

Simulación de la intrusión marina en el acuífero de Cabo Roig (Alicante)

P. Romero⁽¹⁾, F.J. Elorza⁽²⁾, J.M. Murillo⁽¹⁾ y L. Rodríguez⁽³⁾

(1) Área de Técnicas Hidrogeológicas, Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas
Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Madrid
E-mails: p.romero@igme.es - jm.murillo@igme.es

(2) Dpto. de Matemática Aplicada y Métodos Informáticos. ETSI Minas. Universidad Politécnica de Madrid
E-mail: jelorza@dmami.upm.es

(3) Diputación Provincial de Alicante. España

RESUMEN

En 2003 se comenzó con la toma de datos y la investigación para mejorar el conocimiento hidrogeológico del acuífero costero de Cabo Roig. Para lo cual se realizaron estudios previos que consistieron en la recopilación y actualización de los datos hidrogeológicos del acuífero y la estimación de la recarga natural mediante el código Visual Balan V.1.0. Todos estos estudios previos fueron indispensables para el desarrollo de un modelo conceptual tridimensional de flujo hidrogeológico con densidad variable. El cual fue posteriormente implementado numéricamente con el código FEFLOW, con el propósito de que sirviese como una herramienta de gestión del agua subterránea y de control de la intrusión marina. Se justifica el empleo de un modelo de densidad variable, debido al importante gradiente de concentraciones en profundidad que se presenta en la zona de mezcla y al espesor variable de esta zona. Se presentan y analizan los resultados del modelo en estado estacionario (para las condiciones medias del año 2001), describiéndose el campo de flujo, la geometría y posición de la cuña salina, la anchura de la interfase agua subterránea/agua de mar y el balance hídrico local y regional.

Palabras clave: acuíferos costeros, Cabo Roig, intrusión marina, simulación numérica

Simulation of seawater intrusion in the Cabo Roig aquifer (Alicante)

ABSTRACT

In 2003 the project began with the data gathering and the investigation for improving the hydrogeologic knowledge of Cabo Roig coastal aquifer. Previous studies that consisted of the compilation and actualization of hydrogeologic data of aquifer and the natural recharge estimation by means of the Visual Balan V.1.0. code. All these previous studies were indispensable for the development of a 3D conceptual model of hydrogeologic flow with variable density. With code FEFLOW this was numerically implemented. The main purpose is to have a groundwater management tool and seawater intrusion control. A variable density model is necessary to use, due to the transition zone has to the considerable gradient concentrations in depth and to the variable thickness. The model results in stationary state are shown and analyzed in this paper (for the average conditions in 2001), where the flow field, the geometry and position of the salt wedge, the width of freshwater/saltwater interface and the local and regional water budget are described.

Key words: Cabo Roig, coastal aquifers, numerical simulation, seawater intrusion

Introducción

El acuífero de Cabo Roig se encuentra ubicado al sur de la provincia de Alicante y presenta en algunas zonas problemas con la calidad del agua subterránea debido a la salinización progresiva por la entrada de agua del mar Mediterráneo. El objetivo final a largo plazo de este proyecto es desarrollar una herramienta de gestión del agua subterránea para el control de la intrusión marina en el acuífero costero de Cabo

Roig. Este artículo se orienta a presentar los principales resultados del modelo de flujo subterráneo con densidad variable en estado estacionario y comentar, de manera breve, las observaciones más relevantes en el proceso de calibración y simulación.

Modelo hidrogeológico conceptual

El área modelada del acuífero de Cabo Roig es de 61

km². Limita al norte con la falla de San Miguel de Salinas, al sur con la falla de río Seco, el límite occidental coincide con el contacto impermeable de las margas grises del Andaluciense y al este con la línea costera del mar Mediterráneo (IGME, 2003a).

El acuífero funciona localmente en estado libre a confinado. El modelo hidrogeológico está compuesto de tres capas, que representan las tres unidades hidrogeológicas definidas en esta área. La primera unidad está compuesta por depósitos Cuaternarios y Pliocuatnarios (unidad confinante). La segunda unidad hidrogeológica está conformada por un nivel de areniscas y calcarenitas del Plioceno con una potencia promedio de 50m (unidad acuífera). La unidad de base impermeable está compuesta por las margas grises del Andaluciense.

