

Modelización 3D del acuífero Terciario de Torrevieja. Geometría del acuífero

P. Tabares Ródenas, P. Martínez Santos y P. Martínez Alfaro

Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, c/ José Antonio Novais s/n, 28040 Madrid.
pascual_tabares@hotmail.com; pemartin@geo.ucm.es; pema@geo.ucm.es

RESUMEN

El acuífero costero de Torrevieja se encuentra localizado en Alicante, al SE de España. La explotación intensiva de los acuíferos tiene lugar a comienzos de 1960, principalmente para cubrir las necesidades agrícolas de la zona. Durante estas últimas cuatro décadas, la industria hotelera ha sufrido un gran impulso en la zona, lo cual ha incrementado también la extracción de agua subterránea para consumo. Cerca de 5 millones de metros cúbicos por año son bombeados, provocando el efecto de intrusión marina. De acuerdo con las estimaciones existentes, la media de espesores de areniscas-calcáreas del acuífero está comprendida entre 30 y 100 m en un área de unos 167 km² aproximadamente. Este nivel acuífero se encuentra sobre margas impermeables del Mioceno Superior, y confinado parcialmente a techo por margas blancas del Plioceno. Hay cerca de 13 km² de afloramientos permeables los cuales permiten la recarga del acuífero mediante el agua de precipitación. Los límites impermeables rodean al acuífero completamente, excepto a lo largo en su borde oriental, donde está en contacto con el mar. Los nuevos datos obtenidos de los sondeos de investigación sugieren que el área del acuífero debería ser mucho menor. En este trabajo se presenta un análisis de los nuevos y los viejos sondeos de investigación que nos ayudarán a componer una representación 3D en profundidad de la geometría del sistema acuífero.

Palabras clave: geoestadística, geometría del acuífero, intrusión marina, modelo tridimensional, Torrevieja

3D Model of the Torrevieja Tertiary aquifer. Geometry of the aquifer

ABSTRACT

The Torrevieja coastal aquifer is located in Alicante, SE Spain. Intensive exploitation of the aquifer began in the 1960s, mainly in order to meet agricultural needs. During these last four decades, the hospitality industry has also experienced a dramatic boost in the area, which in turn has led to a further increase in groundwater abstraction. About 5 million cubic metres per year are currently pumped, leading to seawater intrusion concerns. According to the existing estimates, the average thickness of the sandstone/limestone aquifer level ranges between 30 and 100 m over an area of approximately 167 km². This level is underlain by an impervious Upper Miocene marl layer, whilst a white Pliocene marl layer partially confines the aquifer top. There are about 13 km² of permeable outcrops which allow for rain water recharge to take place. Impervious boundaries completely surround the aquifer, except along the eastern side, where it is in contact with the sea. Newly obtained borehole data however seems to modify these, and suggests that the aquifer area might be significantly smaller. This paper presents an analysis of new and old borehole records that ultimately aims at developing a 3D representation of the in-depth geometry of the system.

Key words: aquifer geometry, geostatistics, salt water intrusion, three-dimensional model, Torrevieja

Introducción

La cuenca de las salinas de Torrevieja (Alicante) está situada en una zona de gran actividad económica en cuanto a la agricultura de frutales se refiere, siendo especialmente relevante el cultivo de cítricos. Dicha actividad necesita de un abastecimiento de agua dulce, la cual es aportada por la extracción del acuífero mediante sondeos y pozos y mediante el Trasvase Tajo-Segura.

La cercanía de esta zona de cultivo al mar y la fuerte demanda del sector agrícola han hecho que el bombeo para riego se haya ido incrementando a lo

largo del tiempo. Como consecuencia, se empezó a apreciar un aumento de la salinidad en el agua de los pozos en esta zona, que puso de manifiesto un claro fenómeno de intrusión marina (García Aróstegui *et al.*, 2003)

El problema de aumento de salinidad de los acuíferos costeros debido a su explotación para el cultivo puede llegar a revestir una gran importancia desde el punto de vista tanto hidrogeológico como económico, y se puede analizar –y potencialmente evitar– mediante el conocimiento tanto del funcionamiento del sistema.

Por este motivo se vienen realizando diversos

estudios con relacionados con la problemática del uso intensivo del agua subterránea en la zona. Sirvan como ejemplo los trabajos de Hornero *et al.* (2003) y García Aróstegui *et al.* (2003). Así, Santiesteban *et al.* (2004) tuvieron presente la importancia de la estratigrafía de la zona en base a una campaña de campo para el estudio del modelo conceptual del funcionamiento del acuífero. Dicho estudio sirve de base para una modelización preliminar de la intrusión salina en el sistema (Martínez-Santos *et al.*, 2004), cuyas implicaciones son recogidas y ampliadas por Mediavilla *et al.* (2007) al analizar las implicaciones de la estratigrafía en el ámbito de la modelización hidrogeológica (Montenat, 1990).

Así mismo, existen incertidumbres acerca del alcance que la intrusión marina ha originado en el área de estudio puesto que no se conocen bien las conexiones posibles del acuífero en estudio con el mar mediterráneo.

El presente artículo constituye un resumen de los aspectos más relevantes de la Tesis de Máster del primer autor, que busca en esencia contribuir al estudio del problema de la intrusión marina en la zona mediante la aplicación de técnicas de modelización tridimensional que permitan visualizar, de forma aproximada, la geometría de un acuífero en profundidad, permitiendo así entender mejor su funcionamiento. En este caso, dicha modelización presenta además un marcado carácter integrador de la información existente, puesto que conjuga los datos de estudios antiguos con los de los trabajos más recientes.

