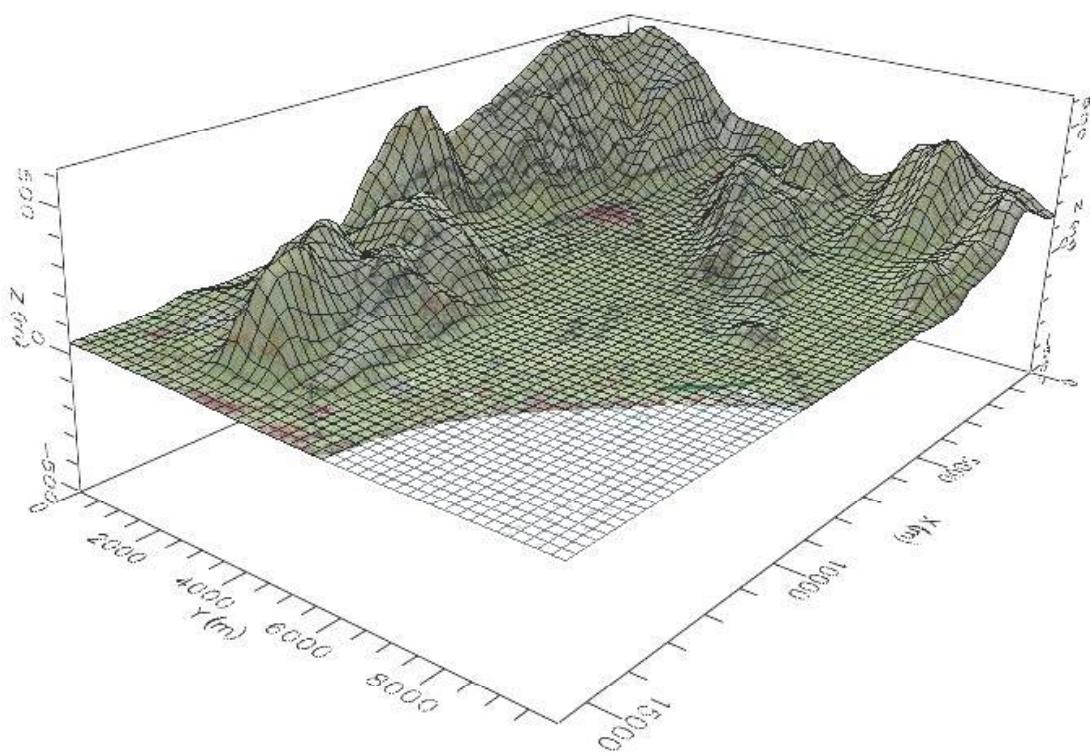


MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO PEGO-OLIVA

(Fase I, régimen estacionario)



Dirección del proyecto:

Bruno J. Ballesteros Navarro (IGME)
Luis Rodríguez Hernández (DPA)

Equipo de trabajo:

Lucila Candela (UPC)
Karim Tamoh (UPC)
Francisco Javier Elorza (UPM)
José Antonio Domínguez Sánchez (IGME)
Javier Gustavo Heredia Díaz (IGME)

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	9
2.1 EL ACUÍFERO PEGO-DENIA	9
2.2 EL MARJAL PEGO-OLIVA	9
3. CÓDIGO INFORMÁTICO	10
4. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE FLUJO	10
4.1. MODELO CONCEPTUAL	10
4.2 DATOS	13
4.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	13
4.4 DISTRIBUCIÓN DE LAS ÁREAS DE RECARGA POR PRECIPITACIÓN Y RETORNO DE RIEGO	18
4.5 SITUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS DRENES	20
4.6 CONDICIONES DE CONTORNO	22
4.7 CONDICIONES DE CONTORNO DEL TRANSPORTE DE SOLUTOS	24
4.8 PARÁMETROS HIDRÁULICOS	24
5. CALIBRACIÓN Y RESULTADOS DEL MODELO DE FLUJO ESTACIONARIO	25
5.1. CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	25
6. BALANCE HÍDRICO DEL SISTEMA	31
7. REFERENCIAS	35

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de construcción de un modelo matemático de simulación del flujo subterráneo es proporcionar una herramienta de soporte de gestión de los acuíferos, que simule la variación temporal de los niveles, la recarga natural, los efectos producidos por las extracciones, etc. En un segundo nivel, la elaboración del modelo puede permitir descubrir la existencia de incertidumbres del modelo hidrogeológico conceptual pre establecido o lagunas de información que pueden ser solventadas mediante trabajos complementarios.

Los numerosos estudios llevados a cabo en esta zona, fundamentalmente por el IGME, han contribuido al conocimiento del modelo conceptual del funcionamiento del acuífero y han puesto de manifiesto la necesidad de llevar a cabo investigaciones más detalladas que permitan resolver las incertidumbres existentes sobre aspectos relacionados con la caracterización, recarga e intrusión marina del sistema, que permitan una gestión sostenible a largo plazo.

Entre las actuaciones diseñadas, se ha contemplado la realización de un modelo matemático del acuífero sobre el que se asienta la zona húmeda de Pego-Oliva, ya que no existen antecedentes de modelación en la zona de estudio, aunque sí las áreas adyacentes de las unidades de Mustalla y Segaria. Se dispone de los modelos de acuífero de Almirante-Mustalla IGME (2003) y de Almudaina-Alfar-Segaria (2005).

Para la realización del modelo matemático del marjal Pego-Oliva se ha considerado el modelo conceptual hidrogeológico elaborado en el presente proyecto de investigación contemplado dentro del convenio entre el IGME y la DPA para el periodo 2007-2009.

La metodología empleada se sintetiza en el diagrama de la figura 1 y consta de las siguientes etapas:

- 1- Adaptación e introducción de los datos geológicos e hidrogeológicos disponibles y de los volúmenes de explotación. Para ello se ha realizado la transformación de los datos obtenidos en un entorno informático compatible con el código matemático elegido para la realización del modelo (visual MODFLOW)
- 2- Selección del MDT apropiado y su adaptación al código informático
- 3- Elaboración del modelo de flujo según las siguientes fases (Fig 1, diagrama flujo):
 - Definición de la estructura del modelo: geometría, malla, capas y condiciones de contorno
 - Introducción de los datos hidrodinámicos en el código
 - Calibración del modelo en régimen estacionario
- 4- Simulación de los escenarios de flujo propuestos por el IGME

Los objetivos de los trabajos se concretan en los siguientes puntos:

- Análisis detallado del funcionamiento hidrológico de la zona mediante la realización de un Modelo Matemático de las Aguas subterráneas aplicando el código Visual Modflow.
- Corroborar el modelo conceptual aplicado
- Cuantificación de los parámetros de entrada, valores de salida, balance, calibración y validación, considerados en el modelo matemático en régimen estacionario, como paso previo para su elaboración en régimen transitorio.

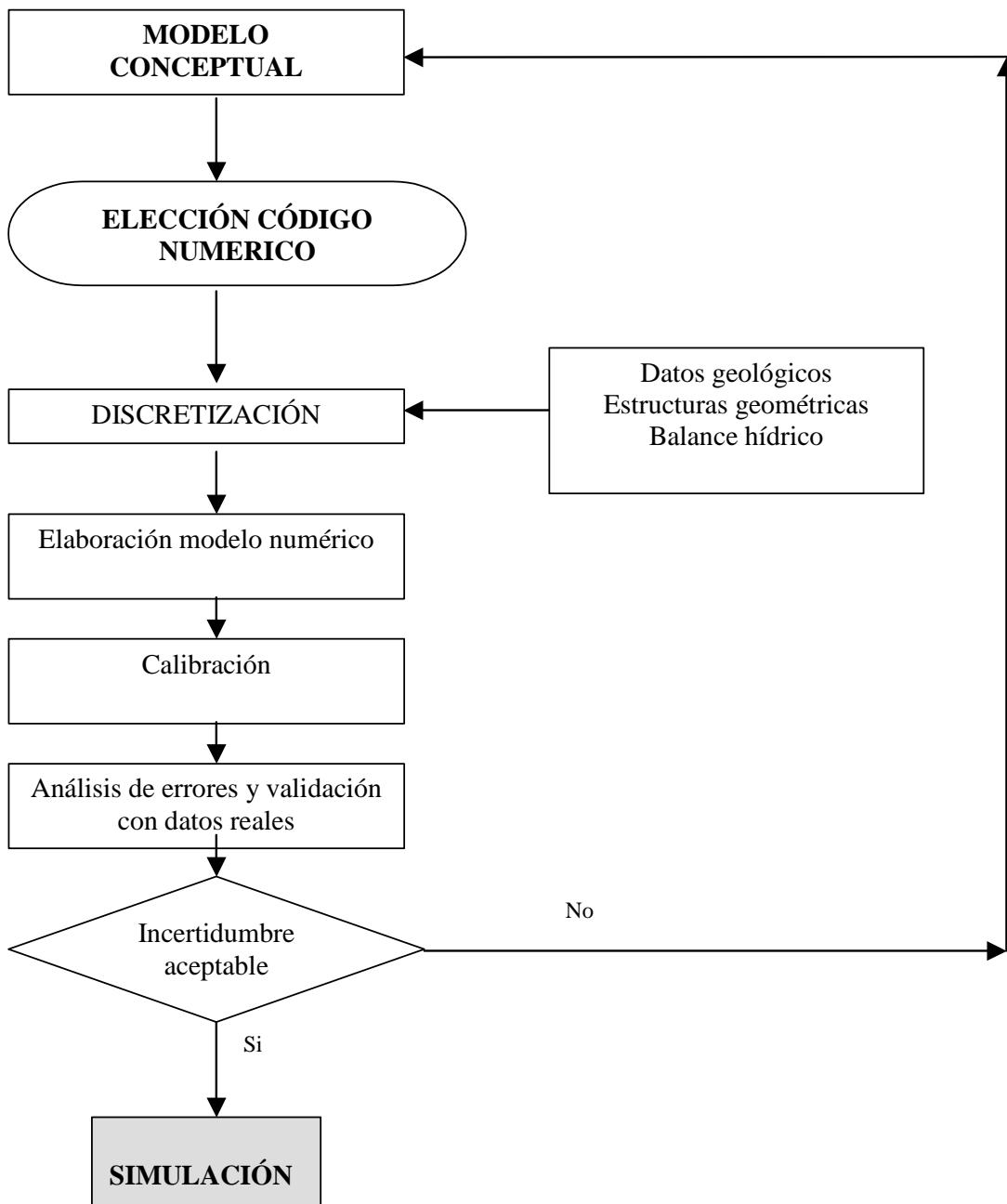


Fig. 1: Diagrama de elaboración del modelo del flujo

2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se sitúa en el límite de las provincias de Alicante y Valencia, en el litoral mediterráneo, tal como se refleja en la figura 2. Para una descripción más amplia de las características de la zona se remite a las publicaciones de Ballesteros et al, (2005 y 2007).

