

62945

MODELO MATEMÁTICO
DE FLUJO DE LA
UNIDAD HIDROGEOLÓGICA
08.29, MANCHA ORIENTAL



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



Instituto Geológico
y Minero de España

INFORME	Identificación: H-6-002.05
	Fecha: Septiembre 2005
TÍTULO Modelo matemático de flujo de la Unidad Hidrogeológica 08.29, Mancha Oriental	
PROYECTO Estudios de modelación y apoyo a la gestión hídrica en la Unidad Hidrogeológica 08.29, Mancha Oriental. Avance de sistema de soporte a la decisión.	
RESUMEN <p>Modelo de flujo de la Unidad Hidrogeológica 08.29, Mancha Oriental. Se ha utilizado el código Modflow, en su versión Visual Modflow.</p> <p>El objetivo del trabajo es disponer de una herramienta que permita evaluar los efectos que sobre los cuadles circulantes por el río Júcar producirá la futura sustitución de regadíos con aguas subterráneas de la unidad por aguas superficiales procedentes del trasvase Júcar-Vinalopó en la llanura manchega.</p> <p>El sistema a modelar se ha discretizado en celdas cuadradas de un kilómetro de lado, en cuatro capas verticales, 118 columnas y 129 filas.</p> <p>El trabajo se ha desarrollado en convenio con la Confederación hidrográfica del Júcar.</p>	
Revisión Nombre: Juan Antonio López geta Unidad: Hidrogeología y Aguas Subterráneas Fecha: Agosto 2005	Autores: José Antonio de la Orden Gómez Responsable: José Manuel Murillo Díaz

INDICE

1. Introducción y objetivos del trabajo.
2. Discretización del medio a modelar. Metodología empleada y datos utilizados.
3. Modelación del régimen permanente
4. Modelación del régimen transitorio.
5. Simulación de alternativas de gestión de la unidad hidrogeológica basadas en la sustitución de agua subterránea por agua superficial en algunas zonas de regadío dentro de la unidad.
6. Conexión hidráulica entre la unidad 08.29, Mancha Oriental, y la unidad hidrogeológica 08.30, Jardín.-Lezuza.
7. Conclusiones del trabajo de modelación.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

El presente trabajo se ha elaborado dentro del convenio específico de asistencia técnica suscrito entre el Instituto Geológico y Minero de España y la Confederación Hidrográfica del Júcar para "Estudios de modelación y apoyo a la gestión hídrica en la unidad hidrogeológica 08.29, Mancha Oriental. Avance de sistema de soporte a la decisión".

El objeto de este convenio es el desarrollo, puesta a punto y aplicación de un modelo matemático simplificado de funcionamiento hidrogeológico de la unidad hidrogeológica 08.29, Mancha Oriental. En principio, el convenio especifica que el modelo constará de cinco macroceldas, una por cada zona hidrogeológica definidas en el Convenio para actuaciones de apoyo a la gestión hídrica en la unidad hidrogeológica 08.29, Mancha Oriental (ITGE-CHJ, 1999), y se adaptará a un código de amplia difusión y contraste con el Visual Modflow.

Los presupuestos iniciales del modelo, contenidos en el convenio firmado, son los siguientes:

- El modelo constará de cinco macroceldas en superficie y tres capas en profundidad, lo que hace un total de 15 macroceldas. Esta disposición se pensó para permitir la representación de dos acuíferos y un paquete semipermeable entre ellos en aquellas macroceldas en las cuales el modelo conceptual hidrogeológico responda a esta tipología. En aquellas macroceldas en las cuales exista un solo acuífero se trabajará para las tres capas con un mismo valor de sus parámetros hidrogeológicos, así como de su nivel piezométrico inicial.
- Al objeto de adaptar las macroceldas al contorno permeable de la unidad, se subdividirán éstas en microceldas de 1 ó 2 km². Las características hidrogeológicas de todas las microceldas de una misma macrocelda serán idénticas. Esta subdivisión permitirá también una mejor definición de las celdas de río, lo que permitirá una mejor modelación de la relación río-acuífero.
- La recarga por lluvia y retornos será uniforme para cada macrocelda, aunque variable para cada paso de tiempo.
- Los bombeos se tratarán de manera diferente para cada macrocelda, y se distribuirán por zonas.
- Las cotas del terreno, así como las de techo y muro de las distintas formaciones, se afrontarán mediante la interpolación de los valores que definan los cuatro vértices de cada macrocelda. No obstante, en las celdas de río, así como en un entorno próximo a ellas se procederá con el mayor detalle posible. Se procederá de igual manera con los niveles iniciales de piezometría, o de una manera semejante que establezca la piezometría en función del gradiente.
- Para la calibración del modelo, tanto en régimen permanente como en transitorio, se procederá a partir de las estaciones de control foronómico y de la selección de un piezómetro representativo para cada macrocelda y para cada zona de bombeo que se defina.

- Los balances y las relaciones de flujo existentes entre las macroceldas y entre éstas y el río se estudiarán utilizando la función Zonebudget que lleva incorporada el Visual Modflow.

Algunas de estas premisas han sido necesariamente modificadas durante la elaboración del modelo, por las razones que se irán exponiendo al describir el proceso de modelación.

El objetivo final del modelo es evaluar la influencia que sobre los caudales del Júcar tendrá la futura sustitución, en varias zonas de regadío dentro de la unidad, del agua subterránea que se utiliza en la actualidad por agua superficial procedente del trasvase Júcar-Vinalopó.

2. DISCRETIZACIÓN DEL MEDIO A MODELAR. METODOLOGÍA EMPLEADA Y DATOS UTILIZADOS.

Para elaborar el modelo, se ha empleado una metodología standard para este tipo de trabajos. Partiendo de las especificaciones contenidas en el texto del convenio, y tratando de respetarlas al máximo, lo cual no ha sido posible en todos los casos, el modelo se ha desarrollado secuencialmente según los siguientes pasos:

2.1. Definición geográfica de los límites del modelo.

En principio, el límite de la zona a modelar coincide con el límite administrativo de la unidad hidrogeológica. Dicho límite es el que se observa en trazo continuo en la figura 1.

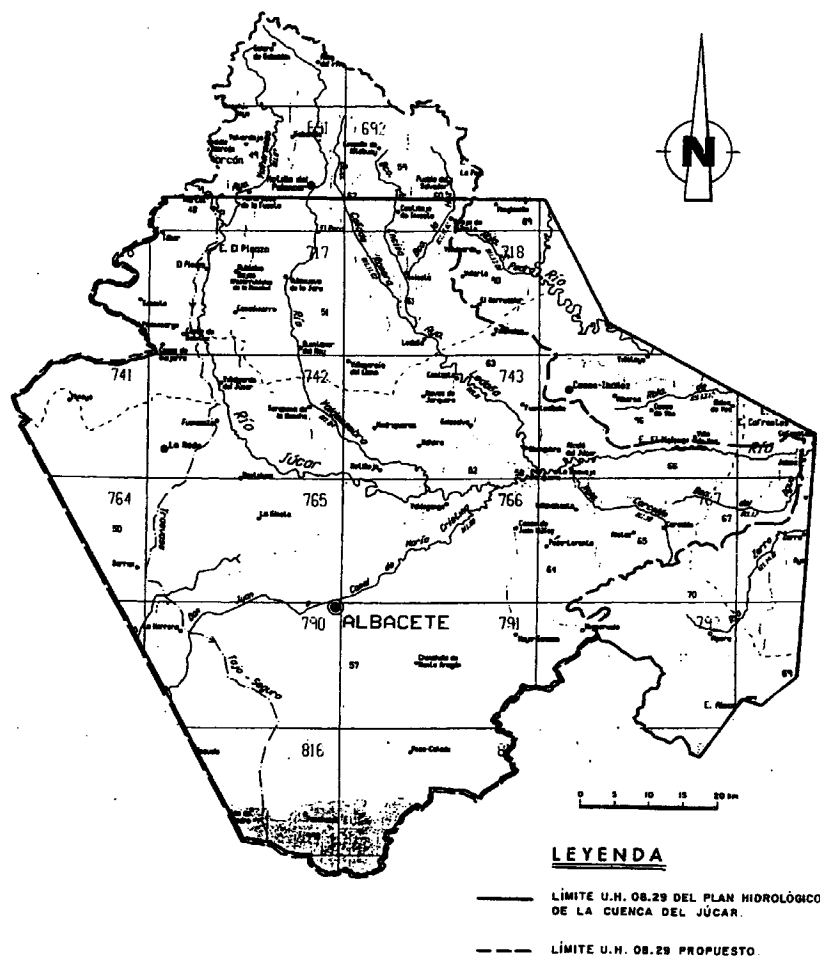


Figura 1. Límites administrativo y propuesto para su modificación de la unidad hidrogeológica.

Sin embargo, se ha decidido por parte de la Confederación Hidrográfica del Júcar (en adelante CHJ) incluir en la zona a modelar un área situada al norte de la misma por considerar que geológicamente es una continuación de la unidad, aunque administrativamente no lo sea, además de estar incluida dentro del nuevo límite propuesto para modificar el actual y redefinir el contorno de la unidad. Esta zona nueva

es muy poco conocida, y de ella existen pocos datos. También se ha decidido incluir una zona situada al sureste de la unidad, y que en la propuesta de redefinición de la misma se incluye dentro de la nueva superficie de la unidad.

La unidad hidrogeológica se ha dividido, por parte de CHJ, y a los efectos de definir las cinco macroceldas del modelo, en otras tantas subzonas, que coinciden fundamentalmente con áreas de explotación. La subdivisión se muestra en la figura 2.

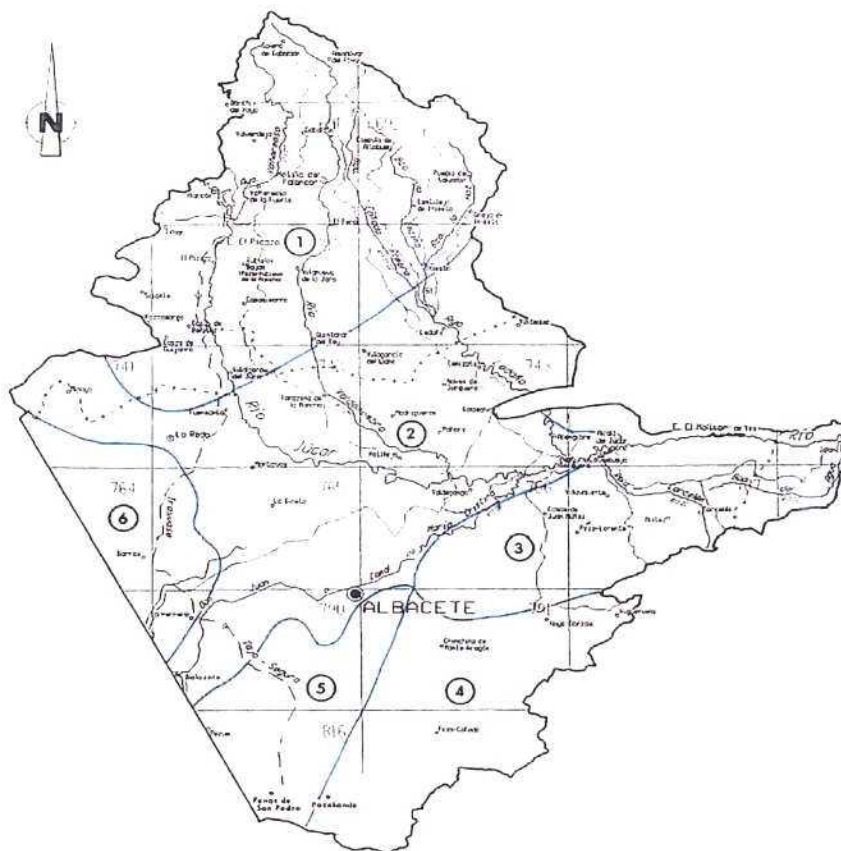


Figura 2. Zonación hidrogeológica de la unidad "Mancha Oriental".

La denominación de las seis zonas es la siguiente:

- Zona 1: Villalgordo del Júcar – Gabaldón
- Zona 2: Minaya – Madrigueras
- Zona 3: Carcelén.
- Zona 4: Pozo Cañada – Pétrola.
- Zona 5: El Salobral.
- Zona 6: Santa Marta – Barrax

En base a estas consideraciones, y las disposiciones contenidas en el convenio, que establecen que se discretizará el acuífero en cinco celdas, se intentó plasmar en un modelo las cinco macroceldas que debían considerarse. No obstante, no fue posible realizar una discretización como la propuesta por dos razones: la primera de ellas es que un modelo discretizado solamente en cinco celdas no será capaz de reproducir el

funcionamiento hidrogeológico del sistema, ni mucho menos las solicitaciones que actúan sobre el mismo. La segunda de ellas es que el programa elegido, Visual Modflow no permite un mallado en el cual las celdas no sean rectangulares con los vértices contiguos, como hubiera sido necesario para modelar la zona de interés con cinco celdas. Por todo ello, y de común acuerdo entre los técnicos de IGME y CHJ, se optó por una discretización más clásica, que permitiera una fácil adaptación al contorno físico de la unidad, así como una introducción de datos más realista.

Así, se realizó una primera discretización espacial del sistema a modelar cuya distribución se muestra en la figura 3.

El tamaño de las celdas en esta discretización es de 1 kilómetro de lado, y el modelo ocupa un total de 118 columnas y 129 filas.

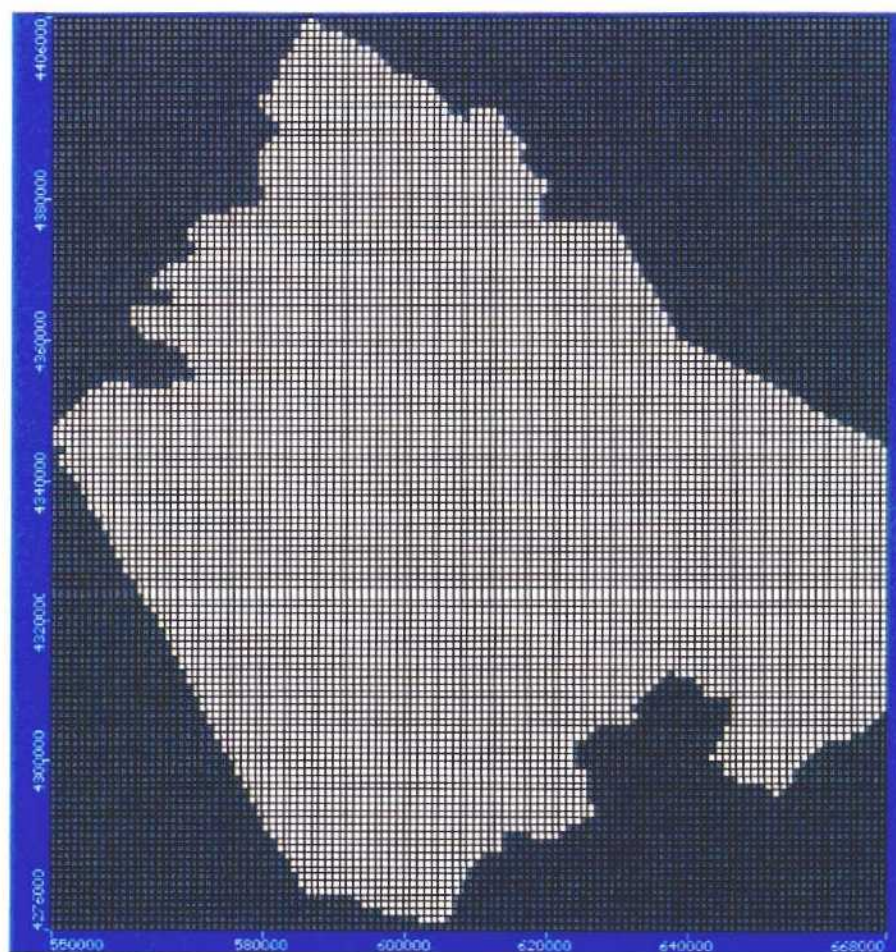


Figura 3. Discretización inicial de la zona a modelar.

En principio, se incluyó dentro del modelo la cuenca del río Cabriel, a iniciativa de CHJ, que estimaba de interés el estudio de las interrelaciones entre la misma y la unidad Mancha Oriental. Sin embargo, después de la revisión de los datos geológicos existentes, y de los trabajos de modelación de esta unidad que se hicieron en el pasado

por el IGME en 1985 (Modelo matemático del acuífero de Albacete) y por la Dirección General de Obras Hidráulicas, a través del Servicio Geológico, en 1993 (Estudio de seguimiento del impacto de las extracciones de aguas subterráneas en los acuíferos de la Mancha Oriental y los caudales del río Júcar. Tomo 5, modelo matemático), se llegó a la conclusión de excluir del modelo la zona correspondiente a la cuenca del río Cabriel, que ocupa el extremo noreste del modelo, por no tener conexión hidráulica subterránea con el resto la unidad objeto del trabajo. La inclusión de esta zona dentro del modelo no aportaría nada al estudio de la unidad y lo único que generaría serían problemas a la hora de modelar, ya que habría que separarla de la unidad por medio de barreras impermeables para simular la no interconexión entre ambas zonas, lo cual lleva a la conclusión de que incluir la cuenca del Cabriel dentro del modelo es innecesario y no aporta nada al conocimiento de la Mancha Oriental.

Una vez quitada esta zona, la discretización definitiva queda como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Discretización definitiva sin la cuenca del río Cabriel.

En la figura 5 se muestra la disposición de las seis zonas hidrogeológicas en que se ha dividido la unidad, representadas en la figura 2, una vez introducida su distribución espacial en el modelo. Es necesario resaltar que las seis zonas inicialmente definidas se han transformado en ocho en el modelo porque la zona 1 se ha subdividido en dos con objeto de estudiar el comportamiento hidrogeológico de la zona actualmente externa a la unidad, pero que está incluida en la propuesta de modificación de la misma por tener continuidad geológica con ella.

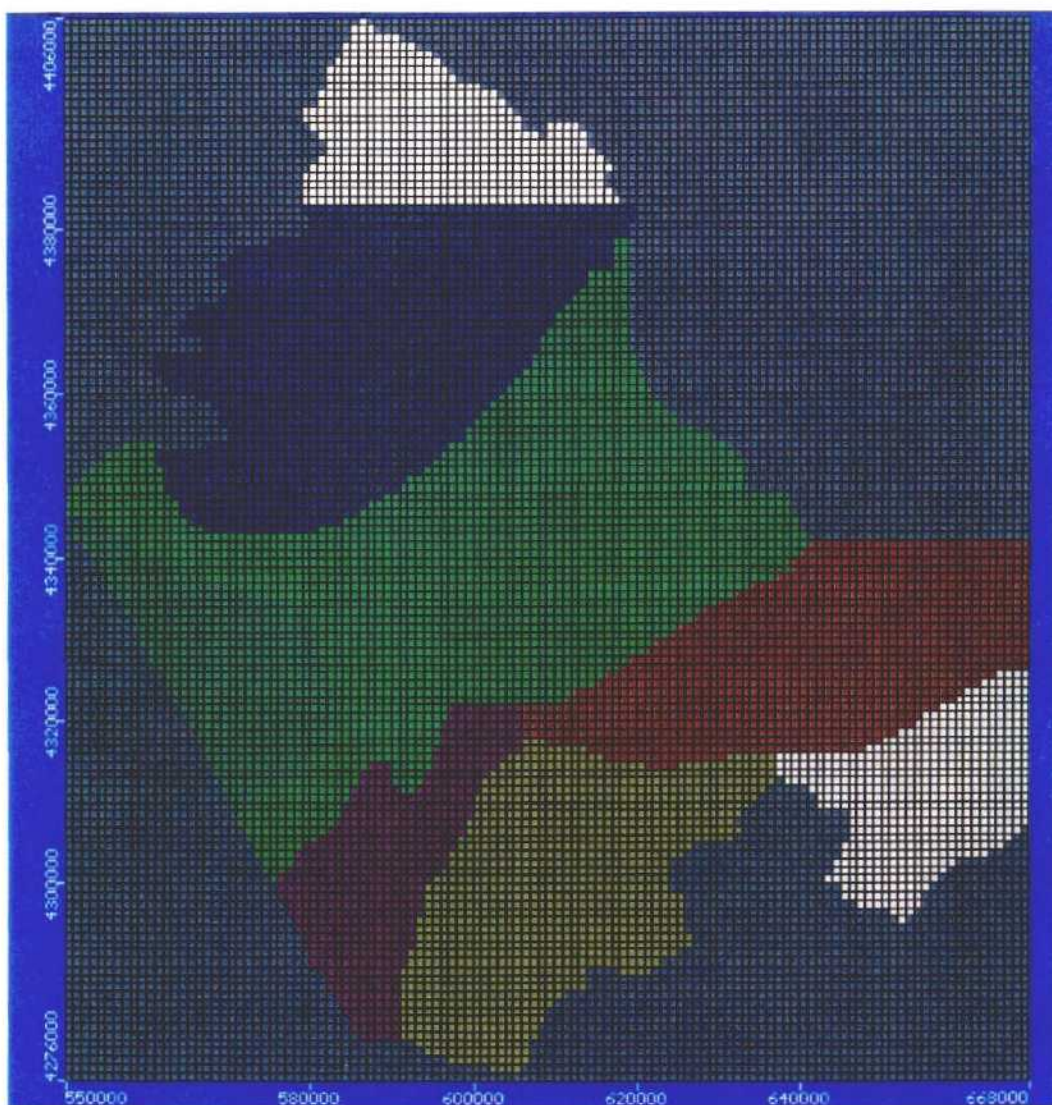


Figura 5. Discretización por zonas hidrogeológicas del modelo.

