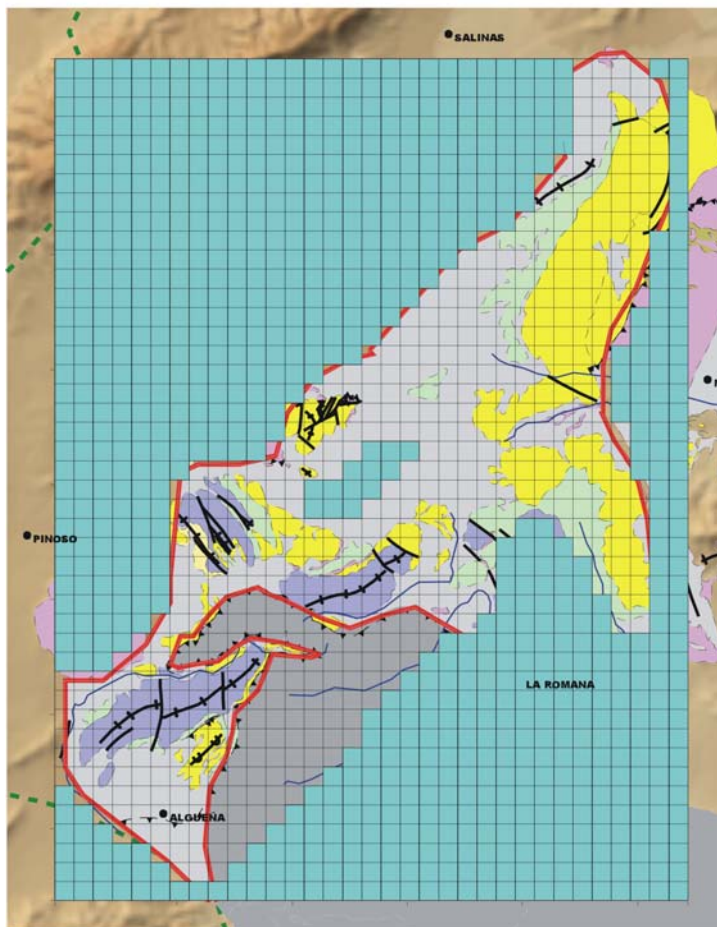
En la resolución de la ecuación fundamental del flujo subterráneo se ha utilizado el código MODFLOW-2000 elaborado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, que simula el flujo subterráneo resolviendo la ecuación por el método de diferencias finitas. El software empleado para el desarrollo del modelo ha sido el paquete informático Visual MODFLOW v 3.1.0., desarrollado por Waterloo Hydrogeologic Inc.

3.5 RÉGIMEN ESTACIONARIO

Partiendo de la documentación disponible y del mapa piezométrico correspondiente a abril de 1.973, fecha en la que se considera que las alteraciones del régimen natural aún son escasas (DPA-IGME, 1982), se ha elaborado un modelo matemático del acuífero de Quibas en régimen permanente que reproduce las hipótesis planteadas en el modelo conceptual de flujo.

La superficie piezométrica obtenida como resultado de la calibración en régimen permanente se ha utilizado como primera aproximación de la piezometría inicial en el modelo realizado en régimen transitorio.

Malla colocada sobre el mapa geológico



Malla del modelo

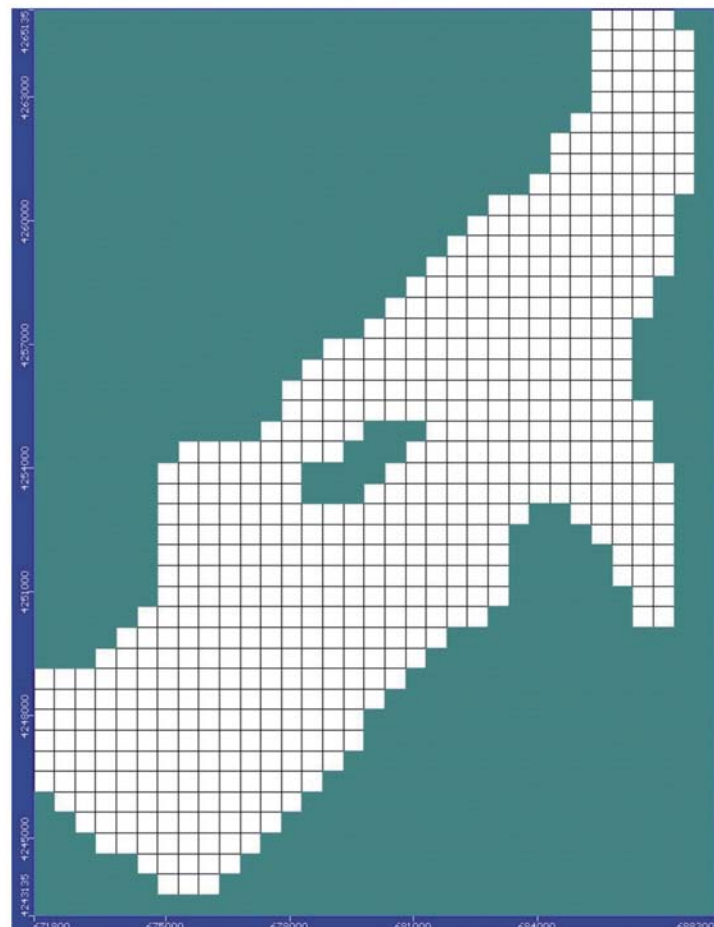


Figura 7. Malla del modelo.

3.5.1 Condiciones de contorno

Los límites impermeables del acuífero se han simulado como límites de no flujo. El límite oeste, considerado abierto, se ha simulado mediante la tercera condición de contorno o Condición de Cauchy. Las celdas a las que se le ha asignado esta condición aparecen coloreadas de gris en la figura 8. El objetivo es simular la transferencia lateral que existe desde este límite del acuífero hacia su continuación en la provincia de Murcia. Para ello, se ha utilizado el paquete dren disponible en el software de modelización utilizado.

Logicamente, no existen datos sobre el nivel piezométrico de este borde en régimen estacionario. No obstante, es factible aceptar que la piezometría de dicho borde, y por tanto el nivel que condiciona el volumen de transferencia hacia el tramo de acuífero contiguo, dada la elevada transmisividad del acuífero, es muy similar al registrado en los puntos de agua localizados en las proximidades del mismo.

De esta forma, se han tomado como referencia para asignar la cota de drenaje de las celdas definidas como dren, la piezometría de los puntos 28 y 29, que se encuentran a una distancia de 550 m del límite establecido.

El valor de la conductancia de las celdas afectadas por esta condición se ha estimado por calibración.

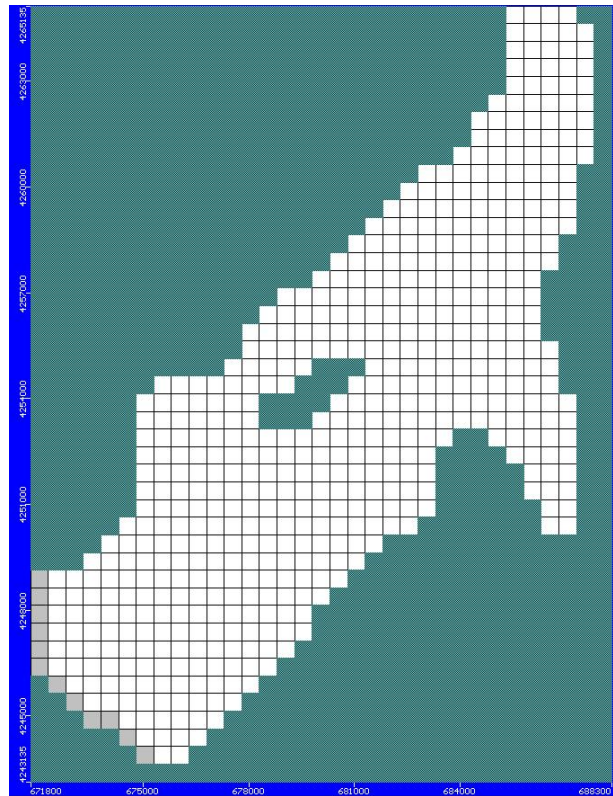


Figura 8. Localización de la condición de contorno tipo dren.

3.5.2 **Recarga**

En régimen natural, el manantial de Chicamo, localizado en el sector de acuífero perteneciente a la provincia de Murcia, constituye la descarga natural de todo el sistema de Quibas (ver figura 10).

Con objeto de estimar el valor de la recarga procedente de la infiltración directa del agua de lluvia sobre los afloramientos permeables se ha empleado el modelo de precipitación-escorrentía desarrollado por Témex sobre la descarga del manantial de Chicamo, de forma que, a partir de una serie de precipitación y temperatura, se calcula el excedente total de la cuenca descomponiéndolo en sus dos componentes fundamentales: la escorrentía superficial (E) más la infiltración (I) a través del suelo.

El modelo de Témex original se ha modificado para determinar la escorrentía subterránea, calculando las salidas de los acuíferos kársticos a través de descargas

puntuales (manantiales), mediante una formulación basada en la curva de agotamiento de Maillet.

$$Qf_i = Qf_{i-1} \cdot e^{-\alpha \Delta t} + K \cdot \frac{I}{\Delta t} \cdot S_{per} \cdot (1 - e^{-\alpha \Delta t}) \quad (1)$$

$$A_s = Q_f \Delta t \quad (2)$$

donde:

Q_{fi} : caudal subterráneo en un intervalo de tiempo determinado

Q_{fi-1} : caudal subterráneo en el intervalo de tiempo anterior

A_s : aportación subterránea

S_{per} : superficie permeable

α : factor de agotamiento de la capa freática

K : factor que depende de las unidades consideradas. Para Q_f en l/s, I en mm, Δt en días (30 días) y S_{per} en km², este factor vale $3,858 \cdot 10^{-7}$

Según el modelo de Temez, la escorrentía total que recibe el río en el intervalo de tiempo de cálculo considerado será la suma de la escorrentía superficial directa (E) más la aportación subterránea (A_F), la cual se calcula mediante la expresión:

$$A_F = A_{min} + (1 - \beta) I \quad (3)$$

donde:

A_{min} : escorrentía mínima (agotamiento de las reservas de los embalses subterráneos existente al inicio del intervalo de simulación)

$$A_{min} = \frac{Qf_{i-1}}{\alpha} (1 - \beta^2) \quad (4)$$

Q_{fi-1} : caudal subterráneo en el intervalo de tiempo anterior

β : factor que depende del factor de agotamiento del acuífero (α) y la duración del intervalo de tiempo considerado (1 mes en este caso)

$$\beta = e^{-\alpha D / 2} \quad (5)$$

D : duración del intervalo de tiempo (paso de discretización temporal)

I : infiltración (aumento de las reservas de la capa freática)

La aportación que recibe una cuenca en un determinado punto de su cauce principal vendrá dada por la expresión:

$$A_T = A_{\min} + T - \beta I \quad (6)$$

T: Excedente de agua (mm). El excedente total de la cuenca es igual a la suma de la escorrentía (E) y la infiltración (I).

La aportación freática proporcionada por el método de Temez (expresión 3) se descompondría en dos componentes:

- Escorrentía subterránea (A_S)
- Escorrentía hipodérmica (A_H):
Si $A_S > A_F$, entonces $A_H = A_F - A_S$
Si $A_S = A_F$, entonces $A_H = 0$

Y por tanto:

$$A^*_F = A_S + A_H \quad (7)$$

donde:

A^*_F : aportación subterránea, cuyo cálculo se apoya en el propuesto por Temez y la fórmula de Maillet ($A^*_F \geq A_F$)

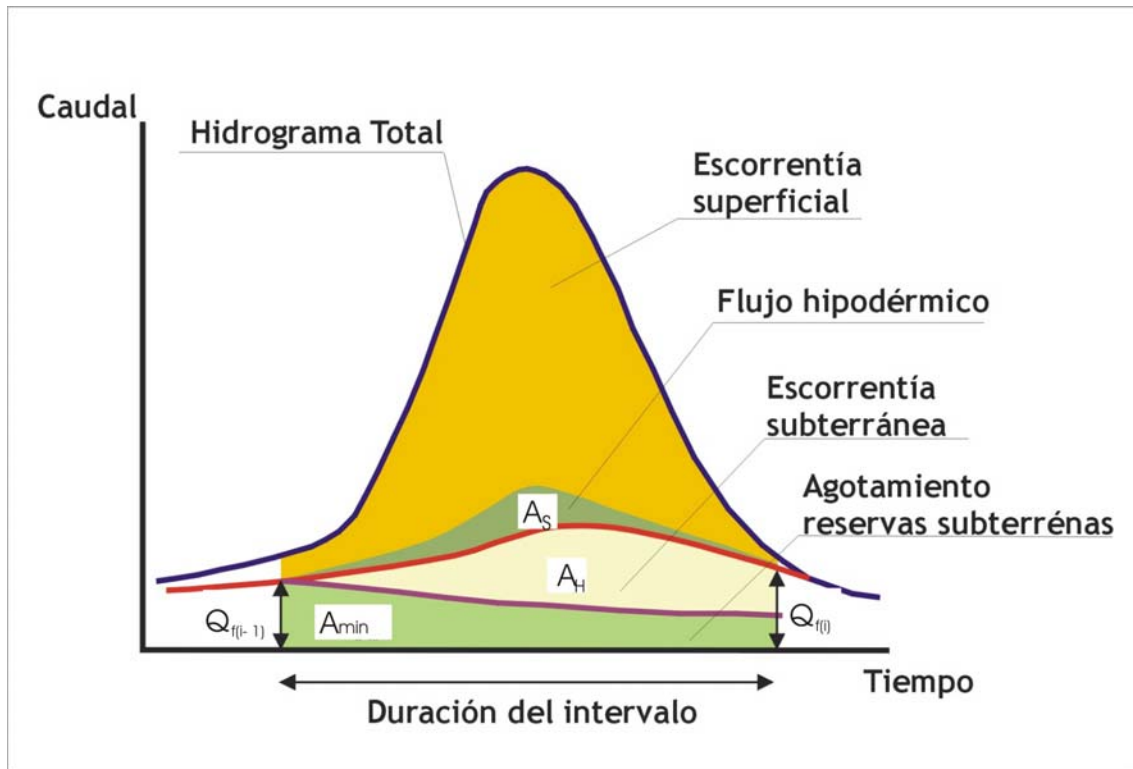


Figura 9. Componentes de la aportación en un intervalo de tiempo (modelo Temez modificado)