Objetivos

A partir de lo antes expuesto puede decirse que este trabajo presenta un objetivo fundamental: la obtención de una imagen tridimensional del acuífero que permita una mejor aproximación a su geometría en profundidad y estimar sus reservas aproximadas. En último término dicha modelización pretende arrojar algo de luz tanto sobre el modelo conceptual de funcionamiento del sistema como sobre sus condiciones de contorno.

Metodología

En un primer estadio este trabajo resume el marco contextual elaborado en base a la recopilación de los datos disponibles en materia de antecedentes, inventario de puntos de agua, estratigrafía, topografía del entorno, modelo conceptual de flujo existente y demás estudios realizados al respecto. A partir de

dicha información se procede a la modelización tridimensional del sistema, utilizando para ello software especializado llamado VOXLER (2007).

A efectos del modelo elaborado esto tiene como consecuencia la presencia de huecos en algunas zonas, como el área de recarga norte, en el anticlinal de Guardamar, o el borde occidental del sistema (coincidente con el anticlinal de Benejúzar). Sin embargo, no hay que confundir estas áreas ausentes de datos con aquellas de sondeos nulos, es decir, aquellos que no perforan el acuífero. Es el caso por ejemplo de "Los Montesinos 2" (hueco 1), situado al OSO del pueblo de Montesinos, y que como podemos ver en la figura, genera, junto con otros tres sondeos nulos, una zona impermeable de cierta magnitud (Figura 9).

Contexto hidrogeológico y modelo conceptual de flujo

El acuífero terciario de Torrevieja se sitúa en el extremo oriental de la Cordillera Bética, en la depresión del Bajo Segura (Figura 1). Esta zona obtuvo su configuración actual en el Holoceno, y hasta el Pleistoceno se trató de un área con un mayor o menor grado de conexión con las restantes cuencas del Prebético (Montenat *et al.*, 1996; Montenat y Ott D'Estevou, 1996).

Su historia reciente, que tiene su punto de partida a finales del Tortonense, está relacionada con los diferentes pulsos tectónicos que, hasta hoy en día, modelan el relieve de la zona y que provocaron el desarrollo de discontinuidades de carácter regional que delimitan las principales unidades estratigráficas identificadas (Almela *et al.*, 1978; Martínez *et al.*, 1977).

Las principales unidades reconocidas a nivel regional corresponden al Tortonense Superior-Messiniense, Plioceno, Pleistoceno, y Holoceno. Todas ellas están separadas por discontinuidades relacionadas con tectónica compresiva o de desgarre (fallas inversas, fallas de salto en dirección, y pliegues).

La geomorfología de la región hace que la estructura geológica de esta zona coincida con el relieve, es decir que los relieves positivos van relacionados con anticlinales y que las depresiones topográficas coinciden con los sinclinales (Figura 2).

Entre los pliegues destacan el de Guardamar, Lomas de La Juliana, Benejúzar, y Hurchillo, todos en la margen derecha del río Segura. Se puede constatar que la intensidad del plegamiento disminuye hacia el Este, siendo el pliegue más apretado el de Hurchillo, cuyos estratos llegan a ser verticales en el flanco septentrional. Estos pliegues, junto con las pequeñas sierras del sur de Murcia, son los responsables del cambio brusco de dirección del río Segura (Figura 2).