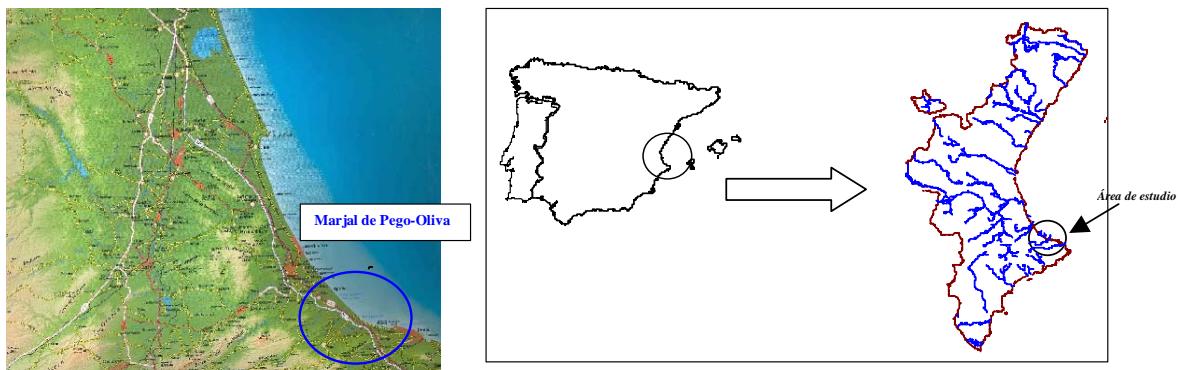


Fig. 2: Situación de la zona de estudio

2.1 EL ACUÍFERO PEGO-DENIA

El acuífero Pego-Dénia se define como de tipo detrítico litoral y, desde un punto de vista medioambiental, su principal interés reside en ser el acuífero asociado basal de la zona húmeda litoral de Pego-Oliva (Valencia-Alicante), conocida como *marjalería de Pego-Oliva*. Dicho acuífero presenta una íntima relación con el humedal, de tal forma que cualquier variación en la calidad y cantidad de los recursos del mismo afectan a la hidroquímica e hidrodinámica del marjal.

Geológicamente, la zona se enmarca dentro del ámbito mesozoico de las cordilleras Béticas, de las que constituye sus últimas estribaciones. El conjunto está afectado por una importante fracturación que ha originado la existencia de bloques tectónicos hundidos y rellenados posteriormente con materiales de edad pliocuaternaria. Sobre estos materiales se asienta el marjal de Pego-Oliva. Una descripción con mayor profundidad de la geología de la zona se encuentra en Ballesteros y Domínguez (2007).

2.2 EL MARJAL PEGO-OLIVA

El marjal de Pego-Oliva, con una superficie aproximada de 44 km^2 , está incluido en la lista de la convención de RAMSAR (1971) como humedal de interés internacional. Éste ha estado sometido a diversos usos a lo largo de su historia, y actualmente constituye un parque natural protegido. El entorno donde se sitúa se caracteriza por albergar una importante actividad agrícola dedicada principalmente al cultivo de cítricos y arroz, sin embargo, es el sector turístico el principal elemento productivo (Ballesteros et al. 2005 y 2007).

La zona húmeda está delimitada por las sierras de Mustalla, al norte, Segaria, al sur, y el mar Mediterráneo por el este. Flanqueando este espacio natural discurren los ríos Bullens, situado en la ladera sur de la sierra de Mustalla, que drena gran parte de los recursos hídricos del acuífero del que forma parte esta sierra, y el río Racons que nace al oeste del marjal y drena tanto al acuífero de Pego-Dénia como al de la sierra de Segaria a la cual bordea por su cara norte.

Las relaciones hidráulicas entre los diversos sistemas hidrológicos existentes son intensas y complejas, por lo que cualquier actuación sobre éstos produce efectos sobre la zona húmeda que pueden tener repercusiones muy graves sobre ésta.

3. CÓDIGO INFORMÁTICO

Se ha utilizado el código Visual Modflow (4.2), basado en diferencias finitas, que es capaz de modelar el flujo y transporte conservativo en régimen estacionario o transitorio. La elección se ha hecho fundamentalmente por ser uno de los códigos más utilizados, por los resultados obtenidos y por ser un código amigable.

Los cálculos se realizan por diferencias finitas en dos o tres dimensiones, con nodos centrados en las celdas. El código además puede incorporar imágenes georeferenciadas y permite rotaciones de la malla, además de un gran número de salidas gráficas.

El programa, escrito en Fortran 77 en forma modular, presenta los siguientes módulos:

1. Datos de entrada: dimensiones, celdas y condiciones de contorno
2. Almacenamiento de datos en ordenador
3. Lectura y preparación de los datos
4. Determinación de saltos temporales en régimen transitorio
5. Operaciones numéricas
6. Escritura de datos
7. Cálculo de los términos del balance
8. Salida de datos

Además se aplicó el código SEAWAT, herramienta complementaria del Visual Modflow, que simula el flujo subterráneo en medio saturado y no saturado para régimen estacionario y transitorio con densidad variable.

4. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE FLUJO

4.1. MODELO CONCEPTUAL

En síntesis, el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del marjal de Pego-Oliva y de sus acuíferos asociados, obtenido a partir de los trabajos llevados a cabo dentro del presente proyecto, es el reflejado en el esquema expuesto en la figura 3.

El modelo matemático elaborado ha sido construido a partir de la hipótesis de funcionamiento que plantea dicho modelo conceptual.

MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL MARJAL DE PEGO-OLIVA Y ACUÍFEROS ASOCIADOS

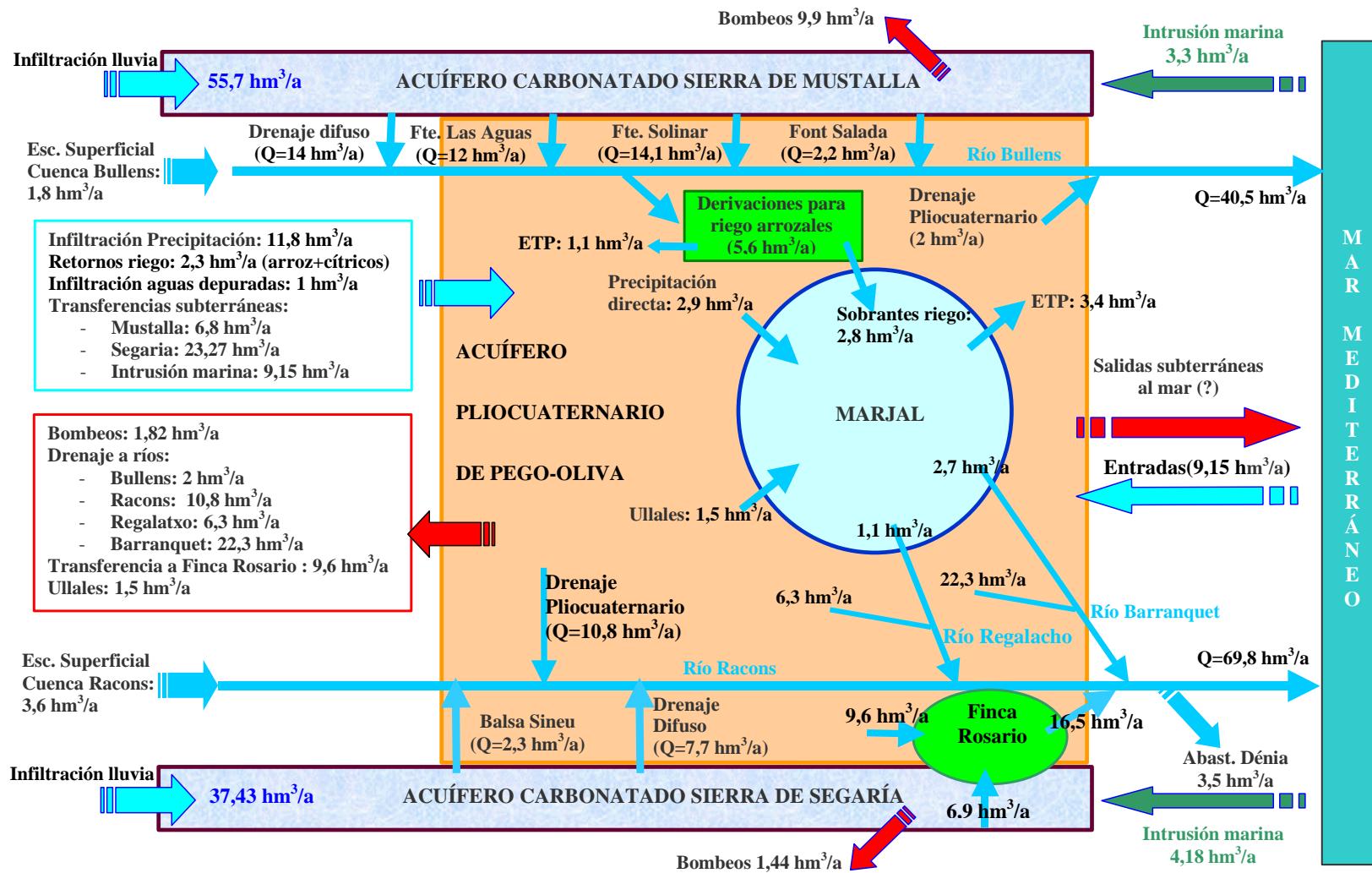


Fig. 3: Modelo conceptual del marjal y acuíferos asociados

Las entradas de agua al sistema o zona de estudio definidas son:

- a) recarga por infiltración de agua de lluvia y retornos de riego
- b) entradas laterales de agua procedentes de las calizas de Mustalla y Segaria
- c) entradas de agua salada desde el mar

Las salidas de agua del sistema son:

- a) extracciones de pozos para regadío o abastecimiento (urbano e industrial)
- b) descarga de las aguas subterráneas por los *ullals*
- c) transferencias subterráneas al mar o a otros acuíferos
- d) evapotranspiración
- e) salidas de agua hacia el mar por el drenaje de ríos, acequias o canales.

4.2 DATOS

Dado que el código utilizado permite diversas unidades de trabajo, para esta aplicación se ha elegido las unidades correspondientes al sistema internacional (MKS), por lo que la magnitud correspondiente a longitud ha sido el metro (m), para el tiempo se ha trabajado en días (en lugar de segundos). Así, la medida de la conductividad hidráulica se realiza en m/día y el caudal $m^3/día$. La recarga se ha introducido en mm/año, dado que Modflow no admite la entrada de datos en mm/mes.

El tratamiento temporal de datos como la recarga, extracciones y niveles piezométricos ha sido con carácter mensual. La recarga se calculó a partir del balance hidrometeorológico diario mediante el código Visual Balan (Samper et al. 1999). Los datos piezométricos disponibles abarcan la serie temporal 1976-2006, con un total de 30 años, y se han utilizado para la calibración del modelo en estado estacionario.

Se dispone de un total de 46 puntos de agua constituidos por las 2 ullales (manantiales), 44 piezómetros y pozos de bombeo, con una serie temporal de datos de 20 años (figura 5).

4.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Los límites del sector modelado quedan delimitados por las celdas inactivas y por la superficie del mar, y se muestran en la figura 4. Se ha de resaltar que la modelación incluye parte de los afloramientos de los acuíferos que forman los relieves carbonatados que flanquean el humedal. El límite norte se sitúa en la Sierra de Mustalla, el sur en la de Segaria y el oriental en el contacto con el mar Mediterráneo.

Se ha definido una malla de diferencias finitas de 230 m x 230 m, orientada de acuerdo en la dirección del flujo subterráneo. Dado que MODFLOW dispone de sus propias coordenadas de trabajo, el código realiza su cambio, por lo que cada celda tiene asociado un código de identificación (ID). En total se han definido 44 filas y 68 columnas con un resultado de 2.992 celdas.