Para el cálculo de la escoorrentía superficial estricta se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Si } A_T > A^*_F, \text{ entonces } A_E = A_T - A^*_F = A_T - (A_S + A_H)$$

$$\text{Si } A_T \leq A^*_F, \text{ entonces } A_T = 0$$

Y en cualquier caso:

$$A_T = A_E + (A_S + A_H) \quad (8)$$

Estas escoorrentías son específicas, por superficie de cuenca, de tal manera que para el cálculo de la aportación subterránea se utiliza sólo la superficie de materiales permeables (S_{per}), para la escoorrentía hipodérmica la de materiales impermeables (S_{imp}) y para la aportación superficial la totalidad de la superficie considerada ($S_T = S_{per} + S_{imp}$).

$$V_T = A_E \cdot S_T + A_S \cdot S_{per} + A_H \cdot S_{imp} \quad (9)$$

El modelo de Temez exige, para su aplicación, de una serie de datos de partida que son los siguientes:

- Factor C. Sirve para obtener el valor del umbral de precipitación P_0 a partir del déficit de humedad del suelo ($P_0 = C \cdot (H_{m\acute{a}x} - H_{i-1})$), presenta valores próximos a 0,30.
- Coeficiente α : factor de agotamiento del acuífero a considerar en el cálculo de los caudales asociados a la escorrentía subterránea.
- Coeficiente β : ligado al factor de agotamiento. Toma valores comprendidos entre 0 y 1, si bien suele variar entre 0,60 y 0,80.
- $H_{m\acute{a}x}$ (mm): capacidad de retención de humedad del suelo, aumentando de acuerdo con la coexistencia de circunstancias que facilitan la retención superficial del agua.
- $I_{m\acute{a}x}$ (mm): máxima infiltración posible, que no depende exclusivamente de las condiciones del terreno, sino de la intensidad y concentración de las precipitaciones. Respecto a este parámetro y al objeto de considerar el significativo contraste que existe en las cuencas simuladas entre los afloramientos permeables y los impermeables, y no considerando aspectos relacionados con la intensidad y concentración de las precipitaciones, se procedió a contabilizar de forma diferenciada las superficies de las formaciones que constituyen los acuíferos principales (S_{per}) de las superficies asociadas a los impermeables (S_{imp}), de forma que la $I_{m\acute{a}x}$ de una determinada cuenca o subcuenca se obtuvo como promedio ponderado de la infiltración máxima en los acuíferos (I_{aq}) y en los impermeables (I_{nq}), utilizando la siguiente expresión:

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{(S_{per} I_{aq} + S_{imp} I_{nq})}{(S_{per} + S_{imp})} \quad (10)$$

Existe un registro histórico de la descarga del manantial de Chicamo en la base de datos AGUAS del IGME (Registro nº 273530001) que abarca desde el año 1973 hasta casi la actualidad.

Los datos climáticos utilizados en el estudio corresponden a la estación nº 7247 (Pinoso. C.H. Segura), perteneciente a la red oficial del Instituto Nacional de Meteorológica, cuyas características se recogen en la tabla 2:

CÓDIGO	ESTACIÓN	TIPO	LONGITUD	LATITUD	COTA	PROVINCIA
7247	PINOSO C H SEGURA	P/T	-1.04	38.4	574	ALICANTE

Tabla 2. Estación meteorológica nº 7247

Los datos climáticos empleados corresponden a la serie de precipitaciones mensuales y de temperatura media mensual registradas en el periodo comprendido entre octubre de 1945 hasta mayo de 2006.

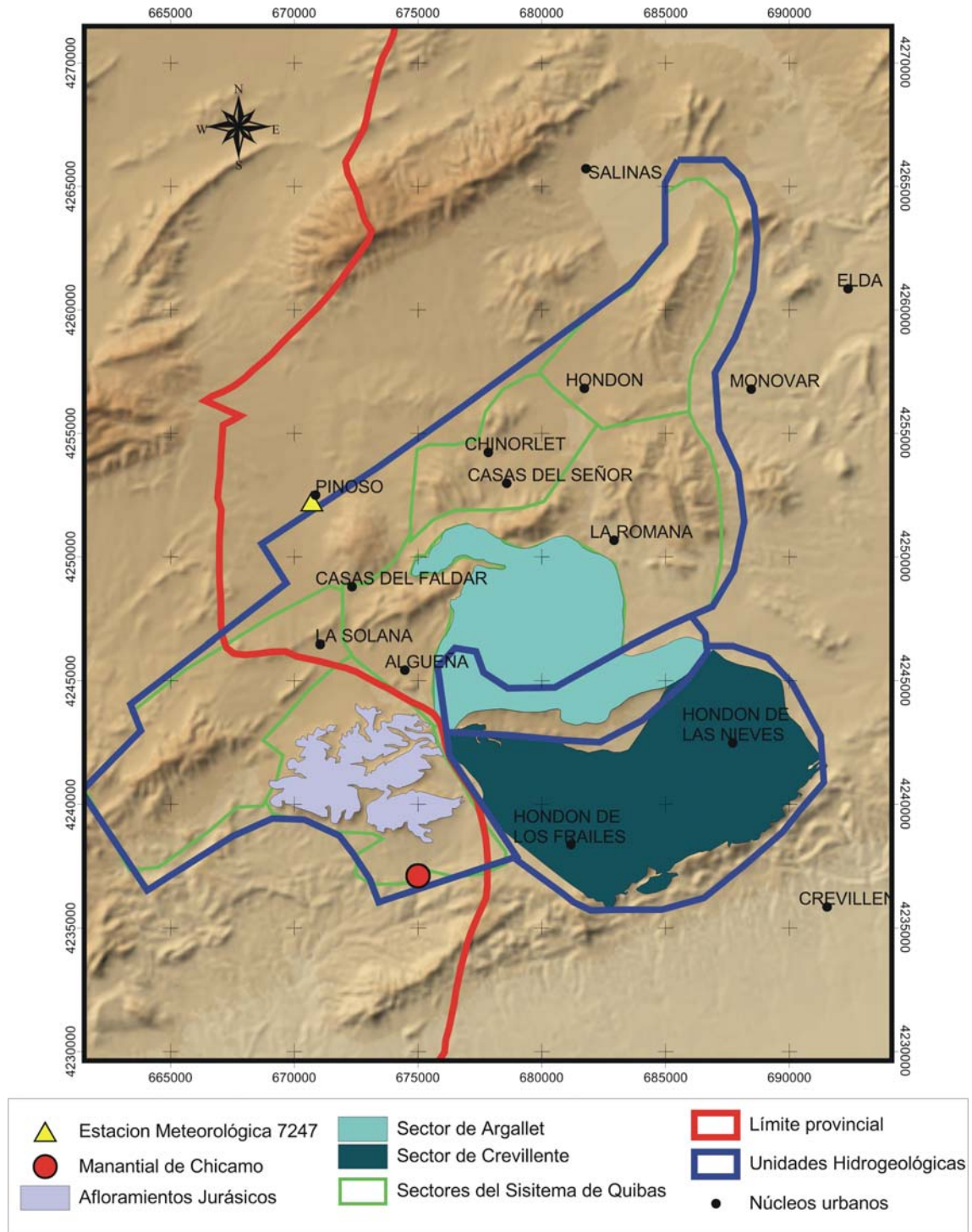


Figura 10. Localización del sector de Chicamo

En la tabla 3 se incluyen los parámetros del modelo de Temez que definen la cuenca de recepción del acuífero de Quibas obtenidos mediante la aplicación de la metodología indicada y calibrados con la serie de aforos del manantial del Chicamo.

S.permeable (km²)	22.0
S.impermeable (km²)	40.0
α (días⁻¹)	0.002
Hmax (mm/mes)	45.0
lmax (mm/mes)	200.0
C	0.3
q₀ (l/s)	20.0

Tabla 3. Parámetros de modelo de Temez para el sector de Chicamo

De los resultados obtenidos en el modelo de precipitación-escorrentía aplicado y una vez se considera calibrado, se obtiene el valor de la recarga correspondiente a un año medio. Este valor es del orden de 55,81 mm/año. La superficie de afloramientos de los materiales que constituyen el acuífero en el sector considerado es de 69,8 km². Considerando una infiltración media de 55,81 mm/año y esa superficie, se obtiene un volumen de recarga anual de 3,88 hm³.

En la tabla 4 se muestra la distribución mensual de la infiltración obtenida.

Infiltración mensual (mm/mes)			
Octubre	14.42	Abril	4.82
Noviembre	6.41	Mayo	4.22
Diciembre	4.15	Junio	5.89
Enero	1.74	Julio	0.38
Febrero	2.85	Agosto	2.15
Marzo	2.68	Septiembre	6.34
Total		55.81	

Tabla 4. Valores de infiltración mensuales promedio

En la tabla 5 se muestran los resultados de la infiltración calibrada para toda la serie estudiada.

ANOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
1945-46	0.160	4.707	0.000	7.378	0.000	2.685	51.031	8.159	0.000	0.000	0.000	0.000	74.119
1946-47	10.039	47.581	5.715	4.537	0.576	0.960	0.000	17.667	0.000	0.000	3.021	35.254	125.350
1947-48	6.277	2.692	0.000	4.402	12.022	0.927	9.080	2.337	0.000	0.000	0.000	0.000	37.738
1948-49	46.652	0.000	0.000	1.921	17.268	21.007	8.069	0.893	15.034	0.000	5.982	0.000	116.826
1949-50	0.000	0.000	19.281	13.972	0.000	0.000	0.647	9.558	0.000	0.000	0.000	12.439	55.897
1950-51	40.254	0.000	0.000	5.283	0.000	4.196	38.611	0.099	0.135	0.000	11.513	22.172	122.262
1951-52	38.495	3.167	46.480	0.000	0.853	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.135	1.599	96.730
1952-53	12.302	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.364	0.000	30.294	3.753	0.000	0.000	48.714
1953-54	37.875	1.475	0.000	0.000	1.591	0.710	17.514	0.000	10.971	0.000	0.000	0.000	70.137
1954-55	3.871	0.000	0.217	0.000	0.000	0.639	0.188	16.907	0.436	0.000	3.612	0.305	26.177
1955-56	0.000	2.142	0.026	3.100	1.031	0.447	0.747	7.402	0.000	0.000	0.000	0.569	15.465
1956-57	14.031	18.866	0.000	0.739	0.000	0.000	8.397	12.620	0.501	0.000	0.000	0.000	55.154
1957-58	55.550	2.021	0.162	1.690	0.000	0.000	2.658	4.562	0.000	0.000	0.000	0.000	66.643
1958-59	27.880	1.469	5.103	0.370	18.702	1.562	0.000	27.473	0.000	0.000	0.000	59.001	141.560
1959-60	23.927	0.657	0.000	10.324	2.943	0.000	8.898	1.536	12.437	0.000	0.000	0.000	60.723
1960-61	19.660	0.000	0.813	0.000	0.000	0.000	4.863	0.485	8.848	0.000	0.000	0.000	34.670
1961-62	0.000	11.208	0.000	0.000	0.000	4.842	3.928	1.466	1.979	0.000	0.000	0.245	23.666
1962-63	55.710	25.899	0.000	0.278	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000	8.935	0.000	0.000	90.858
1963-64	0.000	0.000	0.584	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000	1.605	0.531	0.000	0.007	2.750
1964-65	7.653	0.270	33.465	0.000	9.970	0.000	0.107	0.000	8.442	0.000	2.295	6.074	68.275
1965-66	39.267	1.881	11.028	1.038	0.514	0.000	6.904	0.588	37.636	0.000	0.000	5.347	104.202
1966-67	24.537	0.000	0.000	0.000	3.092	0.000	12.918	0.000	0.275	0.000	0.000	0.000	40.822
1967-68	5.478	27.402	0.000	3.781	1.456	1.762	0.000	0.422	24.036	0.000	0.000	0.000	64.337
1968-69	0.000	2.024	3.535	3.760	1.868	3.690	2.831	0.304	10.881	0.000	3.006	0.000	31.899
1969-70	43.922	4.858	0.000	2.343	0.000	0.287	0.518	0.000	3.335	0.000	0.000	0.000	55.263
1970-71	9.870	0.000	0.003	0.000	0.000	14.339	3.905	2.566	0.000	1.871	0.000	1.943	34.498
1971-72	20.128	13.593	31.261	1.879	0.000	4.824	0.025	8.249	0.000	0.000	0.782	42.717	123.456
1972-73	45.751	53.456	0.000	0.000	0.000	18.383	0.000	0.000	26.654	0.000	0.000	1.049	145.292
1973-74	17.276	0.000	2.548	0.000	1.880	1.674	6.709	0.001	0.000	0.511	12.406	0.000	43.005
1974-75	22.148	0.000	0.000	0.000	0.329	17.169	1.745	10.672	18.818	0.000	10.005	0.000	80.887
1975-76	0.036	0.004	1.809	0.000	0.101	0.000	2.721	8.527	6.242	0.000	32.027	0.161	51.628
1976-77	15.909	0.000	8.571	3.332	0.000	0.074	0.404	15.609	0.484	0.009	0.000	0.416	44.808
1977-78	0.050	3.805	0.000	0.062	0.000	0.012	0.489	0.918	3.062	0.000	0.000	0.000	8.398
1978-79	0.000	0.000	0.000	2.002	0.000	0.000	0.101	0.000	0.834	5.645	0.000	2.370	10.952
1979-80	14.357	0.000	0.000	11.826	6.530	0.000	18.083	2.682	0.000	2.468	0.000	0.000	55.946
1980-81	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.035	10.522	0.160	3.924	0.000	0.000	0.000	14.652
1981-82	0.000	0.000	0.000	0.073	0.000	0.612	2.710	10.789	0.000	0.000	0.000	0.000	14.184
1982-83	60.391	0.742	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.454	0.000	61.587
1983-84	0.000	9.774	0.000	0.000	0.000	0.150	0.011	5.235	0.000	0.000	0.000	0.000	15.171
1984-85	0.287	15.231	0.000	0.000	3.897	0.000	0.000	12.402	0.000	0.000	0.000	0.000	31.818
1985-86	0.000	2.005	0.341	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.429	8.008	0.000	15.927	26.711
1986-87	44.912	1.221	0.000	0.000	1.164	0.000	0.000	1.359	0.000	0.000	0.000	0.000	48.656
1987-88	2.178	34.304	1.675	1.219	3.838	0.000	4.677	1.496	53.262	0.000	0.000	0.358	103.006
1988-89	13.247	30.249	0.000	0.080	0.000	24.337	0.000	0.220	17.693	0.000	8.428	94.730	188.985
1989-90	0.000	4.463	8.620	1.226	0.000	0.206	0.915	6.621	0.000	0.000	0.000	0.000	22.050
1990-91	3.581	0.000	0.000	0.000	4.551	16.339	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.269	24.739
1991-92	9.876	0.000	0.000	0.000	25.687	0.455	0.000	2.965	32.890	0.000	0.000	0.000	71.873
1992-93	0.188	0.000	0.225	0.000	41.826	7.018	2.964	2.770	0.680	0.000	0.000	0.000	55.671
1993-94	0.000	1.787	0.797	0.000	0.000	0.000	3.346	0.000	0.000	0.000	0.000	5.927	11.858
1994-95	19.817	2.105	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.560	0.000	0.000	0.443	28.924
1995-96	0.000	0.000	8.997	0.475	1.325	0.000	1.871	2.733	0.000	0.000	0.000	11.102	26.501
1996-97	0.678	19.671	12.573	8.467	0.000	1.831	24.558	0.431	1.286	0.000	0.000	36.788	106.283
1997-98	0.457	6.653	3.112	1.425	0.000	3.635	0.007	2.508	0.000	0.000	0.000	0.098	17.896
1998-99	0.000	5.364	16.003	0.000	0.000	1.991	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.167	32.524
1999-00	9.880	0.116	0.360	0.011	0.000	0.000	0.142	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.509
2000-01	38.004	0.659	0.285	0.604	6.845	0.000	4.346	13.851	0.000	0.000	0.000	11.448	76.042
2001-02	9.643	15.184	19.859	0.000	0.000	0.574	10.716	6.737	12.269	0.000	20.168	0.039	95.189
2002-03	0.103	7.572	2.424	0.000	3.193	0.000	10.300	5.083	0.000	0.000	0.000	0.063	19.468
2003-04	7.498	2.740	3.670	0.000	0.089	6.334	5.642	9.275	1.352	0.000	0.000	0.000	36.600
2004-05	0.000	0.000	3.806	0.000	0.388	0.000	2.708	0.000	0.297	0.000	0.000	2.223	9.423
2005-06	0.000	2.007	0.000	8.314	0.000	0.000	3.488	11.175					24.954
MINIMO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.750
25%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	24.954
MEDIANA	22.148	5.364	3.535	1.921	1.868	1.831	4.863	7.402	7.031	0.000	0.113	2.259	74.119
PROMEDIO	14.423	6.410	4.153	1.736	2.846	2.684	4.821	4.221	5.893	0.380	2.146	6.337	55.810
75%	22.148	5.364	3.535	1.921	1.868	1.831	4.863	7.402	7.031	0.000	0.113	2.259	74.119
MAXIMO	60.391	53.456	46.480	13.972	41.826	24.337	51.031	27.473	53.262	8.008	32.027	94.730	188.985
DESV. EST.	17.558	11.557	9.005	3.155	7.063	5.638	9.044	5.821	11.027	1.375	5.530	16.377	40.506
CV	1.217	1.803	2.168	1.817	2.482	2.101	1.876	1.379	1.871	3.619	2.577	2.584	0.726