Una vez definidos los límites externos del modelo, se ha realizado la discretización del mismo en la vertical. Para ello, y según las disposiciones técnicas del convenio, se han considerado en la vertical tres capas, cuyo espesor se ha determinado en función de datos existentes que serán comentados en apartados sucesivos.

Para la discretización en la vertical, se ha tratado de seguir el criterio de adaptar la geometría del modelo a la real. Lo que ocurre es que existen muy pocos datos acerca de

ésta última, y el conocimiento acerca del funcionamiento hidrogeológico de la unidad es limitado. Según estudios previos, existe una capa superficial que ocuparía solamente la zona central de la cuenca modelada, constituida por un acuífero libre formado por calizas lacustres del Pontense. Bajo esta capa superficial, existe otra de considerable espesor formada por materiales de baja permeabilidad que actuarían como confinantes, en la zona en que se desarrollan, de la tercera capa, que, sin embargo, aflora en los límites norte, sur y este de la unidad, en donde actuaría como libre. De esta manera, esta capa intermedia de baja permeabilidad y de edad terciaria actuaría como un transmisor del agua a presión desde la tercera capa, constituida por materiales calizos y dolomíticos del Jurásico, hacia la capa más superficial, a través de la cual se drenaría, constituyendo el principal aporte a los caudales drenados por el río Júcar dentro de la unidad. Este modelo conceptual es solo teórico, ya que no existen datos suficientes como para poder ser contrastado, pero, en principio, es el que se ha tomado como base para el modelo. Por tanto, para modelar un sistema como el descrito es necesario definir al menos tres capas, cuyas características hidrogeológicas serán coincidentes en algunas zonas del modelo y totalmente dispares en otras.

Esta estructura inicial no se ha podido mantener durante la modelación, ya que, debido a problemas de convergencia del modelo, y a la dificultad de calibración que existía con la disposición previa, al final se ha optado por modelar cuatro capas.

2.2 Datos utilizados para el modelo.

Para la elaboración del modelo se han utilizado varios tipos de datos:

- Datos de geometría.

Referidos a las cotas topográficas y a las de muro de cada una de las capas en que se ha discretizado el modelo. Los datos referentes a la topografía han sido proporcionados por CHJ, obtenidos a partir de la cartografía digital que dicho organismo posee.

En principio se utilizó el mapa digital del terreno con datos cada 20 metros, aunque posteriormente hubo que deshechar esta cartografía porque inducía errores al ser introducida en el Modflow, debido a la enorme diferencia entre el tamaño de las celdas (1 km de lado) y la cadencia de datos del mapa (20 m), que originaba que dentro de cada celda hubiera más de 2000 datos, con lo cual la interpolación que hace el Modflow para definir la topografía era excesivamente complicada y con un gran número de datos innecesarios.

Por ello, se optó, de común acuerdo entre IGME y CHJ, modificar el mapa digital del terreno y utilizar otro con una cadencia de datos cada 500 metros, lo cual es mucho más coherente con el tamaño de la malla escogida y su tratamiento más rápido, sencillo y eficaz.

Para definir la geometría de las capas segunda a cuarta, se ha utilizado información y datos de perfiles geoelectrónicos contenidos en el estudio de la cuenca realizado para el PIAS (Plan de Investigación de Aguas Subterráneas) desarrollado por el IGME en la década de 1980. En total, se han utilizado 16 perfiles, que han proporcionado información sobre todo de la parte central de la zona de estudio, y para cubrir toda el

área del modelo, se ha recurrido a la opción interpolatoria de Visual Modflow. La distribución espacial de los perfiles utilizados se muestra en la figura 6.

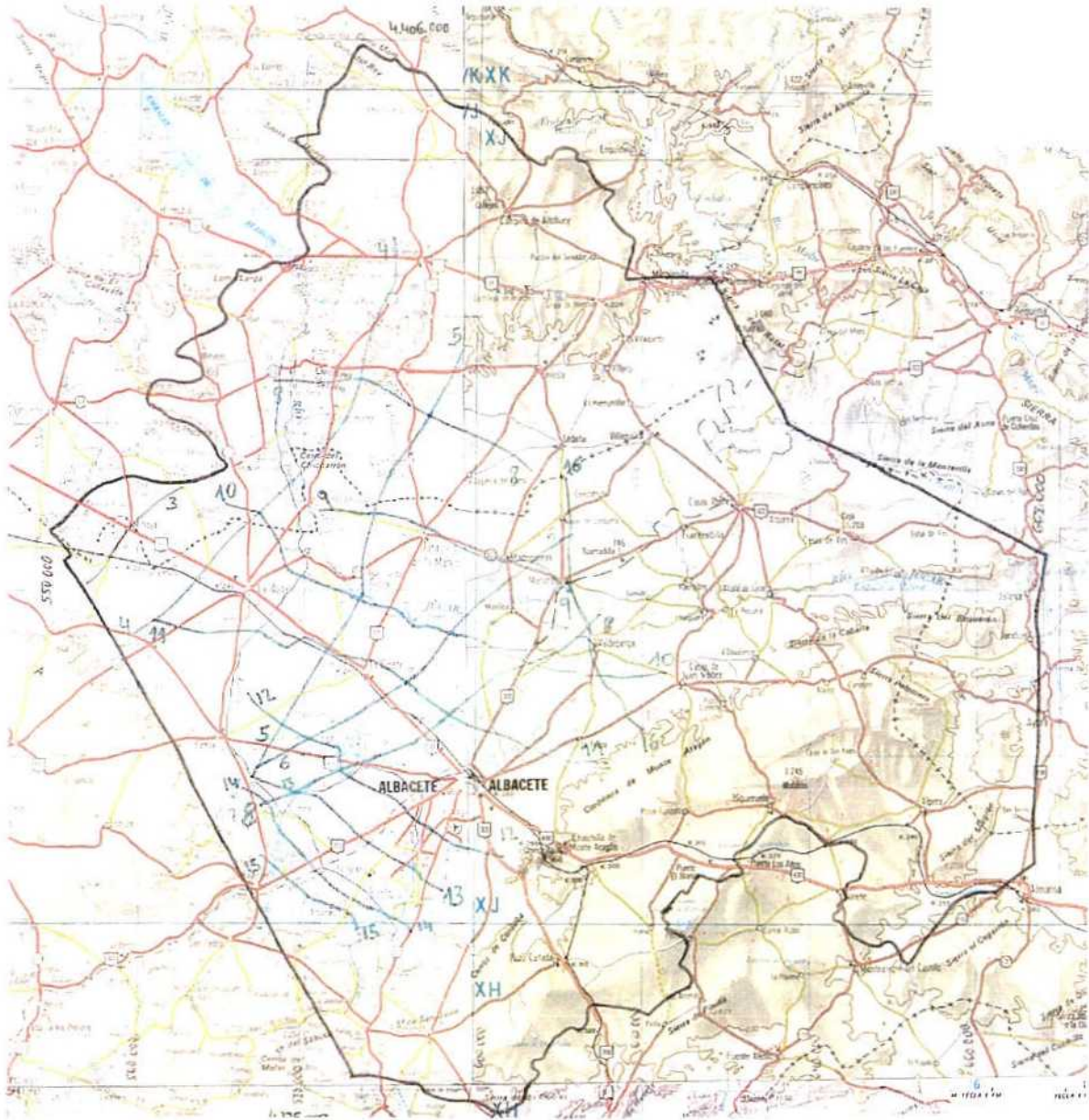


Figura 6. Localización geográfica de los perfiles eléctricos, con su número de referencia dentro del estudio consultado, utilizados para definir la geometría de las capas 2 y 3 del modelo.

De la información aportada por dichos perfiles se elaboró una discretización vertical que constaba de tres capas de espesores variables, en función de la información geológica extraída de los perfiles. En la figura 7 se muestra un corte norte-sur por la columna 52, mientras que en la figura 8, el corte es en dirección este-oeste por la fila 73.

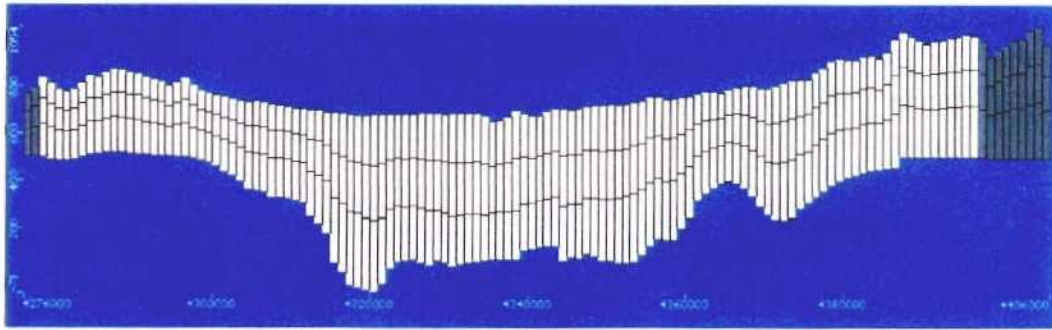


Figura 7. Corte vertical, por la columna 52, del modelo utilizando la discretización vertical obtenida a partir de la información contenida en el PIAS.

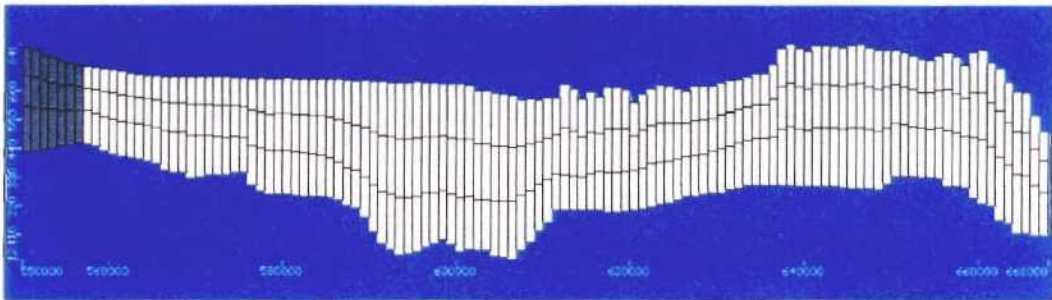


Figura 8. Corte horizontal, por la fila 73, del modelo utilizando la discretización vertical obtenida a partir de la información contenida en el PIAS.

No obstante, las lagunas de información existentes en amplias áreas del modelo, junto con los problemas de convergencia y calibración, han obligado a replantear la discretización, utilizando finalmente, en base a un criterio compartido con CHJ, una distribución de 4 capas paralelas entre sí y diferentes espesores, que ha proporcionado mejores resultados en la modelación.

En la figura 9 se observa el corte de la zona modelada por la columna nº 51, que es la que pasa por la ciudad de Albacete.

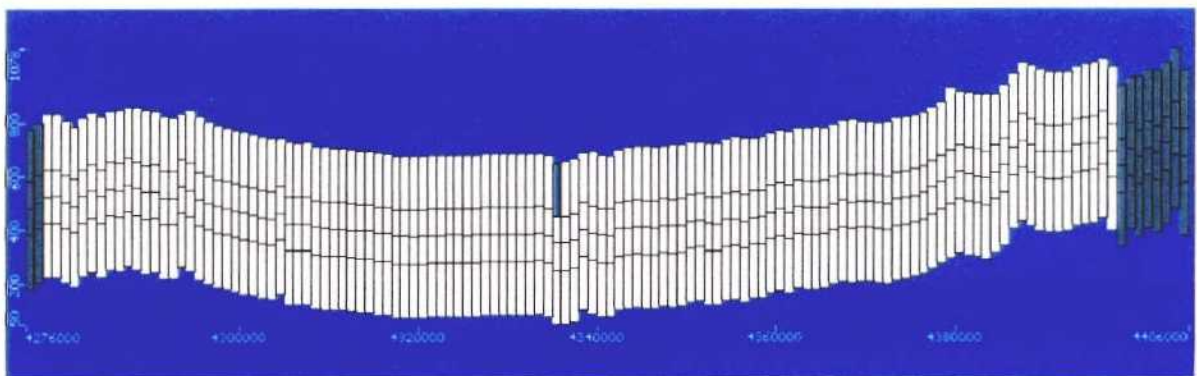


Figura 9. Corte vertical N-S del modelo por la columna 51.

En la figura 10 se muestra un corte vertical en la dirección O-E por la fila 66, que pasa por La Roda y por el embalse de El Molinar. En color azul oscuro, están representadas las celdas que tienen condición de río en esta sección del modelo.

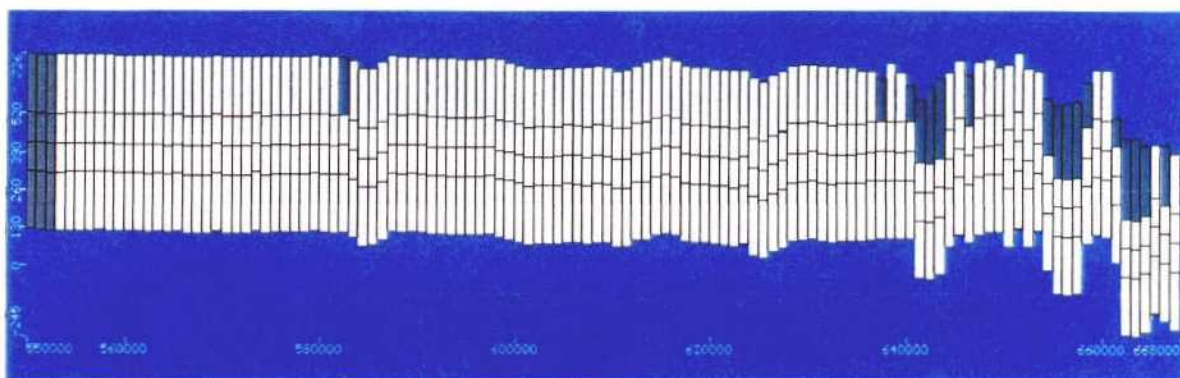


Figura 10. Corte horizontal O-E del modelo por la fila 66.

- Datos de extracciones.

Los datos de extracciones han sido proporcionados por CHJ, quien los ha elaborado para todo el ámbito del modelo. En la figura 11 se observa la distribución de las extracciones a lo largo de todo el área modelada.

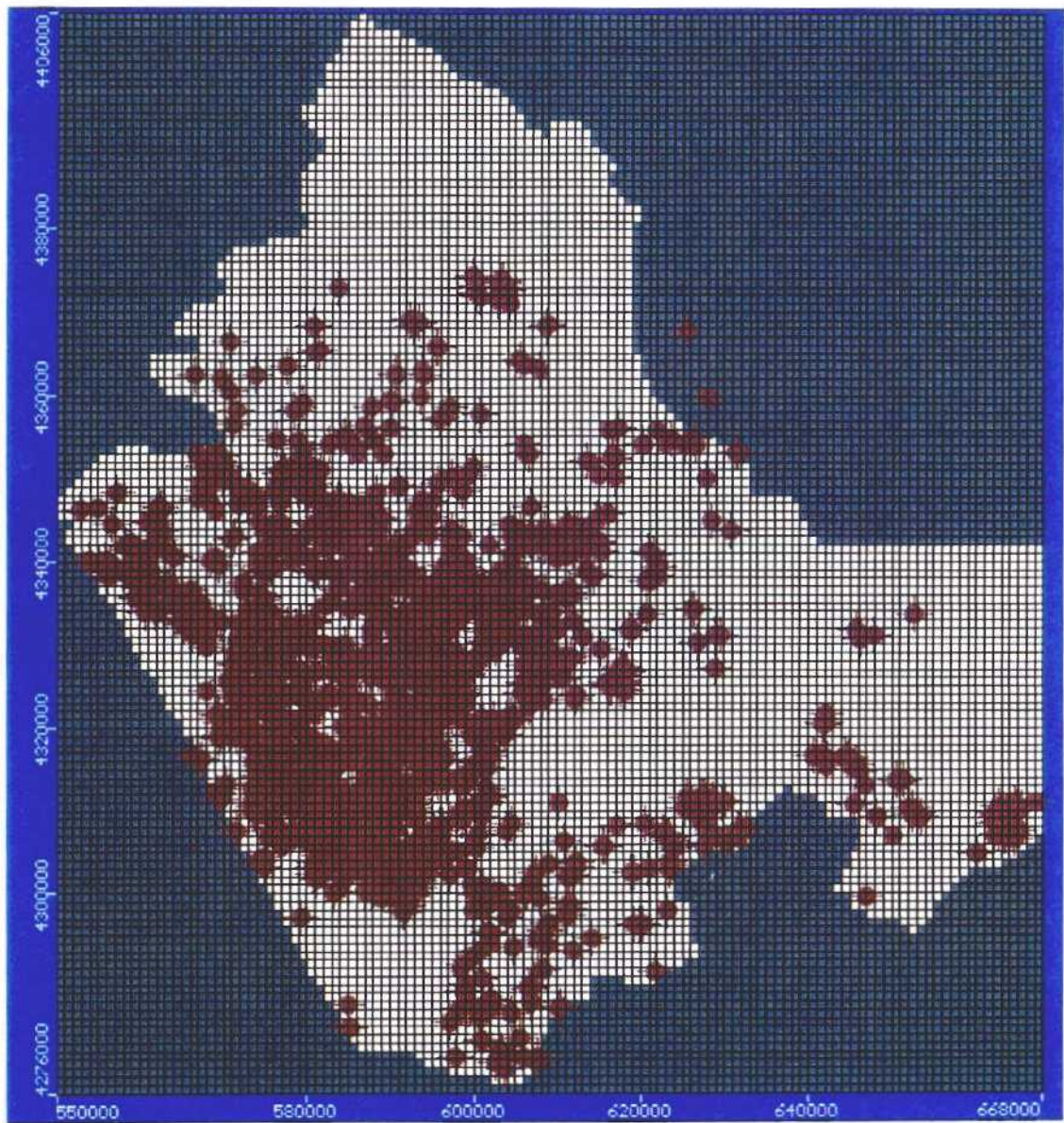


Figura 11. Distribución de las extracciones en la zona modelada.

En la figura 12 se observa un detalle de la densidad de explotaciones en las zonas 2 (Minaya – Madrigueras) y 4 (Pozo Cañada – Pétrola).

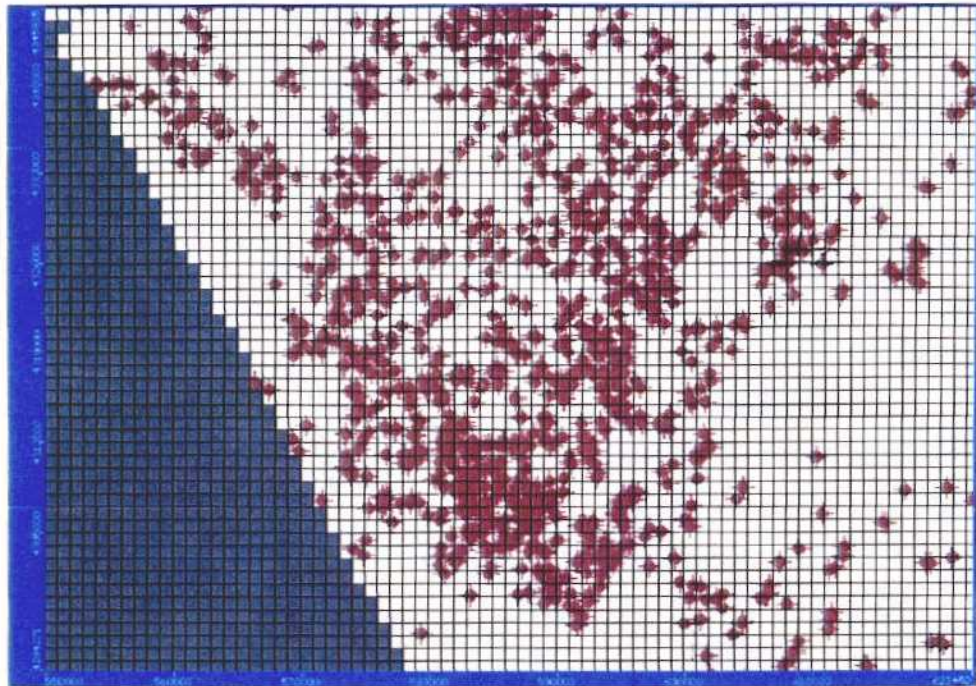


Figura 12. Detalle de la densidad de extracciones en las zonas 4 y parte de la 2 del modelo.

- Datos de la recarga por lluvia e infiltración de retornos de regadío.

Estos datos también han sido proporcionados por CHJ, obtenidos a partir de la salida del programa de estimación de recursos hídricos a nivel nacional denominado SIMPA. Los datos de salida que proporciona este programa, que divide el territorio en celdas cuadradas de 1 km de lado, son, en el caso que interesa para este trabajo, la recarga media anual en milímetros. Dado que el valor proporcionado por el SIMPA es diferente para cada una de las celdas, ha sido necesario agruparlos por zonas de valores similares para poder ser manejados con facilidad en el programa. De esta manera, se han delimitado 8 zonas diferentes dentro del área modelada, más una novena que se corresponde con las celdas sobre las que se sitúa el río Lezuza, cuyo caudal se infiltra por completo en la Mancha al entrar en ella, razón por la cual se ha modelado la relación río-acuífero como una recarga igual al caudal circulante por el río.