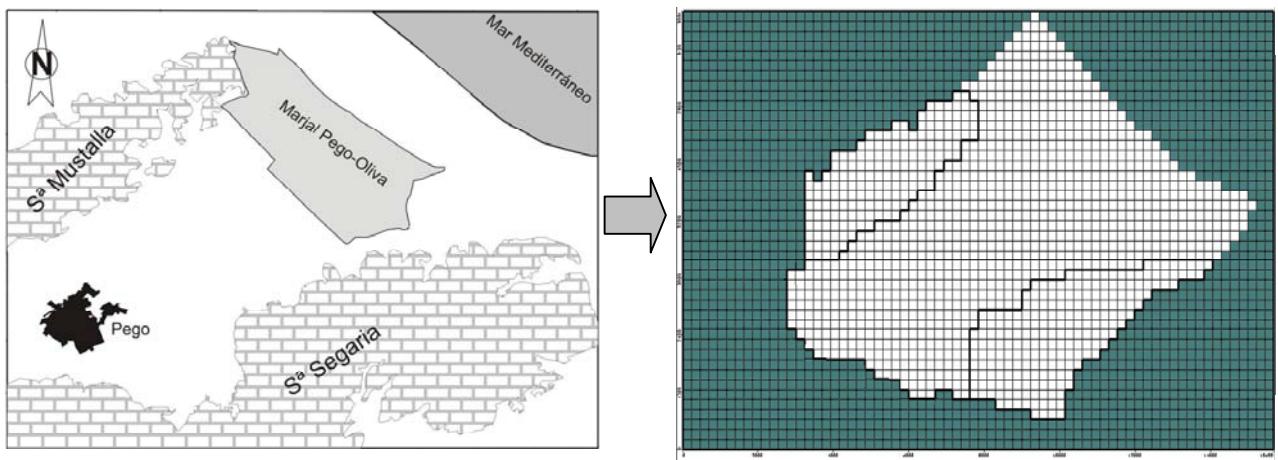


Fig. 4: Situación del Marjal de Pego-oliva y discretización del acuífero

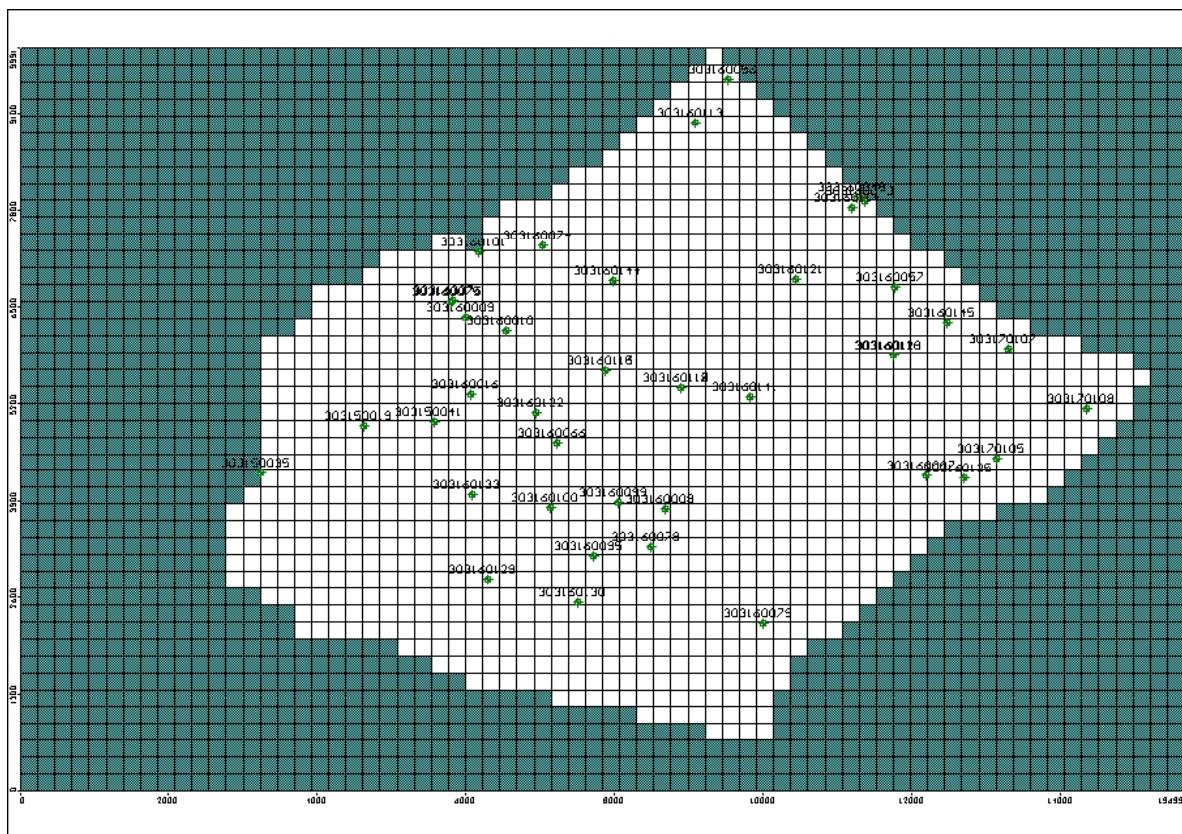


Fig 5. Localización de los puntos de control piezométrico

Estos datos quedan resumidos en lo siguiente:

- Tipo de modelo: de flujo en régimen estacionario
- Superficie: 65,7 km²
- Malla: 230 x 230 m
- Numero de filas: 44
- Numero de columnas: 68
- Número de capas: 4

De acuerdo con el modelo conceptual se han definido 6 unidades a modelar correspondientes a los siguientes tramos litológicos (Figs. 6, 8, 9 y 10):

- 1) Arenas finas superficiales (AS)
- 2) Cuaternario detrítico (Q1 y Q2) que constituye el acuífero Multicapa Intermedio (MI)
- 3) Acuífero mesozoico (AM)
- 4) Mioceno margoso (MM), como nivel impermeable
- 5) Conglomerado basal (CB)
- 6) Finca de Rosario (FR)

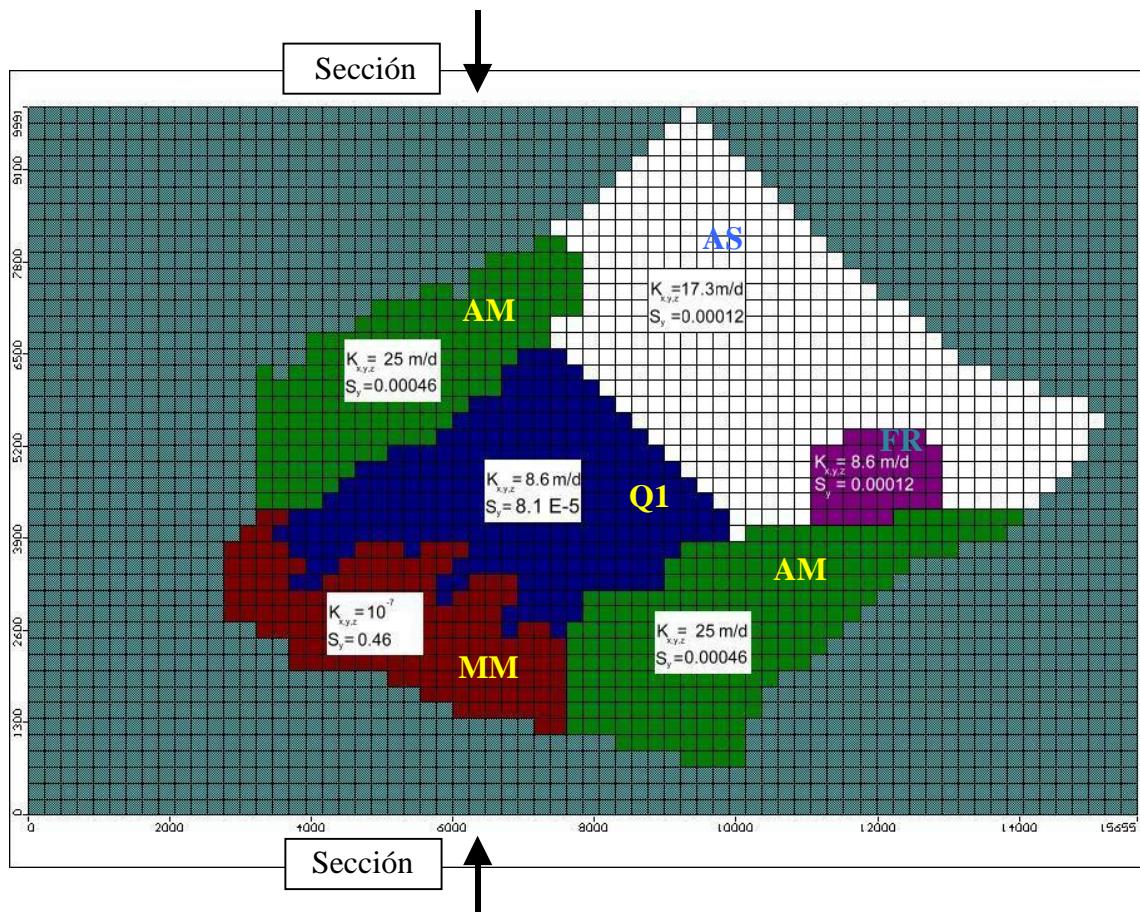


Fig. 6: Capa 1: distribución espacial de los parámetros hidráulicos (* $K_{x,y,z}$ = conductividad hidráulica, S_y = coeficiente de almacenamiento).

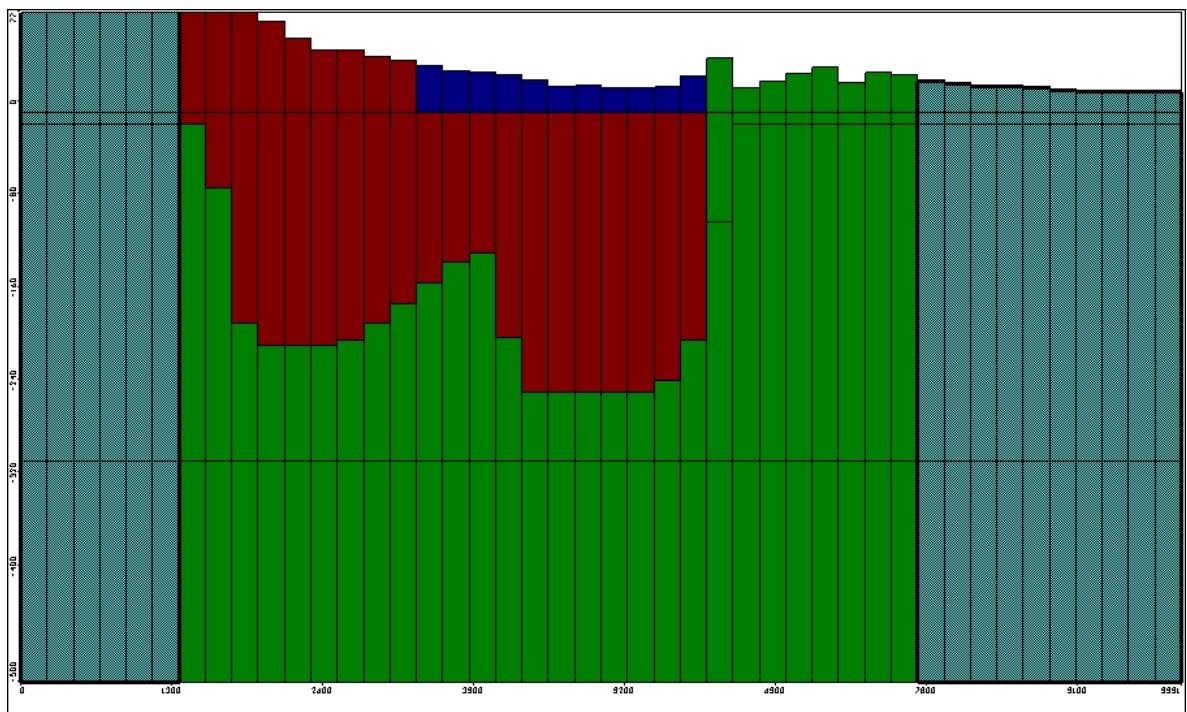


Fig. 7: Corte transversal del mallado del modelo obtenido a través de la sección indicada en la figura 6

Se han definido 4 capas, correspondientes a las siguientes identificaciones geológicas:

- **Capa 1:** Espesor (min = 10m, Max 315= m) acuíferos/impermeable: AS, MI, AM, MM, FR (fig 6)
- **Capa 2:** Espesor (min = 10m, Max = 290m) acuíferos/impermeables: MI, AM, MM (fig 8)
- **Capa 3:** Espesor (min = 15m, Max = 290m) acuíferos/impermeable:, AM, CB (fig 9)
- **Capa 4:** Espesor (min = 100m, Max = 455m) acuíferos/impermeable: AM (fig 10)