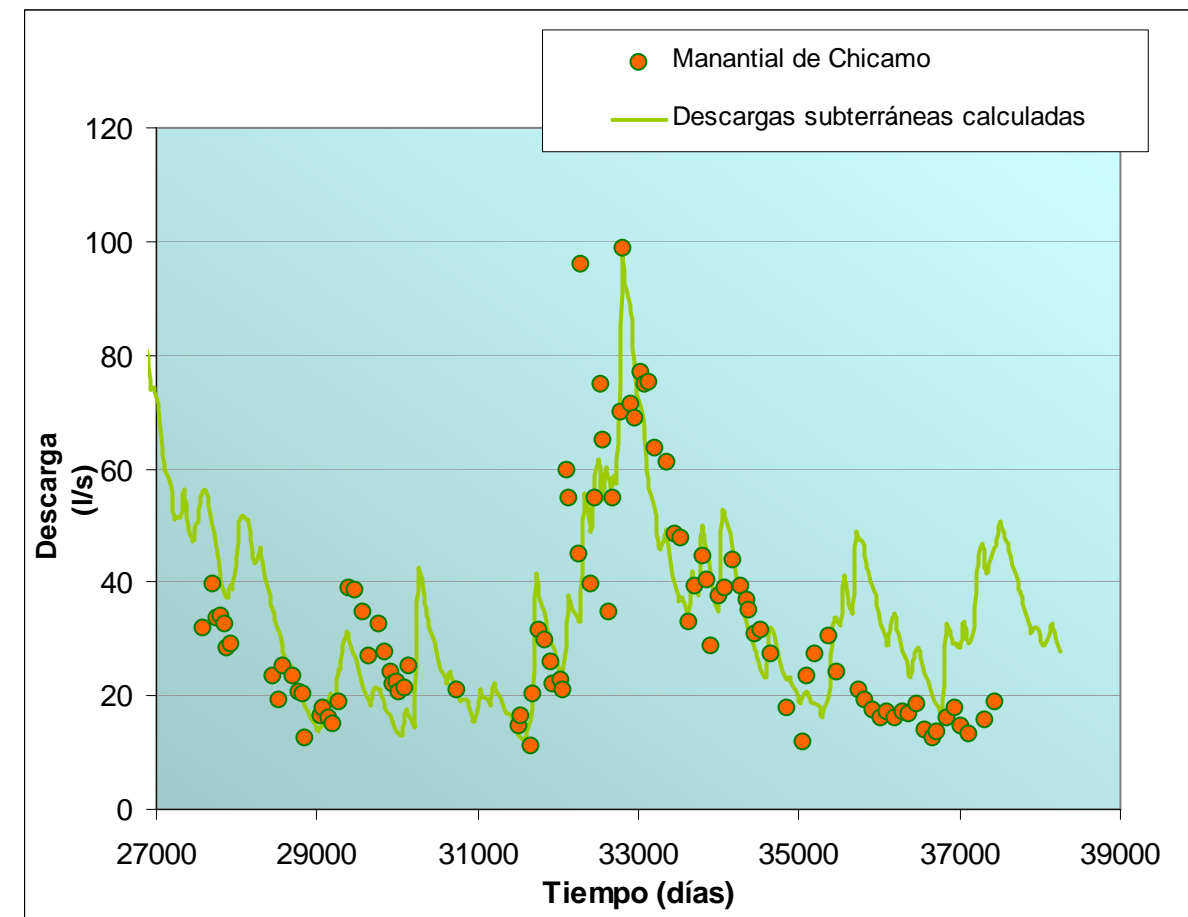


Tabla 5. Resultados de la calibración del modelo de precipitación escorrenría. Serie de Infiltración (mm/mes).

En la realización del modelo se ha optado por distribuir la recarga procedente de la infiltración de lluvia de forma homogénea en toda la superficie del acuífero, salvo en el área que queda bajo el cabalgamiento del acuífero de Crevillente. La superficie activa en el modelo matemático realizado es de 141,25 km², de los cuales 25,75 km² corresponden al sector del acuífero que queda por debajo del cabalgamiento subbético y que no recibe recarga directa procedente de la infiltración de la lluvia. La superficie de recarga efectiva en el modelo es de 115,5 km², y el valor de recarga asignada a cada celda, a fin de equiparar el volumen de entradas en el modelo al volumen de infiltración media anual estimado en régimen natural, es de 33,68 mm/año. De esta forma el volumen total de recarga aplicada al modelo es de 3,89 hm³/año

La distribución de la recarga por celdas sigue el patrón que se muestra en la figura 11.

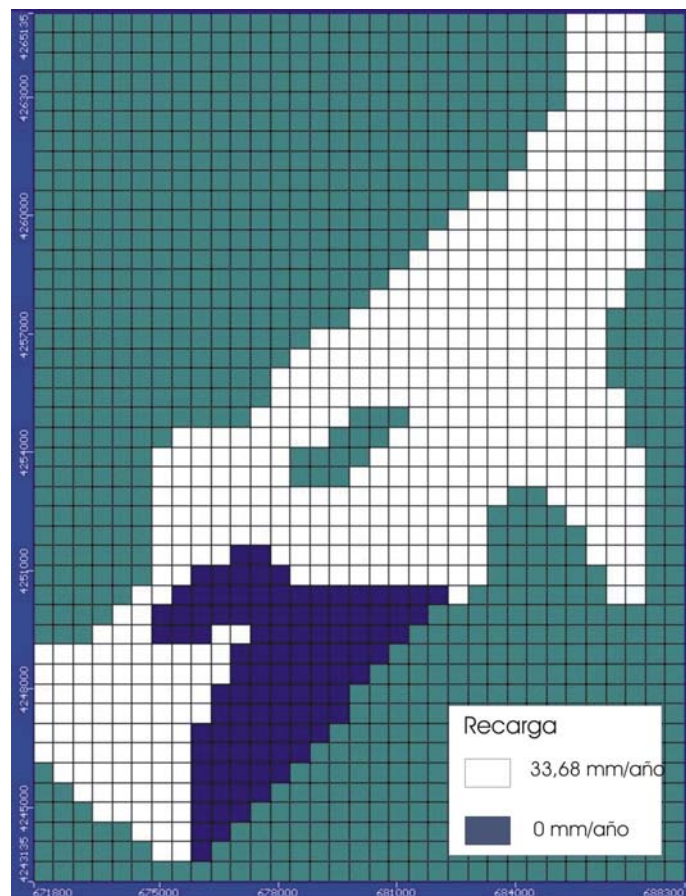


Figura 11. Distribución de la recarga en régimen natural.

3.5.3 Resultados del modelo en régimen estacionario

Considerando las condiciones de contorno y los valores recarga descritos, se ha obtenido una superficie piezométrica correspondiente a la situación del acuífero en régimen no influenciado y consecuente con el modelo conceptual descrito para el sistema de Quibas (ver Figura 12).

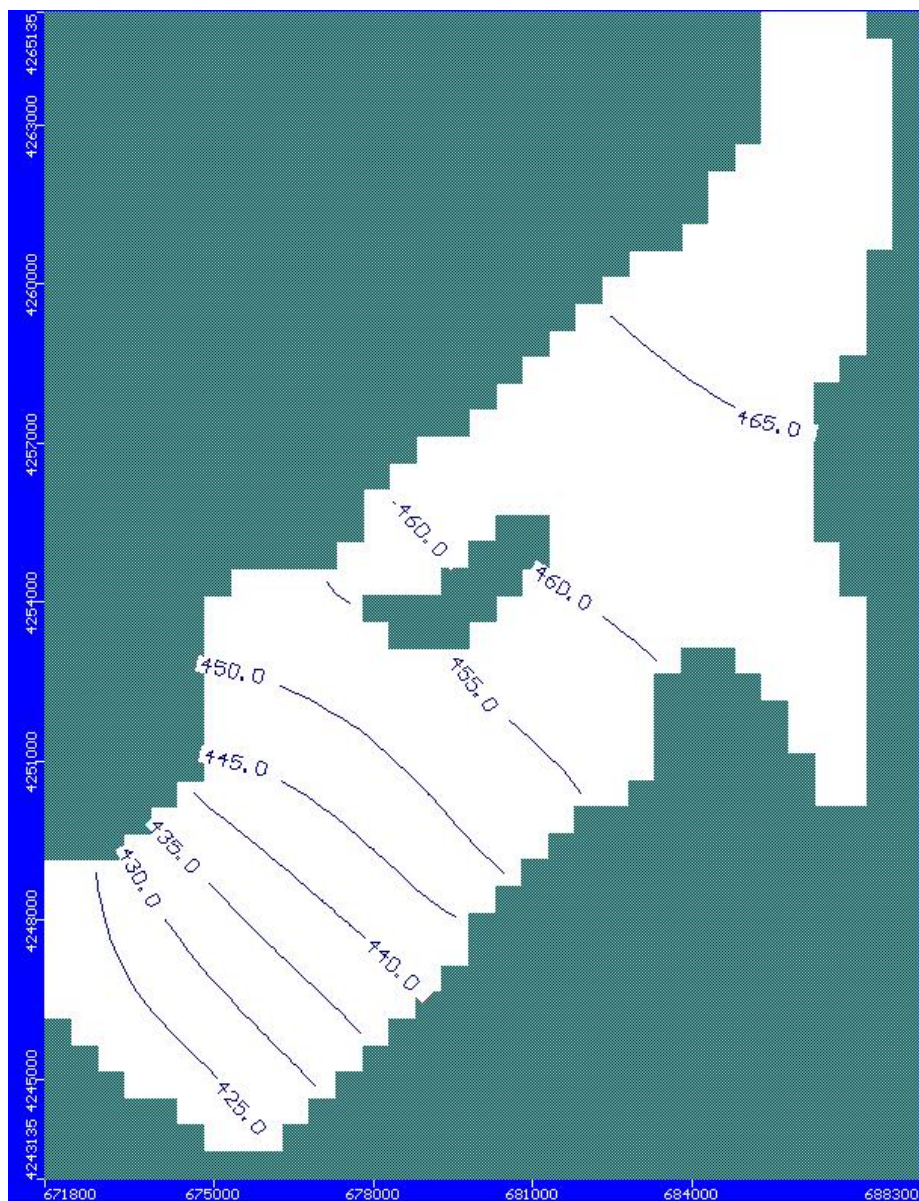


Figura 12. Piezometría obtenida de la calibración del modelo en régimen natural

La principal componente del flujo es de dirección NE-SW, y los valores de piezometría registrados oscilan entre un máximo de 468 m s.n.m. en el extremo noreste del sector de Umbría y un mínimo de 420 n s.n.m. en el extremo suroeste del sector de Madara.

En el balance hídrico obtenido en régimen natural, el volumen de agua que entra en el sistema es de 3,79 hm³/año, volumen que se descarga, a su vez, por transferencia lateral al sector acuífero colindante aguas abajo.