La zonación de la recarga se muestra en la figura 13. En la misma figura se muestran los valores, en mm/a, que se ha asignado a la recarga en cada una de las zonas. En la modelación en régimen permanente, se ha considerado la recarga constante e igual a dicho valor.

El aporte del río Lezuza ha sido evaluado en $30 \text{ hm}^3/\text{a}$ por CHJ, y las celdas a través de las cuales dicho caudal se infiltra están representadas en la figura 13 con el color azul claro.

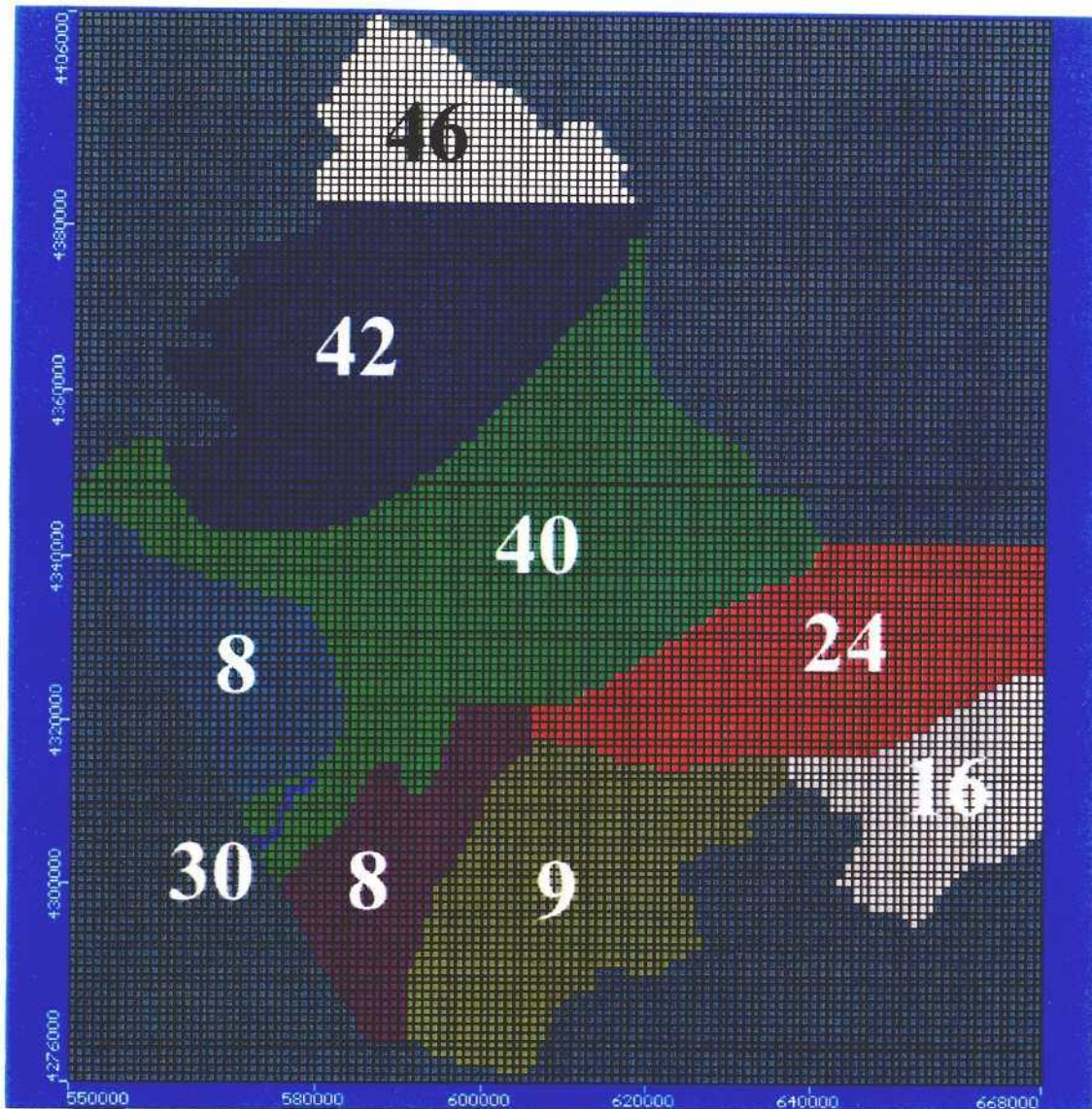


Figura 13. Zonación espacial de la recarga natural al acuífero, en base a los resultados del programa SIMPA. Valores en hm^3/a .

- Datos correspondientes al río Júcar.

El único cauce que se ha modelado como tal es el río Júcar. La disposición de las celdas de río en el modelo se muestra en la figura 14.

El valor de la conductividad del lecho del río se ha calibrado durante la modelación, partiendo de los siguientes valores iniciales:

- Tramo 1: Desde la salida del embalse de Alarcón hasta el cruce con la carretera de Tarazona de La Mancha a La Gineta: 600 m²/día.
- Tramo 2: Desde el punto anterior hasta Valdeganga: 1200 m²/día.
- Tramo 3: Desde Valdeganga hasta la salida del modelo: 1400 m²/día.

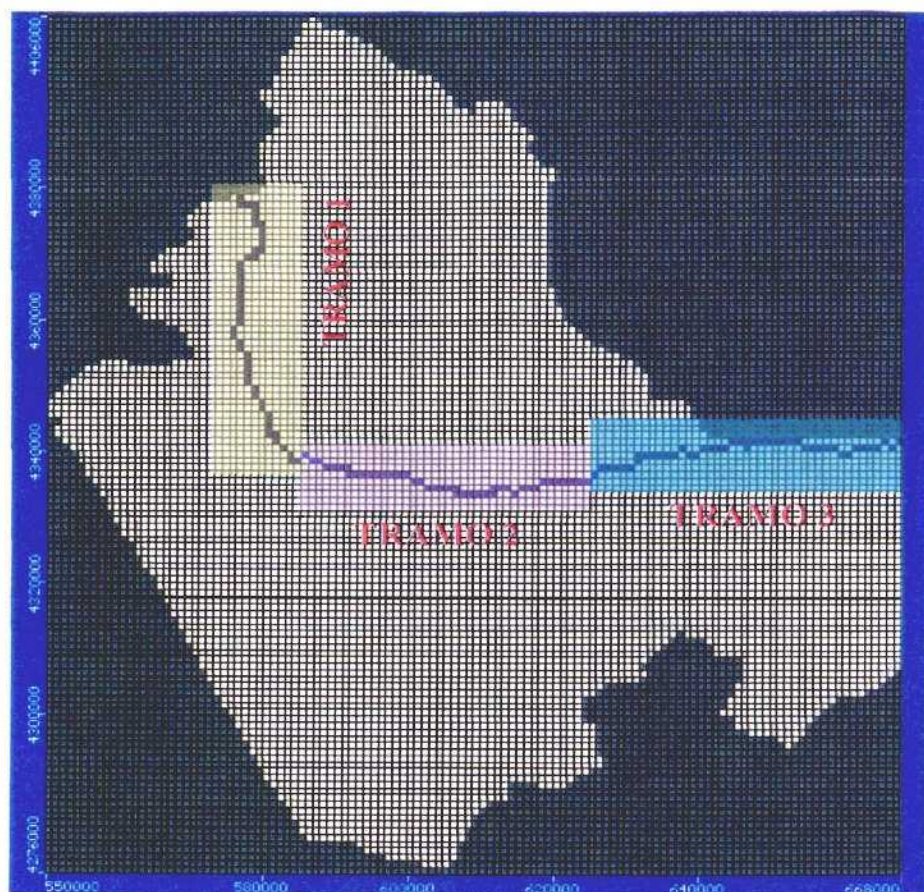


Figura 14. Discretización de las celdas de río en el modelo.

- Parámetros hidrogeológicos.

Los parámetros hidrogeológicos han de ser obtenidos mediante calibración, a partir de unos valores iniciales que se obtienen en base a la información disponible. Durante el proceso de calibración del presente modelo, ha sido necesario un replanteamiento de la zonación inicial de los mismos, debido a que el ajuste entre los valores reales y los calibrados no era lo suficientemente aceptable. Los valores iniciales utilizados en el modelo han sido obtenidos a partir de los modelos realizados con anterioridad en la misma zona. En concreto, para la conductividad hidráulica se han tomado como valores iniciales los contenidos en el modelo de 1993, (“Estudio del seguimiento del impacto de las extracciones de aguas subterráneas en los acuíferos de la mancha Oriental y los caudales del río Júcar. Tomo V, Modelo matemático”), cuya zonación se muestra en la figura 15. Probablemente, el mal ajuste que dichos parámetros proporcionan tenga que ver con que el modelo citado ha discretizado el acuífero verticalmente en una sola capa, mientras que el actual lo hace en cuatro.

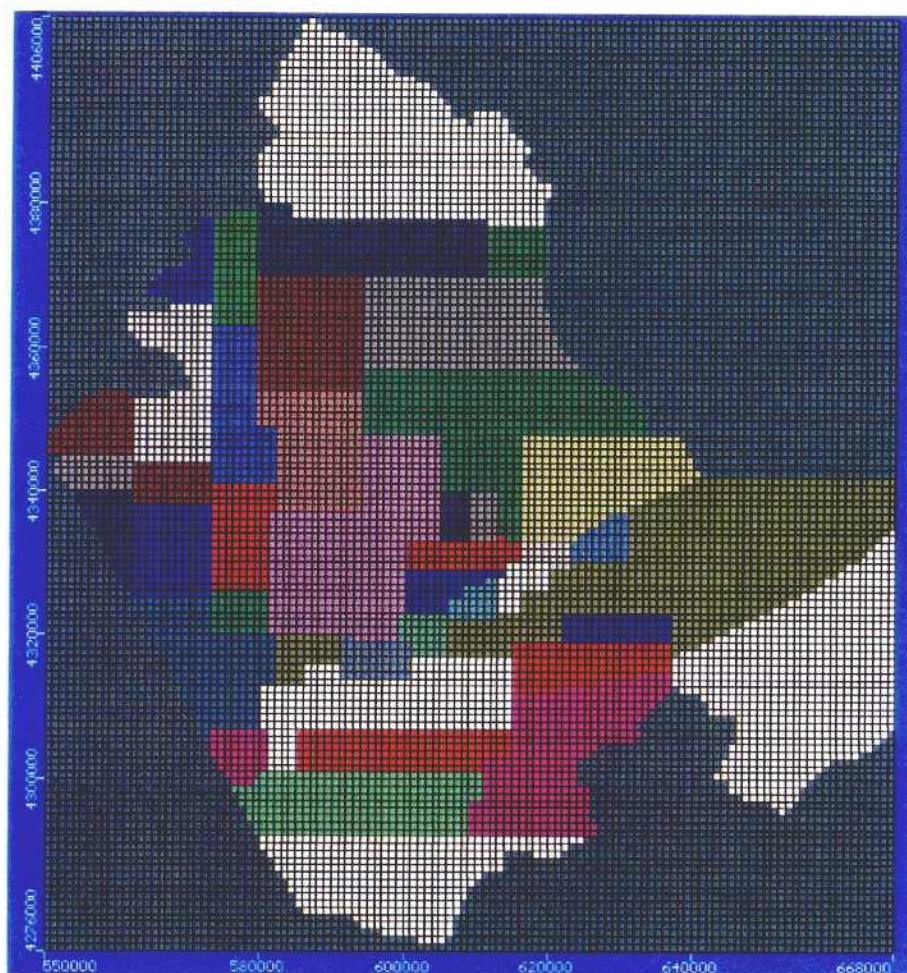


Figura 15. Zonación de la conductividad hidráulica en la capa 1 según el modelo de 1993.

La zonación definitiva se ha realizado haciendo coincidir los valores de los parámetros con la litología existente, de manera que, durante el proceso de calibración, se han hecho variar los valores de los mismos de manera conjunta por litologías, de acuerdo con la disposición propuesta por Sanz (2003) en su trabajo de suficiencia investigadora titulado “Análisis del rendimiento de las captaciones de agua en la Unidad Hidrogeológica 08.29 Mancha Oriental”, con el fin de tratar de aproximarse lo más posible a la realidad física.

En total, se han distinguido 6 litologías diferentes:

- Acuífero Mioceno. (zona 1 en la figura 15)
- Acuífero Cretácico. (zona 2 en la figura 15)
- Acuífero Jurásico norte. (zona 3 en la figura 15)
- Acuífero Jurásico sur. (zona 4 en la figura 15)
- Acuífero Jurásico sur-este. (zona 5 en la figura 15)
- Calizas Pontienses. (zona 6 en la figura 15)

Los valores de la conductividad hidráulica para cada una de estas formaciones se observan en la figura 16, y su distribución espacial en la zona modelada, en la figura 17 para la capa 1, en la figura 18 para la capa 2, en la figura 19 para la capa 3 y en la figura 20 para la capa 4.

En las figuras 21 y 22 se muestran dos secciones verticales, la primera norte-sur por la columna 40, y la segunda, este-oeste por la fila 70.

K Property Database					
Property #	Kx [m/d]	Ky [m/d]	Kz [m/d]	Color	
1	5	5	0.5	White	Acuífero Mioceno
2	9	9	0.9	Dark Blue	Acuífero Cretácico
3	5.1	5.1	0.51	Green	Acuífero Jurásico Norte
4	12.1	12.1	0.121	Blue	Acuífero Jurásico Sur
5	12	12	0.12	Red	Pontiense
6	0	0	0	Purple	
7	0.2	0.2	0.02	Olive Green	Acuífero Jurásico SE

Figura 16. Valores de conductividad hidráulica por litologías.

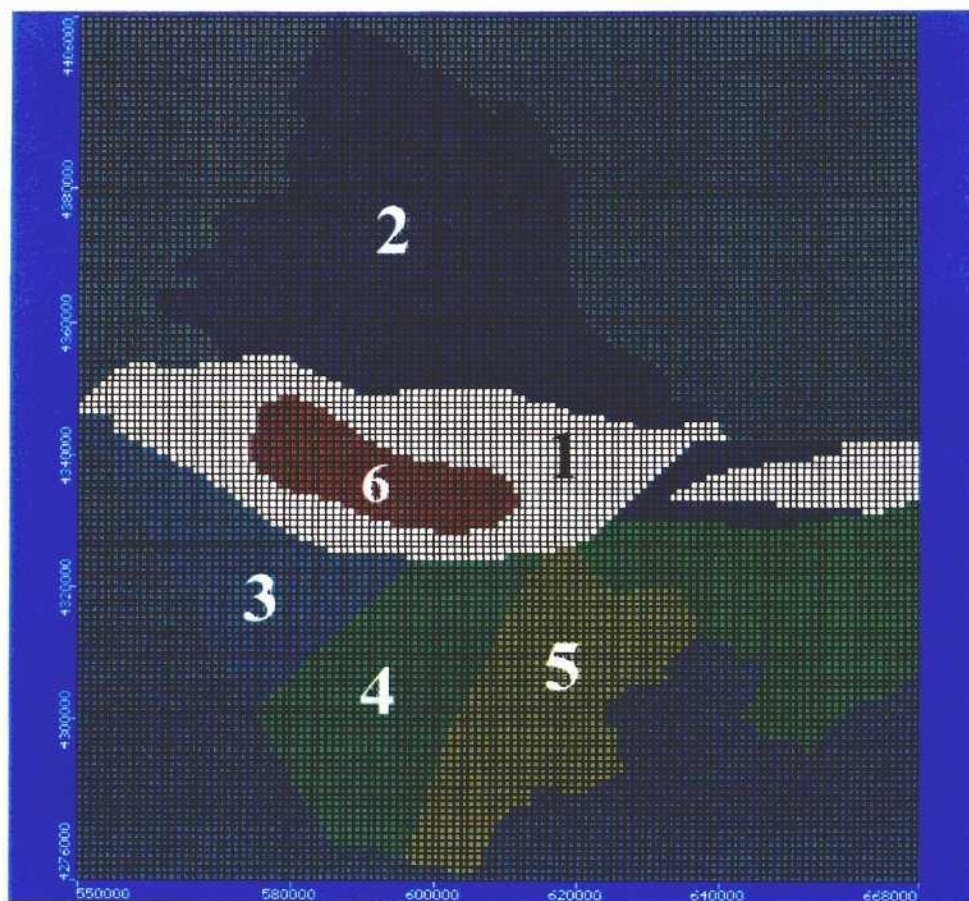


Figura 17. Distribución espacial de la conductividad hidráulica en la capa 1



Figura 18. Distribución espacial de la conductividad hidráulica en la capa 2.



Figura 19. Distribución espacial de la conductividad hidráulica en la capa 3.



Figura 20. Distribución espacial de la conductividad hidráulica en la capa 4.

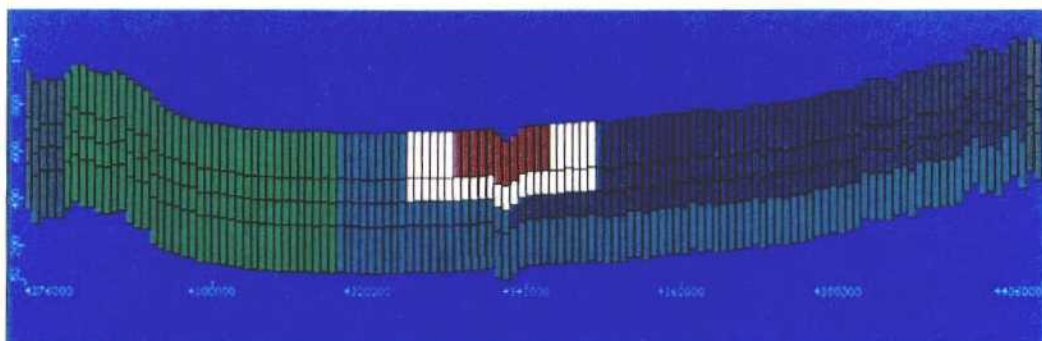


Figura 21. Sección norte-sur por la columna 40 mostrando la distribución de la conductividad hidráulica.

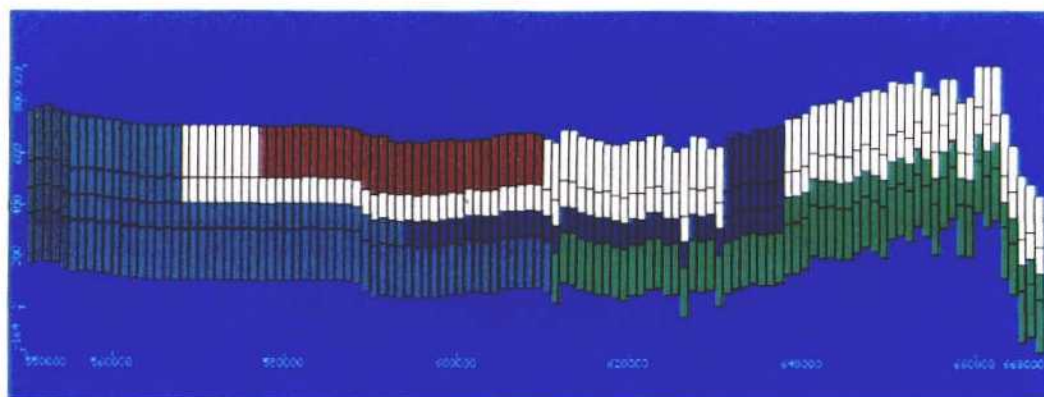


Figura 22. Sección este-oeste por la fila 70 mostrando la distribución de la conductividad hidráulica.

De manera muy esquemática, pueden caracterizarse las distintas formaciones geológicas de la siguiente manera:

- Acuífero Jurásico

También denominado Formación Chorro-Colleras. Está formado por dolomías secundarias y calizas de edad Lías-Dogger con una potencia media de 250-350 metros, siendo el más importante y extenso del sector. Generalmente se encuentra confinado, excepto en las partes sur y oeste del sistema, en donde aflora. Sus condiciones hidrogeológicas son muy buenas, ya que se han medido transmisividades de entre 2400 y 12000 m²/día.

- Acuífero Cretácico

Se denomina también Formación Bnejama, y está constituido por un tramo dolomítico de edad Turoniense y otro calizo, de edad Senoniense. Su potencia varía entre 50 metros en la zona occidental a 150 en la septentrional. Está confinado en su mayor parte, aunque en el sector norte de la zona modelada aparece como libre, así como también en las sierras de Carcelén y Villaverde. Sus condiciones hidrogeológicas son similares a las de la formación Chorro, aunque la transmisividad es algo menor.

- Acuífero Mioceno.

Está formado por calizas lacustres de edad Pontiense. Por su localización, en la llanura de Albacete, en la cual se concentra la mayor parte de la demanda hídrica de la unidad, este acuífero, junto con la formación Chorro, presenta una gran importancia desde el punto de vista económico y de desarrollo de la zona, siendo el que sostienen más del 75% de las captaciones existentes. Es un acuífero libre en toda su extensión y alcanza su potencia máxima en el centro de la cuenca, siendo ésta del orden de 150 metros. Su transmisividad oscila entre 1200 y 7000 m²/día.

En la figura 23 puede verse un corte (según IGME, 1982), por la ciudad de Albacete, en el cual se observa la disposición supuesta de las formaciones acuíferas.