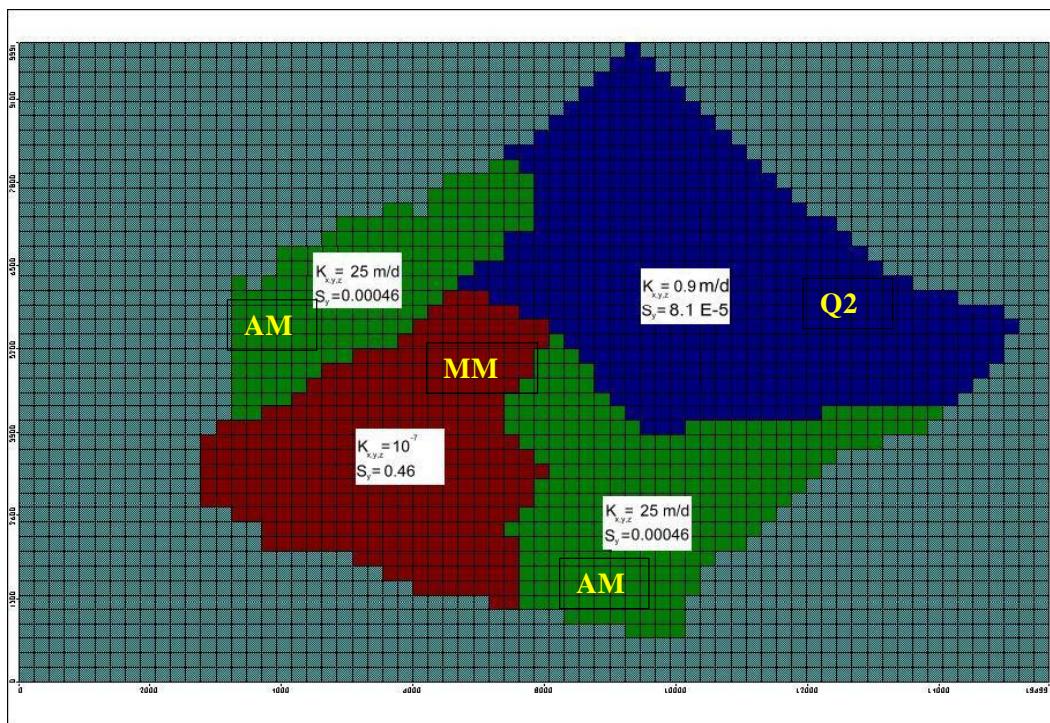


Fig. 8: Capa 2: distribución espacial de los parámetros hidráulicos (* $K_{x,y,z}$ =conductividad hidráulica, S_y = coeficiente de almacenamiento)

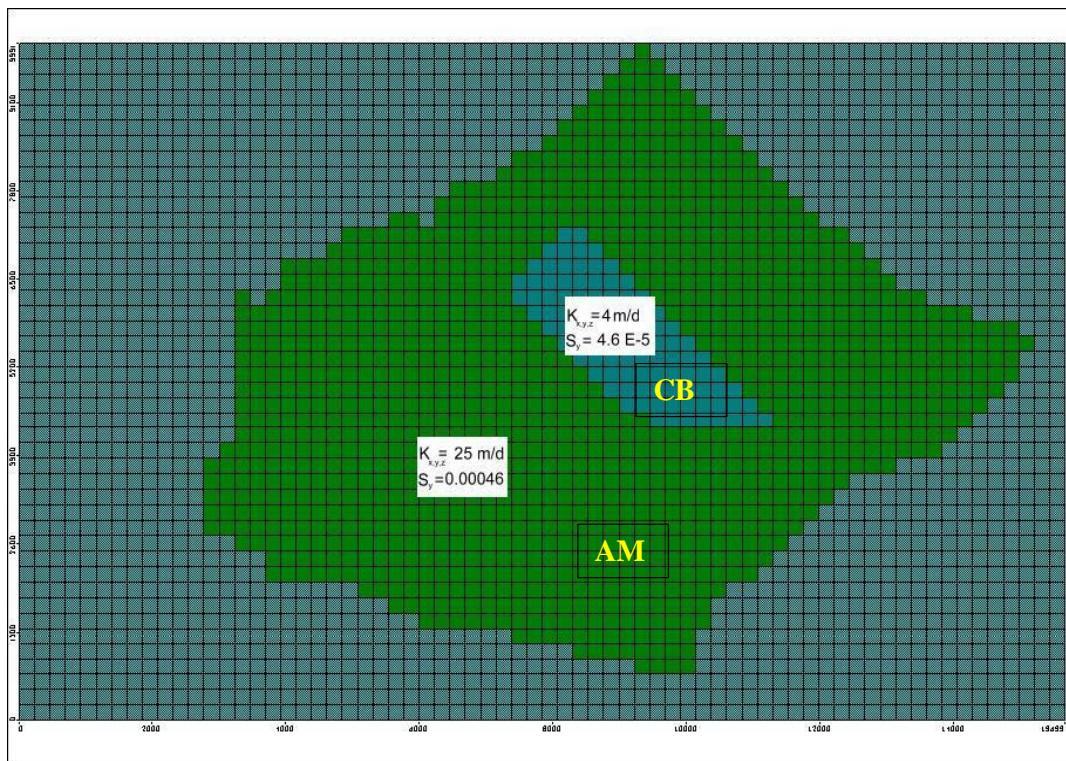


Fig. 9: Capa 3: distribución espacial de los parámetros hidráulicos (* $K_{x,y,z}$ =conductividad hidráulica, S_y = coeficiente de almacenamiento)

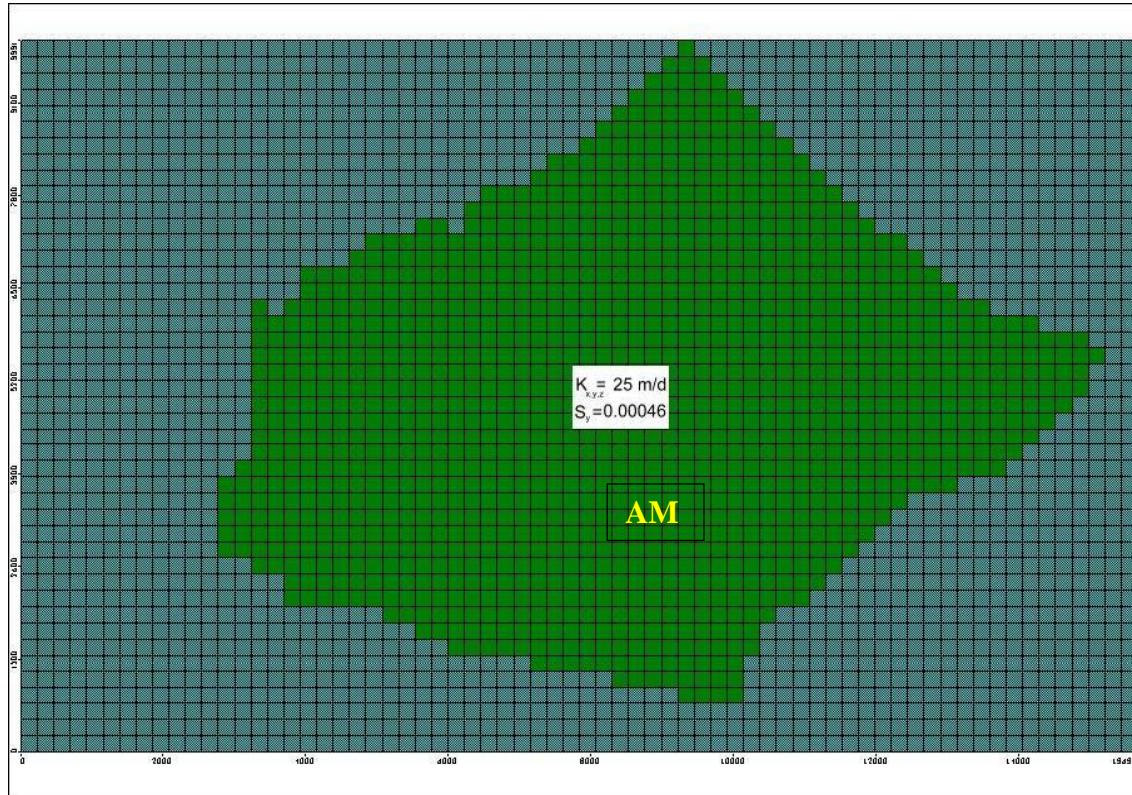


Fig. 10: Capa 4: distribución espacial de los parámetros hidráulicos ($*K_{x,y,z}$ = conductividad hidráulica, S_y = coeficiente de almacenamiento)

La superficie topográfica se ha definido a partir del MDT con resolución de 1m del Institut Cartogràfic Valencià. Para el resto de las capas, la estimación de la cota se ha obtenido de los datos proporcionados por las columnas geológicas de los pozos y sondeos existentes, de forma que finalmente se ha logrado definir, para toda el área de estudio, la geometría del modelo y la base de datos (cotas) asociada.

La calibración en estado estacionario se realiza a partir de los niveles piezométricos medios correspondientes al periodo 1976-2006 y a los calculados mediante MODFLOW.

En las simulaciones numéricas con densidad variable no se ha considerado el mioceno margoso (MM) por su alto grado de impermeabilidad.

4.4 DISTRIBUCIÓN DE LAS ÁREAS DE RECARGA POR PRECIPITACIÓN Y RETORNO DE RIEGO

La recarga diaria por la precipitación y retornos de riego fue estimada a partir del cálculo del balance de agua en el suelo y zona no saturada, para el periodo 1976-2006, mediante el código Visual Balan V1.0 (Samper, 1997). El código permite calibrar la recarga a partir de los datos de nivel de los piezómetros. Sin embargo, no está diseñado para realizar estimaciones procedentes de una lámina libre de agua, como ocurre en este caso con el marjal.

Para el periodo considerado, la precipitación media obtenida es de 800 mm (max: 1.615 mm, min: 288 mm) y la temperatura media de 13.8 °C. Los datos fueron proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología.

Para la estimación de la recarga natural debida a las precipitaciones, se ha utilizado la serie pluviométrica correspondiente al periodo temporal 1976-2006, correspondiente al registro de la estación meteorológica de Pego-Convento. Ésta ha sido zonificada inicialmente según la información aportada por los usos del suelo. Sus valores se han estimado mediante la herramienta Visual BALAN y la ETP mediante el método Makkink. Los resultados han sido calibrados posteriormente a partir de los datos proporcionados por los piezómetros de la zona.

Se han diferenciado los nueve usos del suelo descritos en la siguiente tabla (1):

Área de recarga	Usos del suelo	Infiltración (mm/año)	Superficie (ha)	Recarga * (hm³/año)
1	Cítricos (sur del Marjal)	376	1793.3	6.74
2	Marjal	300	460.2	1.38
3	Finca de Rosario	376	227.5	0.86
4	Cítricos (Norte del Marjal)	420	618.9	2.60
5	Campo de Golf	500	116.4	0.58
6	Zona costera	360	481.4	1.73
7 Mustalla	Mesozoico carbonatado (Mustalla)	400	894.0	3.58
7 Segaria	Mesozoico carbonatado (Segaria)	400	1137.4	4.55
8	Mioceno margoso	1.00E-04	820.0	0.00
9	Aguas de la depuradora de Pego	5000	21.2	1.06

* Corresponde a la recarga por lluvia + retornos de riego

Tabla 1: Infiltración media para cada una de las zonas de recarga (periodo 1976-2006).

Para el periodo evaluado, el valor medio de la infiltración es de 23 hm³/año.

Calibración recarga

La figura 11 muestra la distribución espacial de las áreas de recarga establecidas. Para el modelo se han definido 9 áreas distintas recargadas por agua de lluvia y retornos de riego. A partir de la recarga diaria se estimó la recarga media anual para el periodo analizado.