3.6 CALIBRACIÓN EN RÉGIMEN TRANSITORIO DESDE EL COMIENZO DE LA EXPLOTACIÓN HASTA EL AÑO 2004

A pesar de que la captación de los recursos subterráneos en el acuífero de Quibas comenzó al principio de la década de los sesenta, no ha sido posible disponer de datos de explotación hasta el año 1999. En contraposición, existe un buen registro histórico de la evolución piezométrica del acuífero, de forma que los niveles piezométricos medidos datan de 1972. Con objeto de reproducir la evolución piezométrica del embalse subterráneo de Quibas desde el comienzo de la explotación, se ha elaborado un modelo en régimen transitorio que abarca desde 1970 hasta el año 2004 inclusive, en el que el paso de tiempo se ajusta a la información disponible y por tanto es anual.

En los siguientes apartados se describe de forma detallada los valores asignados a las celdas de la malla y los resultados obtenidos en la calibración del modelo.

3.6.1 Distribución espacial de los parámetros hidráulicos

Las distintas zona de permabilidad diferenciadas en el modelo se han fundamentado en la variación de espesores del acuífero, aumentando el valor de permeabilidad en las zonas donde el acuífero presenta mayor espesor y disminuyendo el valor de este parámetro en las zonas donde, a la luz de los resultados de los estudios previos, el acuífero presenta un espesor menor.

Con estas condiciones se ha construido un mapa de espesores del acuífero (Figura 13), el cual se ha elaborado a partir del mapa de isohipsas del muro (ITGE, 1992) y el MDT del terreno obtenido de la cartografía 1:25.000. En función de los resultados de dicho mapa se han distinguido 7 zonas, a las que se ha asignado un valor de permeabilidad obtenido por calibración:

-**Zona 1:** Corresponde con el sector de Umbría y el este del sector de Madara. El espesor del acuífero en esta zona oscila entre 200 y 600 m. Se le ha asignado un valor de permeabilidad de 3 m/d.

-**Zona 2:** Dentro de la primera zona se ha distinguido una segunda zona, al oeste de Monóvar, en la que el acuífero presenta un espesor superior a 600 m. El valor de permeabilidad asignado a esta zona es de 10 m/d.

-**Zona 3:** La tercera zona diferenciada corresponde al sector de Chinorlet, donde el acuífero alcanza un espesor comprendido entre 200 y 400 m. El valor de permeabilidad asignado es de 3 m/d.

-**Zona 4:** Corresponde con el flanco norte del anticlinal de Reclot, localizado en el tramo este del sector de Madara. En este tramo se produce un estrechamiento del acuífero, ya que en él no aparece el término de bioalcarenitas y calizas con algas del Mioceno Medio (ver corte Madara 1 de la figura 31) que es, a su vez, el término de mayor permeabilidad de la serie. El valor de permeabilidad asignado en esta zona es de 0,01 m/d.

-**Zona 5:** Inmediatamente al sur de la zona 4 se ha distinguido una quinta zona donde aumenta ligeramente el espesor del acuífero y a la que se ha asignado el valor de permeabilidad de 0,05 m/d.

-**Zona 6:** Corresponde al margen meridional del sector de Chirnolet, en el que la proximidad a la superficie de los afloramientos del Keuper, dejan reducido el acuífero al nivel de calizas con nummulites del Eoceno Medio. Esta disminución

de espesor del acuífero no queda reflejada en el mapa de espesores, aunque sí en el corte hidrogeológico Chirnolet 1 que se incluye en la figura 3. Por otro lado, la presencia de estos materiales impermeables puede suponer la desconexión de los sectores de Chirnolet y Madara. El valor de permeabilidad asignado a esta zona es de 0.001 m/d.

-Zona 7: Corresponde con el extremo occidental del sector de Madara, el cual linda con la continuación del acuífero de Quibas en la provincia de Murcia. El espesor del acuífero está influenciado por la estructura anticlinal presente, de forma que la potencia del acuífero varía desde valores próximos a cero en el centro del anticlinal hasta valores próximos a 600 m en los flancos del anticlinal. El valor de permeabilidad asignado a esta zona es de 1 m/d.

-Zona 8: Corresponde con el sector del acuífero que queda confinado por el cabalgamiento subbético. En esta zona no existe información sobre el espesor del acuífero. Se ha asignado un valor de permeabilidad de 3 m/d.

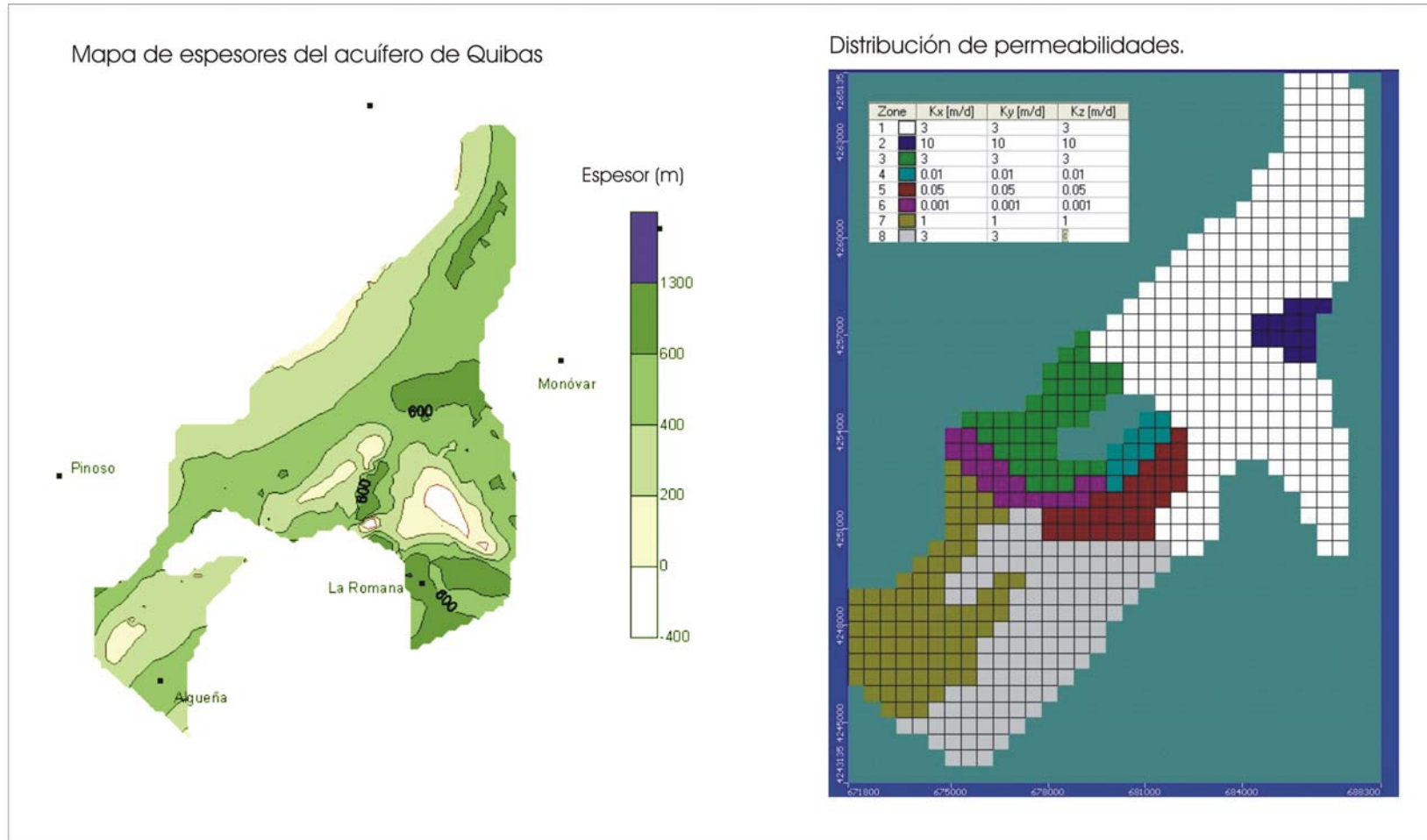


Figura 13. Distribución de la permeabilidad y mapa de espesores del acuífero de Quibas.

-Zona 7: El tramo oeste del sector de Madara se ha diferenciado en dos zonas: por un lado, el tramo de acuífero que queda por debajo del cabalgamiento subbético, y por otro la zona libre. Esta última, en la que el acuífero presenta, por lo general, espesores comprendidos entre 200 y 400 m, se ha definido como zona 7 y se le ha asignado un valor de permeabilidad de 1 m/d.

Los valores de permeabilidad asignados durante el proceso de calibración al modelo de flujo del acuífero de Quibas oscilan entre valores de 1 y 3 m/d, salvo en las zonas concretas en las que se considera que el espesor del acuífero es muy reducido con respecto a la media, a las que se le ha asignado valores de permeabilidad comprendidos entre 0.001 y 0.01 m/d y la zona en la que el espesor del acuífero es muy superior al espesor medio, a la que se ha asignado un valor de 10 m/d.

El valor de porosidad obtenido por calibración para el acuífero es de 2,1%, salvo en el flanco norte del anticlinal de Reclot, su tramo más meridional, donde el valor de porosidad se ha variado ligeramente a 2%, y la superficie correspondiente a la zona 2 de permeabilidad, a la que se ha asignado un valor de porosidad de 15%. La distribución espacial de la porosidad se muestra en la figura 14 y corresponde al valor S_y de la leyenda.

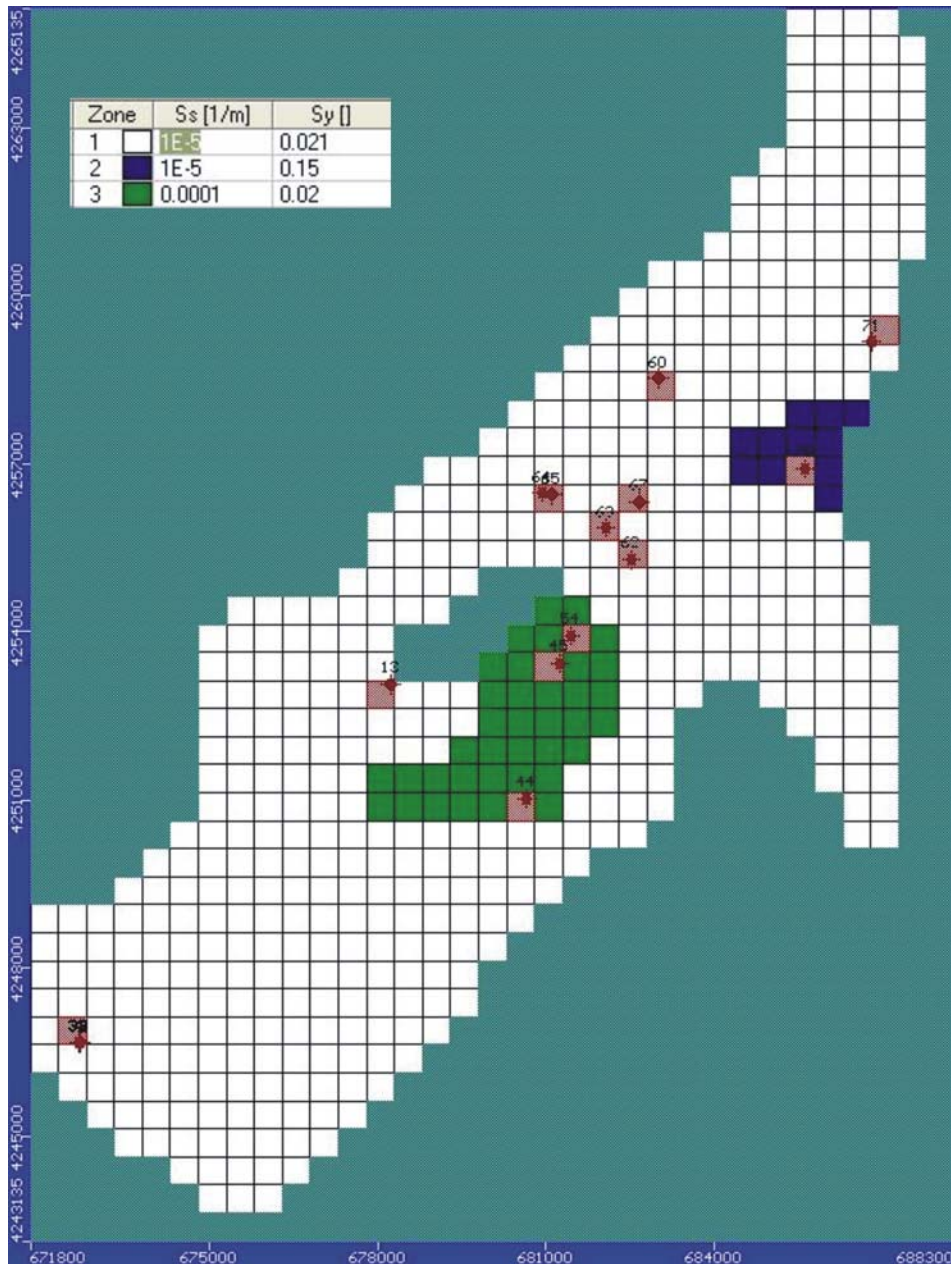


Figura 14. Distribución de la porosidad.

3.6.2 Recarga

En la tabla 6 se incluyen los valores (en mm) de recarga mensual obtenidos por calibración del modelo de precipitación-escorrentía aplicado al manantial de Chicamo a partir de la serie de precipitación mensual registrada en la estación nº 7242 de Pinoso.