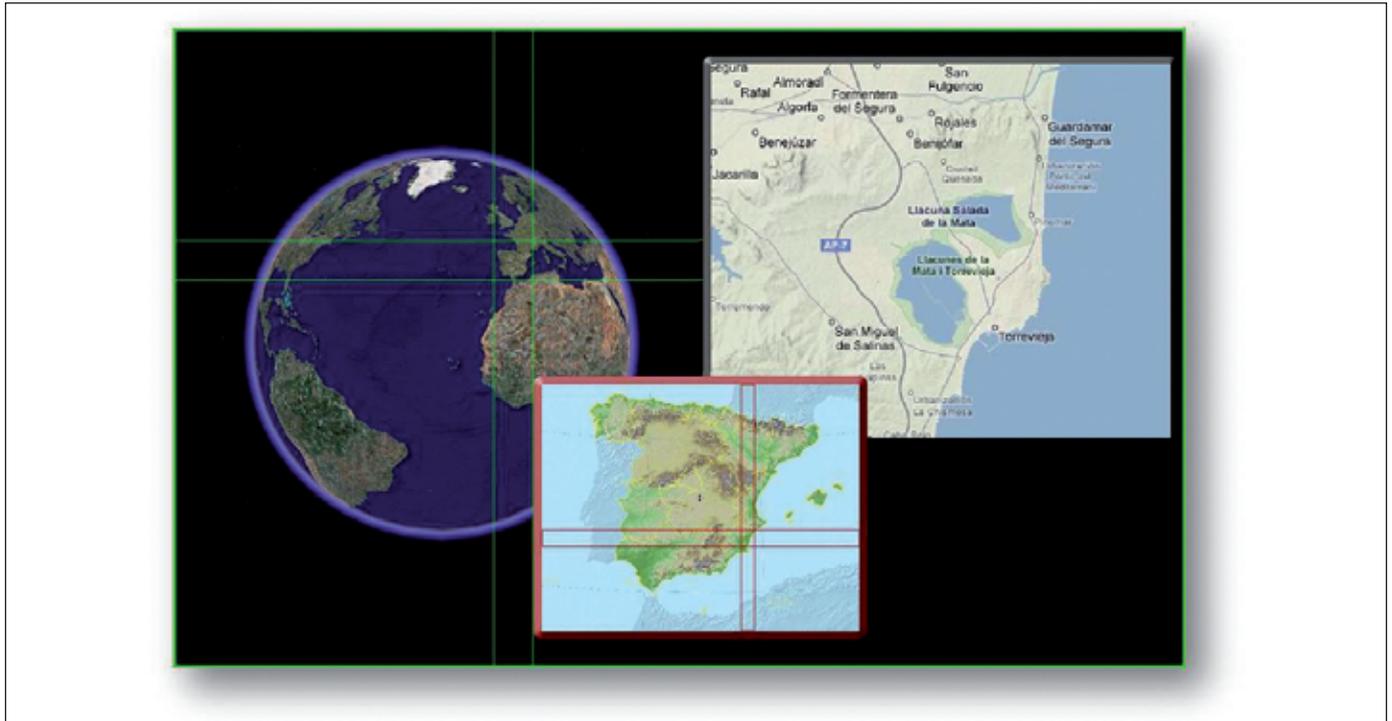


Figura 1. Mapa de situación de la cuenca de Torrevieja
 Figure 1. Geographical setting of the Torrevieja basin

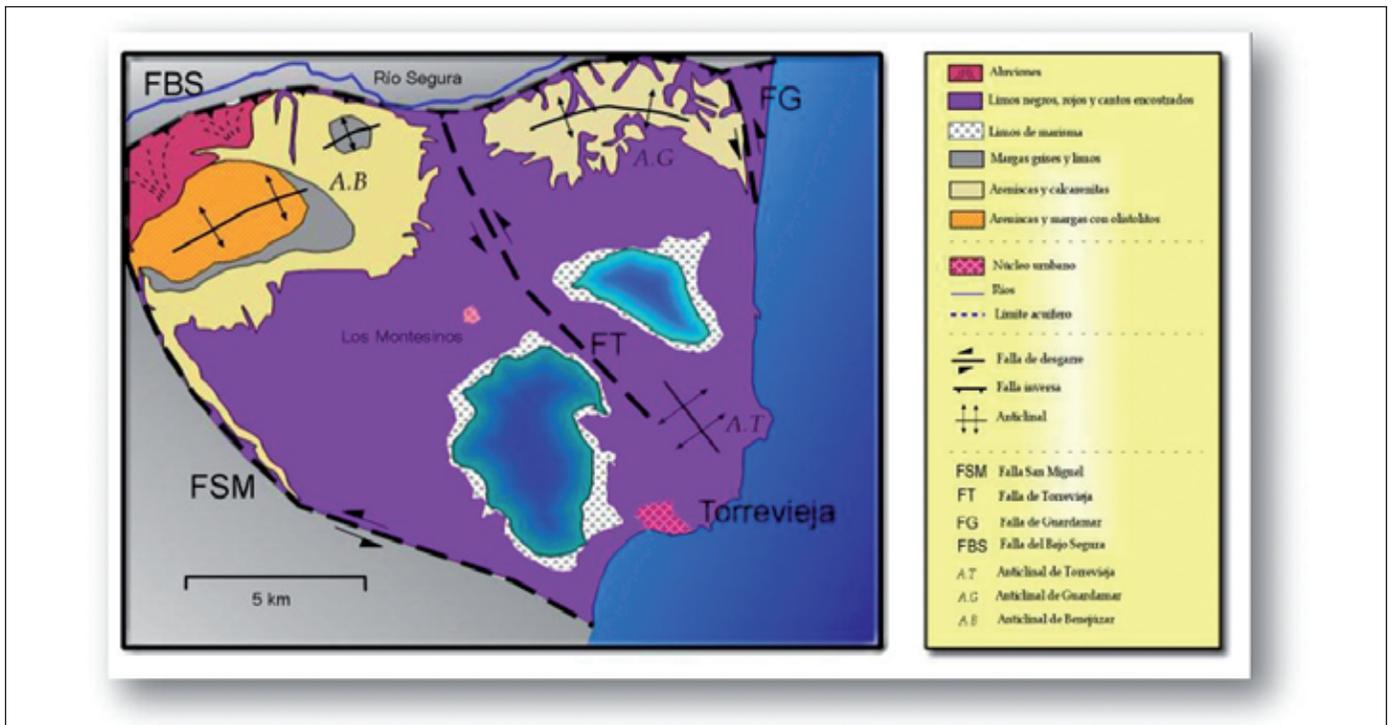


Figura 2. Esquema geológico de la cuenca de Torrevieja (Tabares, 2008)
 Figure 2. Torrevieja basin geomorphologic sketch. (Tabares 2008)

El acuífero de Torre Vieja está constituido fundamentalmente por niveles de areniscas y calcarenitas del plioceno, los cuales son materiales permeables que se corresponden con el acuífero principal del que se extrae el agua en la cuenca. Tiene una superficie de 167 km², y está limitado al norte y suroeste por los afloramientos impermeables de base (margas del Messiniense), salvo pequeños sectores donde está recubierto por materiales cuaternarios consistentes en limos negros, rojos, arcillas, caliche continental y cantos encostrados, materiales muy extendidos por el resto del acuífero y considerados como acuitardos (Almela *et al.*, 1978).