Descripción del código de simulación

El código seleccionado para el desarrollo del modelo es FEFLOW 5.0 (Diersch, 1996), que resuelve problemas de flujo y transporte con densidad variable en 2D y 3D, en zona saturada y no saturada, mediante elementos finitos, en régimen estacionario y transitorio. Los procesos de transporte de solutos miscibles que considera son advección y dispersión hidrodinámica. Las condiciones de contorno simuladas son muy variadas.

Modelo matemático con densidad variable

Se ha desarrollado un modelo de flujo subterráneo con densidad variable para las condiciones promedio de piezometría y salinidad del 2001. La simulación realizada es en régimen estacionario para un medio poroso saturado tridimensional.

Discretización espacial y temporal

El área modelizada del acuífero de Cabo Roig, fue discretizada tridimensionalmente para el modelo de flujo con densidad variable en estado estacionario mediante 45600 nudos y 82104 elementos (3421*24 capas) (Figura 1). La discretización vertical se realizó mediante 24 capas, las primeras doce corresponden a la unidad hidrogeológica confinante y las siguientes corresponden al acuífero del Plioceno, la tercera unidad hidrogeológica correspondiente al borde impermeable inferior no se incluyó en este modelo por problemas de estabilidad numérica. El modelo simula en régimen estacionario las condiciones medias del año 2001.

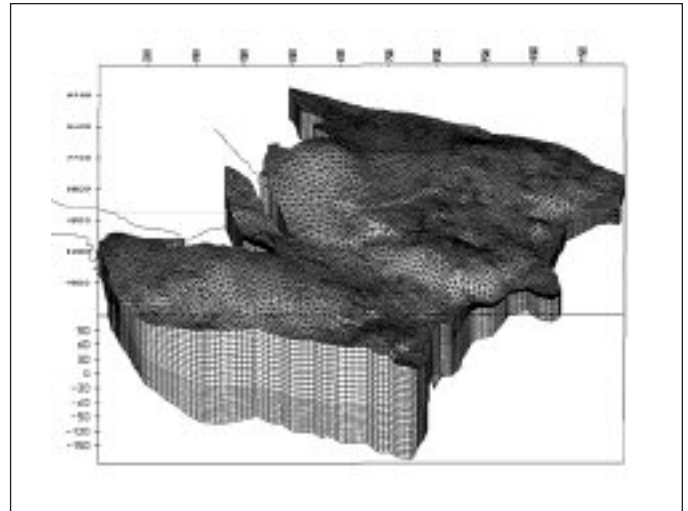


Fig. 1. Discretización tridimensional del modelo de flujo subterráneo con densidad variable

Fig. 1. Tridimensional discretization of the variable density underground flow model

Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno empleadas corresponden a los límites físicos reales del acuífero. Las fronteras en la zona norte, zona sur y en el borde occidental se han definido como condiciones de contorno de flujo y transporte nulo (bordes impermeables). Al este, la línea de costa se ha definido como condición de contorno de concentración constante de 36000 mg/l (TSD) y de carga hidráulica h variable con la profundidad bajo el nivel del mar, con distribución vertical lineal, asumiendo que el nivel del mar no varía.

La condición de contorno de la superficie superior corresponde a la recarga por lluvia y retornos de riegos (TSD= 0 mg/l), calculada la zonificación previamente mediante el programa Visual Balan V.1.0 (Samper, *et al.*, 1999; IGME, 2004). El borde inferior se define como una condición de flujo y transporte nulo. Por último, se imponen puntualmente los caudales de bombeo extraídos en la unidad acuífera.

Parámetros hidrogeológicos del modelo

Se ha evaluado la sensibilidad de los diferentes parámetros del modelo en la simulación del flujo con densidad variable.

Los parámetros que han sido calibrados son la permeabilidad, la recarga y la dispersividad. Dentro de los cuales la permeabilidad y la recarga presentan alta sensibilidad en el modelo. El valor de la dispersi-

vidad longitudinal incide significativamente en los resultados de la simulación y el valor de la dispersividad transversal presenta moderada sensibilidad en el modelo.

Los valores de los bombeos se los ha considerado calibrados, argumentando que los valores suministrados por el inventario realizado en el 2003 (IGME, 2003b), son valores óptimos. Mientras el valor de la difusión molecular no fue calibrado por su baja sensibilidad en la simulación de la piezometría y salinidad.