Los valores incluidos en la tabla 6 han sido multiplicados por un factor de 0,6 a fin de compensar la diferencia entre la superficie real del acuífero de Quibas y la superficie activa del modelo.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total (mm/año)	Total (hm ³ /año)
1970	2.3	0.0	0.3	0.5	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	9.9	0.0	0.0	16.4	1.9
1971	0.0	0.0	14.3	3.9	2.6	0.0	1.9	0.0	1.9	20.1	13.6	31.3	89.6	10.3
1972	1.9	0.0	4.8	0.0	8.2	0.0	0.0	0.8	42.7	45.8	53.5	0.0	157.7	18.2
1973	0.0	0.0	18.4	0.0	0.0	26.7	0.0	0.0	1.0	17.3	0.0	2.5	65.9	7.6
1974	0.0	1.9	1.7	6.7	0.0	0.0	0.5	12.4	0.0	22.1	0.0	0.0	45.3	5.2
1975	0.0	0.3	17.2	1.7	10.7	18.8	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	1.8	60.6	7.0
1976	0.0	0.1	0.0	2.7	8.5	6.2	0.0	32.0	0.2	15.9	0.0	8.6	74.3	8.6
1977	3.3	0.0	0.1	0.4	15.6	0.5	0.0	0.0	0.4	0.0	3.8	0.0	24.2	2.8
1978	0.1	0.0	0.0	0.5	0.9	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.5
1979	2.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.8	5.6	0.0	2.4	14.4	0.0	0.0	25.3	2.9
1980	11.8	6.5	0.0	18.1	2.7	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.6	4.8
1981	0.0	0.0	0.0	10.5	0.2	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6	1.7
1982	0.1	0.0	0.6	2.7	10.8	0.0	0.0	0.0	0.0	60.4	0.7	0.0	75.3	8.7
1983	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	9.8	0.0	10.2	1.2
1984	0.0	0.0	0.2	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	15.2	0.0	20.9	2.4
1985	0.0	3.9	0.0	0.0	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.3	18.6	2.2
1986	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	8.0	0.0	15.9	44.9	1.2	0.0	70.5	8.1
1987	0.0	1.2	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	34.3	1.7	40.7	4.7
1988	1.2	3.8	0.0	4.7	1.5	53.3	0.0	0.0	0.4	13.2	30.2	0.0	108.3	12.5
1989	0.1	0.0	24.3	0.0	0.2	17.7	0.0	8.4	94.7	0.0	4.5	8.6	158.6	18.3
1990	1.2	0.0	0.2	0.9	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	12.5	1.4
1991	0.0	4.6	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	9.9	0.0	0.0	31.0	3.6
1992	0.0	25.7	0.5	0.0	3.0	32.9	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	62.4	7.2
1993	0.0	41.8	7.0	3.0	2.8	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.8	57.8	6.7
1994	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	19.8	2.1	0.0	31.2	3.6
1995	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	9.0	16.0	1.8
1996	0.5	1.3	0.0	1.9	2.7	0.0	0.0	0.0	11.1	0.7	19.7	12.6	50.4	5.8
1997	8.5	0.0	1.8	24.6	0.4	1.3	0.0	0.0	36.8	0.5	6.7	3.1	83.6	9.7
1998	1.4	0.0	3.6	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	5.4	16.0	29.0	3.4
1999	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	9.9	0.1	0.4	21.5	2.5
2000	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.0	0.7	0.3	39.1	4.5
2001	0.6	6.8	0.0	4.3	13.9	0.0	0.0	0.0	11.4	9.6	15.2	19.9	81.8	9.4
2002	0.0	0.0	0.6	10.7	6.7	12.3	0.0	20.2	0.0	0.1	7.6	2.4	60.6	7.0
2003	0.0	3.2	0.0	1.0	5.1	0.0	0.0	0.0	0.1	7.5	2.7	3.7	23.3	2.7
2004	0.0	0.1	6.3	5.6	9.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	26.5	3.1

Tabla 6. Valores de recarga por infiltración considerados en el modelo de Quibas.

3.6.3 Datos considerados en la calibración

Puntos de agua

La información referente a los puntos de agua del sistema de Quibas procede fundamentalmente, de la base de datos de la Diputación de Alicante. Esta información ha sido completada finalmente con el inventario de puntos de agua más reciente, recogido en los estudios previos (IGME, 2007).

En las fuentes de datos consultadas existen registros referentes a 71 puntos de agua dentro de los límites del acuífero de Quibas en la provincia de Alicante. Del total de puntos existentes en la realización del modelo se ha utilizado la información referente a 23 puntos, descartándose aquellos en los que la serie de piezometría registrada era poco dilatada en el tiempo y los puntos que presentan información errónea.

En la tabla 7 se incluyen las principales características de los puntos utilizados, cuya localización puede verse en la figura 15.

Niveles piezométricos

Los datos de piezometría utilizados en la calibración del modelo en régimen transitorio para el periodo 1970-2004 proceden de la base de datos del Departamento del Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante. En total, se han utilizado 1.206 registros de piezometría correspondientes a los 15 puntos incluidos en la tabla 8.

Punto	Registro	Toponimia	Naturaleza	Municipio	UTM X	UTM Y	Cota (m s.n.m.)	Profundidad (m)
13	273470015	José Verdú Nº1 y Nº2	Sondeo	Monóvar	678236	4253073	600	200
14	273470017		Sondeo	Monóvar	678068	4253167	598	65
22	273480022		Sondeo	Monóvar	680697	4253361	538	190
23	273460001		Sondeo	Pinoso	672555	4246496	518	150
28	273460068		Sondeo	Algueña	672668	4246705	535	351
29	273460106		Sondeo	Algueña	672676	4246714	535	
30	273460107	El Puntal A	Sondeo	Algueña	672695	4246687	520	330
32	273460112	Cerro La Mota A5	Sondeo	Algueña	672663	4246672	519	289
33	273460113	Cerro La Mota A6	Sondeo	Algueña	672681	4246685	518	363
43	273480006		Sondeo	Monóvar	680716	4251230	565	
44	273480007	Cavafría	Sondeo	Monóvar	680662	4251024	570	
45	273480008	Soledad	Sondeo	Monóvar	681244	4253441	517	244
46	273480009		Sondeo	Monóvar	681550	4254033	502	217
50	273480021		Sondeo	Monóvar	681104	4253357	525	240
54	273480038		Sondeo		681463	4253929	500	
60	273440008	Romero Nº 2	Sondeo	Monóvar	683003	4258526	539	220
62	273440010	Bilaire	Sondeo	Monóvar	682535	4255289	527	200
63	273440013	Bilaire	Sondeo	Monóvar	682083	4255846	500	
65	273440015	Pozo Nº1	Sondeo	Monóvar	681103	4256449	518	100
66	273440016	Pozo Nº3/2	Sondeo	Monóvar	681093	4256463	518	100
68	273440020		Sondeo	Monóvar	685449	4256931	483.2	166
70	273440004	Zahoril 2	Sondeo	Monóvar	685629	4256919	480	143
71	273440024	Pozo Nº4	Sondeo	Monóvar	686824	4259172		

Tabla 7. Puntos de agua del acuífero de Quibas.

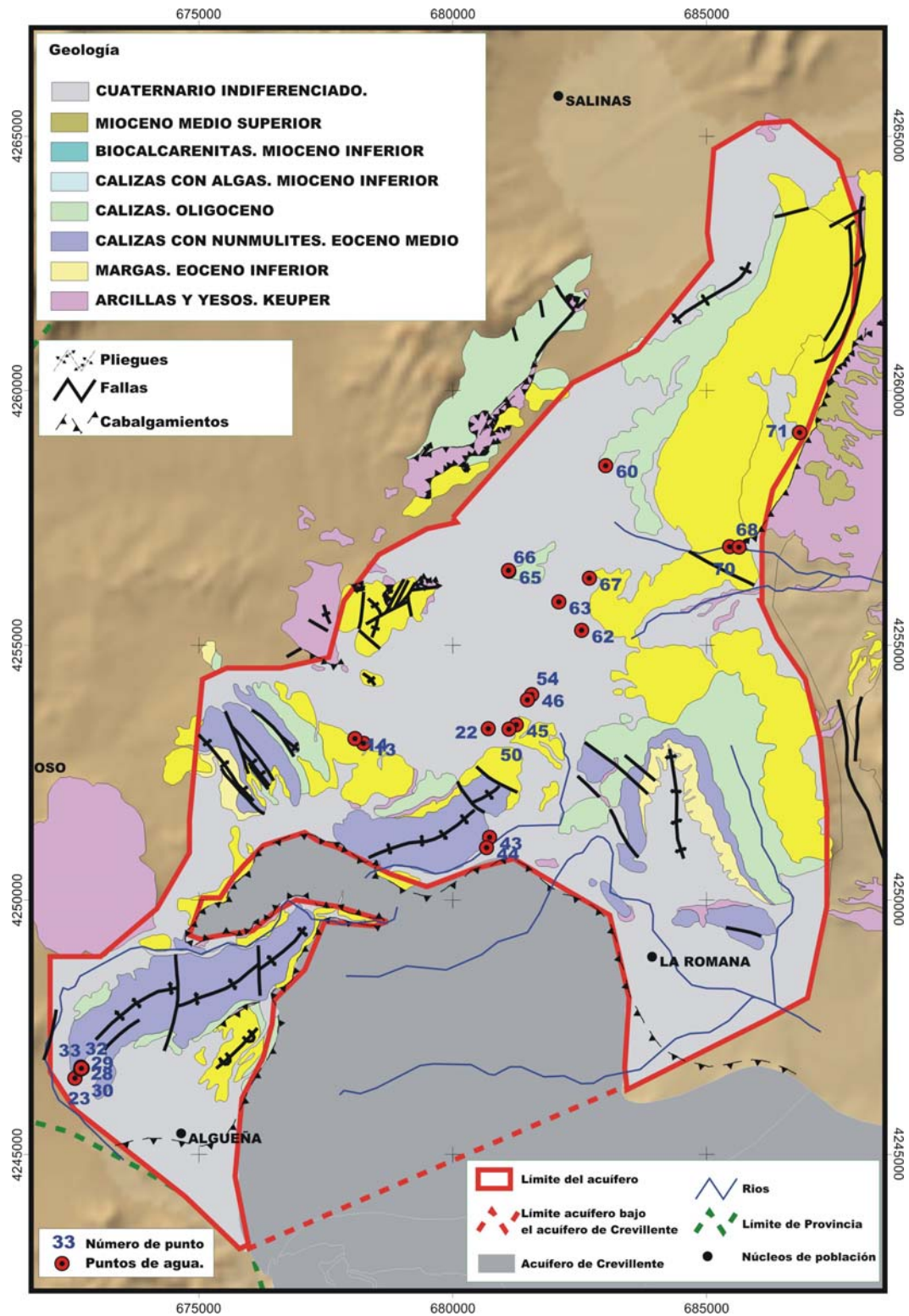


Figura 15. Puntos de agua del acuífero de Quibas

Punto	Registro	UTM X	UTM Y	COTA (m s.n.m.)	Inicio serie	Fin serie	Nº de datos
14	273470017	678068	4253167	598.00	4-10-80	31-12-04	148
22	273480022	680697	4253361	538.00	13-9-74	3-12-92	18
23	273460001	672555	4246496	518.00	13-1-75	27-4-78	25
28	273460068	672668	4246705	535.00	22-12-74	27-10-82	55
29	273460106	672676	4246714	535.00	11-11-78	25-10-99	74
43	273480006	680716	4251230	565.00	3-6-78	6-9-04	13
44	273480007	680662	4251024	570	3-6-78	6-6-01	140
45	273480008	681244	4253441	517.00	30-6-72	28-9-94	37
46	273480009	681550	4254033	502.00	9-3-80	13-10-95	79
50	273480021	681104	4253357	525.00	25-5-78	6-9-04	33
60	273440008	683003	4258526	539.00	30-6-72	6-9-04	174
62	273440010	682724	4258530	527.00	12-1-74	3-12-92	34
65	273440014	680929	4256468	518.00	16-9-72	3-12-92	87
66	273440015	681103	4256449	518.00	13-10-79	3-12-92	89
68	273440020	685449.2	4256931.2	483.2	25-5-78	31-12-04	197

Tabla 8. Datos de piezometría utilizados en la calibración del modelo.

Explotaciones

La información referente a la explotación de los recursos subterráneos en el acuífero de Quibas durante el periodo 1970-2004 que ha sido posible obtener, procede fundamentalmente de la Diputación de Alicante. Estos datos hacen referencia únicamente a las explotaciones desde el año 1998 hasta 2004, y están contenidos en la tabla 9. El resto de los datos de explotaciones se han obtenido durante el proceso de calibración, mediante el ajuste de las series de piezometría reales y las series simuladas, y se incluyen en la tabla 10.

Punto	Registro	Toponimia	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
13	273470015	JOSÉ VERDÚ Nº1 y Nº2							217.0
70	273440004	ZAHORI 2			347.53	301.92			382.6
65	273440015	POZO Nº1							1570.47
64/66	273440014/16	POZO Nº3/2	5962.2	6218.8	7012.5	6380.9			0
62	273440012	BILAIRE	3671.2	4041.7	3834.1	4186.8		3000	1712.1
63	273440013	BILAIRE					1903.7	2518.7	1712.1
44	273480007	CAVAFRÍA					2209.8	2923.7	2635.6
60	2734-0008	ROMERO Nº 2	1687.2	1642.1	1768.6	1773.1	916.4	1212.4	1063.4
45	273480008	SOLEDAD					480.9	636.3	500.6
67	27340017	COSTERA REIG							616.4
54	273480038						65.8		
30	273460107	El Puntal A	2298.8	1958.5	1577.9	1974.8			
32	27346112	Cerro La Mota A5	691.0	1215.3	1487.5	2152.9			
33	273460113	Cerro La Mota A6	2323.6	2222.0	1667.2	2530.6			

Tabla 9. Datos de explotaciones proporcionados por la Diputación de Alicante (m³/d).