Hay que destacar que a causa de la trascendencia de la neotectónica en su geometría el espesor de los materiales permeables van perdiendo espesor hacia el sector suroriental de la cuenca, como se aprecia en la figura 4.

El sistema acuífero de Torre Vieja se comporta como un acuífero semiconfinado, de tal forma que los niveles permeables de areniscas y calcarenitas del Plioceno se ven recubiertas por limos negros, rojos, arcillas, caliche continental y cantos encostrados del Cuaternario que actúan como acuitardo. No obstante se puede apreciar que estos niveles de areniscas y

calcarenitas afloran en el sector noroccidental del área del acuífero (Figura 4). Este sector coincide con zonas elevadas por el anticlinal de Benejúzar y el de Guardamar, siendo su extensión de afloramiento en torno a 13 km² (Almela *et al.*, 1978). Dichos afloramientos permeables, constituyen las zonas de recarga superficial del acuífero de Torre Vieja (Figura 3)

Las zonas de recarga descritas anteriormente no serían las únicas entradas de agua al sistema ya que el acuitardo cuaternario, descrito con anterioridad, también almacena agua, pero la transmite con lentitud, hecho de interés por la recarga que produce en el acuífero. Parece existir además una intrusión procedente del mar hacia el acuífero, como se desprende de algunos trabajos anteriores (Martínez-Santos *et al.*, 2004; Mediavilla *et al.*, 2007).

Modelización tridimensional de la geometría del sistema

Para el análisis geométrico del acuífero Terciario de Torre Vieja se comenzó por recabar los datos citados en secciones anteriores. Este paso fue básico para tener una primera idea del comportamiento de flujo del acuífero y su compleja geometría, debido sobre

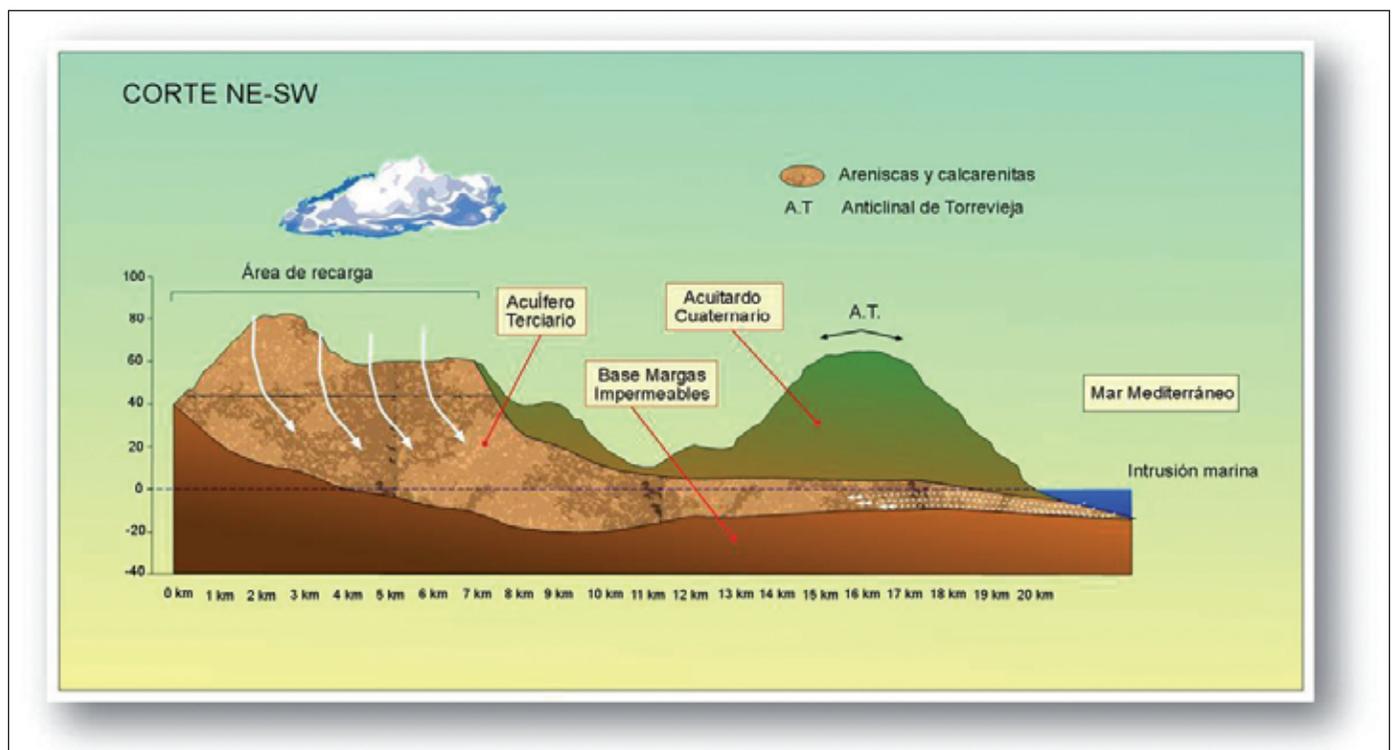


Figura 3. Corte Geológico NE-SO y esquema de flujo del acuífero de Torre Vieja. (Tabares, 2008)
Figure 3. NE-SW hydrogeological profile (Tabares 2008)

todo a una cierta dificultad para la correlación de tramos litológicos de unas columnas a otras, consecuencia de un modelo de sedimentación muy influenciado por el ambiente litoral en el que se desarrolló.