En la figura 24 se acompaña un mapa geológico de la Unidad Hidrogeológica 08.29, Mancha Oriental, en el cual se incluye solamente la superficie que forma parte actualmente de la misma, no las zonas que se ha propuesto incluir en la nueva redefinición de la unidad. Además, no está representada la geología fuera del territorio de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha.

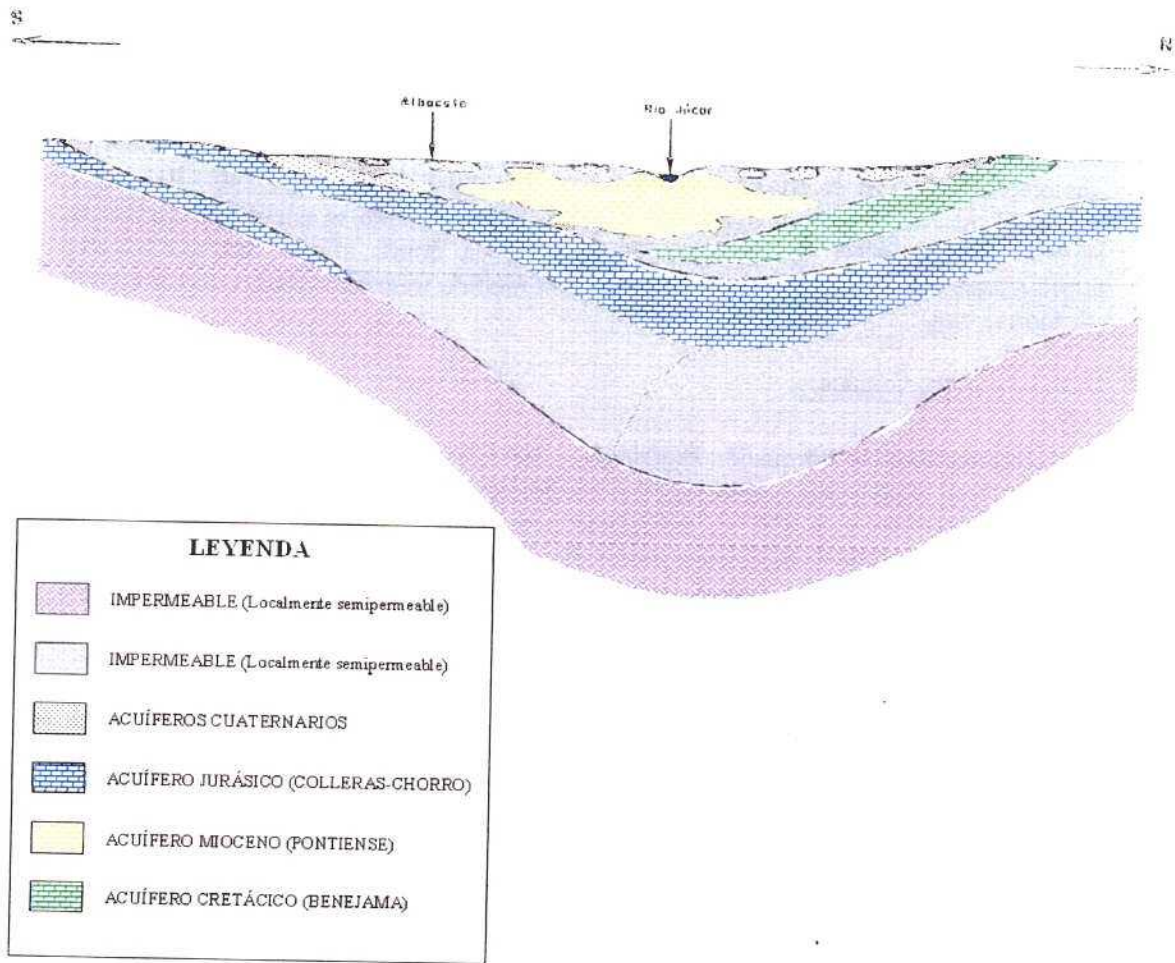
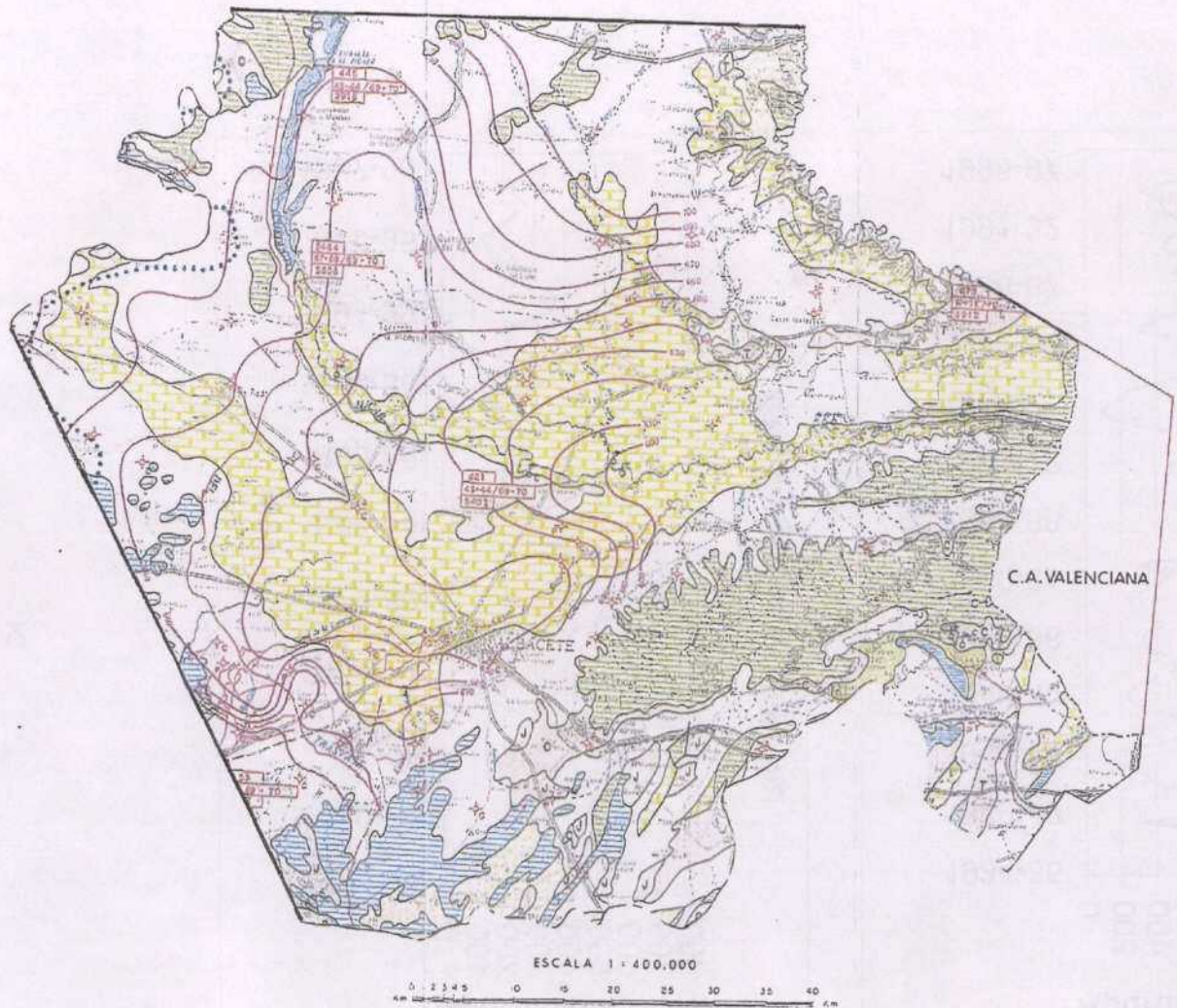


Figura 23. Esquema hidrogeológico de la llanura de Albacete, según IGME (1982)



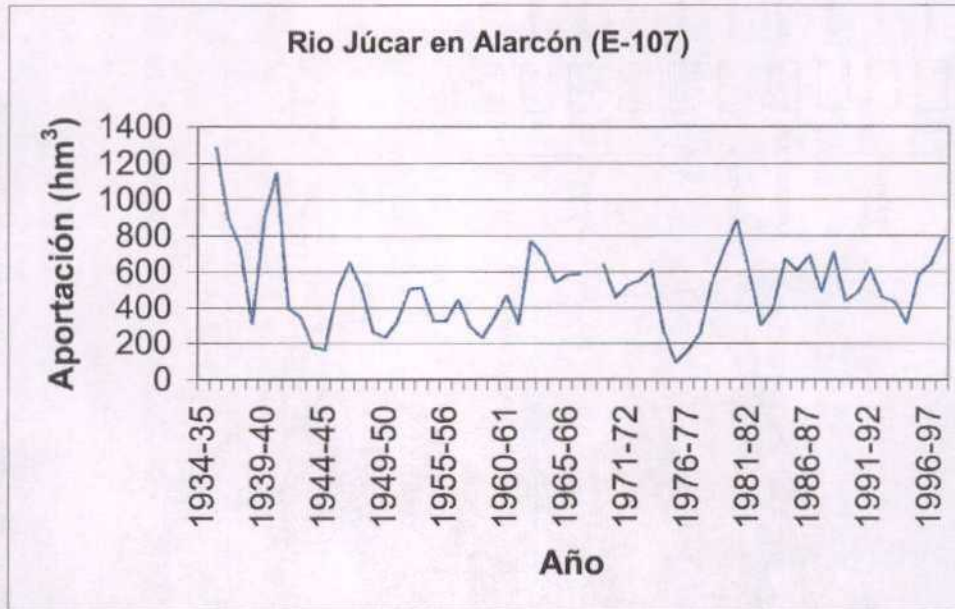
LITOLOGIA

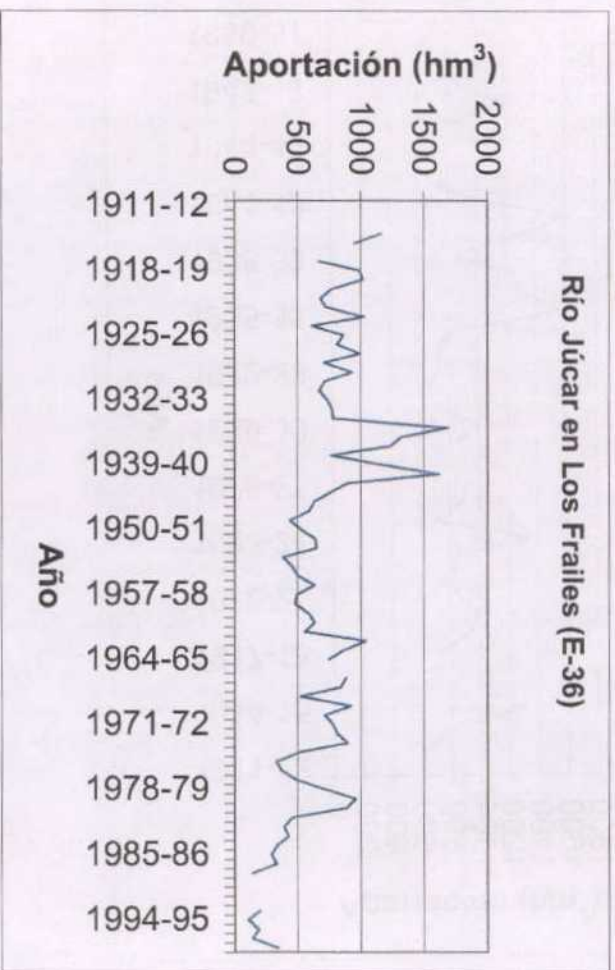
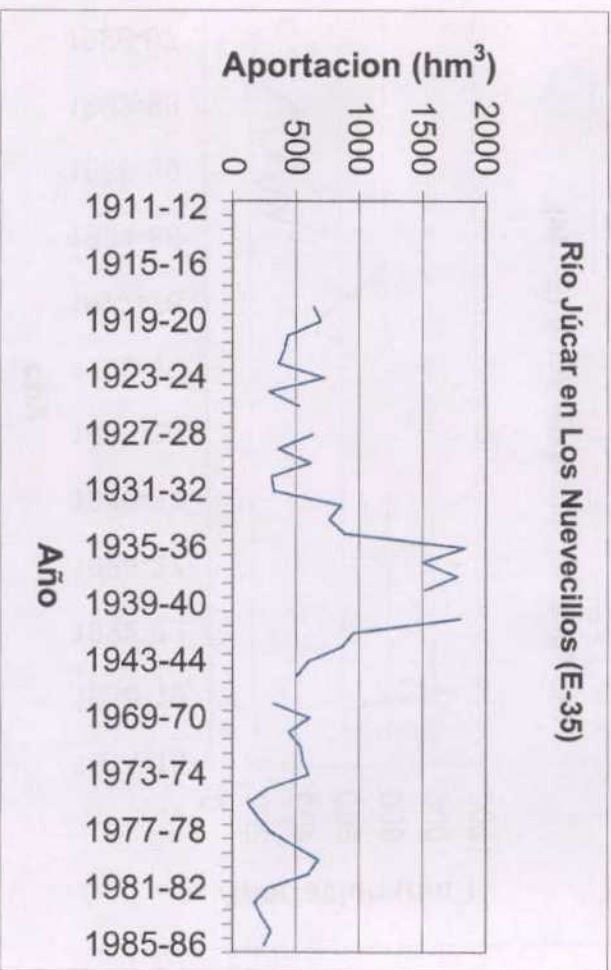
CUATERNARIO		Materiales de relleno margo-arenosos, localmente conglomerados. En el sector N. puede incluir materiales terciarios similares, difícilmente diferenciables. Permeabilidad variable.
PLIOCENO		Calizas, localmente intercalaciones margosas. Muy permeable.
		Calizas y areniscas calcáreas. Permeable o muy permeable.
		Margas, arenas y limos. Permeable.
MIOCENO		Margas, arenas y limos. Permeable.
CRETACICO SUP		Calizas y dolomías con niveles margo-arcillosos. Permeable.
CRETACICO INF		Arenas, arcillas, margos y niveles calizas localmente. Semipermeable.
JURASICO		Calizas y dolomías. Permeable.
		Margas, margo-calizas y calizas nodulosas en la base. Impermeable.
		Dolomías y calizas. Muy permeable.
		Arcillas, margos y niveles carbonatados. Impermeable.
		Dolomías, carníoles y calizas. Permeable a muy permeable.

Figura 24. Mapa hidrogeológico de la Unidad 08.29, Mancha Oriental, en el territorio comprendido dentro de los límites actuales para los que se define dicha unidad y dentro de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. Las isopiezas representadas en el mapa corresponden a la primavera de 1983.

3. MODELACIÓN DEL RÉGIMEN PERMANENTE.

Para calibrar el régimen permanente se han utilizado dos tipos de datos: los niveles piezométricos y los caudales circulantes por el río Júcar. Éstos últimos han sido tomados del resumen de datos mensuales y anuales de la Confederación Hidrográfica del Júcar. La representación gráfica de los datos disponibles se muestra en la figura 25 siguiente. Los valores representados en las mismas son las aportaciones anuales en hm^3/a .





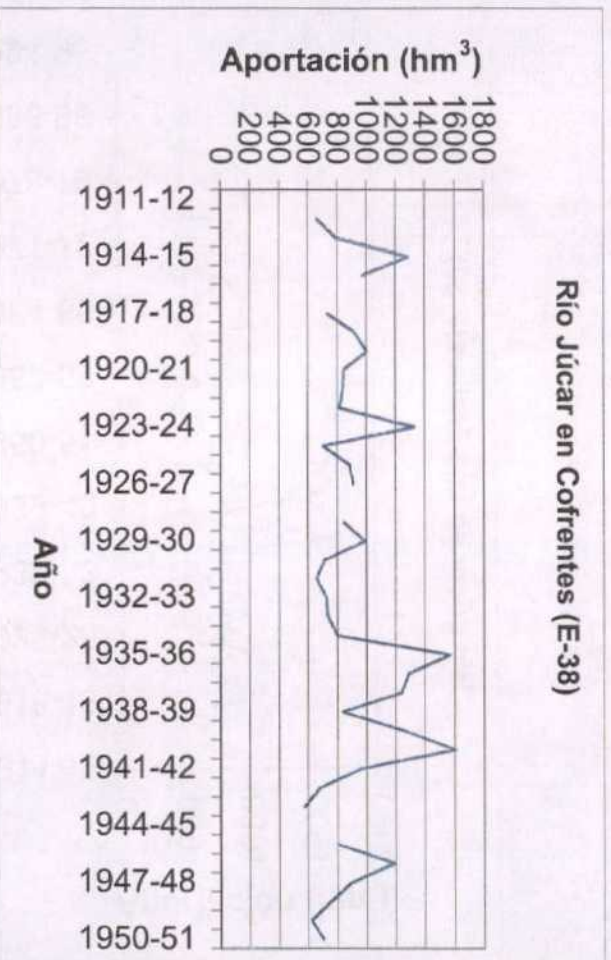
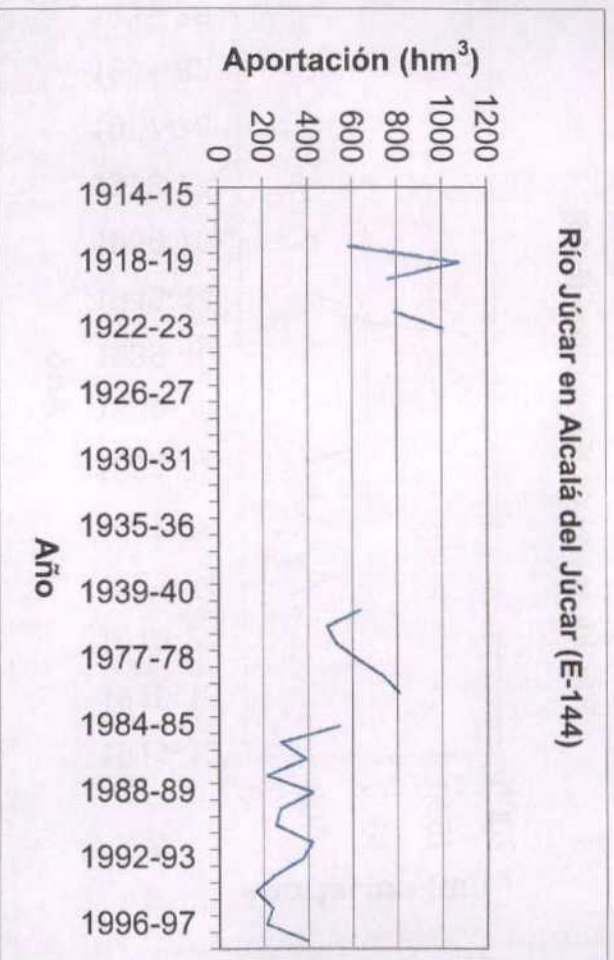


Figura 25. Gráficos de evolución de los caudales del río Júcar en diferentes estaciones de aforo.

En la tabla 1 se presenta un resumen de los datos disponibles para cada una de estas estaciones. Su situación geográfica se muestra en la figura 26.

ESTACION	SITUACIÓN	INTERVALO CON DATOS	APORTACIÓN MEDIA (hm^3/a)
107	Alarcón	1934 a 1998	511
129	El Picazo	1967 a 1998	333
35	Los Nuevecillos	1915 a 1986	631
36	Los Frailes	1914 a 1998	696
144	Alcalá del Júcar	1974 a 1998	519
38	Cofrentes	1912 a 1951	920

Tabla 1

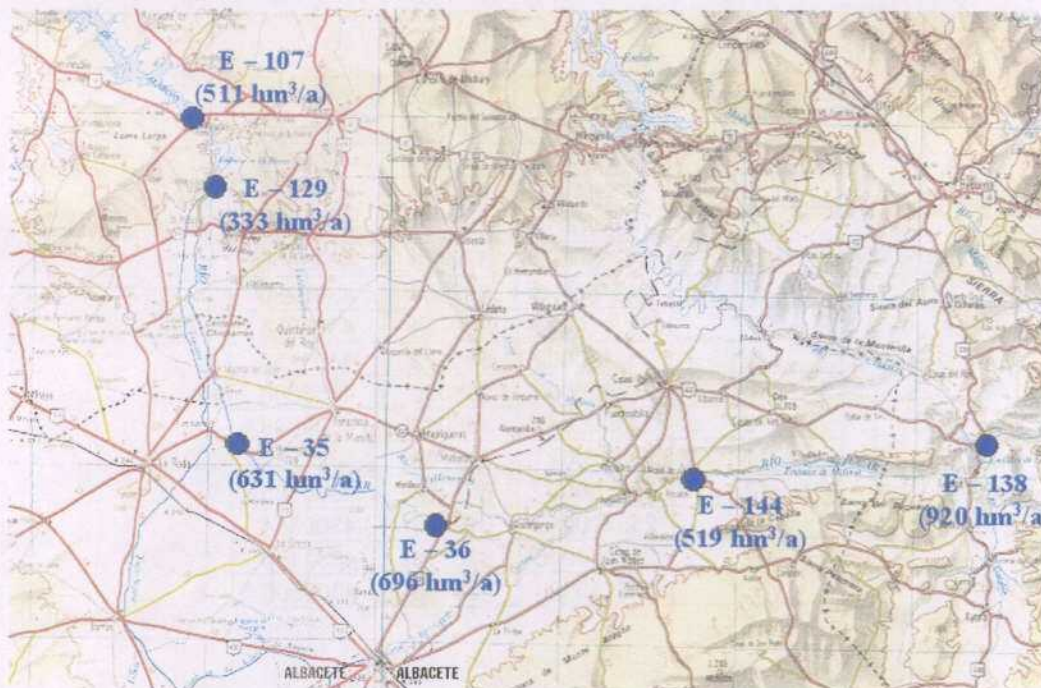


Figura 26. Ubicación de las estaciones de aforo sobre el río Júcar, con indicación de la aportación media anual para el período de disponibilidad de datos entre paréntesis.