	13	70	65	64/66	62	63	44	60	45	67	54	30	32	33
	2734-0015	273440004	273440015	273440014/16	2734-0012	273440013	273480007	273440008	273480008	273440017	273480038	273460107	27346112	273460113
	JOSE VERDÚ Nº1 y Nº2	ZAHORI 2	POZO Nº1	POZO Nº3/2	BILAIRE	BILAIRE	CAVAFRÍA	ROMERO Nº 2	SOLEDAD	COSTERA REIG		El Puntal A	Cerro La Mota A5	Cerro La Mota A6
1970	200	0	1000	1500	3500	3000	5000	3000	1300	500	1500	2000	500	1000
1971	200	0	1000	1500	3500	3000	5000	3000	1300	500	1500	2000	500	1000
1972	200	0	1000	1500	3500	3000	5000	3000	1300	500	1500	2000	500	1000
1973	200	0	1000	1500	3500	3000	5000	3000	1300	500	1500	2000	500	1000
1974	200	0	1000	1500	3500	2500	5000	3000	1300	500	1500	2000	500	1000
1975	200	0	1000	1500	3500	2500	5000	3000	1300	500	1500	2000	500	1000
1976	200	0	1000	1500	3500	2500	5000	3000	1300	500	1500	2000	1500	2000
1977	200	0	1000	1500	3500	2500	5000	3000	1300	500	1500	2000	1500	2000
1978	200	0	1000	1500	3500	2500	5000	3000	1300	500	650	2000	1500	2000
1979	200	0	1000	1500	3500	2500	5000	3000	650	500	650	1500	1000	1500
1980	200	0	1000	1500	3500	2500	5000	3000	650	500	650	1500	1000	1500
1981	200	0	1000	1500	3500	2500	5000	3000	650	500	1000	2500	2500	2500
1982	200	0	1000	1500	3500	1000	3500	3000	650	500	1000	1000	500	1000
1983	200	0	1000	1500	3500	1000	3500	3000	650	500	1000	2000	2500	2500
1984	200	0	1000	1500	3500	1000	3500	3000	650	500	1000	2000	2500	2500
1985	200	0	1000	1500	3500	1000	3500	3000	650	500	1000	2000	2500	2500
1986	200	0	1000	1500	3500	1000	3500	3000	650	500	1000	2000	2500	2500

Tabla 10. Datos de bombeo utilizados en el modelo

	13	70	65	64/66	62	63	44	60	45	67	54	30	32	33
	2734-0015	273440004	273440015	273440014/16	2734-0012	273440013	273480007	273440008	273480008	273440017	273480038	273460107	27346112	273460113
	JOSÉ VERDÚ Nº1 y Nº2	ZAHORI 2	POZO Nº1	POZO Nº3/2	BILAIRE	BILAIRE	CAVAFRÍA	ROMERO Nº 2	SOLEDAD	COSTERA REIG		El Puntal A	Cerro La Mota A5	Cerro La Mota A6
1987	200	0	1000	1500	3500	1000	3500	3000	850	500	1000	2000	2500	2500
1988	200	0	1000	3000	3500	1000	3500	3000	850	500	1000	1000	2500	500
1989	200	0	1000	3000	3500	1000	3500	3000	650	500	650	500	500	500
1990	200	0	1000	3000	3500	1000	3500	3000	650	500	650	500	500	500
1991	200	0	1000	3000	3500	1000	3500	3000	650	500	650	500	500	500
1992	200	0	1000	5000	3500	1000	3500	3000	650	500	650	500	500	500
1993	200	0	1000	5000	3500	1000	3500	3000	650	500	650	500	500	500
1994	200	0	1000	5000	3500	1000	3500	3000	650	500	650	500	500	500
1995	200	100	1500	5000	3500	1000	3500	3000	650	500	650	500	500	500
1996	200	100	1500	5000	3500	1000	3500	3000	650	500	650	500	500	500
1997	200	0	1500	5000	3500	1000	3500	3000	650	500	650	500	500	500
1998	200	0	1500	5962.2	3671.2	1000	3500	1687.2	650	500	650	2298.8	691.0	2323.6
1999	200	0	1500	6218.8	4041.7	1000	3500	1642.1	650	500	650	1958.5	1215.3	2222.0
2000	200	347.53	1500	7012.5	3834.1	1000	3500	1768.6	650	500	650	1577.9	1487.5	1667.2
2001	200	301.92	1500	6380.9	4186.8	1000	3500	1773.1	650	500	650	1974.8	2152.9	2530.6
2002	200	100	1500	5000	3500	1903.7	2209.8	916.4	480.9	500	65.8	1500	1500	2000
2003	200	100	1500	5000	3000	2518.7	2923.7	1212.4	636.3	500	0	1500	1500	2000
2004	217.0	382.6	1570.47	0	1712.1	1712.1	2635.6	1063.4	500.6	616.4	0	1500	1500	2000

217.0 Datos reales (m³/d)

200 Datos obtenidos por calibración (m³/d)

Tabla 10. Datos de bombeo utilizados en el modelo (Continuación).

3.6.4 Resultados de la calibración

La superficie piezométrica obtenida una vez se considera calibrado el modelo para el año 2004, muestra una dirección de flujo preferencial NE-SW, que queda distorsionada por la presencia de conos de bombeo en la zona donde se está produciendo una explotación más intensa de los recursos del acuífero, que es la zona este del sector de Madara. La presencia de materiales de baja permeabilidad en el contacto sur del sector de Chinorlet con el sector de Madara da lugar a su vez a una divisoria hidrogeológica que pone de manifiesto que muy probablemente no existe conexión hidráulica directa entre ambos sectores, al menos en este límite. Los valores de transmisividad del acuífero obtenidos, según las zonas de permeabilidad en las que se ha dividido el acuífero son:

	Permeabilidad (m/d)	Espesor saturado (m)	Transmisividad (m ² /d)
Zona 1	3	280	840
Zona 2	10	280	2800
Zona 3	3	280	840
Zona 4	0.01	240	2.4
Zona 5	0.05	370	18.5
Zona 6	0.001	230	0.23
Zona 7	1	230	230
Zona 8	3	245	735

Tabla 11. Valores de transmisividad calibrados

En la tabla 12 se incluyen los resultados del balance hídrico para el año 2004 obtenido a partir de la calibración del modelo, según los cuales el balance del acuífero es deficitario y se produce un vaciado de las reservas no renovables del acuífero del orden de 6,12 hm³/año. Considerando el área activa del modelo de 115,5 km², el vaciado del almacenamiento supondría un descenso de los niveles piezométricos de 0,05 m/año.

Entradas	hm ³ /año	Salidas	hm ³ /año
Recarga	1.8	Bombeos	5.8
Vaciado del almacenamiento	6.12	Transferencias laterales	2.0
Total	7.94	Total	7.85

Tabla 12. Balance hídrico del acuífero de Quibas para el año 2004 obtenido de la calibración del modelo matemático.

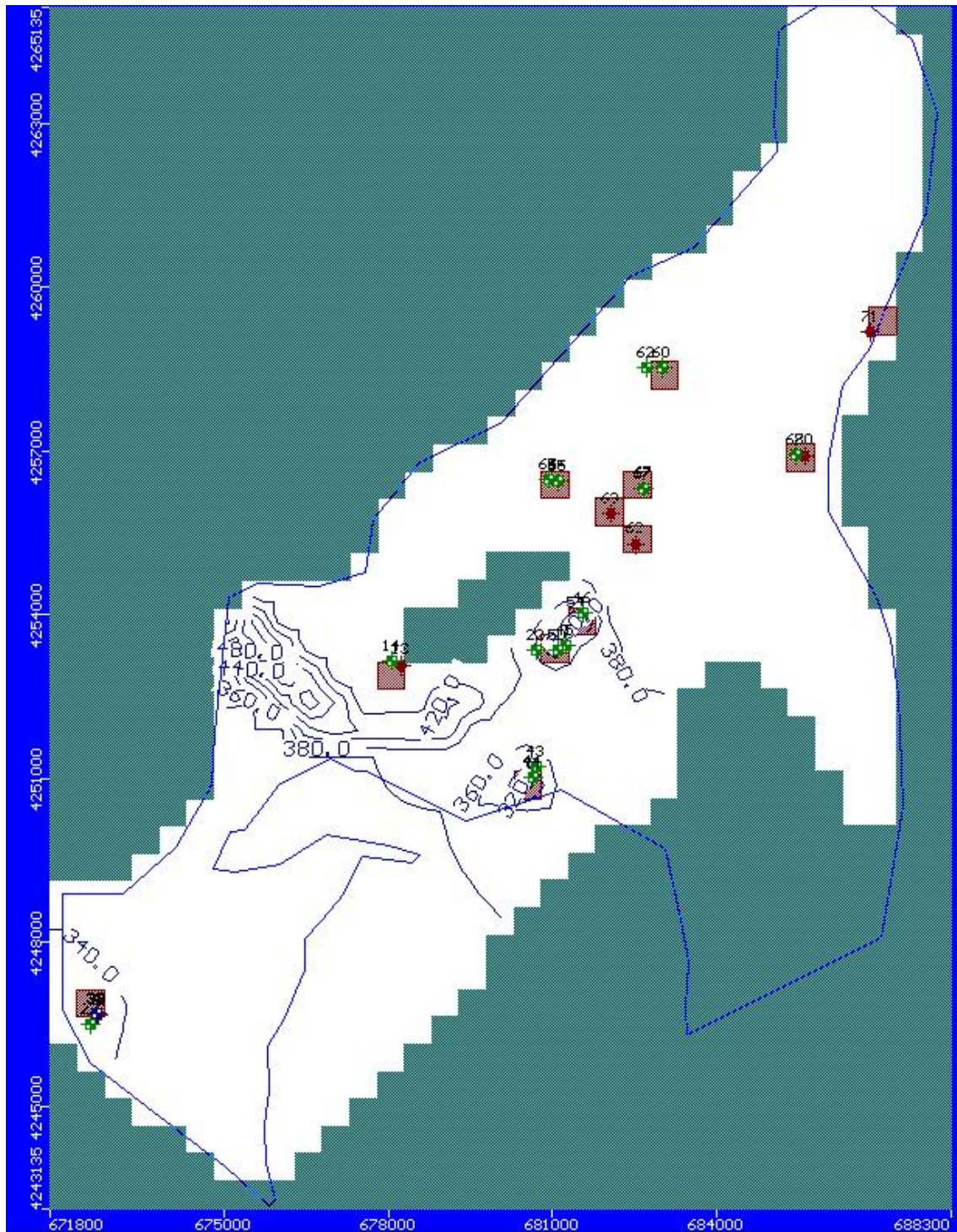


Figura 16. Superficie piezométrica correspondiente a diciembre de 2004. Acuífero de Quibas.

A continuación se muestran los gráficos de calibración (figuras 17 a 21) de las series temporales de los puntos de piezometría que presentan las series de datos más completas y por tanto más representativas de los puntos utilizados en la calibración del modelo del acuífero de Quibas.

-Sector de Umbría

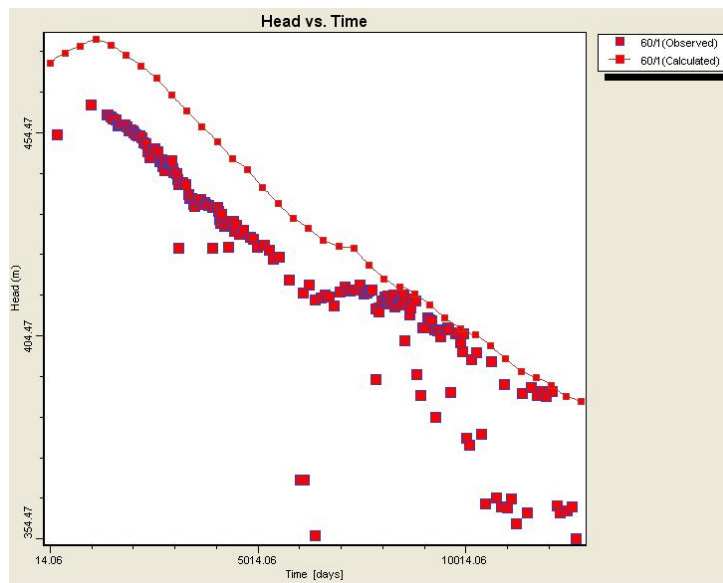


Figura 17. Gráfico de calibración de la serie de piezometría del punto de observación 60.

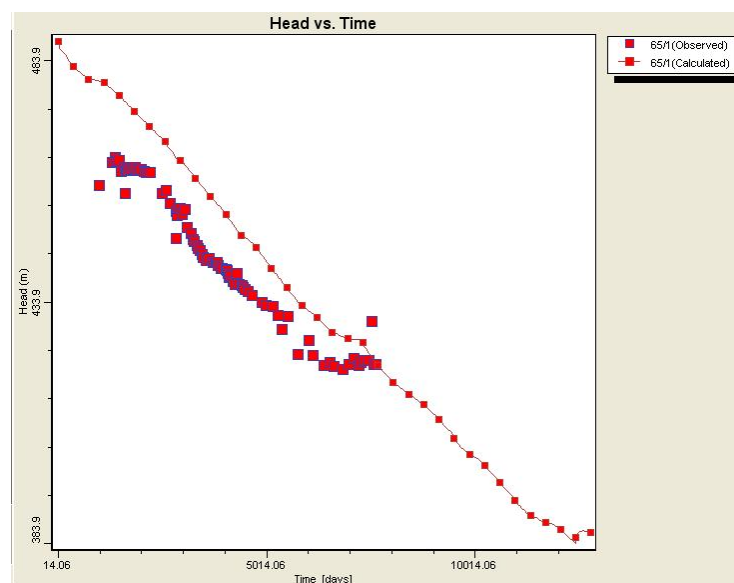


Figura 18. Gráfico de calibración de la serie de piezometría del punto de observación 65.

-Sector de Madara

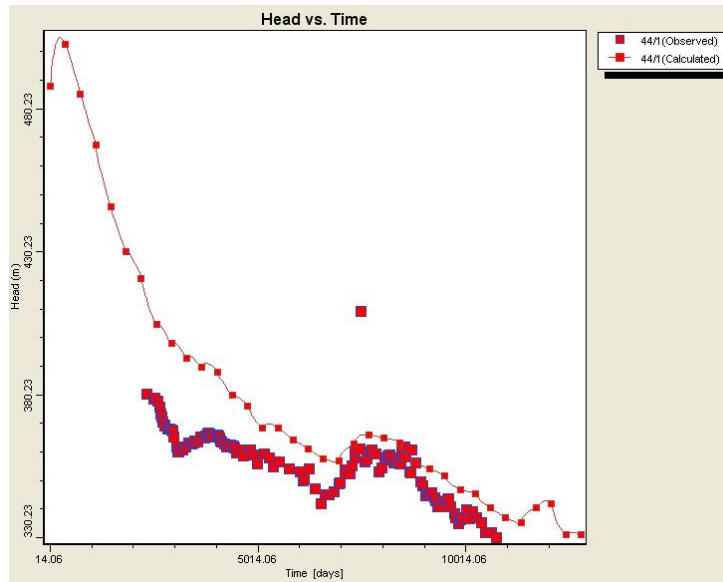


Figura 19. Gráfico de calibración de la serie de piezometría del punto de observación 44.