El siguiente paso, fue la elaboración de un inventario de puntos de agua, incluyendo la práctica totalidad de los pozos y sondeos de la zona. Esto fue posible gracias a la colaboración del IGME y a los trabajos realizados por este organismo para la Excm. Diputación Provincial de Alicante. Entre otras informaciones, dichos datos incluyen las fichas de puntos de control de los sondeos y pozos de la zona. Existen sin embargo algunas carencias en las mismas (muchas de las fichas carecían de columna litológica) por lo que finalmente se optó por seleccionar 12 sondeos con columna lito-estratigráfica completa. A efectos de este estudio dichos datos se correlacionan con los resultados obtenidos por Mediavilla *et al.* (2007).

A partir de estimaciones bidimensionales obtenidas mediante el programa SURFER (2002) de la topografía de techo y muro del acuífero, se procedió a realizar un modelo de interpolación 3D a partir de dichos datos, utilizando para ello el programa VOXLER (2007).

Se utilizaron también en esta fase los datos procedentes del MAGNA (Almela *et al.*, 1978; Martínez *et al.*, 1977) que nos señalan los límites del acuífero, así como las áreas de recarga y cotas topográficas, obteniéndose un total de 306 puntos para su interpolación tridimensional.

Cada uno de estos puntos de información requiere, para su procesamiento en VOXLER de sus coordenadas geográficas así como de su límite superior e inferior en cota, y un valor para su interpolación. Dado el carácter preliminar de este trabajo, dicho valor adquiere un carácter binario, siendo 1 para zonas permeable y 0 en áreas impermeables.

Así, para cada punto se discretiza metro a metro el carácter acuífero en profundidad, llegándose hasta una profundidad de 200 m. Esta profundidad, que excede a la del sistema, se adopta para evitar restricciones sobre la interpolación del límite inferior del sistema.

Los afloramientos impermeables que bordean al acuífero en superficie se toman como límite superficial y en profundidad del mismo, asignándose un valor impermeable para evitar la interpolación más allá del límite físico del sistema. Este proceso desemboca en una base de datos tridimensional de 22.519 puntos.

La interpolación tridimensional se realiza según el método de la inversa de la distancia, y permite generar un cuerpo geométrico tridimensional que representa la estructura del acuífero (Figura 5).

Con posterioridad a la obtención de la imagen tridimensional, se lleva a cabo un análisis geométrico que pretende dos objetivos, primero calcular la máxima superficie de acuífero en planta y segundo la realización de distintas estimaciones volumétricas en profundidad (Figura 6).

Para ello realizaron diversas secciones axiales, con

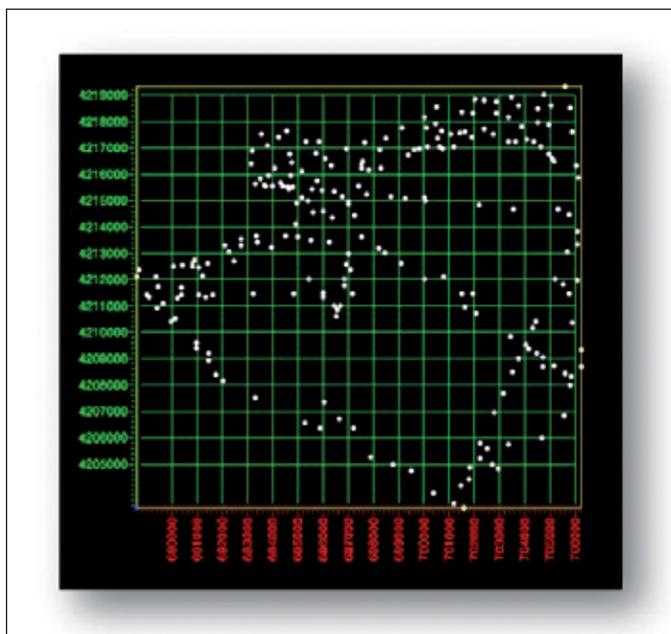


Figura 4. Puntos de datos en planta
Figure 4. Data points

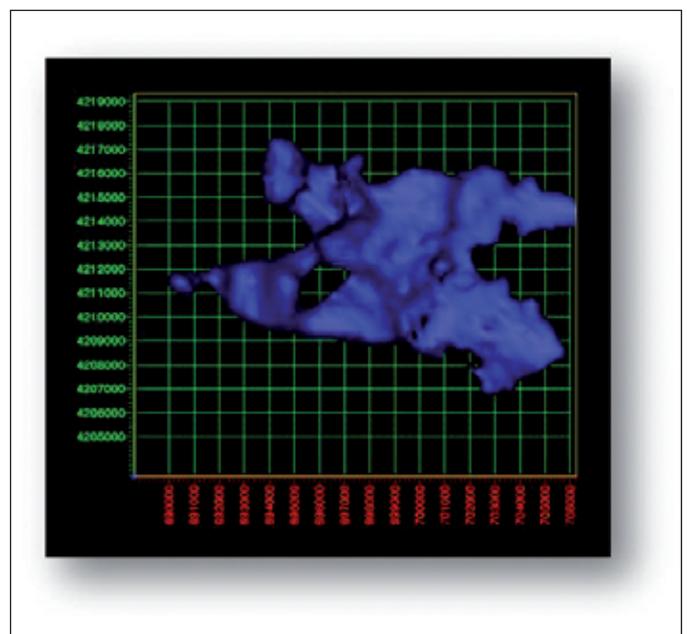


Figura 5. Vista en planta del contorno del acuífero
Figure 5. Base plan Aquifer outline