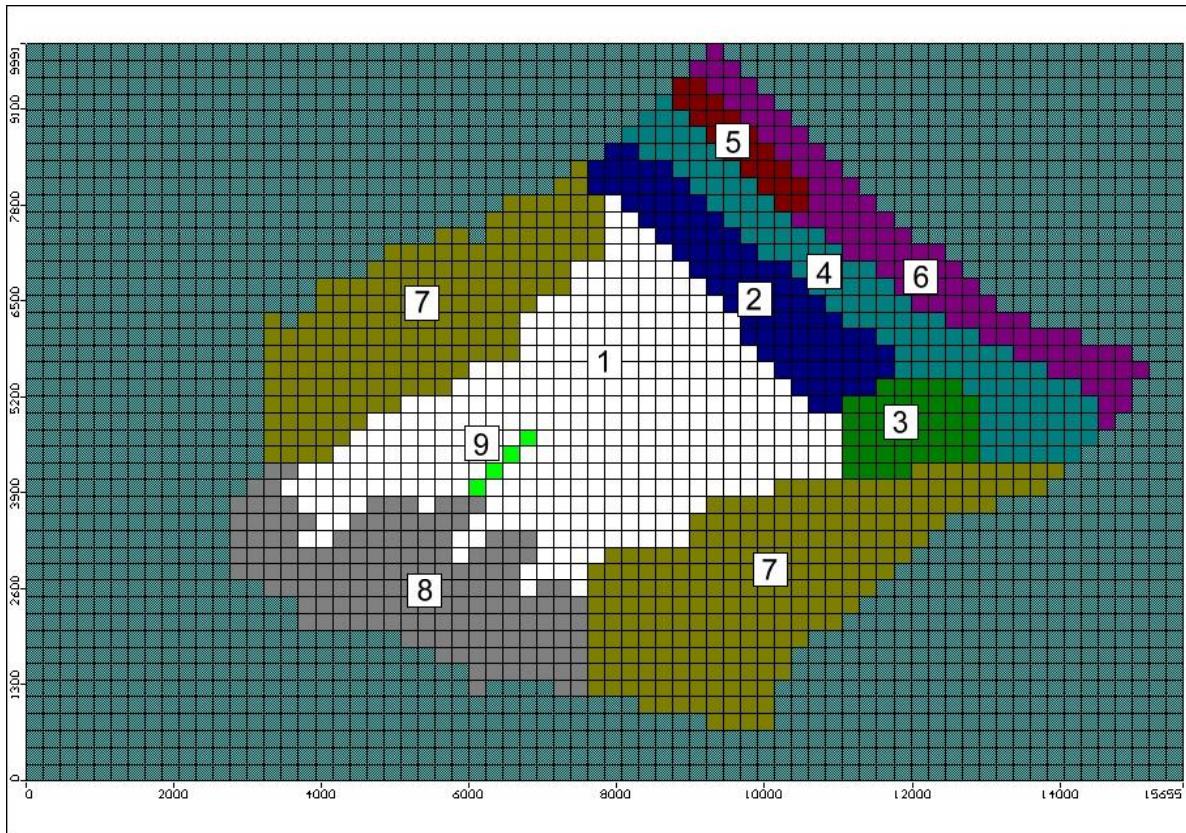


Fig. 11: Mapa de situación de las áreas de recarga

4.5 SITUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS DRENES

La descarga natural del sistema acuífero se produce a través del drenaje de los *ullals*, que alimentan al humedal, por las extracciones para regadío y abastecimiento, y por las salidas al mar.

Extracciones

La cuantificación de las extracciones se ha estimado a partir de los datos de inventario, y se han incorporado al modelo los datos de explotación correspondientes a noviembre de 2000, fecha de calibración de flujo estacionario. Se debe destacar la importancia de los bombeos realizados en la finca Oriol.

Las extracciones se realizan en 19 pozos (fig 12) que explotan tanto el nivel cuaternario (Q) del acuífero Multicapa Intermedio (MI), como el acuífero mesozoico (AM). Su destino es fundamentalmente para riego en agricultura. El caudal total bombeado por los pozos en régimen estacionario es de $13,16 \text{ hm}^3/\text{año}$.

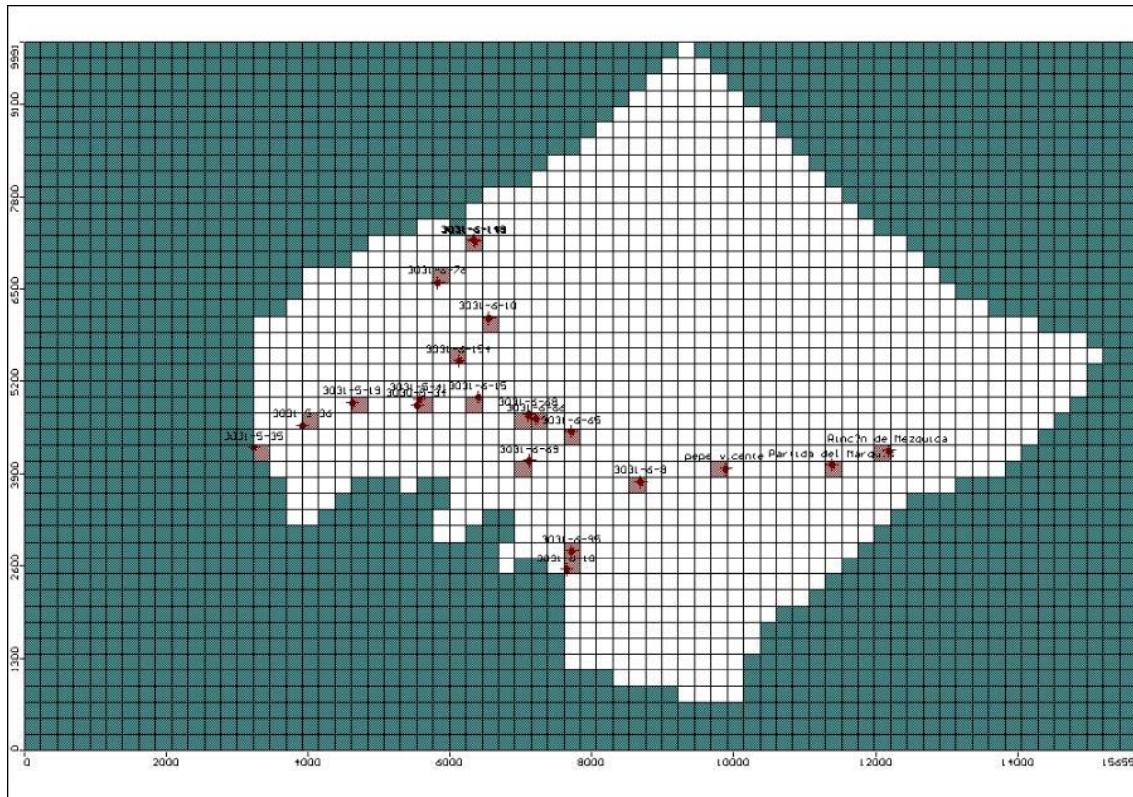


Fig. 12: Mapa de distribución de los pozos de bombeo utilizados en el modelo

Manantiales

Para los manantiales o *ullals* se ha fijado su cota topográfica y se les ha asignado una conductancia. Se han adscrito a la capa 1 del modelo y su conductancia se ha calculado de acuerdo al caudal drenado y el nivel del acuífero. Su situación se muestra en la fig 13. Para la simulación se ha decidido aplicar una serie de drenes en función de la localización de los *ullals*.

Las características impuestas en el modelo matemático para cada dren se señalan en la tabla 2:

Toponimia	Conductancia (m^2/d)	Cota de drenaje (m)
Ullal Macareno	100	0
Ullal Bullent	100	0

Tabla 2: Características generales de los drenes

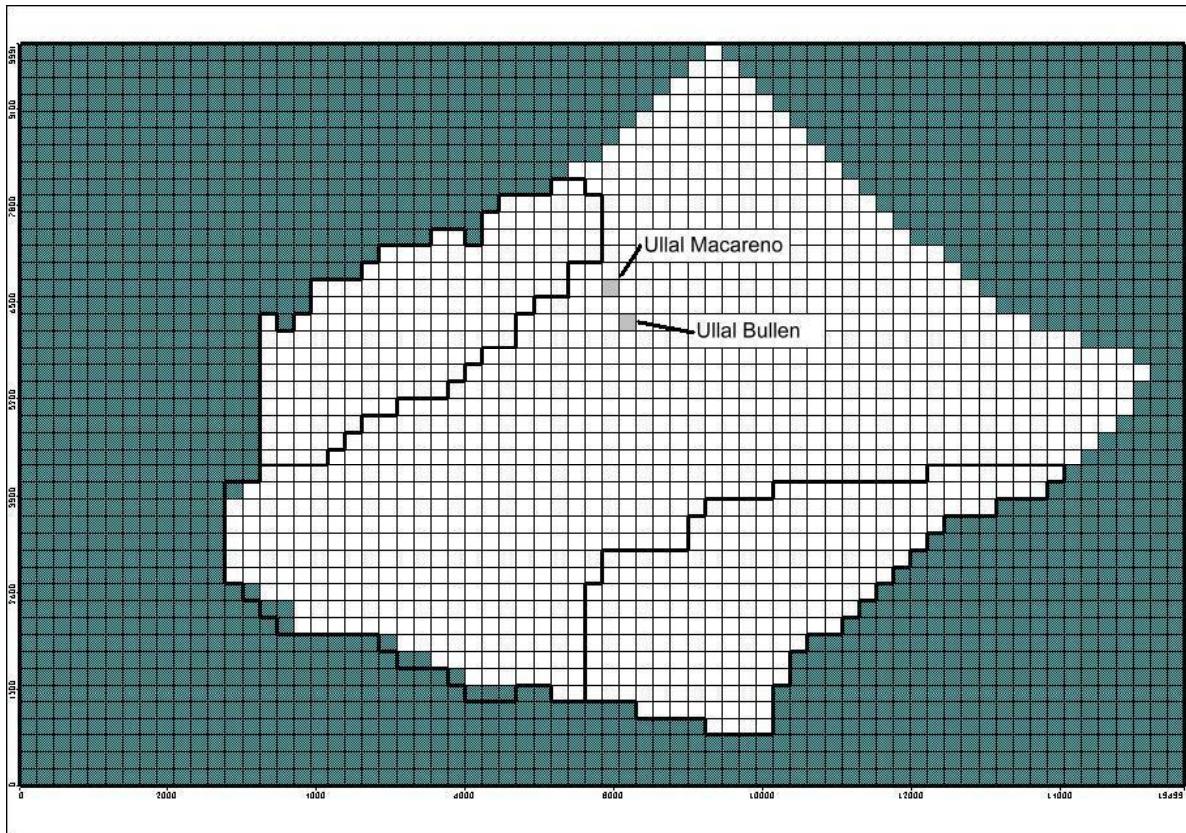


Fig. 13: Mapa de situación de los *ullals* en el modelo matemático

Ríos

En la zona hay dos ríos importantes, el Bullent y el Racons, situados al norte y sur de la zona húmeda, respectivamente. El último de ellos tiene, además, dos afluentes (Regalatxo y Barranquet). Estos ríos actúan como drenes, por lo que no aportan agua al acuífero. El drenaje al río se realiza a través de la capa 1.

Marjal

En el modelo ha sido definido con un nivel de contorno de tipo fijo. Presenta conexión directa con las unidades AS, Q (MI), y AM (Mustalla), y se sitúa en la capa 1.

4.6 CONDICIONES DE CONTORNO

Las condiciones de contorno consideradas han sido:

Condición de contorno sin flujo: Se ha definido como borde impermeable la zona de contacto de la sierra Mustalla con la unidad adyacente al norte

Condición de contorno sin flujo: Se ha definido como borde impermeable la zona de contacto de la sierra Segaria con la unidad adyacente al sur

Condición de contorno tipo “dren”: Los drenes tratan de simular el funcionamiento de los *ullals*, para ello es necesario introducir la cota de drenaje y conductancia para cada uno de los drenes

Condición de contorno con nivel constante: Situado en la línea de costa, trata de simular de una manera muy somera la entrada del agua de mar.