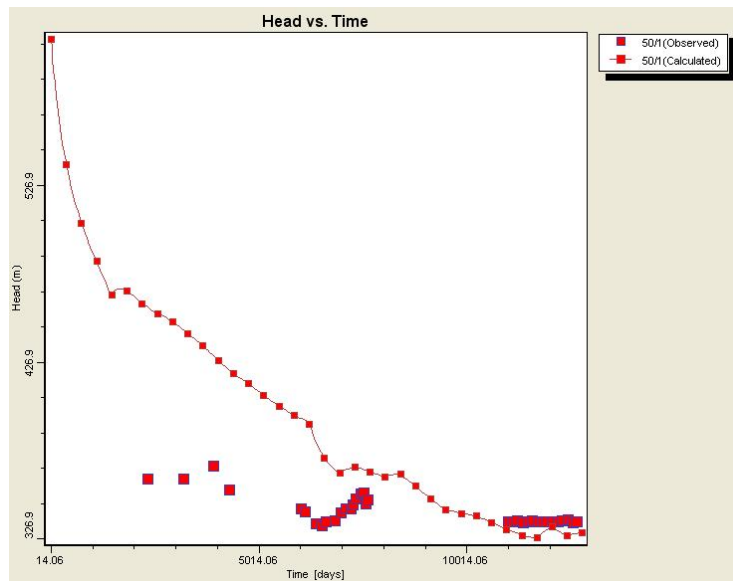


Figura 20. Gráfico de calibración de la serie de piezometría del punto de observación 50.

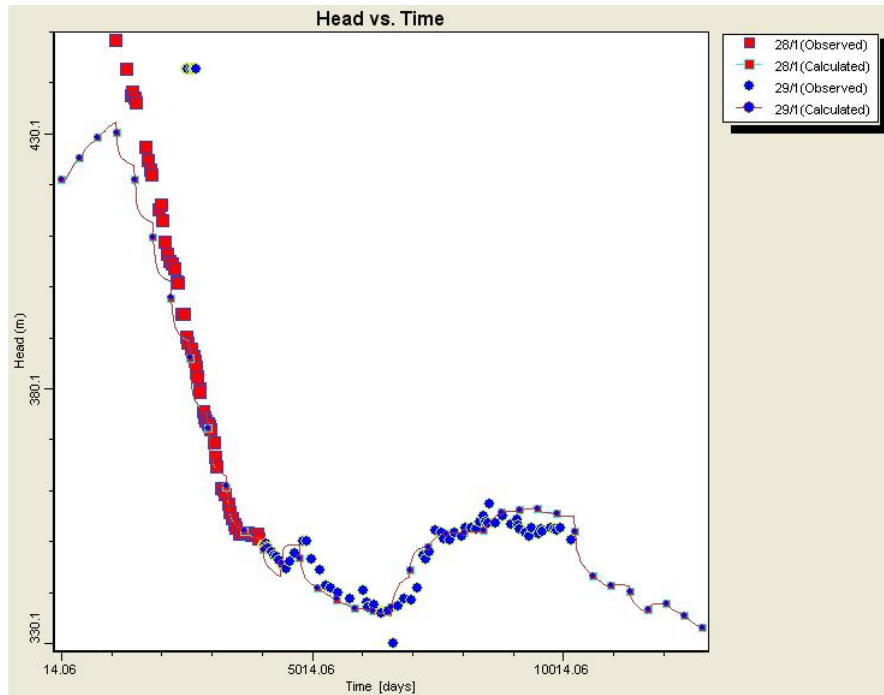


Figura 21. Gráfico de calibración de la serie de piezometría de los puntos de observación 28 y 29.

3.6.5 Calibración en régimen transitorio para el año 2005.

Utilizando como piezometría inicial la superficie piezométrica obtenida por calibración para el año 2004 en el modelo de flujo realizado para el periodo 1970-2004, se ha elaborado un tercer modelo en régimen transitorio con un paso de tiempo mensual y un total de 12 periodos, correspondiente al periodo comprendido entre enero y diciembre de 2005.

La distribución espacial de los parámetros hidrogeológicos, así como las condiciones de contorno y los valores de los parámetros que rigen su funcionamiento, son los obtenidos por calibración del modelo matemático realizado para el periodo 1970-2004.

3.6.6 Recarga

Los valores de recarga asignados a las celdas del modelo corresponden a los valores de infiltración mensual obtenidos por calibración del modelo de precipitación-escorrentía aplicados a la serie de hidrometría del manantial de Chicamo, utilizando la serie de precipitación de la estación meteorológica nº 7242 de Pinoso (Tabla 13).

	Precipitación (mm)	Infiltración (mm)
enero 2005	0.00	0.00
febrero 2005	21.70	0.39
marzo 2005	11.00	0.00
abril 2005	39.50	2.71
mayo 2005	3.50	0.00
junio 2005	19.30	0.30
julio 2005	0.00	0.00
agosto 2005	11.90	0.00
septiembre 2005	24.30	2.22
octubre 2005	7.80	0.00
noviembre 2005	21.50	2.01
diciembre 2005	10.70	0.00

Tabla 13. Valores de infiltración calculados para el periodo entre enero y diciembre de 2005.

Es importante destacar que el año 2005 fue un año especialmente seco (171,2 mm/año), de forma que la infiltración calculada para este año (7,63 mm/año) es sensiblemente inferior al valor estimado para un año tipo medio (55,8 mm/año), lo que supone un volumen total de recarga por infiltración para el año 2005 de 0,87 hm³/año.

3.6.7 Datos de piezometría

La información piezométrica utilizada para la realización del modelo del acuífero de Quibas en régimen transitorio para el año 2005 procede de la base de datos del Departamento del Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante y de los datos recogidos en las campañas de piezometría, llevados a cabo en el transcurso de los trabajos previos realizados (IGME, 2007).

Ha sido posible disponer de 5 puntos de control piezométrico y un total de 80 registros de piezometría mensual. En la tabla 14 se incluye la información referente a cada uno de los puntos junto con las medidas piezométricas disponibles.

Punto	Registro	UTM X	UTM Y	Inicio de la serie	Fin de la serie	Número de medidas
30	273460107	672695	4246687	19-1-05	30-12-05	11
44	273480007	680662	4251024	20-8-05	20-12-05	5
50	273480021	681104	4253357	20-1-05	16-1-06	12
63	273440013	682083	4255846	20-9-05	4-12-05	4
68	273440020	685449	4256931	31-1-05	31-12-05	11

Tabla 14. Datos de piezometría utilizados en el modelo de Quibas para el año 2005.

3.6.8 Datos de explotaciones

La información referida a la explotación efectuada en el acuífero de Quibas durante el año 2005 ha sido facilitada por el Departamento del Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante.

Atendiendo a estos datos, en el año 2005 existían 12 captaciones de agua subterránea en el acuífero de Quibas. Estos sondeos están dotados de contadores que permiten conocer el volumen de extracción mensual de cada uno de ellos durante el año 2005. Las extracciones de los puntos 64 y 66 (273440014 y 273440016) se miden por medio de un contador único, por lo que en el modelo se han considerado como un único punto de bombeo.

En la tabla 15 se incluyen los datos de bombeos mensuales considerados en el modelo:

			ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
13	273470015	JOSÉ VERDÚ Nº1 y Nº2	228.0	278.8	167.7	351.2	332.1	358.5	420.6	477.5	348.8	334.3	246.5	246.9
70	273440004	ZAHORI 2	341.2	344.2	339.2	455.1	338.3	330.4	375.0	455.9	19.3	248.1	325.6	395.2
65	273440015	POZO Nº1	399.6	0.0	192.7	2409.0	5700.7	6204.2	5599.5	6452.2	2913.8	1109.3	215.4	0.0
64/66	273440014/16	POZO Nº3/2	0.0	753.3	175.6	1736.3	2020.2	3329.5	3996.9	5538.2	4386.7	1730.0	1463.3	192.7
62	2734-0012	BILAIRE	2536.6	3020.0	2200.0	3871.3	4011.7	3648.5	3456.0	3892.9	3737.2	3221.8	3076.0	3510.0
63	273440013	BILAIRE	2536.6	3020.0	2200.0	3871.3	4011.7	3648.5	3456.0	3892.9	3737.2	3221.8	3076.0	3510.0
44	273480007	CAVAFRÍA	3177.5	4862.7	0.0	5920.7	4069.6	3558.1	6160.0	6001.3	3543.7	2302.3	4538.3	4926.0
60	273440008	ROMERO Nº 2	547.6	0.0	914.3	2534.4	2043.9	1747.4	2026.7	1656.7	1731.7	0.0	681.7	2540.0
45	273480008	SOLEDAD	0.0	0.0	517.3	1193.9	804.3	1097.3	1229.1	1444.7	2547.7	0.0	0.0	442.3
67	273440017	COSTERA REIG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	776.9	0.0	0.0
30	273460107	El Puntal A	1000.0	1000.0	3500.0	3500.0	3500.0	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0

Tabla 15. Datos de bombeo utilizados en el modelo para el año 2005. (m³/d)

3.6.9 Resultados de la calibración

Los valores de transmisividad obtenidos en la calibración para el año 2005 y los obtenidos para finales de 2004 son muy similares, como puede observarse en la tabla 16, ya que los descensos piezométricos experimentados en el acuífero son poco apreciables salvo en las zonas donde la explotación es más intensa.

	Permeabilidad (m/d)	Espesor saturado (m)	Transmisividad (m ² /d)
Zona 1	3	280	840
Zona 2	10	280	2800
Zona 3	3	280	840
Zona 4	0.01	240	2.4
Zona 5	0.05	230	11.5
Zona 6	0.001	380	0.38
Zona 7	1	225	225
Zona 8	3	240	720

Tabla 16. Valores de transmisividad obtenidos en la calibración del modelo de Quibas para el año 2005.

El balance hídrico obtenido para el año 2005 (Tabla 17) sigue siendo deficitario, produciéndose un vaciado del almacenamiento del orden de 8,85 hm³/año, lo que supone un descenso promedio de los niveles piezométricos de 0,07 m/año. No obstante tal y como se observa en la tabla la disminución de la explotación en algunos sectores del acuífero puede estar provocando una ligera recuperación de la piezometría en dichos sectores (recuperación del almacenamiento de 1 hm³/año).

Entradas		hm ³ /año	Salidas		hm ³ /año
	Recarga	0.52		Bombeos	7.4
	Vaciado del almacenamiento	8.85		Transferencias laterales	1.06
				Recuperación del almacenamiento	1.00
	Total	9.37		Total	9.46

Tabla 17. Balance del acuífero de Quibas obtenido por calibración para el año 2005

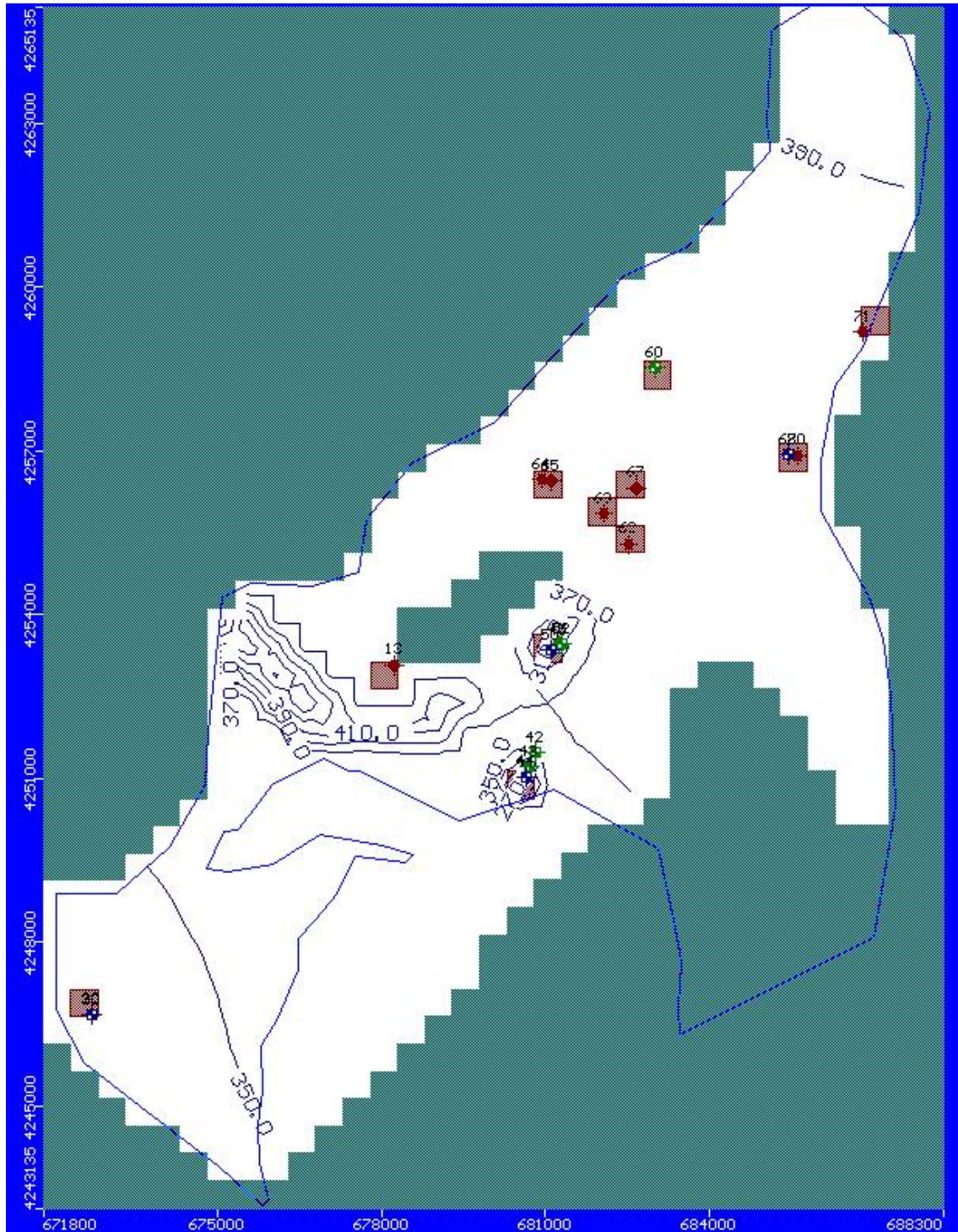


Figura 22. Superficie piezométrica correspondiente a diciembre de 2005. Acuífero de Quibas.