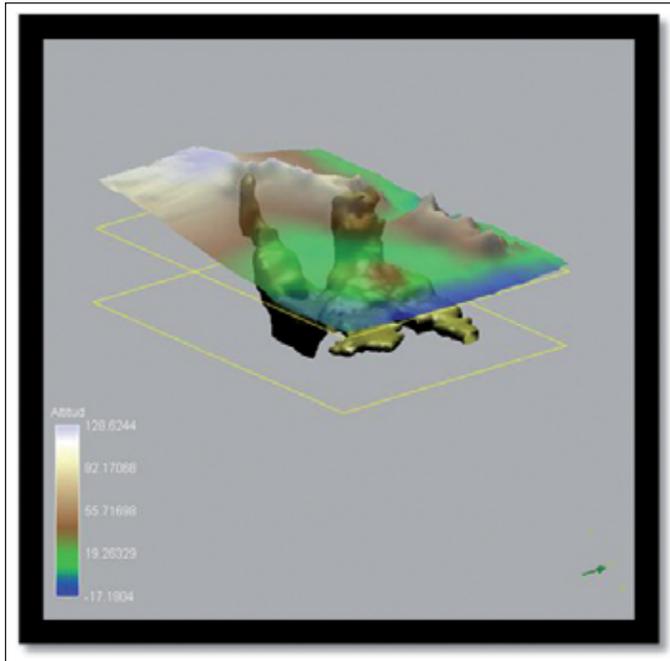


Figura 6. Imagen 3D del acuífero con la topografía (acuífero no a escala)

Figure 6. 3D visualization of the regional topography (No scaled aquifer)

un escalón de 10 m de cota desde la base del acuífero hasta la superficie, de diez en diez metros (Figura 7).

Cada una de estas superficies se georeferenciaron y se analizaron por separado en CARTALINX (1999). Dicho software permite digitalizar las distintas superficies mediante polígonos calculando así el área de cada una de las "rebanadas". A partir de las mismas, y considerando la diferencia de cota, se estimó el volumen.

Resultados

Como puede observarse a continuación, el modelo tridimensional constituye un avance para comprender la geometría y funcionamiento del acuífero. Asimismo sirve para poner de manifiesto que la extensión en profundidad del mismo podría ser sensiblemente inferior a las estimaciones existentes. Estos resultados pueden por tanto tener una incidencia sobre los recursos hídricos de la zona, puesto que el cálculo de sus reservas se ve mermado en un valor suficiente como para ser tenido en cuenta a efectos de explotación.

En la imagen (Figura 8) podemos ver que el área de recarga (afloramientos permeables) coincide en el

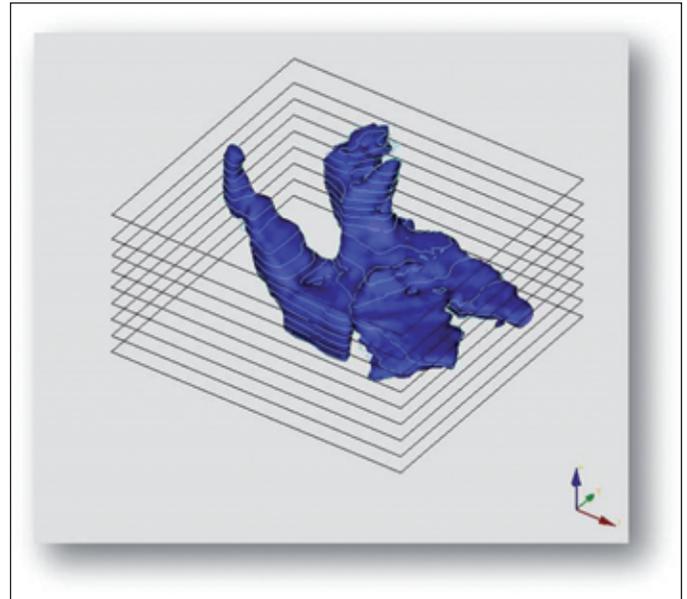


Figura 7. Cortes axiales del cuerpo del acuífero

Figure 7. Axial slices of the aquifer

extremo occidental con zonas de acuífero creado por el modelo.

Esta área generada por VOXLER está en función de los sondeos realizados, lo que significa que un mayor número de sondeos podría dar lugar a una nueva imagen.

A partir del modelo destaca también una franja al sur de la unidad en la cual no hay presencia de acuífero debido a la falta de información en esta zona que aconsejan nuevos sondeos de investigación. Actualmente en esta última área existe una ausencia de puntos de agua y una limitada existencia de cultivos en esa zona, que contrasta ampliamente con el resto de la unidad hidrogeológica.

Asimismo, el modelo permite observar dos zonas de conexión hidráulica directa con el Mediterráneo. La primera se encuentra situada entre el anticlinal de Guardamar y la laguna de La Mata, y la segunda a través del anticlinal de Torrevieja, siguiendo la dirección de la falla, entre las lagunas de La Mata y Torrevieja (Figura 4).