Resultados de la simulación numérica

En la Figura 2 se observa la simulación de la distribución de la piezometría para el año 2001. Se puede ver que las zonas de descenso de piezometría más importantes se encuentran en la zona sur-este y en la zona central del acuífero. En el año de 1990 se registraron los núcleos más importantes de explotación en la

zona central, pero en los últimos años la zona sur se ha convertido en el núcleo más importante de explotación de agua subterránea.

En la Figura 3 se observan los resultados de la simulación en régimen estacionario de la distribución media de salinidad para el año 2001. Se considera que el avance simulado de la intrusión marina refleja en términos generales satisfactoriamente la situación real (IGME, 2003a). Sin embargo, en la zona sur los valores simulados de salinidad se encuentran muy por encima de los valores reales, esto podría deberse a que, según los últimos estudios, en la zona sur el contacto agua subterránea / agua de mar se produce aproximadamente a casi 5 Km. mar adentro (Rodríguez, 2003) mientras que en la zona norte y central se produce en el borde costero. Esto explicaría que los valores medidos de salinidad en los pozos cercanos a la costa en la zona sur, no sean tan altos como los resultantes de la simulación. Debido a ello, ha sido necesario ampliar el dominio espacial del modelo procurando reproducir el sector submarino del acuífero. La simulación con este nuevo dominio de simulación está en curso.

Parámetros	Capa confinante	Acuífero
Conductividad hidráulica (m/d) $k_x = k_y \neq k_z$ ($k_z = k_x/50$)	0.01-1.2	0.9-2.1
Dispersividad longitudinal (m)	10	100
Dispersividad transversal (m)	1	10
Difusión molecular (m ² /s)	1 e-09	1 e-09

Tabla 1. Valores finales de los parámetros evaluados en el sistema acuífero de Cabo Roig

Table 1. Final values of the assessed parameters in the Cabo Roig aquifer

Conclusiones

Actualmente se está refinando el modelo de flujo con densidad variable en régimen estacionario, incluyendo la simulación el sector submarino del acuífero. Como trabajo futuro se prevé el desarrollo del modelo de flujo con densidad variable en régimen transito-

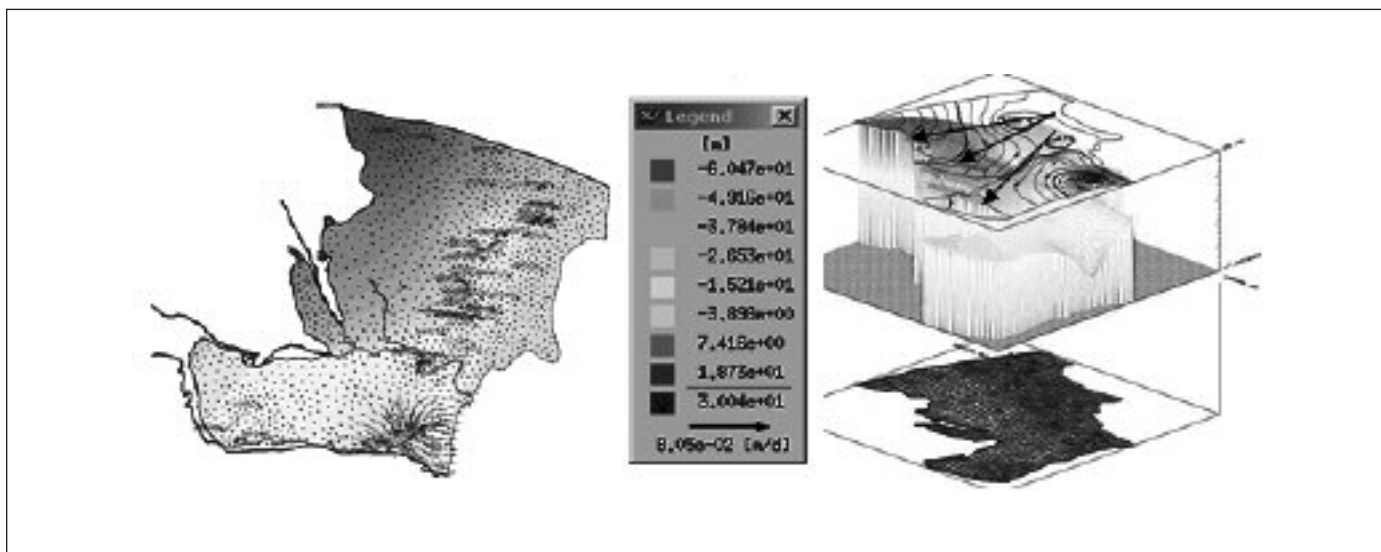


Fig. 2. Resultado de la simulación de la distribución de la piezometría para el año 2001
Fig. 2. Result of the simulation of piezometric distribution during 2001