Por lo que respecta a los caudales circulantes por el río Júcar, hay que tener en cuenta que los mismos son la suma de la escorrentía superficial más los caudales drenados por el río desde el acuífero. Para calibrar el modelo, es necesario conocer con precisión éstos últimos, lo cual no ha sido posible porque no se ha podido desglosar la componente superficial de la subterránea en la aportación total medida en las estaciones de aforo a partir de los datos existentes. Por ello, lo que se ha hecho finalmente ha sido calibrar con las isopiezas en régimen permanente y después tratar de ajustar los caudales drenados por el río Júcar a los datos obtenidos en estudios previos al actual, de manera que se obtenga un orden de magnitud aproximado, teniendo en cuenta que ninguno de

los datos con los cuales se ha comparado tiene fiabilidad completa. Para ello, lo que se ha hecho es tratar de calibrar el factor que gobierna la relación río-acuífero en el modelo, que es la conductancia del lecho del río. Variando el valor de este parámetro, se modifica la cantidad de agua que se infiltra en el acuífero a través del lecho del río o se drena desde el acuífero hacia el río.

Para la elección de los puntos de control piezométrico a utilizar durante la calibración del modelo, se han utilizado los datos existentes en la base de datos AGUA del IGME. Se ha seleccionado un punto representativo por cada una de las áreas en que se ha dividido la zona modelada. La elección se ha realizado en base a un criterio fundamental: la existencia de una serie de datos lo suficientemente amplia como para poder abarcar un período de calibración en régimen transitorio de al menos 20 años, que es el que se ha elegido para el modelo. A este efecto, se ha tomado como fecha de inicio de la modelación el día 1 de enero de 1975. Tras una detallada selección, de entre un total de más de 22000 datos, se han escogido dentro de la zona modelada un total de 15 puntos de control, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

nº en el modelo	Punto	X UTM	Y UTM
1	232970017	556612	4344559
2	242860014	577939	4358615
3	243010002	571479	4329346
4	243020016	580726	4334431
5	243050023	572480	4319909
6	243150025	576633	4307280
7	243170074	589701	4302058
8	243180002	595472	4304230
9	252920006	606520	4353068
10	253020042	608012	4329888
11	253070021	617709	4325330
12	253160027	607252	4304395
13	253170013	619529	4300654
14	263010006	628875	4331150
15	273150029	658403	4302905

La distribución espacial de estos puntos dentro del modelo se muestra en la figura nº 27.

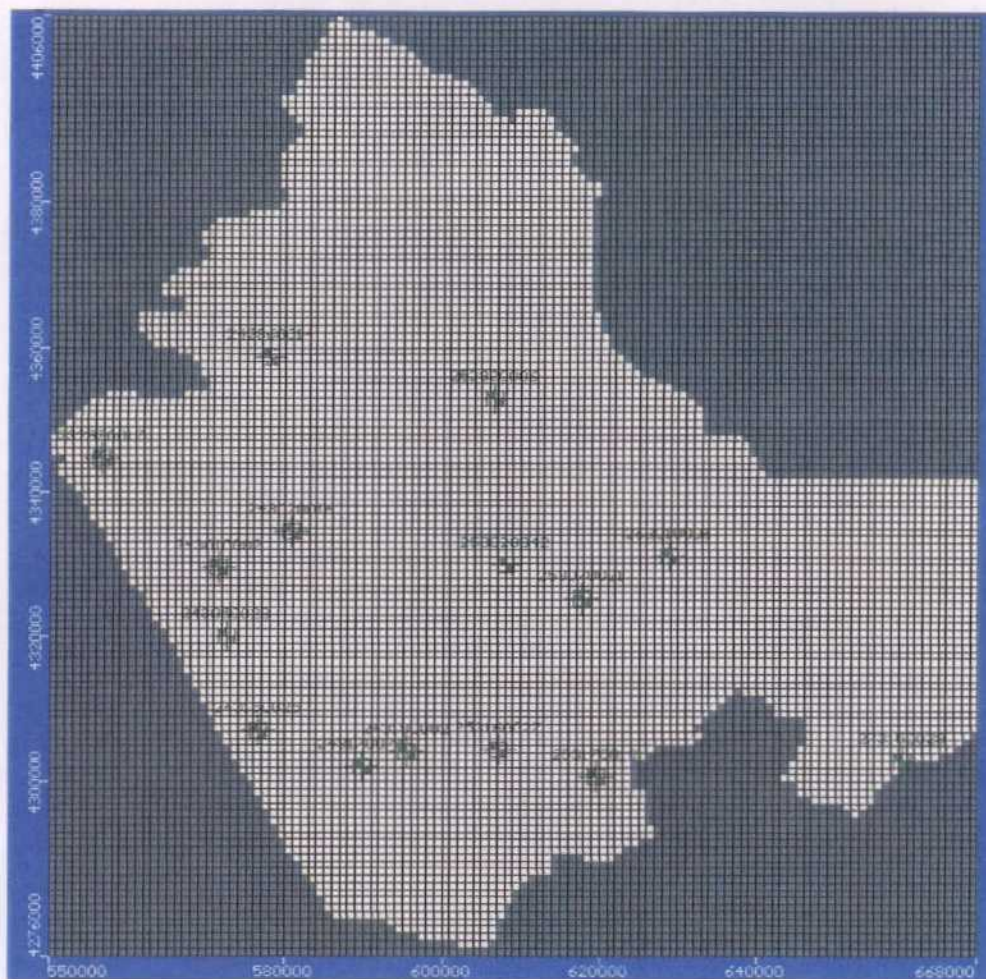


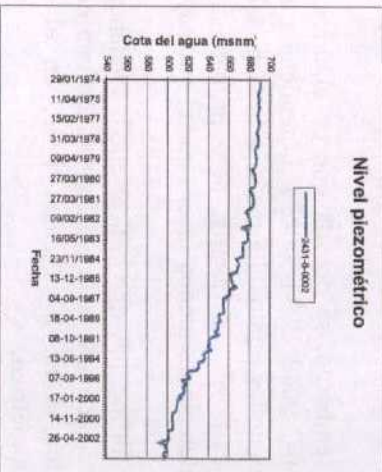
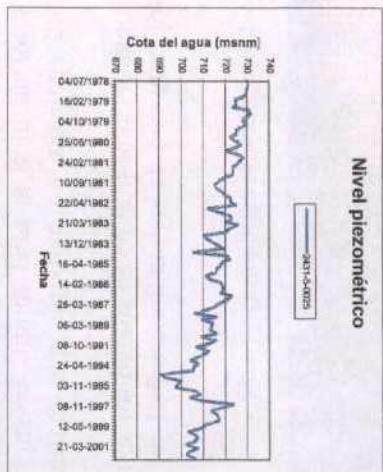
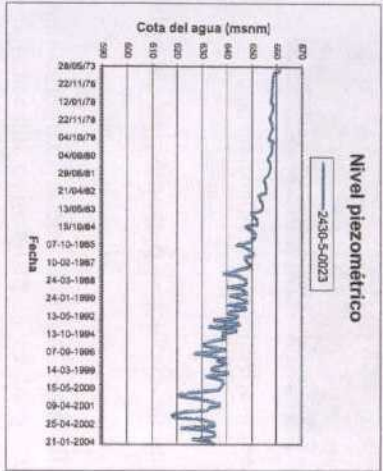
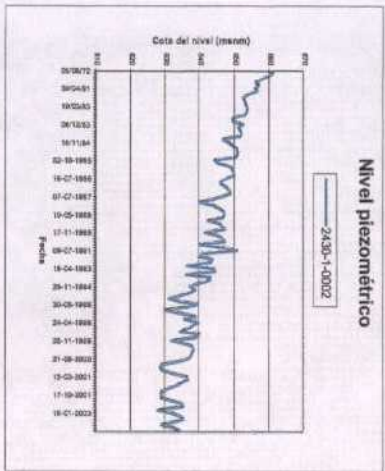
Figura 27. Distribución espacial de los puntos de control seleccionados dentro del modelo.

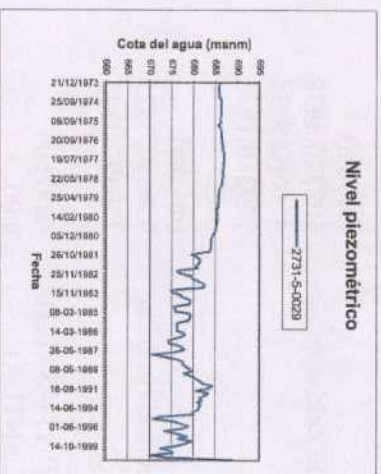
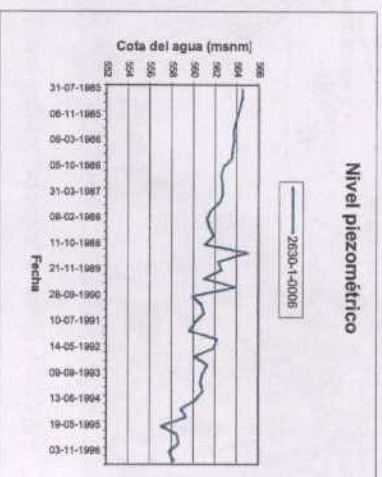
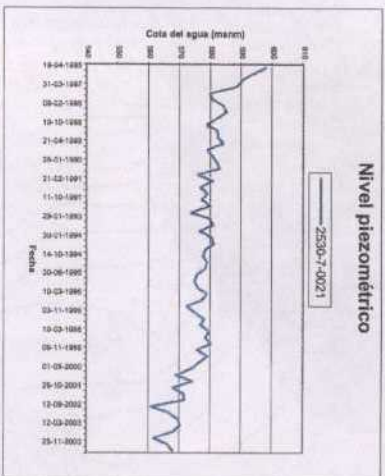
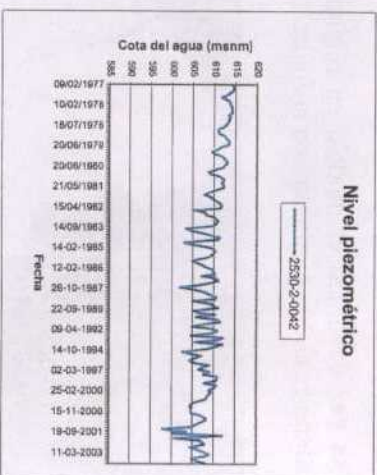
En las páginas siguientes se muestran los gráficos de evolución piezométrica en cada uno de los puntos de control seleccionados.

Respecto a la información mostrada por las diferentes figuras, puede extraerse una conclusión similar para la gran mayoría de ellas, cual es el progresivo descenso de niveles que se ha experimentado en los puntos seleccionados con el paso de los años, comenzando el descenso significativo a partir de los primeros años 80.

Sin embargo, se detecta que en algunos puntos, como por ejemplo el 2431-5-0025, 2530-2-0042, 2731-5-0029, la tendencia en el descenso no es tan acusada como en el resto de los puntos. La razón, a la vista del simple análisis de los gráficos de evolución, no es posible deducirla, pero probablemente estará relacionada con un régimen de explotaciones menos severo que el que hayan sufrido el resto de los puntos.

Por último, hay que indicar que la tendencia que presenta el punto 2529-2-0006, a pesar de mostrar un descenso continuado con el tiempo, existe un intervalo intermedio, que abarca desde 1988 hasta 1990, en el cual se produce un aumento en el nivel piezométrico.





Una vez calibrado el modelo en régimen permanente, el mapa de isopiezas que se obtiene es el que se muestra en la figura 28.

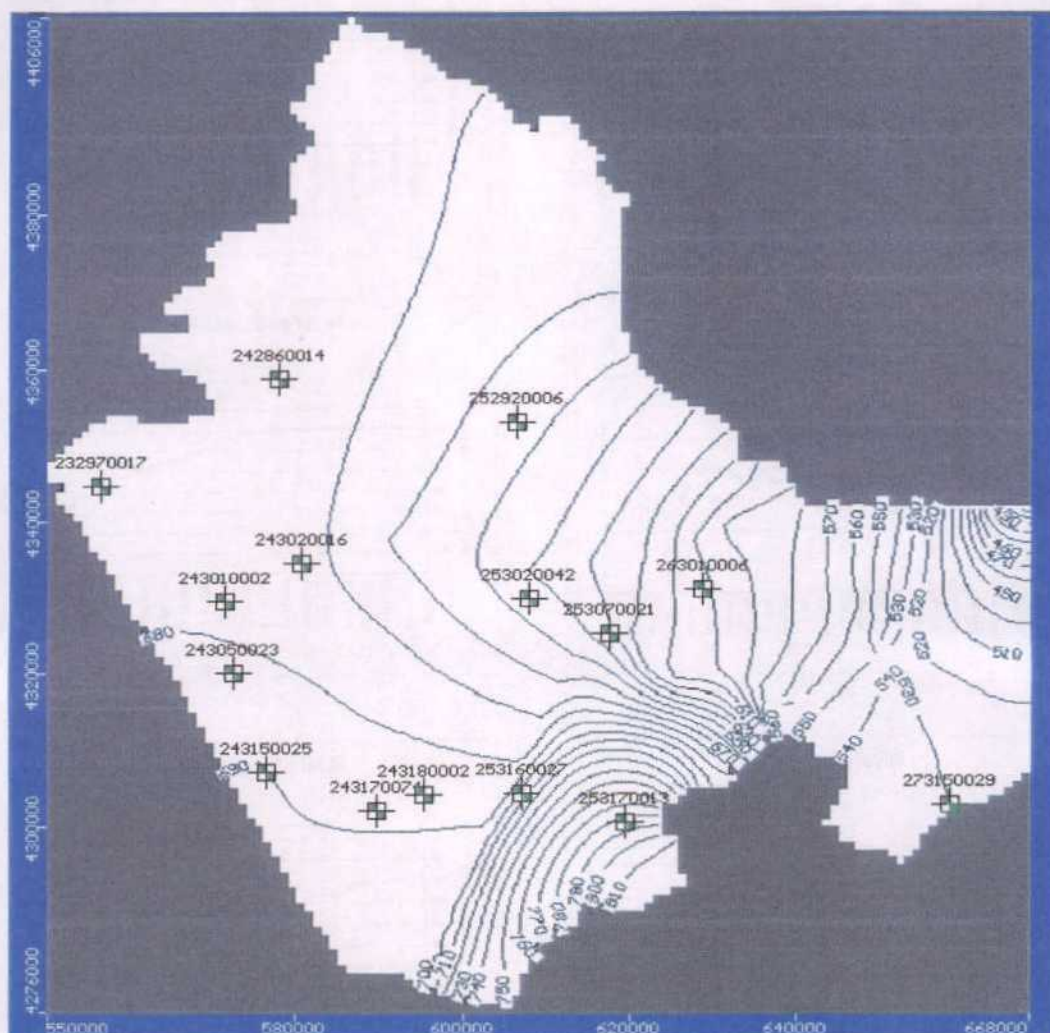


Figura 28. Mapa de isopiezas resultante de la calibración del modelo en régimen permanente.

El balance obtenido en esta calibración es el que se presenta a continuación:

ENTRADAS	(m ³ /día)	hm ³ /año
Infiltración a través de las celdas de río:	302726.5938	110,49
Recarga natural:	456662.5938	166,68
TOTAL:	759389.1875	277.17
SALIDAS	(m ³ /día)	hm ³ /año
Descarga subterránea hacia el río Júcar:	759392.0625	277.18
TOTAL:	759392.0625	277.18
DIFERENCIA ENTRADAS – SALIDAS:	-2.8750	
DISCREPANCIA PORCENTUAL:	0.00	

La descarga subterránea hacia el río Júcar significa, en términos anuales, una cantidad total de 277 hm^3 . Esta cifra es algo inferior a la que se ha obtenido en trabajos anteriores que han modelado este acuífero, estimada en torno a $300 \text{ hm}^3/\text{año}$, aunque se estima del mismo orden de magnitud.

En la figura 29 se muestra el diagrama de valores calculado frente a valores medidos obtenido en la calibración del modelo. Como puede observarse, del total de 15 puntos de control seleccionados, solamente dos presentan un ajuste malo en la calibración, mientras que los otros trece están comprendidos dentro del intervalo de confianza del 95% o muy cerca de él.

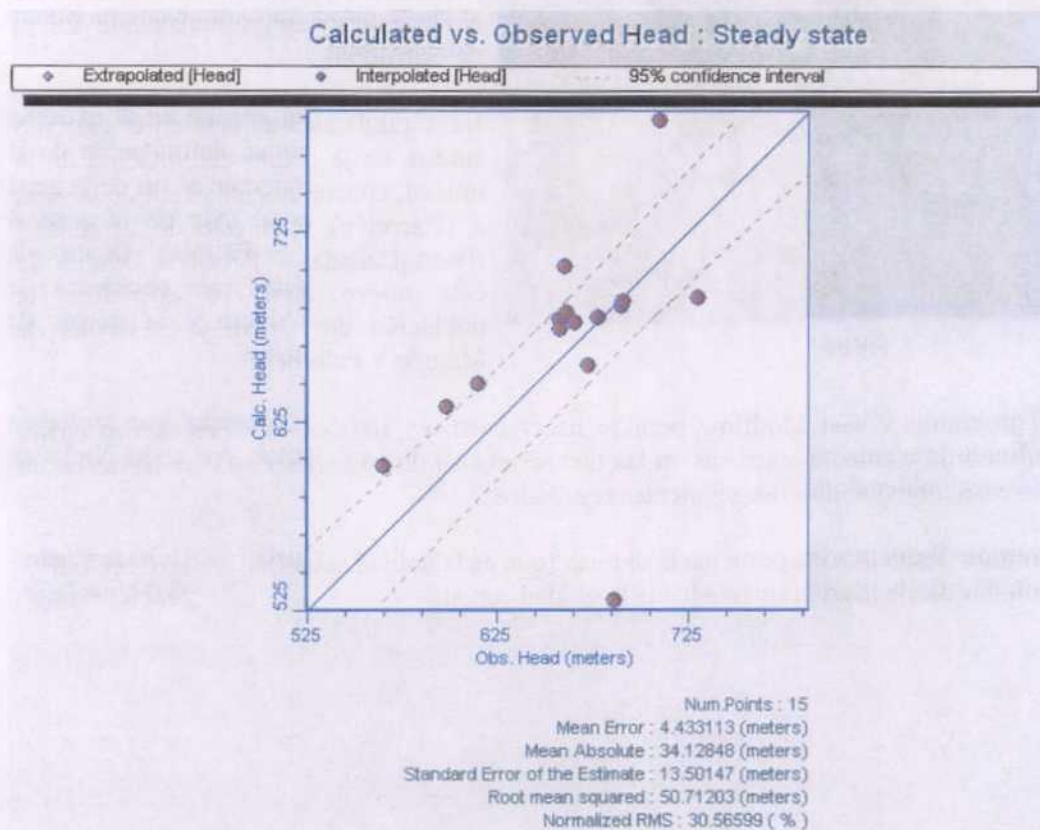


Figura 29. Diagrama de pares de puntos valores medidos – valores calculados obtenido por el modelo durante la fase de calibración en régimen permanente.

Los datos proporcionados durante la calibración conducen a la conclusión de que la misma presenta un ajuste lo suficientemente bueno como para poder considerar calibrado el modelo en régimen permanente.

3.1. Balances zonales.

El área modelada se ha dividido en seis zonas hidrogeológicas distintas. La disposición de las mismas se muestra en la figura 5, que se reproduce en la página siguiente. Uno de los objetivos del presente modelo es evaluar el caudal que se transfiere subterráneamente desde las zonas que actualmente se encuentran fuera de la superficie

delimitada por la poligonal oficial de la unidad hidrogeológica hacia el interior de la misma.



Figura 5.

En concreto, estas zonas son dos: la que tiene color blanco en la figura 5 y la que está coloreada en gris.

La primera de ambas zonas es la que se sitúa justamente al norte del actual límite norte de la unidad, desde la población de Motilla de Palancar hacia el norte, hasta aproximadamente Solera de Gabaldón.

La segunda está situada en el extremo sureste de la actual delimitación de la unidad, concretamente al sur de la zona 3 (Carcelén) y al este de la zona 4 (Pozo Cañada – Pétrola). Dentro de este nuevo área, se encuentra la población de Alpera y la sierras de Mugrón y Palomera.

El programa Visual Modflow permite hacer balances zonales, siempre que se hayan definido previamente las zonas en las que se precisa dicho balance. Así se ha hecho en este caso, obteniéndose los siguientes resultados:

Entradas desde la zona norte hacia el resto (que es la unidad actual):	1,76 hm ³ /año.
Entradas desde la zona sureste hacia la unidad actual:	2,04 hm ³ /año.

4. MODELACIÓN DEL RÉGIMEN TRANSITORIO.

Para modelar el régimen transitorio, que permite un mejor conocimiento de la evolución real del acuífero a lo largo de toda su extensión geográfica, o dominio modelado, es preciso tener en cuenta que hay que introducir otro parámetro nuevo que deberá calibrarse en la modelación: se trata del coeficiente de almacenamiento. En efecto, este parámetro no interviene en la ecuación del flujo en régimen estacionario o permanente, puesto que va multiplicando en la misma a la derivada temporal de las alturas piezométricas, término que en régimen permanente es igual a cero. En cambio, en régimen transitorio este término ya no es igual a cero, por lo que es imprescindible considerar el coeficiente de almacenamiento.