Desde un punto de vista cuantitativo, la figura 10 contiene las superficies obtenidas de cada uno de las secciones axiales. Podemos observar que las mayores superficies –y por tanto volúmenes– de acuífero se encuentran comprendidas entre las cotas de 10 y -20 m con respecto al nivel del mar, estando la superficie máxima en torno a la cota de -10 m (99.6 km²).

Igualmente se estimó el volumen de acuífero en 4.83 km³, de los cuales más del 50% (casi 3 km³) se encuentra comprendido entre las cotas 10 y -20 m.

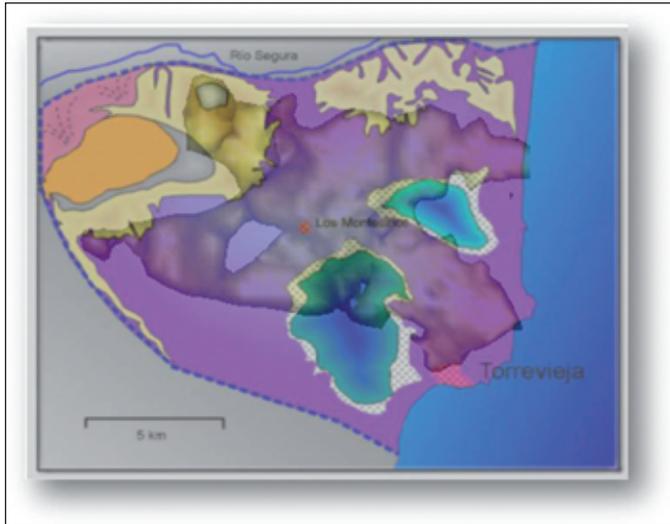


Figura 8. Mapa geológico con el cuerpo del acuífero superpuesto, nótese la diferencia en extensión con la unidad hidrogeológica 07.48, representada con línea punteada. (Tabares, 2008)
 Figure 8. Aquifer body in relation to surface geology. Note the difference between Hydrogeological Unit 07.48 (dotted line), and the modelled aquifer area. (Tabares, 2008)

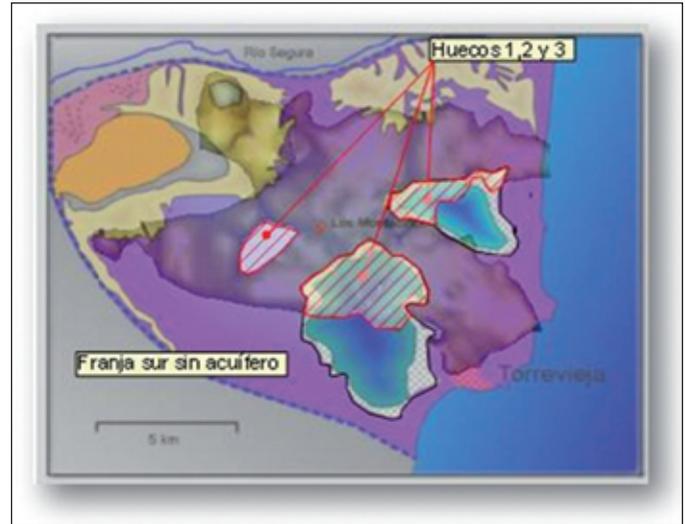


Figura 9. Mapa de áreas singulares sin acuífero
 Figure 9. Areas where the aquifer is absent

El área total en planta de todo el acuífero, incluido las zonas de recarga (13 km²) son de 112.6 km², lo que significa el 67% aproximadamente de toda la superficie de la unidad hidrogeológica 07.48 (Almela *et al.*, 1978).

Se ha obtenido un total de 3.5 km² de área impermeable como consecuencia de dos factores, primero al cálculo del hueco al OSO del pueblo de Montesinos (0.2 km² aprox.); y segundo tomando en consideración la baja permeabilidad del fondo de las salinas de Torrevieja y la Mata, que impiden la infiltración al acuitardo cuaternario.

La superficie de acuífero confinado bajo el cuaternario es de 99.6 Km². De estos, recargarían por el acuitardo 96 km². Se deduce, por tanto, que la superficie real de recarga, ya sea por recarga directa sobre el Terciario o por posible recarga a través de el acuitardo, es de 109 km². Por lo tanto, debido a estas zonas (hueco 1,2 y 3), la superficie de recarga se reduce un 3.2 % del total.

Por otra parte, no debería pasarse por alto la posible infiltración a través del acuitardo, ya que la extensión de éste supone el 57.7% de la unidad hidrogeológica 07.48 de Torrevieja.

Conclusiones

Mediante la aplicación de métodos de interpolación tridimensional se ha obtenido una representación

gráfica de la geometría del acuífero del Terciario de Torrevieja. Dicha representación permite observar en cierto detalle la morfología en del sistema en profundidad. Este estudio constituye posiblemente uno de los análisis más completos realizados en la zona de estudio hasta la fecha, al menos en lo que respecta al número de sondeos que se han tenido en cuenta en su elaboración.

El modelo pone de manifiesto que el mayor volumen de acuífero se encuentra comprendido entre las cotas 10 y -20 m con respecto al nivel del mar. El volumen total estimado es de unos 4.830 hm³.