Condición de contorno con nivel constante: Situado en la parte noroeste de la sierra Mustalla y en el extremo más meridional de la sierra de Segaria.

Condición de contorno con nivel constante: Marjal y Finca de Rosario.

Las diferentes condiciones de borde definidas se presentan en la figura 14. El color rojo representa el límite a nivel constante, en azul verdoso aparecen las celdas inactivas. Los ríos se han representado en color azul y los *ullals* en tono gris.

Para la definición de los límites del modelo se han tenido en cuenta los resultados proporcionados por los modelos realizados en los acuíferos carbonatados de las Sierra de Mustalla y de Segaria.

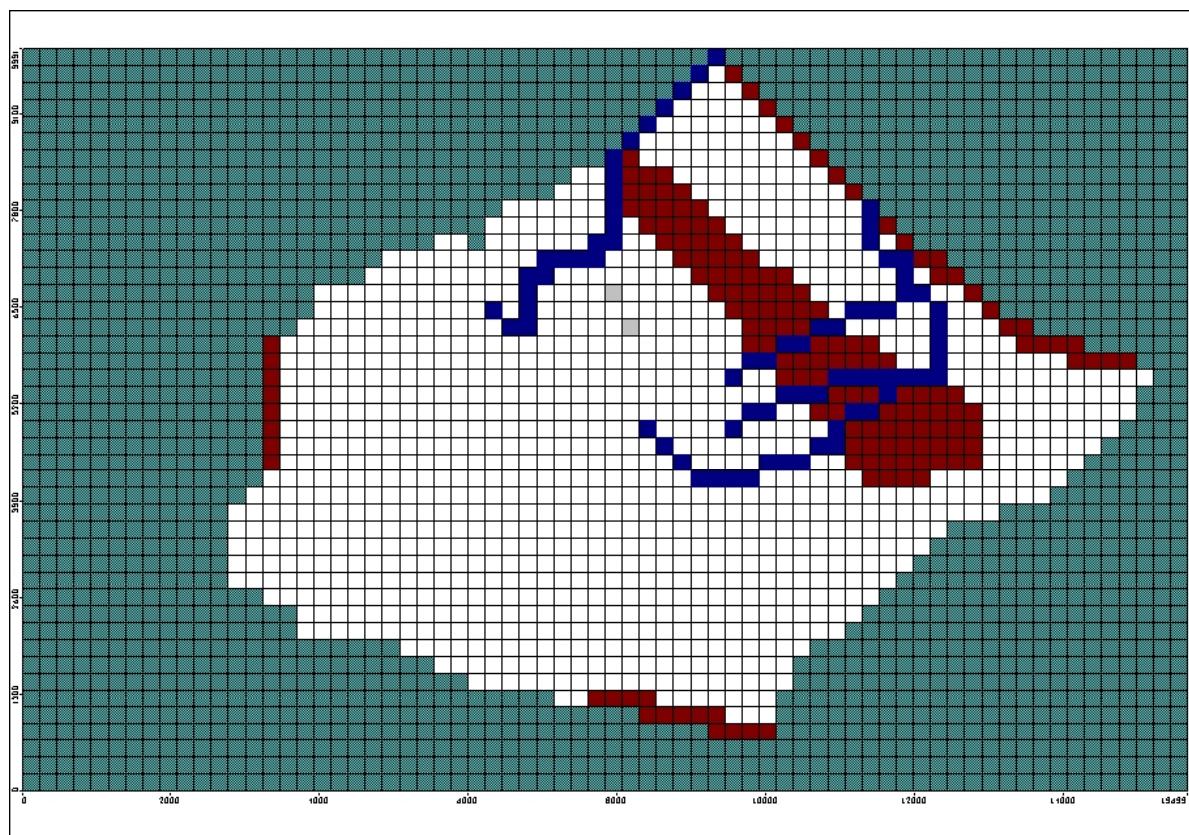


Fig. 14 Mapa de las condiciones de contorno aplicadas

4.7 CONDICIONES DE CONTORNO DEL TRANSPORTE DE SOLUTOS

Condiciones de contorno de concentración constante: Se aplica una concentración de sal igual a 36,6 g/l en las celdas con condición de contorno de nivel constante situadas a lo largo de la línea de costa (ver Fig. 14). Sólo se aplica en la capa 1 del modelo.

4.8 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

De acuerdo al modelo conceptual se ha considerado 6 zonas:

- 1) Arenas finas superficiales (AS)
- 2) Cuaternario detrítico (Q). Corresponde al Multicapa Intermedio (MI)
- 3) Acuífero mesozoico (AM)
- 4) Mioceno margoso (MM)
- 5) Conglomerado basal (CB)
- 6) Finca de Rosario

A partir de los datos de los parámetros hidráulicos establecidos en función de referencias bibliográficas y de ensayos realizados en algunos sondeos, se han considerado los siguientes valores de permeabilidad y de porosidad para las diferentes zonas definidas en la tabla adjunta.

	Permeabilidad (m/d)	Porosidad	Coeficiente de almacenamiento
Arenas finas superficiales (AS)	17,3	0,25	0,00012
Cuaternario detrítico (Q1) Multicapa Intermedio (MI)	8,6	0,275	8,1 E-5
Cuaternario detrítico (Q2) Multicapa Intermedio (MI)	0,9	0,275	8,1 E-5
Acuífero mesozoico (AM)	25	0,07	0,00046
Mioceno margoso (MM)	10E-7	0,2	0,46
Conglomerado basal (CB)	4	0,4	0,00046
Finca de Rosario	8,6	0,25	0,00012

Tabla 3. Parámetros hidráulicos utilizados en el modelo matemático

También en las figuras 7 a 10 se ha representado la distribución espacial de los parámetros hidráulicos utilizados para cada una de las capas consideradas.

5. CALIBRACIÓN Y RESULTADOS DEL MODELO DE FLUJO ESTACIONARIO

5.1. CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

El modelo de flujo con densidad variable en estado estacionario se ha obtenido mediante una simulación en régimen transitorio durante un periodo de 100 años con condiciones de contorno y extracciones constantes.

La calibración de los parámetros hidrogeológicos se ha realizado a partir de la comparación entre niveles medidos y niveles obtenidos con el modelo matemático para los puntos de observación mostrados en la figura 5. La calibración se ha realizado manualmente. Como se puede observar en la figura 15, la correlación obtenida entre valores observados y valores simulados es de 0.91, indicativa de la bondad del ajuste.

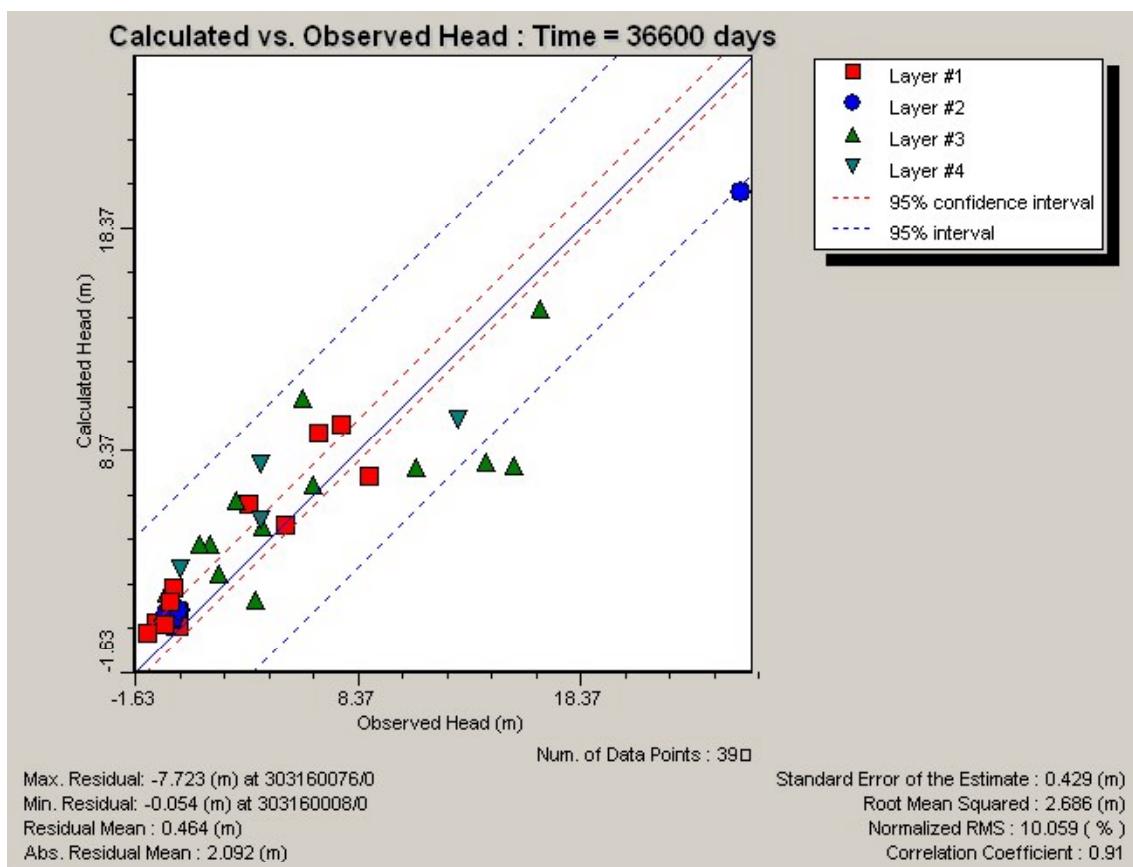


Fig.15 Relación entre el nivel observado y el estimado con el modelo en estado estacionario para los piezómetros

El mapa piezométrico medio para la primera capa en el periodo de 1997-2007 obtenido a partir del modelo en estado estacionario se muestra en la figura 16. Además, en las figuras 17 a 19 se han representado los valores piezométricos obtenidos mediante simulación para las otras 3 capas definidas, así como la dirección del flujo. La magnitud y sentido del flujo está indicado por el color y tamaño de las flechas. En dichas figuras también se incluyen los mapas de iso-concentración de sal obtenidos del modelo en estado estacionario.