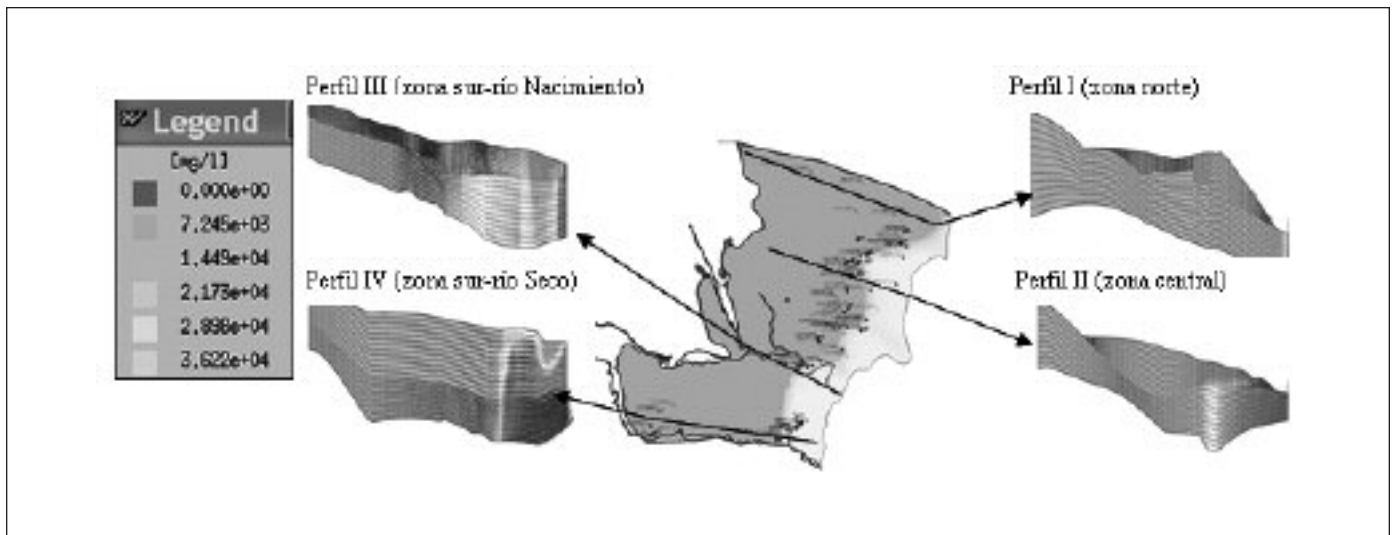


Fig. 3. Resultado de la simulación en régimen estacionario de la distribución media de la salinidad para el año 2001
 Fig. 3. Result of the simulation of average salinity distribution for 2001 in steady regime

rio para el período de 2001-2010, partiendo de las condiciones hidrológicas medias del año 2001.

Referencias

- Diersch, H.J. 1996. *FEFLOW User's manual versión 4.50*. WASY Institute for water resources planning and systems research Ltd. Berlin.
- Instituto Geológico y Minero de España. 2004. *Estimación de la recarga en el acuífero de Cabo Roig (Alicante)*. Informe del centro de documentación del IGME.
- Instituto Geológico y Minero de España. 2003a: *Actualización del Conocimiento hidrogeológico en el acuífero de Cabo Roig con vistas a la realización de un modelo matemático de densidad variable*. Informe del centro de documentación del IGME.
- Instituto Geológico y Minero de España. 2003b: *Implantación de modelos de simulación de la intrusión marina en la gestión de los acuíferos costeros. Acuíferos de Torre Vieja y Cabo Roig*. Informe del centro de documentación del IGME.
- Rodríguez Estrella, T. 2003. *Situación de la intrusión marina en la cuenca del Segura: Evolución desde el Tiac'88*. Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros (TIAC).111
- Samper, J. y García Vera, M.A. 1999. Manual del usuario del programa Visual Balan, V.1.0. ENRESA. Madrid.

Recibido: diciembre 2005
 Aceptado: julio 2006