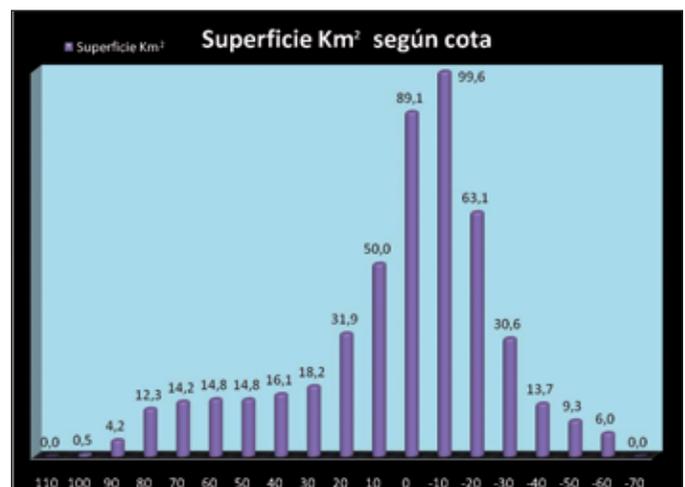


Figura 10. Superficie en km² de las secciones axiales del acuífero
 Figure 10. Surface of the axial slices (Km²)



Figura 11. Volumen estimado en %
Figure 11. Estimated aquifer volumen (%)

A falta de refinamientos y análisis geoestadísticos más detallados (que podrán ser objeto de estudio en fases posteriores), el modelo realizado apunta a que el acuífero podría tener una extensión sensiblemente inferior (del orden del 30%) a las estimaciones existentes. Se estima por tanto que los resultados obtenidos pueden revestir una cierta importancia práctica a efectos de planificación y gestión hidrológica.

Referencias

Almela, A., Quintero, I., Gómez, E., Mansilla, H., Cabañas, I., Uralde, M.A., Martínez, C. y Martínez del Olmo, W. 1978. *Mapa geológico de España E. 1:50000. Hoja 914 (Guardamar del Segura)*. Ministerio de Industria, Madrid, 18 pp.

García Aróstegui J.L., Aragón Rueda R. y Homero Díaz J. 2003. Situación de los acuíferos costeros de Cabo Roig y Torrevieja (Alicante) en relación con la explotación intensiva de sus recursos hídricos. In: *Coastal Aquifers intrusion technology: Mediterranean countries*. Proceedings of the 2003 TIAC Congress. IGME, Madrid.

Hornero, J., Ramos, G., Viñuales, R., Rodes, J.J. y

Rodríguez, L. 2003. Procedimientos de control para evaluar el impacto de las extracciones de recursos subterráneos salobres en acuíferos salinizados de la zona sur de la provincia de Alicante. In: *Coastal Aquifers intrusion technology: Mediterranean countries*. Proceedings of the 2003 TIAC Congress. IGME, Madrid.

Martínez, W., Núñez, A. y Colodrón, I. 1977. *Mapa Geológico de España E. 1:50000. Hoja 935 (Torrevieja)*. Ministerio de Industria, Madrid, 19 pp.

Martínez-Santos, P., Martínez Alfaro, P.E., Santiesteban, J.I. Mediavilla, R., Murillo, J.M., Homero, J. y Aragón, R. 2004. Assessment of seawater intrusion by means of a variable density model (Torrevieja aquifer, Spain). *Proceedings 18th Saltwater Intrusion Meeting, Cartagena (España)*.

Mediavilla R., Murillo J.M. y Santisteban J.I. 2007. La estratigrafía en la modelación matemática de los acuíferos: El caso del embalse subterráneo de Torrevieja (Alicante). *Boletín Geológico y Minero*, 118, nº especial, 709-724

Montenat, C. 1990. Les bassins néogènes du domaine bétique oriental (Espagne). Tectonique et sédimentation dans un couloir de décrochement. Première partie: étude régionale. *Documents et Travaux, Institut Geologique Albert-de-Lapparent*, 12-13, 1-392.

Montenat, Ch. y Ott D'Estevou, P. 1996. Late Neogene basins evolving in the Eastern Betic transcurrent fault zone: an illustrated review. In: Friend, P.F. y Dabrio, C.J. (eds.), *World and Regional Geology*, 6. Cambridge University Press, 372-386.

Montenat, C., Ott d'Estevou, P. y Coppier, G. 1990. Les bassins néogènes entre Alicante et Cartagena. *Documents et Travaux, Institut Geologique Albert-de-Lapparent*, 12-13, 313-368.

Santiesteban, J.I, Mediavilla, R., Martínez Santos, P., Castaño, S., Martínez Alfaro P.E., Murillo, J.M., López Geta, J.A. y Rodríguez, L. 2004. Nuevos datos sobre la estratigrafía de subsuelo del acuífero de Torrevieja (Alicante): implicaciones en el modelo conceptual de funcionamiento. *Hidrología y Recursos Hidráulicos*, 27, 215-223.

Soria, J.M., Caracuel, J.E., Corbí, H., Dinarès-Turell, J., Lancis, C., Tent-Manclús, J.E., Viseras, C. y Yébenes, A. 2008. The Messinian-early Pliocene stratigraphic record in the southern Bajo Segura Basin (Betic Cordillera, Spain): Implications for the Mediterranean salinity crisis. *Sedimentary geology*, 203, 267-288.

Tabares, P. 2008. *Modelización 3D del acuífero Terciario de Torrevieja. Geometría del acuífero*. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid.

Recibido: abril 2009
Revisado: junio 2009
Aceptado: julio 2009
Publicado: julio 2009