De igual manera, es preciso introducir la serie temporal de cada una de las variables o acciones que intervienen en el funcionamiento del acuífero. En el caso en estudio, es preciso disponer de la serie temporal de recarga y de explotaciones. Ambas han sido proporcionadas por la Confederación Hidrográfica del Júcar.

La distribución espacial de los bombeos dentro de la zona modelada se ha presentado en las figuras 9 y 10.

Por lo que respecta a la recarga, no se ha podido disponer de las salidas directas del programa SIMPA, por lo cual, se han extraído los datos a utilizar del informe titulado "Colaboración en el desarrollo y aplicación de un modelo matemático distribuido de flujo subterráneo de la Unidad Hidrogeológica 08.29 Mancha Orienta, en las provincias de Albacete, Cuenca y Valencia", proyecto fin de carrera del que es autor D. Enrique Font Vicent, realizado dentro de la Universidad Politécnica de Valencia en colaboración con la CHJ.

Los datos aportados por dicho estudio cuantifican la recarga media por zonas de la siguiente manera:

Zona	Recarga anual media (hm^3/a)
1	42
2	40
3	24
4	9
5	8
6	8
7	16
8	46
Total	196

La distribución anual de estas recargas se muestra en los gráficos de la página siguiente, en los cuales se ha representado independientemente la evolución temporal de la recarga para cada una de las 8 zonas diferentes de recarga en que se ha dividido la zona modelada, que son las que se muestran en la figura 24.



Figura 31. Distribución anual de la recarga natural en las diferentes zonas en que se ha dividido el área modelada.

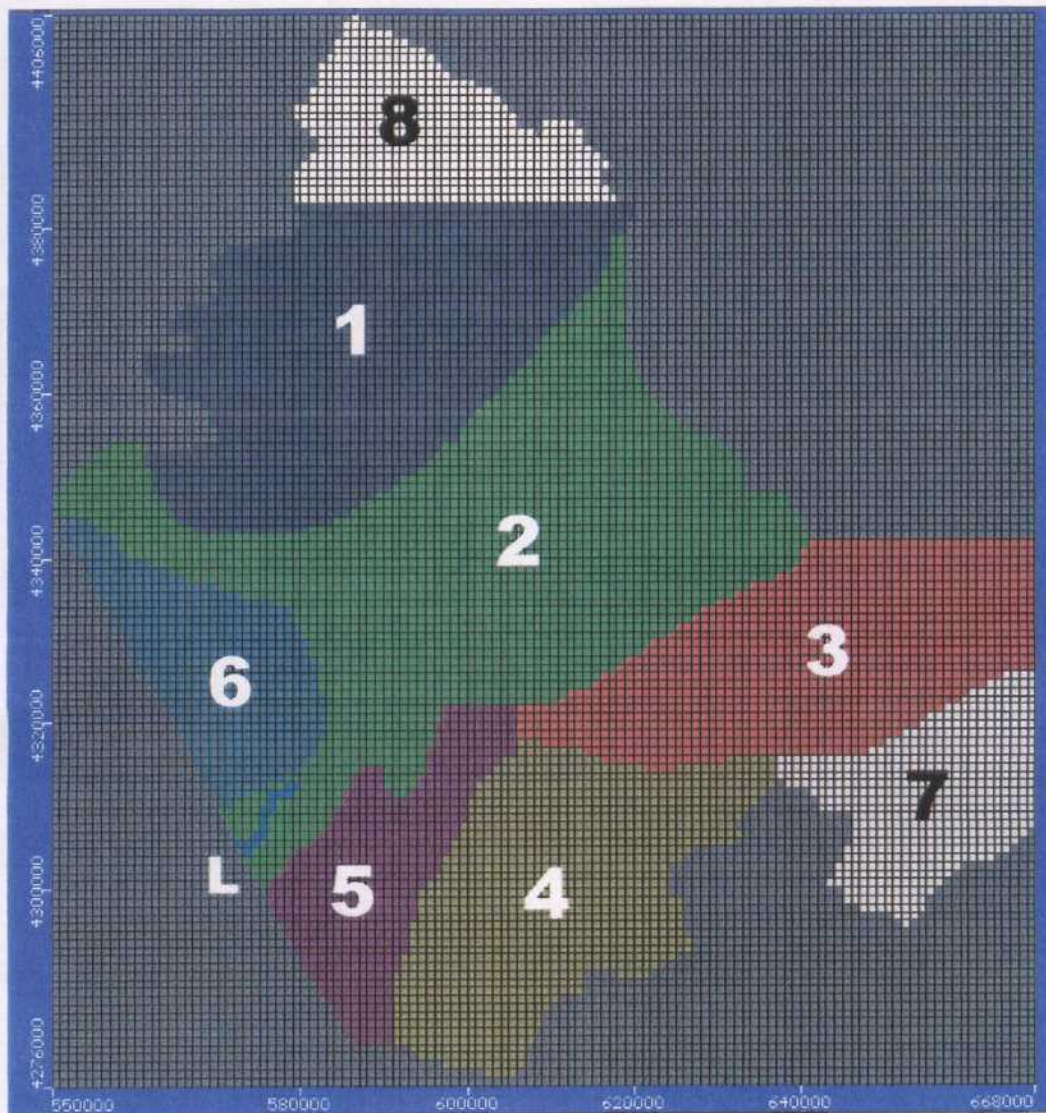


Figura 30. Distribución espacial de la recarga por zonas para el régimen transitorio. La nomenclatura hace referencia al número de orden de cada una de las zonas consideradas, de acuerdo con la nomenclatura de la figura 2. La letra "L" hace referencia al río Lezuza.

La superficie de cada una de las zonas que se muestran en la figura 30 es la siguiente:

Zona	Superficie (km ²)
1	1504
2	2239
3	1091
4	1036
5	501
6	513
7	518
8	541

Los valores anuales de la recarga, distribuida por zonas, se acompañan en la tabla siguiente:

Año	1		2		3		4		5		6		7		8	
	hm ³ /a	mm/a	hm ³ /a	mm/a	hm ³ /a	mm/a	hm ³ /a	mm/a	hm ³ /a	mm/a	hm ³ /a	mm/a	hm ³ /a	mm/a	hm ³ /a	mm/a
1975	25	16.62	75	33.74	55	50.41	25	24.13	10	19.96	5	9.75	20	38.61	15	27.73
1976	50	33.24	35	15.74	30	27.50	16	15.44	9	17.96	5	9.75	45	86.87	75	138.63
1977	90	59.84	28	12.60	24	22.00	7	6.76	8	15.97	5	9.75	22	42.47	90	166.36
1978	55	36.57	20	9.00	5	4.58	5	4.83	5	9.98	5	9.75	5	9.65	60	110.91
1979	7	4.65	19	8.55	9	8.25	7	6.76	2	3.99	0.5	0.97	2	3.86	17	31.42
1980	10	6.65	20	9.00	5	4.58	3	2.90	7	13.97	9	17.54	5	9.65	15	27.73
1981	7	4.65	1	0.45	4	3.67	2	1.93	6	11.98	1	1.95	2	3.86	17	31.42
1982	48	31.91	55	24.74	85	77.91	16	15.44	2	3.99	10	19.49	1	1.93	18	33.27
1983	45	29.92	15	6.75	2	1.83	10	9.65	9	17.96	1	1.95	55	106.18	50	92.42
1984	85	56.52	70	31.49	50	45.83	17	16.41	3	5.99	20	38.99	1	1.93	75	138.63
1985	45	29.92	15	6.75	11	10.08	2	1.93	10	19.96	1	1.95	35	67.57	40	73.94
1986	20	13.30	14	6.30	11	10.08	5	4.83	2	3.99	1	1.95	5	9.65	40	73.94
1987	95	63.16	90	40.49	102	93.49	23	22.20	3	5.99	20	38.99	9	17.37	75	138.63
1988	15	9.97	26	11.70	25	22.91	22	21.24	22	43.91	10	19.49	85	164.09	43	79.48
1989	16	10.64	25	11.25	18	16.50	15	14.48	23	45.91	7	13.65	38	73.36	18	33.27
1990	28	18.62	20	9.00	30	27.50	16	15.44	10	19.96	1	1.95	9	17.37	51	94.27
1991	16	10.64	35	15.74	15	13.75	16	15.44	2	3.99	7	13.65	35	67.57	7	12.94
1992	8	5.32	8	3.60	16	14.67	16	15.44	8	15.97	2	3.90	8	15.44	5	9.24
1993	2	1.33	4	1.80	3	2.75	2	1.93	2	3.99	3	5.85	18	34.75	3	5.55
1994	1	0.66	8	3.60	4	3.67	7	6.76	1	2.00	1	1.95	2	3.86	2	3.70
1995	35	23.27	40	17.99	10	9.17	18	17.37	2	3.99	8	15.59	1	1.93	60	110.91
1996	140	93.09	135	60.73	48	44.00	25	24.13	9	17.96	28	54.58	5	9.65	110	203.33
1997	60	39.89	35	15.74	5	4.58	18	17.37	10	19.96	9	17.54	40	77.22	75	138.63
1998	1	0.66	5	2.25	3	2.75	4	3.86	8	15.97	1	1.95	1	1.93	1	1.85
1999	5	3.32	2	0.90	2	1.83	3	2.90	2	3.99	1	1.95	1	1.93	3	5.55
2000	30	19.95	4	1.80	3	2.75	2	1.93	1	2.00	1	1.95	1	1.93	52	96.12
2001	5	3.32	5	2.25	5	4.58	2	1.93	1	2.00	1	1.95	2	3.86	7	12.94

La estructura de esta tabla es la siguiente: para cada una de las zonas aparecen dos valores: el primero de ellos corresponde a la recarga total, en hm³/a, mientras que el segundo está transformado a mm/año, que es la unidad que precisa Visual Modflow para operar. La transformación es sencilla, basta repartir la cantidad en hm³/a entre la superficie de cada una de las zonas para obtener el valor en mm/a.

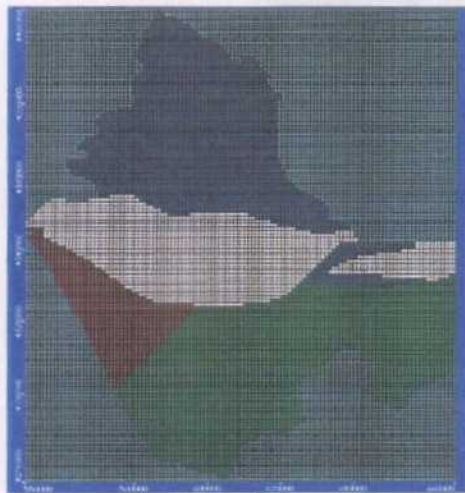
Los valores anuales de recarga se muestran dibujados gráficamente en la figura 31.

Para la modelación del régimen transitorio hay que considerar también el parámetro coeficiente de almacenamiento. En el tratamiento del régimen permanente no es necesario porque el término temporal de la ecuación de flujo que está afectado por este parámetro se anula, pero en el régimen transitorio esto no ocurre, y por tanto, hay que tener en cuenta este parámetro. La forma de hacerlo es calibrarlo de la misma manera que se ha hecho con la conductividad hidráulica: partiendo de unos valores iniciales del parámetro en toda la superficie modelada y llegar a unos valores finales mediante calibración comparando los valores de los niveles simulados por el modelo y los medidos en la realidad en los puntos de control que se han seleccionado dentro del área del modelo.

El criterio que se ha seguido para la parametrización del coeficiente de almacenamiento es el mismo que se siguió para la conductividad hidráulica: considerar iguales valores

del parámetro para cada una de las formaciones geológicas presentes y hacer las variaciones que sean precisas en bloque, cambiando el valor a todas las celdas que ocupe cada formación cuyo valor del parámetro se esté modificando. De esta manera se restringe un poco la capacidad de calibración, haciendo ésta algo más complicada, pero se garantiza una mayor coherencia con el modelo conceptual y, sobre todo, se sigue un criterio más racional en vista de la poca cantidad de datos de coeficientes de almacenamiento disponibles.

En la figura 32 se muestra en valor del coeficiente de almacenamiento para cada una de las cuatro capas.



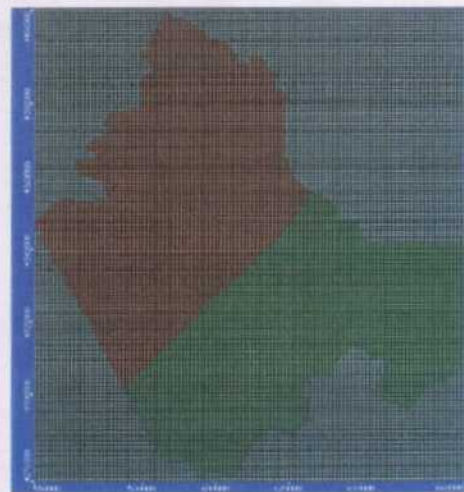
Capa 1



Capa 2



Capa 3



Capa 4

Figura 32. Distribución espacial del coeficiente de almacenamiento en cada una de las cuatro capas en que se ha discretizado el acuífero verticalmente.

Los valores del parámetro se muestran en la figura 33.

S Property Database			
Property #	Ss [1/m]	Sy [-]	Color
1	0.0001	0.0001	White
2	0.000101	0.000101	Blue
3	5E-5	5E-5	Green
5	8E-5	8E-5	Red

Figura 33. Valores del parámetro coeficiente de almacenamiento según litologías.

La relación de estos valores con la litología presente es la siguiente:

Color blanco: acuífero Mioceno

Color azul: acuífero Cretácico

Color verde: acuífero jurásico Sur

Color rojo: acuífero Jurásico Norte.

En la figura 34 se muestra el gráfico de niveles calculados frente a niveles observados obtenido tras la calibración del modelo.

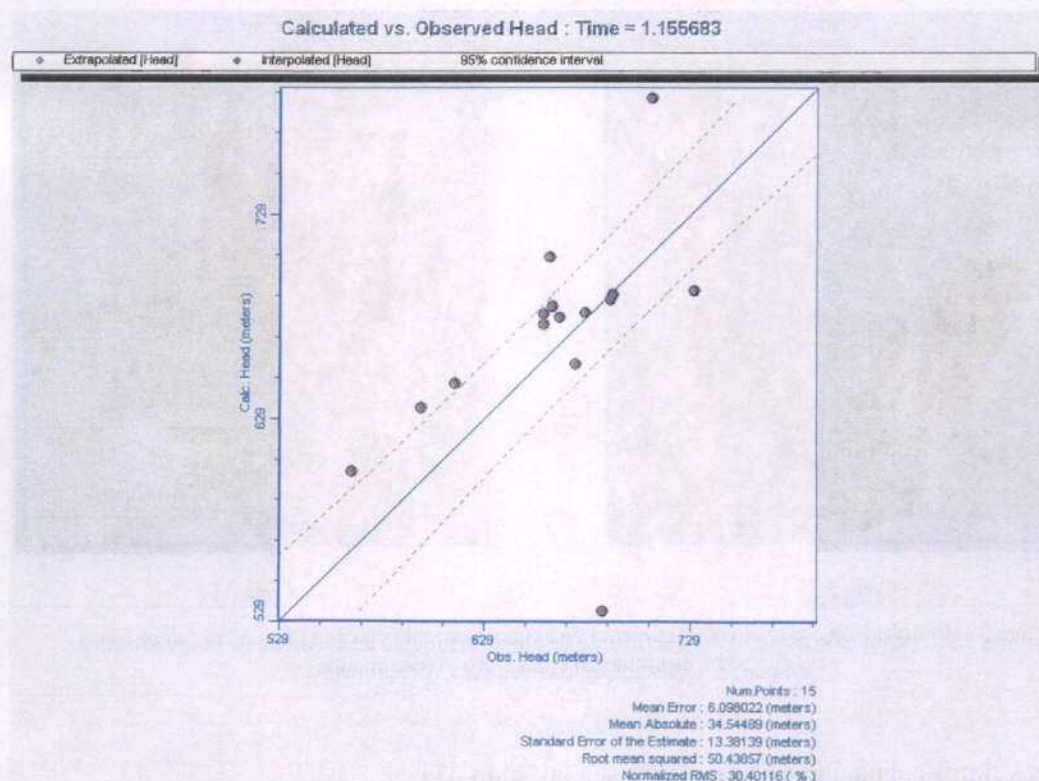


Figura 34. Gráfico de niveles calculados frente a niveles observados durante la calibración en régimen transitorio.

En este gráfico se observa que la mayoría de los pares de valores obtenidos en los puntos de control se encuentran dentro de la franja que conforma el intervalo de confianza del 95%. Sin embargo, existen puntos fuera de ella, y entre esos puntos, hay tres cuyos datos se encuentra muy alejados de este intervalo. Ello quiere decir que la calibración conseguida en algunas zonas es peor que en otras. En concreto, los dos peores puntos son los que se muestran en la figura 35



Figura 35.

Como puede observarse, los dos puntos están situados en la zona sureste del modelo. El punto 273150029 se sitúa en la zona que se ha introducido en el modelo sin formar parte actualmente de la unidad hidrogeológica. Es lógico, pues, que la calibración sea peor, porque la disponibilidad de datos acerca de esa zona es mucho menor y, probablemente, los valores asignados a los parámetros hidráulicos en la misma no sea la más correcta.

En cuanto al otro punto, el 253170013, también se sitúa en la zona sur del modelo, aunque dentro de la unidad hidrogeológica definida en la actualidad. Posiblemente, las razones de la mala calibración haya que buscarlas también en una mala definición de

los parámetros hidrogeológicos. Sin embargo, si se observa el gráfico de evolución temporal entre los niveles observados y los calculados correspondiente a este punto (véase la figura 36), se observa que la tendencia de los niveles está bien representada. Lo que no está bien simulado es el valor absoluto del nivel del agua, pero la tendencia sí es correcta. Esto quiere decir que, probablemente, el valor del coeficiente de almacenamiento esté mal asignado.

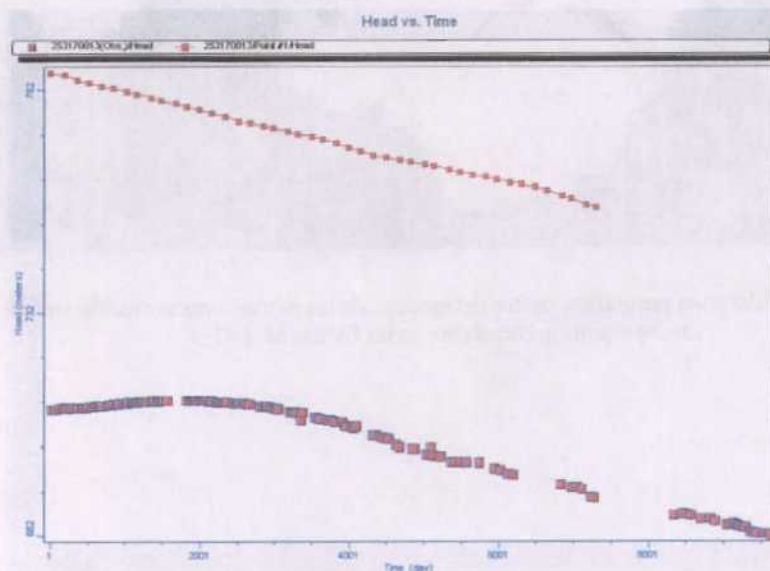


Figura 36.

En el resto del modelo, la calibración obtenida puede considerarse satisfactoria. En la figura 37 se muestra la ubicación de los puntos cuya evolución temporal de los niveles observados y los calculados por el modelo se acompaña en las figuras 38, 39, 40, 41, 42 y 43.