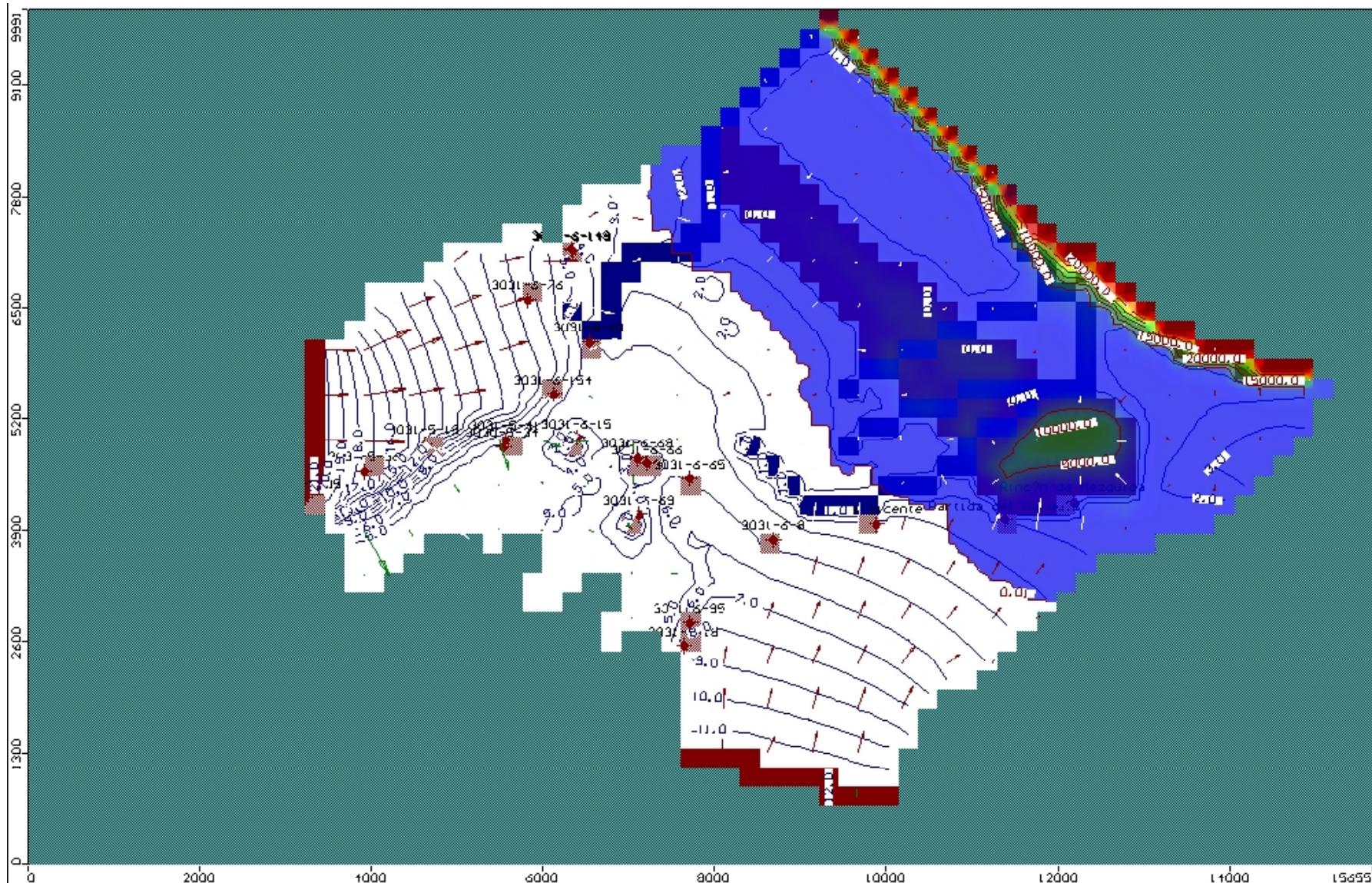


Fig. 16: Piezometría (m) y concentración de Cl (mg/l) para la capa 1 obtenidos a partir del modelo matemático

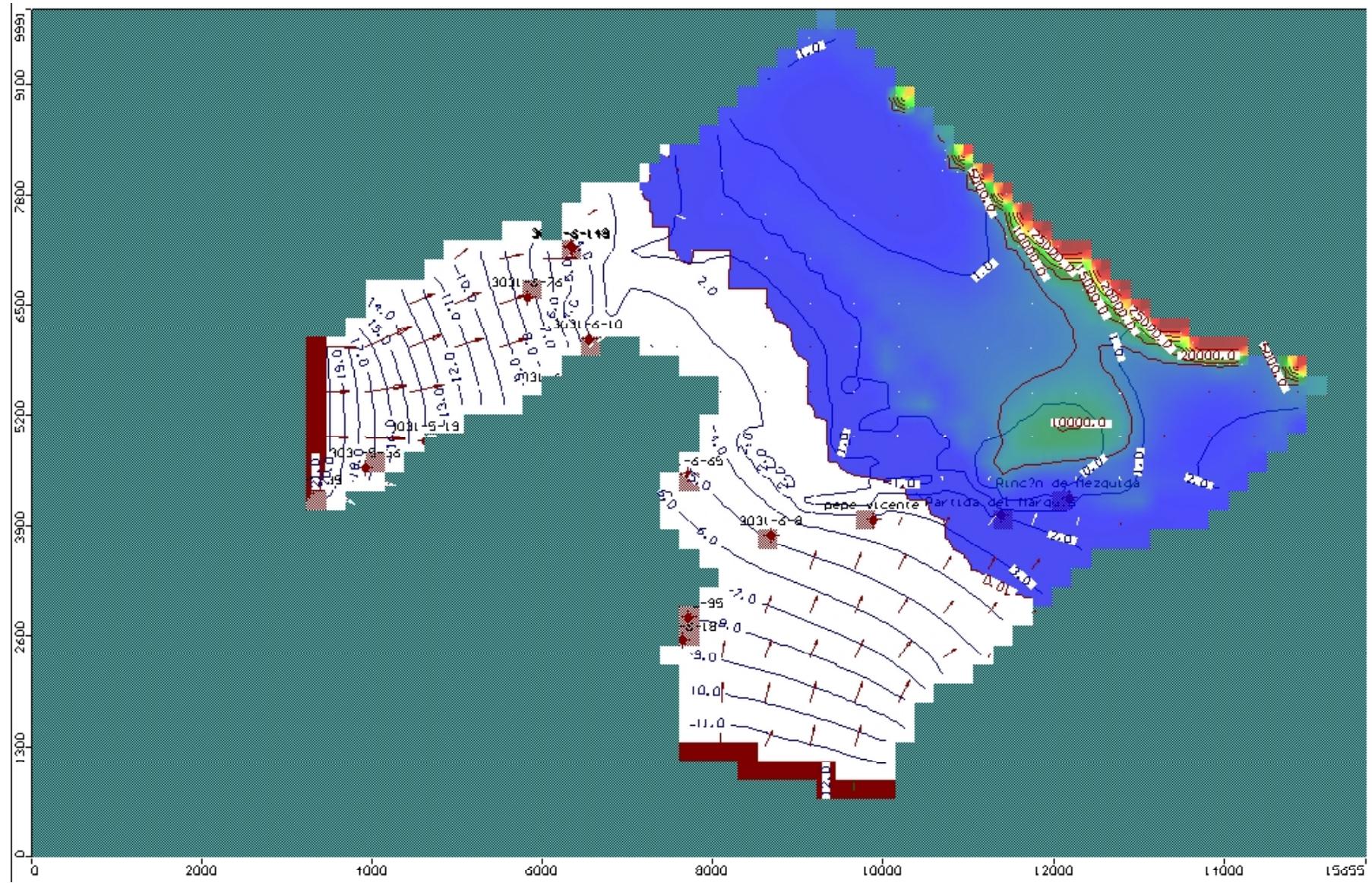


Fig. 17: Piezometría (m) y concentración de Cl (mg/l) obtenidas a partir del modelo matemático, capa 2.

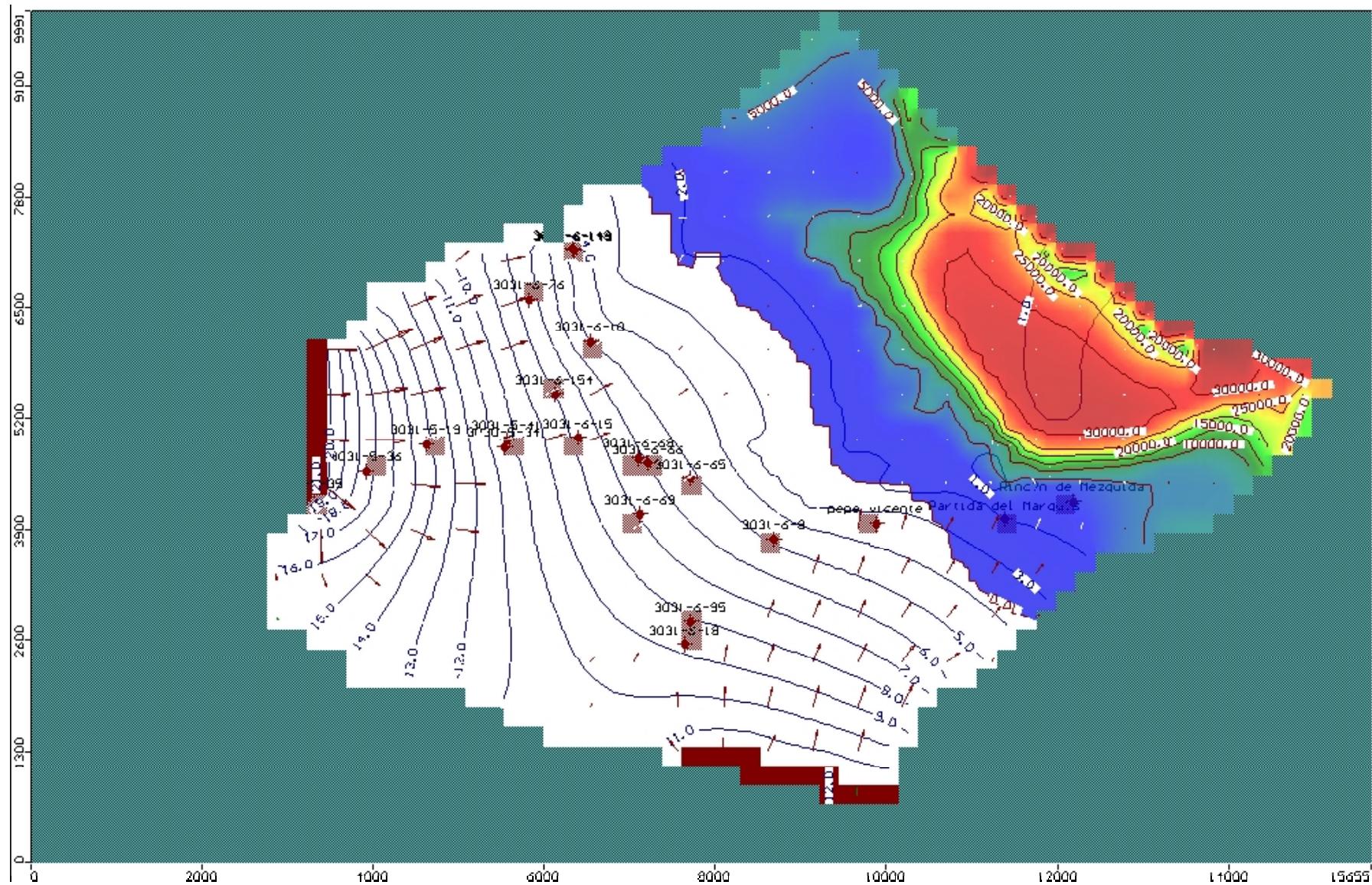


Fig. 18: Piezometría (m) y concentración de Cl (mg/l) obtenidas para la capa 3 a partir del modelo matemático