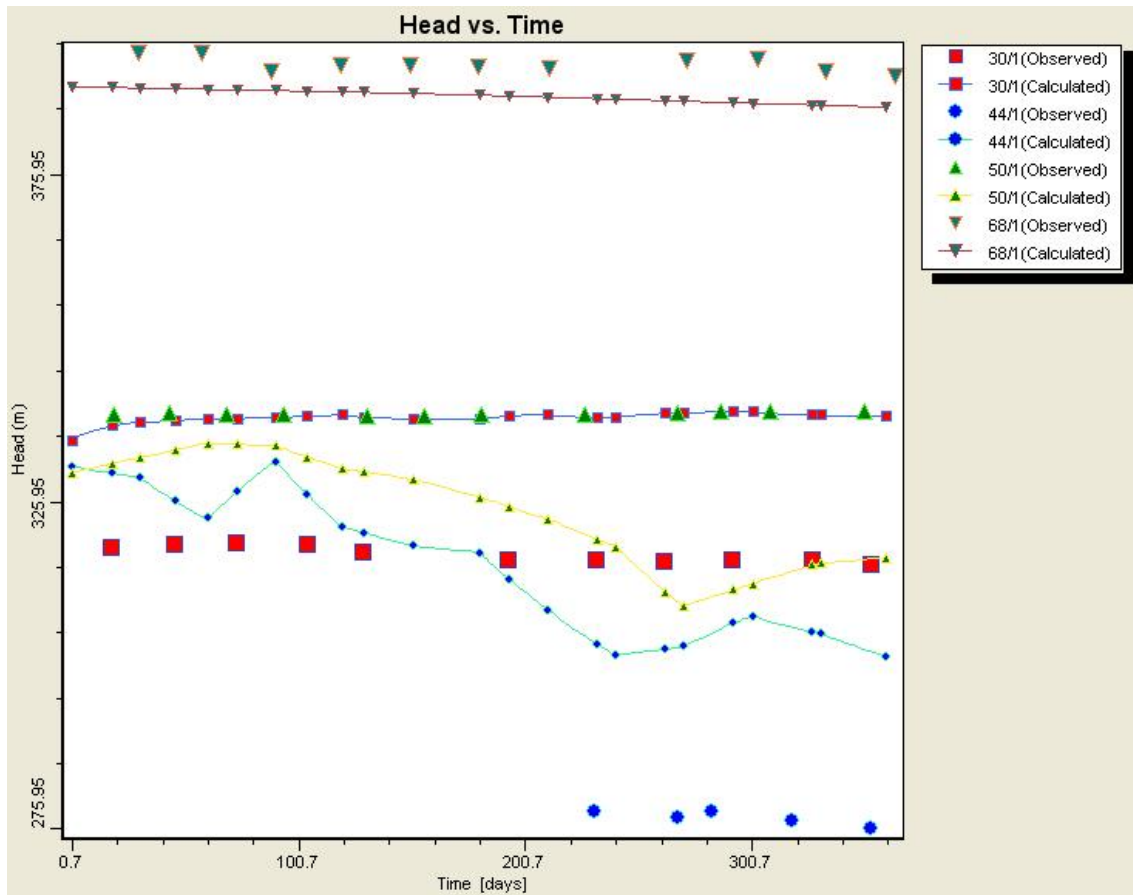


Figura 23. Gráfico de calibración de las series temporales consideradas. Año 2005

3.7 ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS DEL ACUÍFERO A PARTIR DE LOS RESULTADOS DEL MODELO

Partiendo de la superficie piezométrica obtenida para diciembre de 2005 (Figura 22), una vez se ha calibrado el modelo matemático y considerando los valores de porosidad asignados a cada una de las celdas del modelo, se ha estimado por medio de la utilización de un sistema de información geográfica (SIG), las reservas del embalse subterráneo de Quibas a finales de 2005.

Para ello se ha seguido la siguiente metodología: se construyen tres superficies raster que representen: la primera, los valores de piezometría correspondientes a diciembre de 2005 obtenidos por calibración; la segunda, el mapa de isohipsas del muro (ITGE, 1992); y la tercera, y los valores de porosidad obtenidos a partir del modelo calibrado.

Aplicando el siguiente algoritmo se ha estimado el volumen de reservas existentes en el acuífero existente a finales de 2005.

$$V_{ac} = [(P_c - M_c) * S_c] * A_c$$

Donde:

- V_{ac} : volumen de agua correspondiente a cada celda o pixel de la superficie resultante en m^3 .
- P_c : valor de piezometría (m s.n.m.) correspondiente a cada celda o pixel en la superficie de piezometría de diciembre de 2005.
- M_c : valor de la cota (m s.n.m.) de cada celda o pixel en la superficie del muro del acuífero.
- S_c : de porosidad (%) en cada celda o pixel en la superficie que representa la porosidad del acuífero.
- A_c : área de cada celda o pixel (m^2)

La superficie resultante, (mapa de la figura 24) proporciona el volumen de agua existente en cada una de las celdas o pixeles de $2500 m^2$ de superficie. La suma de los volúmenes de cada una de las celdas proporciona el volumen total de agua existente en el acuífero para la situación piezométrica de diciembre de 2005, siendo este valor de $727 hm^3$.

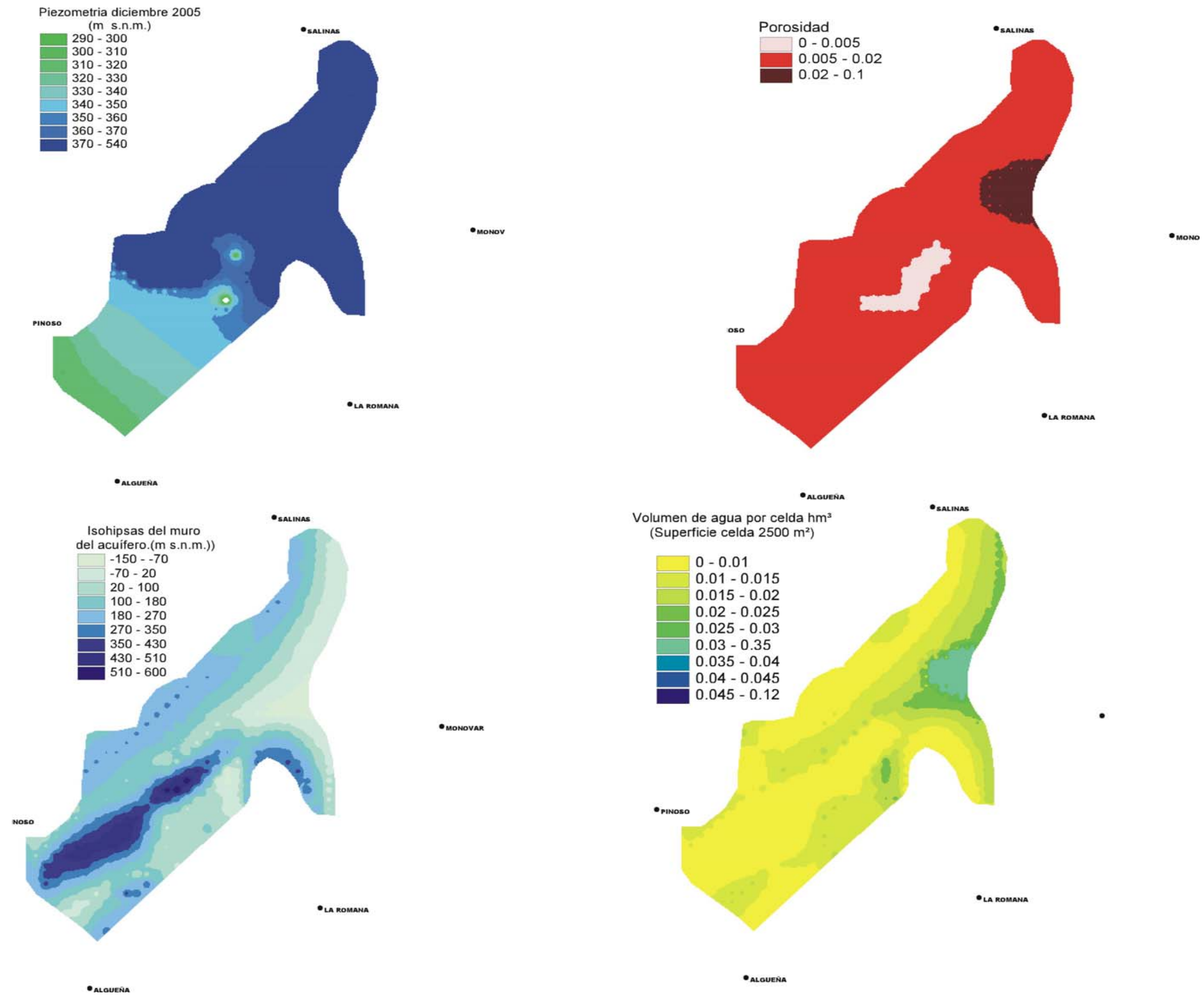


Figura 24. Estimación de las reservas en el acuífero de Quibas.

3.8 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de la calibración del modelo del acuífero de Quibas, resuelto mediante el método de diferencias finitas en régimen transitorio con un paso de tiempo anual para el periodo de tiempo comprendido entre 1970 y 2004, y con un paso de tiempo mensual para el año 2005, permite establecer las siguientes conclusiones:

- El acuífero de Quibas está constituido por calizas y biocalcarenitas terciarias, con una potencia variable que puede alcanzar hasta los 850 m de espesor.
- La geometría del acuífero está condicionada por la tectónica de la zona que ha provocado el pliegue de las formaciones permeables dando lugar a estructuras antiforales de gran extensión.
- Los límites del modelo son cerrados y se corresponden con los afloramientos del sustrato impermeable, salvo el límite oeste, que es un límite abierto, ya que coincide con el límite administrativo entre las provincias de Alicante y Murcia.
- En régimen natural, el acuífero se recarga únicamente por la infiltración del agua de lluvia y se descarga por transferencia lateral hacia el sector murciano del acuífero, donde se localiza el manantial de Chicamo, descarga natural del acuífero. En régimen influenciado, el acuífero se descarga a través de las captaciones de agua subterránea.
- El acuífero presenta un funcionamiento libre, salvo en el sector cubierto por el cabalgamiento de los materiales del subbético sobre los que se asienta el extremo septentrional del acuífero de Crevillente y en las zonas donde por razones estructurales las margas impermeables se apoyan sobre las formaciones permeables del acuífero.

- Los valores de transmisividad del acuífero obtenidos por calibración del modelo se encuentran en torno a 840 m²/d en el sector de Umbría, donde excepcionalmente puede alcanzar valores de 2800 m²/d, en zonas de elevado espesor. En el sector de Madara, la transmisividad varía entre 720 y 2,4 m²/d, mientras que en el sector de Chinorlet es del orden de 840 m²/d. En la barrera hídrica constituida por los afloramientos de los materiales del Keuper, los valores de transmisividad alcanzados son del orden de 0,38 m²/d.
- La porosidad del acuífero obtenida por calibración es del orden de 2%. En zonas concretas del acuífero, la porosidad varía con respecto al valor general oscilando entre valores de porosidad del 10% y del 0,5%.
- La realización de un modelo de precipitación-escorrentía ha permitido estimar que la infiltración media anual del acuífero procedente de la lluvia es del orden de 56 mm/año.
- El balance hídrico obtenido una vez se considera calibrado el modelo para el año 2005 estima un volumen de recarga de 0,52 hm³. Por su parte, las extracciones se han evaluado en 7,4 hm³. La transferencia lateral hacia el sector del acuífero en la provincia de Murcia es de 1,06 hm³. Esta situación hídrica deficitaria supone un vaciado del acuífero de 8,85 hm³ que provoca un descenso promedio de los niveles piezométricos del orden de 0,07 m al año.
- A partir de la superficie piezométrica obtenida para diciembre de 2005 y los valores de porosidad que calibran el modelo, se estima que el volumen de agua existente en el acuífero de Quibas es del orden de 727 hm³.

4 **BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA EN EL TEXTO**

Diputación Provincial de Alicante. Departamento del Ciclo Hídrico, 2007. Mapa de agua de la provincia de Alicante. Segunda Edición.

Diputación de Alicante - Instituto Geológico y Minero de España, 1982. Las aguas subterráneas en la provincia de Alicante.

Instituto Geológico y Minero de España, 2007. Delimitación física de los límites geológicos de los acuíferos de Crevillente y Quibas, en la provincia de Alicante, con vista a la realización de un modelo matemático de flujo de los mismos.

MOPU, 1990. Unidades hidrogeológicas de la España peninsular e Islas Baleares. Informaciones y Estudios nº 52.

OTRA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Andreu, J.M. 1997. Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos de Crevillente, Cid y Cabeço D'or. (Provincia de Alicante). Tesis Doctoral. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.

Confederación Hidrográfica del Júcar, 2004. Informe provisional sobre el artículo nº 5 de la Directiva Marco del Agua de la cuenca piloto del río Júcar.

Confederación Hidrográfica del Júcar, 2005. Informe sobre los artículos nº 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua. Caracterización de las masas de agua de la demarcación del Júcar.

Instituto Geológico y Minero de España, 1972. Hoja Geológica nº 870 Pinoso. Serie MAGNA.

Instituto Geológico y Minero de España, 1978. Hoja Geológica nº 892 Fortuna. Serie MAGNA.

Instituto Tecnológico Geominero de España, 1992. Campaña de geofísica eléctrica (S.E.V.) en el área de la Sierra de Quibas.

Instituto Geológico y Minero de España, 1992. Estudio de las reservas de los embalses subterráneos de la unidad del Prebético de Murcia.

Instituto Geológico y Minero de España, 2000. Estudio de las posibilidades de almacenamiento de las aguas del transvase Júcar-Vinalopó en los embalses subterráneos provinciales mediante recarga artificial. Simulación de la gestión de los recursos hídricos en el Medio Vinalopó.

MOPU, 1982. Estudio de la infraestructura hidráulica de la cuenca del Vinalopó. Dirección General de Obras Hidráulicas.