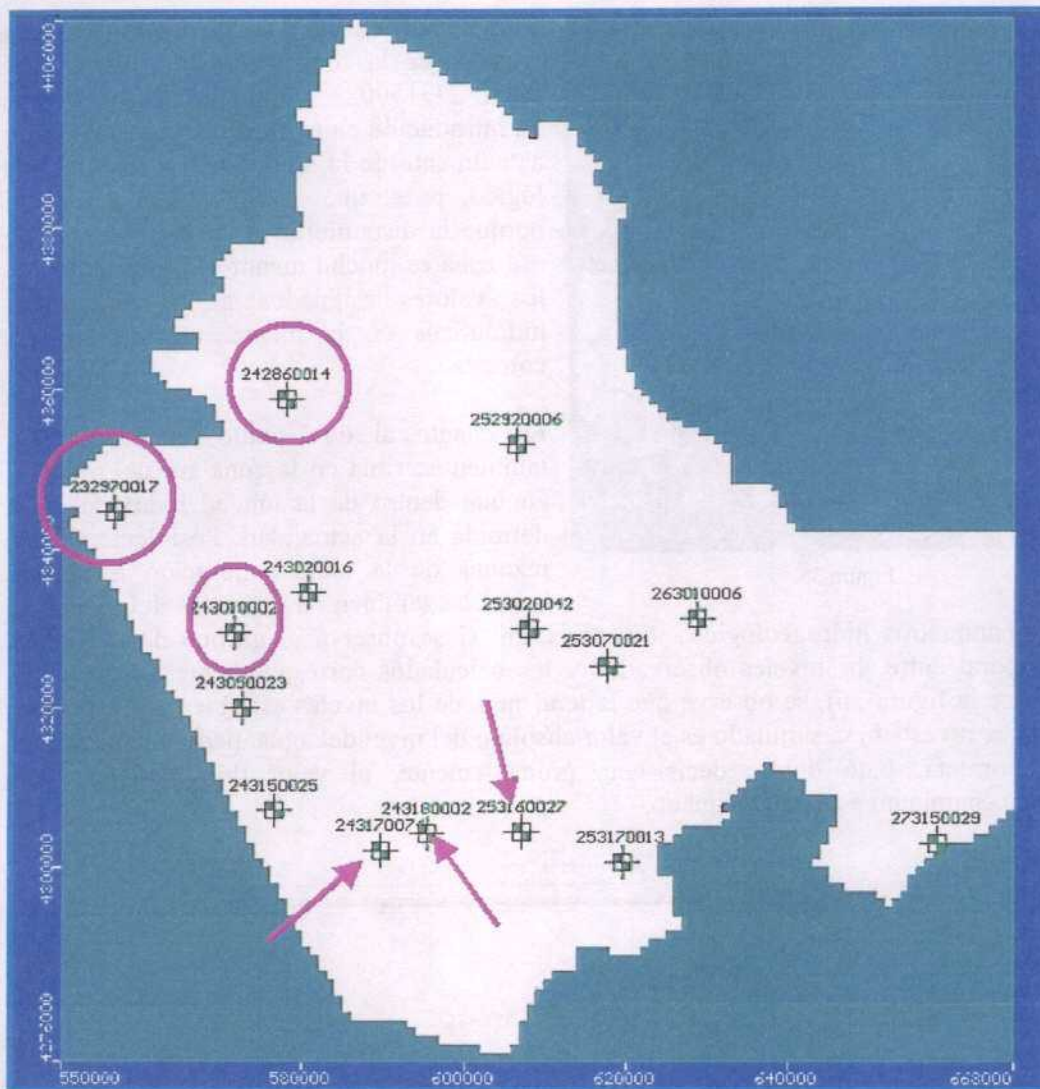


Figura 37. Localización geográfica, dentro del modelo, de los puntos cuya evolución temporal se representa gráficamente en las figuras 38 a 43.

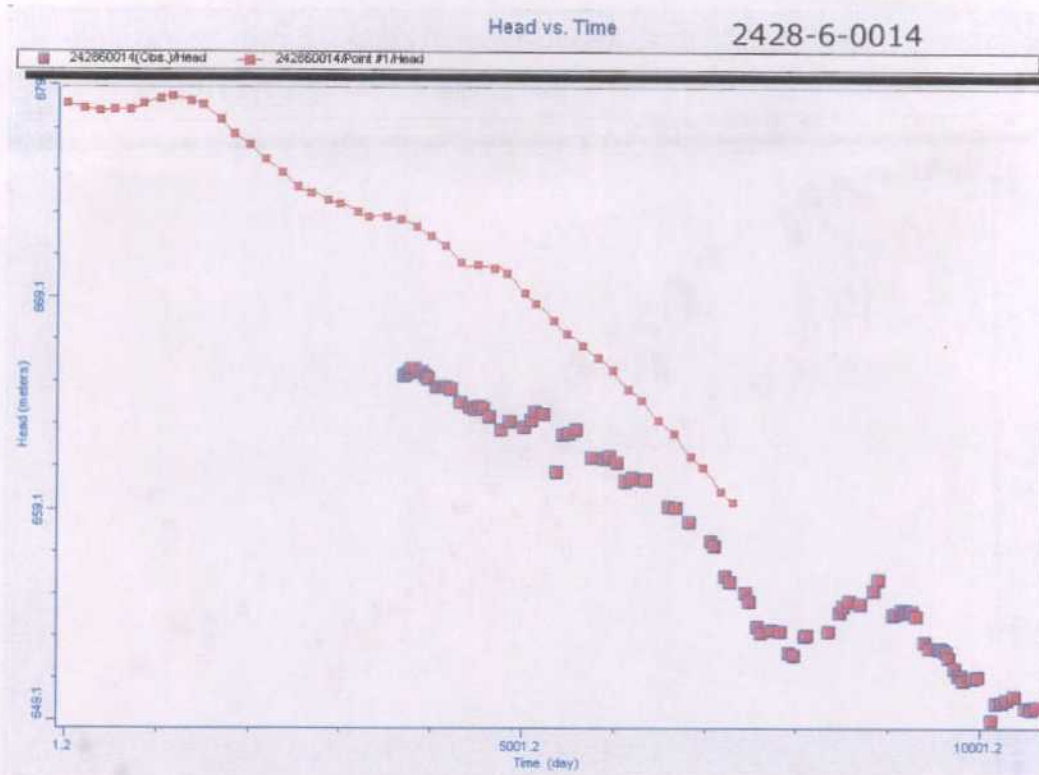


Figura 38. Gráfico de evolución temporal de las series observada y simulada en el punto 2428-6-0014.

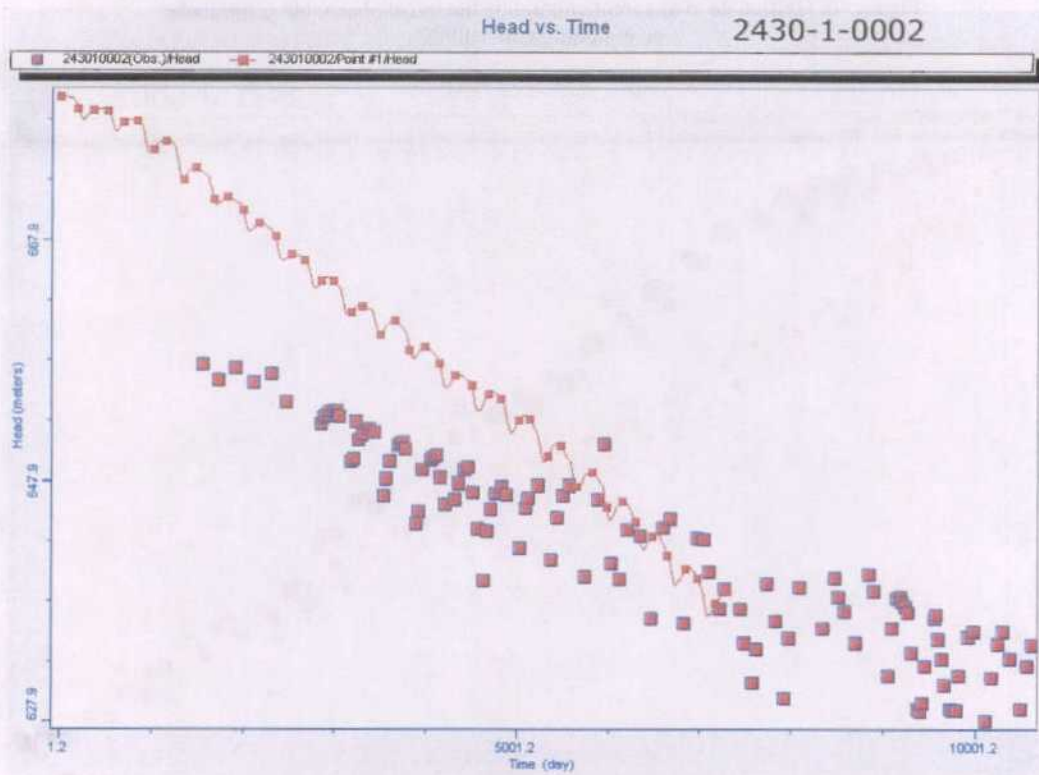


Figura 39. Gráfico de evolución temporal de las series observada y simulada en el punto 2430-1-0002.

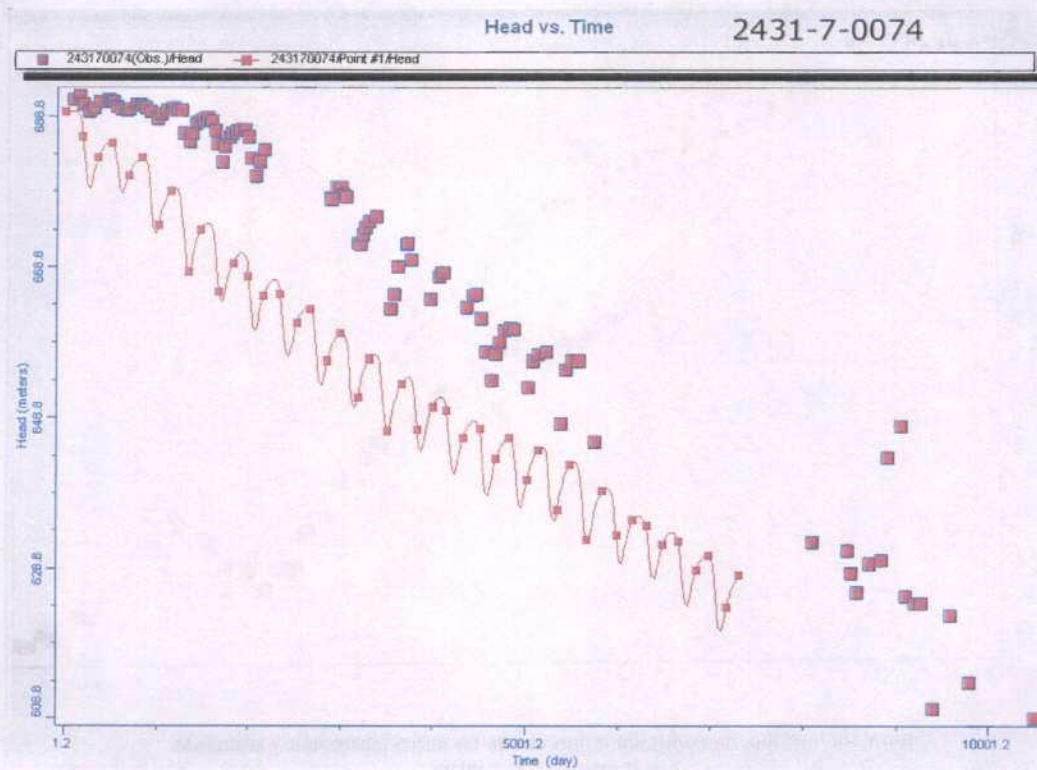


Figura 40. Gráfico de evolución temporal de las series observada y simulada en el punto 2430-1-0002.

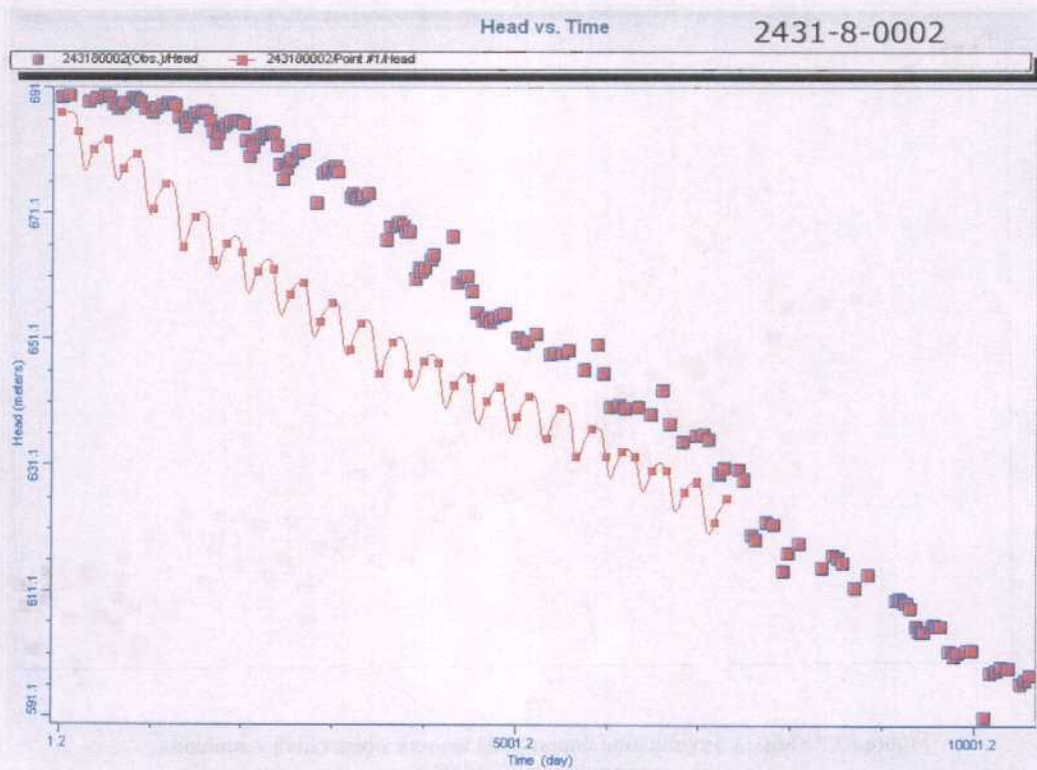


Figura 41. Gráfico de evolución temporal de las series observada y simulada en el punto 2431-8-0002.

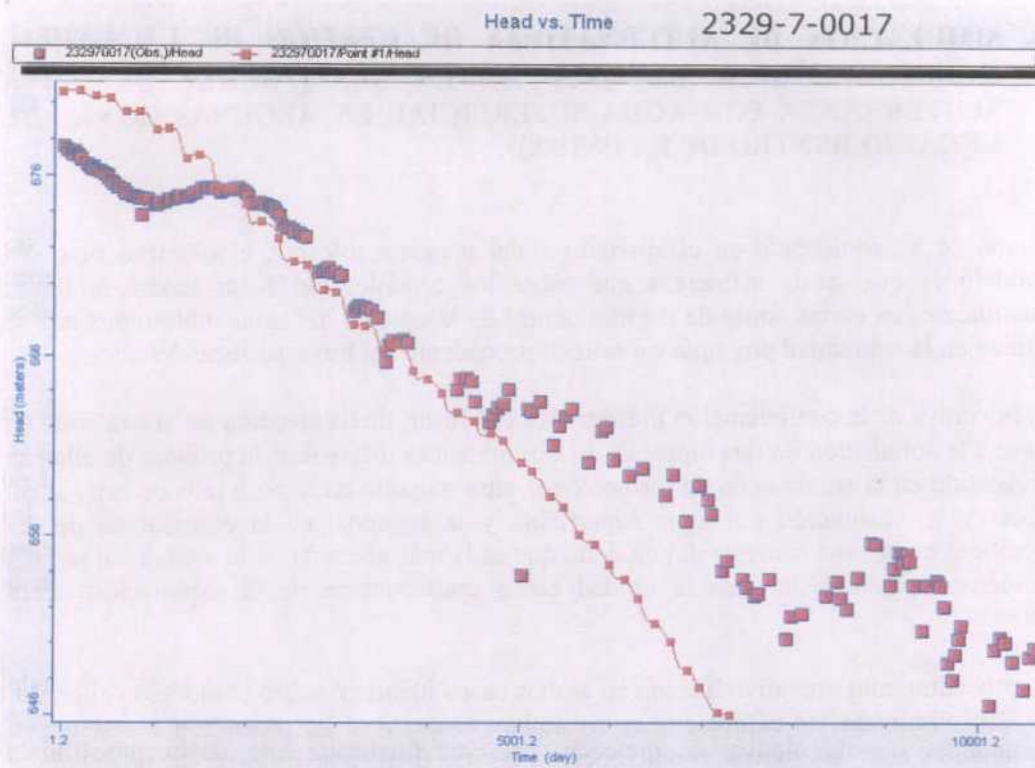


Figura 42. Gráfico de evolución temporal de las series observada y simulada en el punto 2329-7-0017.

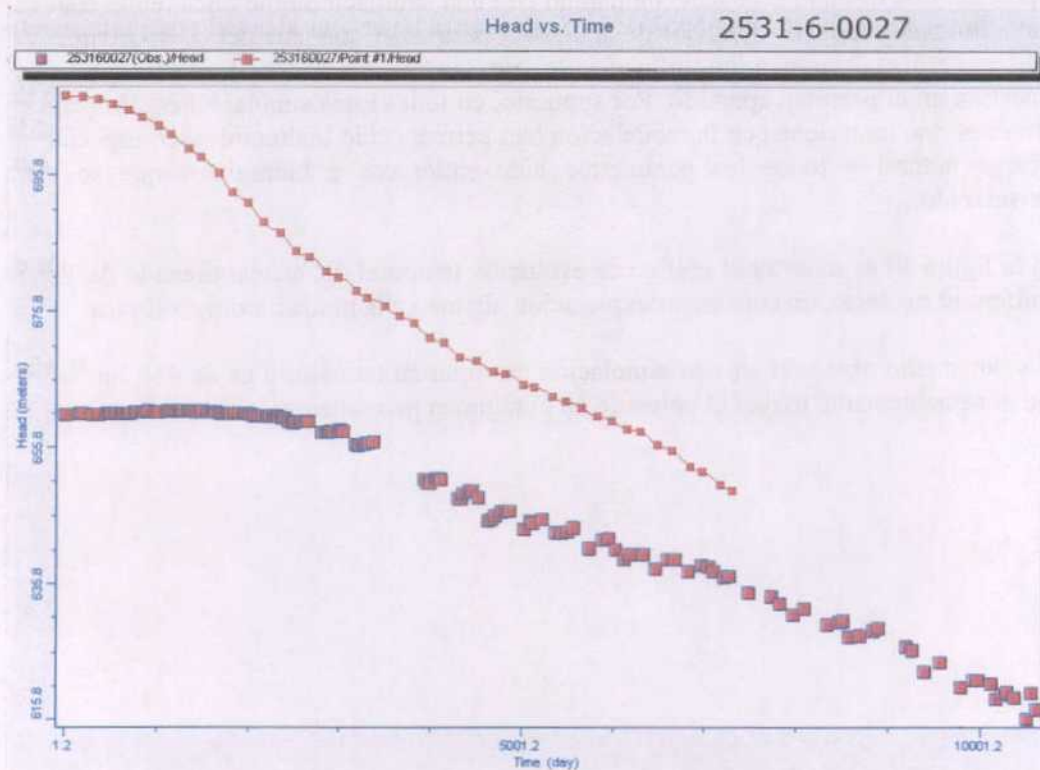


Figura 43. Gráfico de evolución temporal de las series observada y simulada en el punto 2531-6-0027.

5. SIMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DE LA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA BASADAS EN LA SUSTITUCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA POR AGUA SUPERFICIAL EN ALGUNAS ZONAS DE REGADÍO DENTRO DE LA UNIDAD.

Como se ha comentado en el apartado 1 del presente informe, el objetivo final del modelo es evaluar la influencia que sobre los caudales del Júcar tendrá la futura sustitución, en varias zonas de regadío dentro de la unidad, del agua subterránea que se utiliza en la actualidad por agua superficial procedente del trasvase Júcar-Vinalopó.

A iniciativa de la confederación hidrográfica del Júcar, dicha afección se ha evaluado en base a la simulación de dos hipótesis de explotaciones diferentes: la primera de ellas ha consistido en la eliminación de los bombeos para regadío en la zona más cercana al río Júcar y su sustitución por agua superficial; y la segunda, en la eliminación de los bombeos en la zona suroeste del modelo, que es la más afectada en la actualidad por los descensos piezométricos en la unidad como consecuencia de la explotación de la misma.

El procedimiento operativo ha sido en ambos casos idéntico: sobre el modelo calibrado, se han eliminado las explotaciones en ambas zonas y se ha procedido a una nueva simulación con las nuevas condiciones. Una vez finalizada ésta, se ha procedido a evaluar los balances hídricos obtenidos por el modelo en cada una y a representar gráficamente la evolución temporal de los caudales drenados al río Júcar en ambas hipótesis. Los resultados se han comparado con una simulación hipotética, en la cual se han eliminado todos los bombeos de la unidad, para tener una idea del comportamiento del acuífero en régimen no influenciado por las explotaciones. Los resultados se muestran en el presente apartado. Por supuesto, en todas estas simulaciones, el resto de variables que intervienen en la modelación han permanecido inalterables, en especial la recarga natural y todos los parámetros hidrogeológicos e hidráulicos que se han considerado.

En la figura 44 se muestra el gráfico de evolución temporal del caudal drenado desde el acuífero al río Júcar sin considerar explotación alguna en la unidad hidrogeológica.

El valor medio obtenido en esta simulación en régimen transitorio es de 480 hm³/año, que es sensiblemente mayor al obtenido en el régimen permanente.



Figura 44. Evolución temporal de las descargas subterráneas al río Júcar en el caso de explotación cero en la unidad hidrogeológica.

A continuación se analizan conjuntamente las otras dos hipótesis de actuación.

En la figura 45 se puede observar la situación del régimen de explotaciones considerado en el modelo. Como puede observarse, se han eliminado todas las explotaciones situadas en el entorno del río Júcar, en la zona central del modelo, inmediatamente al norte de la ciudad de Albacete. En la figura 46 se puede observar la misma situación, pero en este caso eliminando las explotaciones en la zona suroeste del modelo, que abarca poblaciones como La Gineta, Barrax, Balazote y Lezuza, entre otras.

Numéricamente, esta eliminación supone lo siguiente:

En la simulación considerando el régimen de explotaciones normal, el volumen total de agua extraída del acuífero, según el balance obtenido durante la modelación, ha sido de 5700 hm^3 en los 20 años de modelación, lo que supone una media, valor poco representativo en este caso, de $285 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Eliminando las explotaciones en las cercanías del río Júcar, la cantidad total extraída del acuífero para el mismo período ha disminuido hasta 3500 hm^3 , lo cual significa una media anual de $175 \text{ hm}^3/\text{año}$, es decir, una reducción en términos absolutos de $110 \text{ hm}^3/\text{año}$, y en términos porcentuales, del 38%.