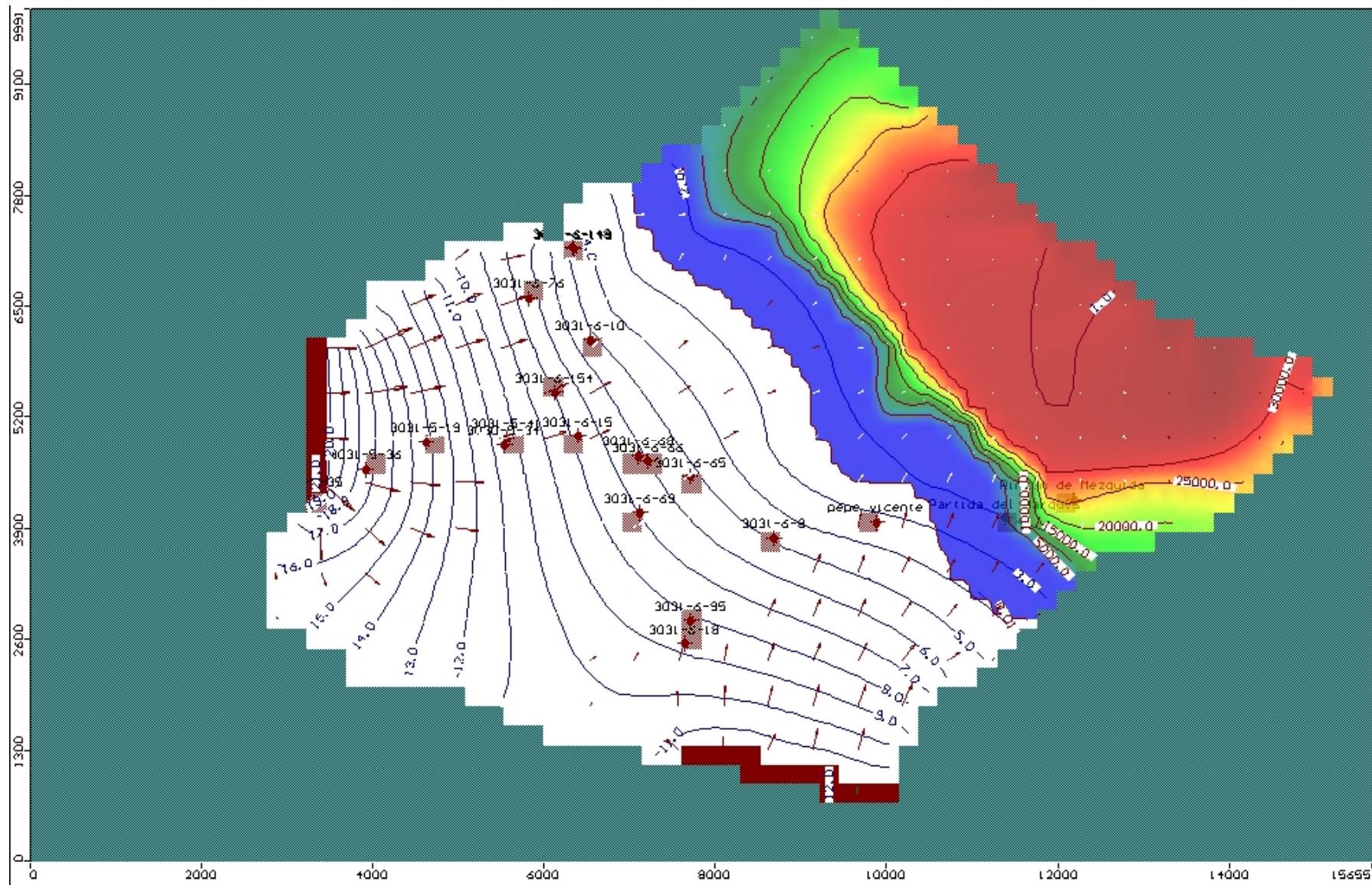


Fig. 19: Piezometría (m) y concentración de Cl (mg/l) obtenidas para la capa 4 a partir del modelo matemático.

6. BALANCE HÍDRICO DEL SISTEMA

La figura 20 muestra el balance anual obtenido a partir del modelo para cada uno de los elementos definidos en el mismo. En la tabla 4 se exponen las entradas y salidas por cada una de las unidades diferenciadas en el modelo (acuíferos, ríos y marjal).

	Entradas	Salidas
Bullent		Mar 38,1
		Marjal 0,1
	Aportes Mustalla 36,5	
	Aportes Pliocuaternario 1,7	
	Total 38,2	38,2
Racons		Mar 68,4
	Marjal 9,4	
	Finca Rosario 15,8	
	Aportes Segaria 20,1	
Total	Aportes Pliocuaternario 23,1	
	68,4	68,4
Marjal	Río Bullens 0,1	Drenaje al Racons 9,4
	Transfer. Pliocuaternario 9,3	
	Total 9,4	9,4
Pliocuaternario de Pego-Oliva	Infiltración lluvia 10,2	Bombeos (3,2) y ullales (1,2) 4,4
		Drenaje Bullent 1,7
	Infiltración aguas depuradas 1,0	Drenaje Racons 23,1
	Transfer. Mustalla 22,7	Drenaje al marjal 9,3
	Transfer. Segaria 25,2	Transfer. a Mustalla 4,2
	Intrusión marina 6,0	Transfer. a Segaria 6,2
		Transfer. Finca 14,5
		Transfer. mar 1,7
	Total 65,1	65,1
Mustalla	Recursos externos 61,1	
	Infiltración en Mustalla 2,5	
	Transfer. Pliocuaternario 4,2	
		Salidas al Bullens 36,5
		Bombeos 8,6
		Transfer. Pliocuaternario 22,7
Total	67,8	67,8
Segaria	Recursos externos 37,9	
	Infiltración en Segaria 3,4	Salidas al Racons 20,1
	Transfer. Pliocuaternario 6,2	Bombeos 0,9
		Drenajes Finca Rosario 1,3
		Transfer. Pliocuaternario 25,2
	Total 47,5	47,5

Tabla 4. Balance hídrico obtenido por el modelo

La entrada de agua está representada en el modelo matemático por:

- recarga procedente de la precipitación, retornos de riego y depuradora: $17,1 \text{ hm}^3/\text{año}$
- entradas laterales procedente del resto de los acuíferos de Almirante-Gallinera-Mustalla y de Almudaina-Alfar-Segaria: $99,0 \text{ hm}^3/\text{año}$
- entradas de agua marina: $6,0 \text{ hm}^3/\text{año}$

Las salidas del sistema son:

- extracciones para regadío: $12,7 \text{ hm}^3/\text{año}$
- descarga por manantiales o ullals: $1,2 \text{ hm}^3/\text{año}$
- descargas a ríos: $106,5 \text{ hm}^3/\text{año}$
- salidas directa al mar: $1,7 \text{ hm}^3/\text{año}$

Como puede comprobarse, existe una buena aproximación entre el balance hídrico obtenido en el modelo matemático y el determinado en el modelo conceptual de funcionamiento del sistema. No obstante, y aunque los resultados son en general coherentes con los valores estimados previamente, al ser calculados a partir de un modelo en estado estacionario, hay que tomarlos como una primera aproximación a los valores reales. Éstos serán determinados con una mayor precisión en la siguiente fase del estudio, en la que se abordara la simulación matemática del sistema en estado transitorio.

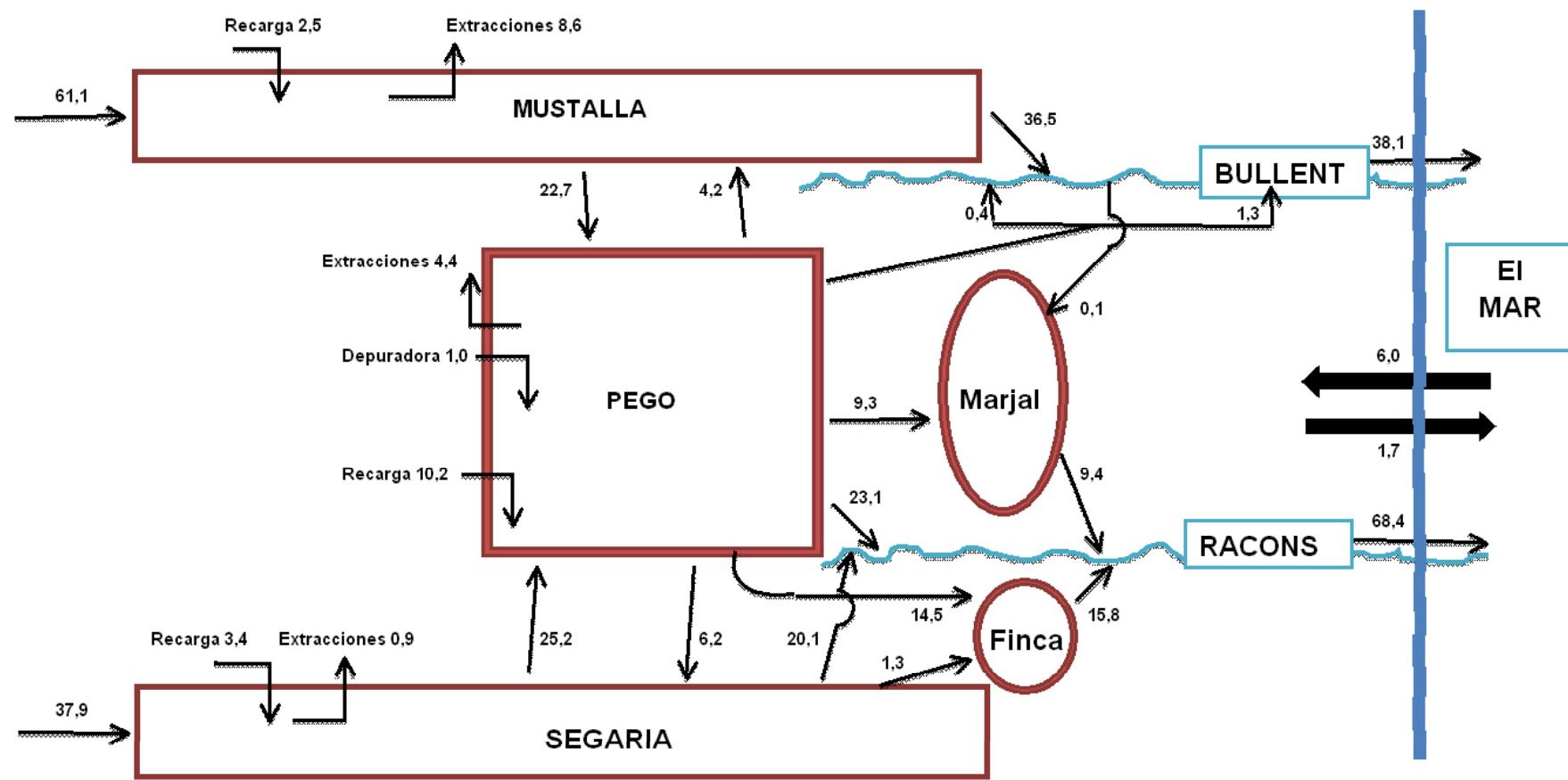


Fig. 20: Balance hidrológico medio obtenido a partir del modelo matemático.

7. REFERENCIAS

- Ballesteros, B; Ocaña, L; López, J; Rodríguez, L. (2005): Contribución de las técnicas isotópicas y de las relaciones hidroquímicas al conocimiento de los mecanismos que rigen los procesos de salinización en un acuífero kárstico litoral de la provincia de Alicante, España. Ed. Vila X., Cabrera M.C. y Valverde. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas (21), pp 185-192. Madrid.
- Ballesteros, B.J.; Domínguez J.A.; Díaz, E. (2007): Determinación de la relación entre zonas húmedas y acuíferos asociados mediante modelos de flujo y transporte. Aplicación a la gestión sostenible del acuífero de Pego-Denia (Alicante). Informe final de los sondeos de investigación. Fondo documental del IGME.
- DPA (2005). Prospección geofísica mediante tomografía eléctrica y sondeos electromagnéticos en el término municipal de Pego (Provincia de Alicante). Fondo documental de la Diputación Provincial de Alicante.
- IGME-DPA (2005): Revisión y actualización del modelo de flujo del acuífero Almudaina-Alfaro-Segaria (Alicante). Julio 2005. 90 pp.
- IGME-DPA (2002): Evaluación y ordenación de recursos hídricos en la Marina Alta (Alicante). Alternativas y Directrices (2^a Fase). Caracterización isotópica e hidroquímica de los acuíferos existentes en el entorno de la marjal de Pego-Oliva. Marina Alta (Alicante). Fondo documental del IGME.
- IGME (2003): Modelo matemático del acuífero de Mustalla, unidad hidrogeológica 08.34 Almirante-Mustalla.
- MOPTMA (1995): Sobre los sondeos, medidas piezométricas y aforos realizados en la marjalería de Oliva-Pego (Alicante). Documento inédito.
- Samper J, Huguet L, Arés J, García MA. (1999)- Manual del usuario del programa Visual Balan v.1.0. Publicación Técnica de Enresa 05/99
- SGOP (1985). Sobre los sondeos de investigación realizados en la unidad Alfaro-Mediodía (Alicante). Servicio Geológico de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Documento inédito.