Eliminando las explotaciones en la zona suroeste del modelo, la cantidad total extraída del acuífero para el mismo período ha disminuido hasta 4300 hm^3 , lo cual significa una media anual de $215 \text{ hm}^3/\text{año}$, es decir, una reducción en términos absolutos de $70 \text{ hm}^3/\text{año}$, y en términos porcentuales, del 25%.

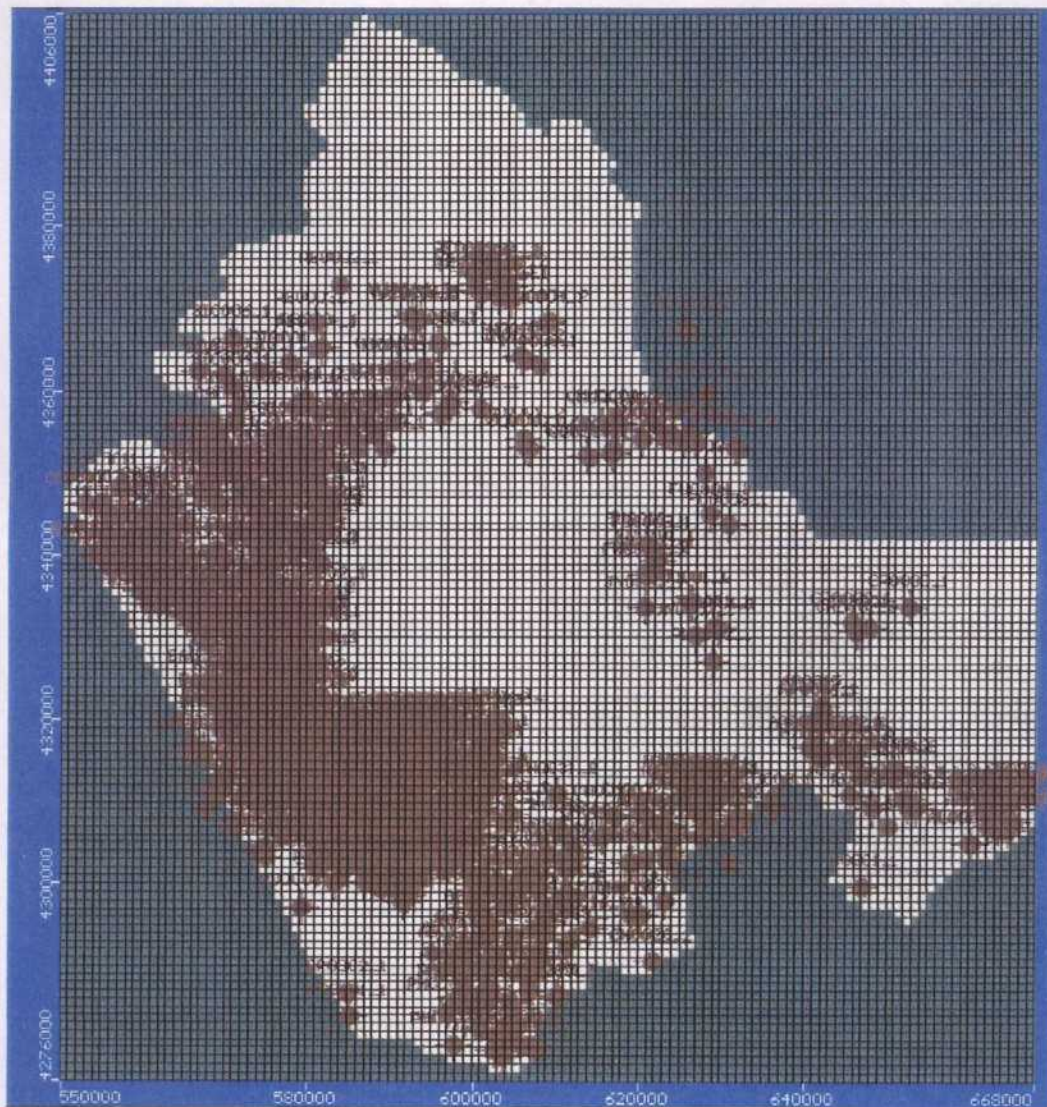


Figura 45. Situación del régimen de explotaciones en la simulación de la hipótesis de bombeo que considera en el modelo. Se han eliminado todas las explotaciones situadas en el entorno del río Júcar, en la zona central del modelo, inmediatamente al norte de la ciudad de Albacete.

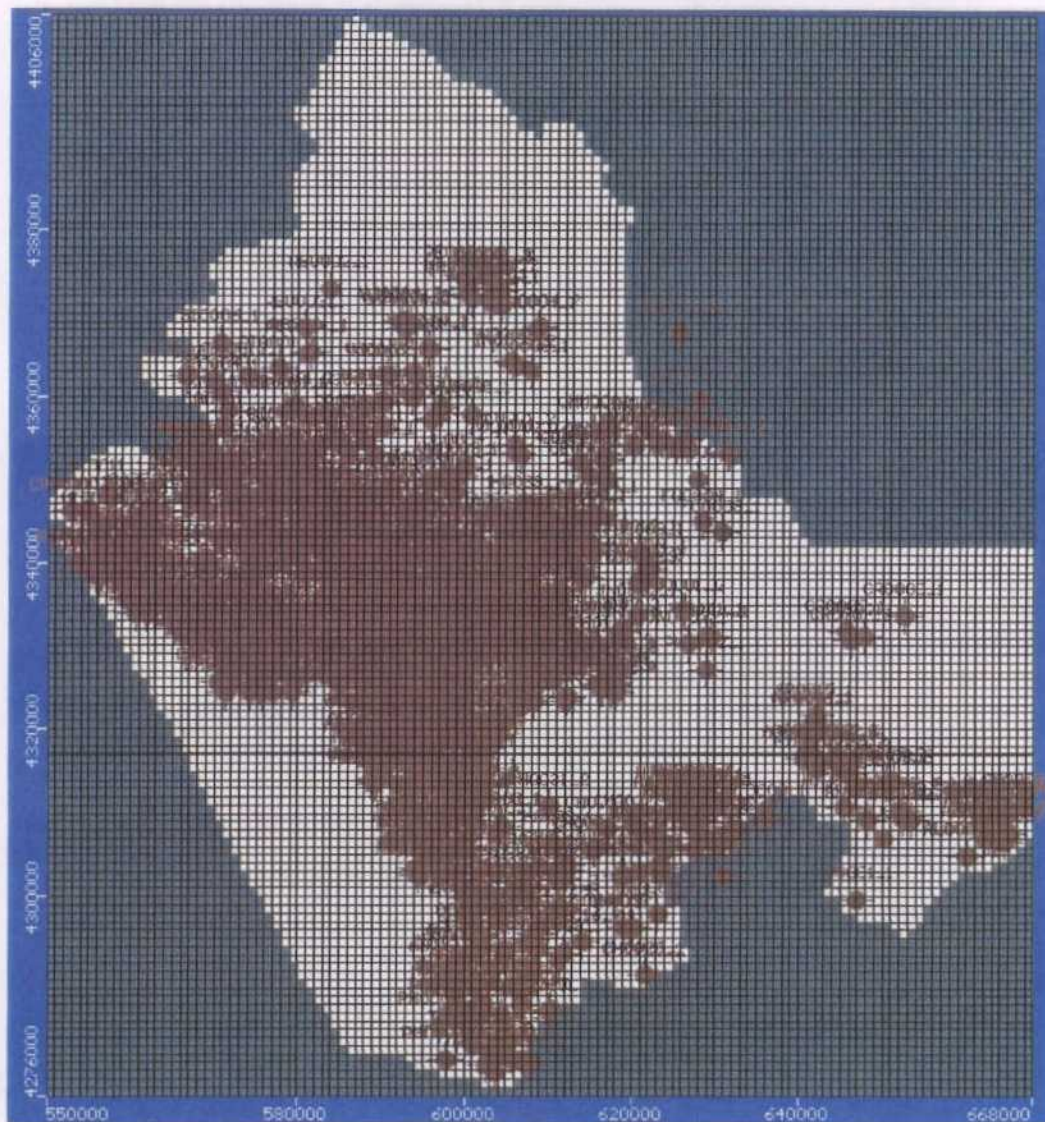


Figura 46. Situación del régimen de explotaciones en la simulación de la hipótesis de bombeo que considera en el modelo. Se han eliminado todas las explotaciones situadas en eliminando las explotaciones en la zona suroeste del modelo, que abarca poblaciones como La Gineta, Barrax, Balazote y Lezuza, entre otras

En la figura 47 se muestra la evolución temporal de los caudales drenados al río Júcar desde el acuífero en todas las situaciones consideradas anteriormente. En color rojo, la línea muestra la situación de explotaciones normal. La línea verde representa la situación simulada en el caso de eliminar las explotaciones en la zona suroeste del modelo, y la línea azul corresponde a la evolución que tiene lugar en el caso de eliminar las explotaciones en el entorno del río Júcar.

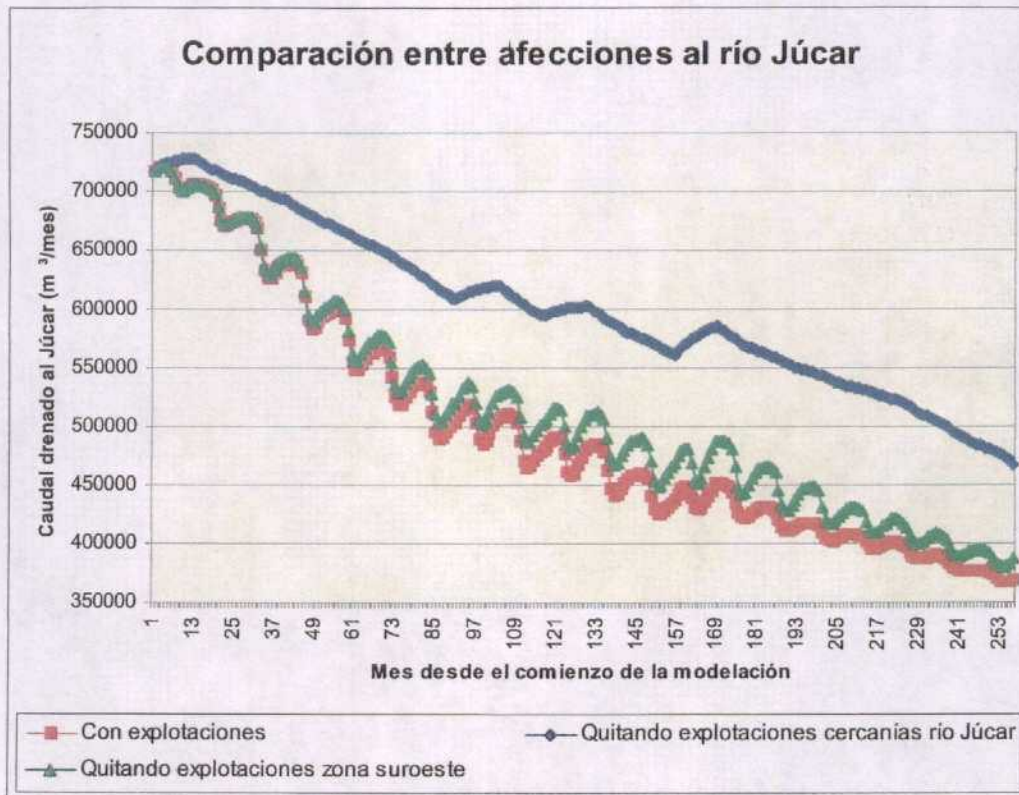


Figura 47. Evoluciones temporales de los caudales drenados subterráneamente al río Júcar en las distintas hipótesis de explotaciones simuladas en el modelo.

A la vista de los datos aportados por esta figura, es evidente que la sustitución de los bombeos en las cercanías del río Júcar es mucho más beneficiosa para el mismo, desde el punto de vista del caudal circulante por el cauce, que la sustitución en zonas más alejadas del mismo. Probablemente, cuanto más alejadas del río estén las explotaciones a sustituir, menor será el efecto beneficioso para el caudal del río que éste será capaz de notar.

6. CONCLUSIONES DEL TRABAJO DE MODELACIÓN.

Una vez finalizada la modelación de la unidad hidrogeológica 08.29, Mancha Oriental, realizada dentro del Convenio específico de asistencia técnica suscrito entre el Instituto Geológico y Minero de España y la Confederación Hidrográfica del Júcar para "Estudios de modelación y apoyo a la gestión hídrica en la unidad hidrogeológica 08.29, Mancha Oriental. Avance de sistema de soporte a la decisión", procede realizar una serie de conclusiones finales del trabajo realizado.

Este modelo se ha realizado con el objetivo de evaluar la influencia que sobre los caudales circulantes por el río Júcar tendría la sustitución de aguas subterráneas para regadío en varias zonas de la unidad hidrogeológica por aguas superficiales procedentes del futuro trasvase del río Júcar al Vinalopó. Esta transferencia está prevista en el Plan Hidrológico Nacional y se realizará en los próximos años, La sustitución de aguas subterráneas por aguas superficiales pretende que el río Júcar recupere parte del caudal circulante que ha perdido en los últimos años como consecuencia del régimen de explotaciones de la zona regable de la Mancha Oriental. De esa forma, se recuperarán parte de los recursos perdidos para la zona baja del río Júcar.

El límite geográfico de la zona a modelar comprende la totalidad del territorio actualmente incluido en la delimitación administrativa de la unidad, con la incorporación de un área situada al norte de la misma, que se considera desde el punto de vista geológico una continuación de la misma, y de otra área situada en el extremo sureste de la unidad, que está propuesto incluir en la futura redefinición de la unidad. El área a modelar así definido consta de seis zonas diferentes.

En principio, se planteó una discretización espacial compuesta por cinco macroceldas, una por cada una de las zonas en que la Confederación Hidrográfica del Júcar ha subdividido la unidad. Posteriormente, el tratamiento de datos hizo imposible esta discretización, por lo cual se optó por otra más clásica compuesta por celdas cuadradas de un kilómetro de lado en una malla de 118 columnas y 129 filas.

La discretización vertical se ha hecho subdividiendo la unidad en cuatro capas paralelas entre sí, con espesores variables en función de la información existente en la CHJ acerca de la geometría de las diferentes litologías presentes en la misma. En principio, se utilizó información existente en el IGME procedente del proyecto PIAS para representar la disposición geográfica real de las capas inferiores del modelo, pero la ausencia de datos de calidad en algunas zonas y los problemas de convergencia del modelo aconsejaron retomar la discretización anterior y continuar con ella.

La discretización temporal ha consistido en un período de 20 años para el régimen transitorio, comenzando el mismo el día 1 de enero de 1975.

Los datos de extracciones y recarga natural han sido proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Júcar.

Los parámetros hidrogeológicos que se han calibrado han sido los siguientes:

- conductividad hidráulica
- coeficiente de almacenamiento
- conductividad del lecho del río Júcar, en la relación río-acuífero

La conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento han sido asignados y calibrados por litologías, de manera que, durante el proceso de calibración, las hipotéticas variaciones en el valor de los mismos se ha hecho conjuntamente para cada una de las litologías, prohibiendo la variación libre de los mismos. Esto se ha hecho así para mantener la coherencia con la realidad, tratando de evitar la obtención de campos de conductividad o coeficiente de almacenamiento válidos para el modelo, pero en absoluto representativo de la realidad física del sistema.

La conductancia del río Júcar se ha calibrado por tramos, en concreto, en tres tramos: el primero desde la salida del embalse de Alarcón hasta el cruce del río con la carretera de Tarazona de La Mancha a La Gineta; el segundo desde el punto anterior hasta Valdeganga; y el tercero, desde ahí hasta la salida del modelo. Se han obtenido así tres valores diferentes de conductividad del lecho del río.

Se han definido seis zonas litológicamente diferenciadas para la asignación de la conductividad hidráulica, y solamente cuatro para la asignación del coeficiente de almacenamiento.

Para la calibración se ha dispuesto de dos tipos de datos:

- Caudales circulantes por las diferentes estaciones de aforo que controlan el caudal del río Júcar dentro de la zona modelada. En concreto, existen en la misma 6 estaciones. Los datos de estos caudales no han servido finalmente para la calibración, ya que los mismos contienen información sobre el caudal total circulante por el río, suma de la escorrentía superficial y la escorrentía subterránea. Para la calibración de las descargas subterráneas al Júcar, hubiera sido necesario disponer de una separación entre ambas componentes. La referencia que se ha utilizado para la calibración es el valor obtenido en trabajos anteriores sobre los caudales drenados al Júcar desde la unidad.
- Datos de niveles piezométricos extraídos de la base de datos AGUA del IGME. Se han analizado más de 22000 datos correspondientes a puntos de control ubicados dentro de la zona modelada, escogiendo al final 15 puntos, distribuidos espacialmente de tal manera que cubran todas las zonas en que se ha subdividido el modelo, y cuyas serie de datos sean lo suficientemente amplias como para abarcar todo el período de modelación.

La calibración en régimen permanente proporciona un valor de caudal drenado desde el acuífero hacia el río de $277 \text{ hm}^3/\text{año}$. Este valor es aceptable. Asimismo lo es la distribución piezométrica obtenida, cuyos estadísticos, calculados por el programa VISUAL MODFLOW están dentro de los intervalos aceptables para considerar la calibración suficientemente buena.

Para el régimen transitorio, se han introducido las series temporales de bombeos y recarga natural proporcionadas por le CHJ, así como los valores del coeficiente de almacenamiento, utilizando los mismos criterios que se han utilizado para la conductividad hidráulica. De esta manera, se ha obtenido una distribución espacial del coeficiente de almacenamiento en cuatro zonas diferentes, acordes con las diferentes litologías presentes.

La calibración obtendría en régimen transitorio puede considerarse en general, aceptable. La mayoría de los diagramas que representan la comparación entre los niveles observados y los simulados por el modelo muestran un buen ajuste entre ambas series, cuanto menos en tendencia. Hay que tener en cuenta que muchos de los datos utilizados proceden de campañas de medidas en las cuales se pueden haber medido niveles dinámicos, que distorsionan la comparación. No obstante, las tendencias entre ambos niveles pueden considerarse calibradas.

Por último, se ha procedido a analizar la influencia que sobre los caudales circulantes por el río Júcar tendría una hipotética sustitución del agua para riego, del agua subterránea que se utiliza actualmente, por agua procedente del futuro trasvase Júcar-Vinalopó, en caso de que esta transferencia finalmente tenga lugar. Se han simulado dos hipótesis de sustitución: la primera consiste en sustituir todas las explotaciones de agua subterráneas entorno del río Júcar, en la zona central del modelo, inmediatamente al norte de la ciudad de Albacete; la segunda hipótesis considera la sustitución de todas las explotaciones en la zona suroeste del modelo, que abarca poblaciones como La Gineta, Barrax, Balazote y Lezuza, entre otras.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Eliminando las explotaciones en las cercanías del río Júcar, la cantidad total extraída del acuífero para el mismo período ha disminuido en términos absolutos, 110 hm³/año, y en términos porcentuales, del 38%.

- Eliminando las explotaciones en la zona suroeste del modelo, la cantidad total extraída del acuífero para el mismo período ha disminuido en términos absolutos, 70 hm³/año, y en términos porcentuales, del 25%.

La conclusión que puede extraerse de estas simulaciones es que, a medida que la sustitución de los bombeos se haga más cerca del río Júcar, mejor será el efecto sobre el mismo, entendido tal como el aumento del caudal de agua circulante por el río como consecuencia del drenaje desde el acuífero. En el caso de sustituir todas la explotaciones, tal y como se ha planteado en la simulación primera, el aumento de caudal drenado podría llegar hasta el 38%.

RECOMENDACIONES FINALES.

Las lagunas en el conocimiento detectadas a lo largo de la elaboración del presente trabajo, algunas de las cuales no han podido ser rellenadas, aconseja plantear una serie de estudios encaminados a mejorar el conocimiento geológico e hidrogeológico de la zona, lo cual permitirá indudablemente una mejora del modelo matemático elaborado.

A continuación se resumen los trabajos que deberían emprenderse para solucionar los problemas detectados en la elaboración del presente modelo matemático:

1. Mejora del conocimiento geológico espacial de la unidad. En particular, la discretización vertical de las distintas capas que conforman la unidad en la realidad, cuya simplificación en el presente modelo es importante.

2. Definición del modelo conceptual de funcionamiento de la unidad, especialmente en lo que se refiere a la posible existencia de flujos verticales entre capas, en concreto de un flujo ascendente desde las capas más inferiores confinadas hacia las más superiores, flujo que podría constituir una parte importante del drenaje de la unidad hacia el río Júcar.
3. Descomposición, cuando sea posible, de la componente subterránea en todos los hidrogramas de las estaciones de aforo existentes a lo largo del río Júcar. Ello permitiría tener un valor para calibrar las descargas subterráneas hacia el río obtenidas por el modelo con la realidad.
4. Trabajos encaminados a determinar la existencia o no de conexión hidráulica entre la unidad 08.30, Jardín-Lezuza, y la 08.29, Mancha Oriental y, en caso de probarse la misma, cuantificación de los volúmenes transferidos de una a otra. Parte de estos trabajos podrían ser sondeos de investigación.