CARACTERIZACIÓN DE LA RECARGA EN UN EPISODIO DE PRECIPITACIÓN EXCEPCIONAL E IMPLICACIONES SOBRE UN LAGOON COSTERO ASOCIADO (CAMPO DE CARTAGENA-MAR MENOR, SE ESPAÑA)

J.L. García-Aróstegui
Instituto Geológico y Minero de España. j.arostegui@igme.es
Departamento de Ecología e Hidrología. Universidad de Murcia

P. Baudron
Polytechnique Montréal (Canada) paul.baudron@polymtl.ca

D. Taddei
Departamento de Ecología e Hidrología. Universidad de Murcia. danieletaddei@hotmail.it

P. Fernández-Molina
Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. pedro.fernandez5@carm.es

C. Leduc
Institut de Recherche pour le Développment (Francia) christian.leduc@ird.fr

F. Gomariz-Castillo
Departamento de Ecología e Hidrología. Universidad de Murcia

I. Blondet
Polytechnique Montréal (Canada) isalyne.blondet@polymtl.ca

Abstract: Evaluating groundwater recharge is crucial to assess available water resources, to establish environmental flows when aquifers are connected to surface water or wetlands, and to anticipate fresh/saline water interface dynamics. In intensively irrigated areas, where close to field capacity conditions are maintained, rainfall events usually fully turn into recharge. Separating the respective contribution of recharge from rainfall and irrigation return flow is therefore a hard task. Nonetheless, exceptional storms provide unique opportunities to better constrain the instantaneous response of aquifers and provide valuable data that would have been hardly obtained elsehow. In December 2016, an extraordinary storm with up to 286 mm of rainfall in 60 hours induced severe flooding in certain areas of Campo de Cartagena. Exceptional groundwater recharge was traduced into increased submarine groundwater discharge and locally by saline extrusion to the coastal Mar Menor lagoon, itself in a critical state due to eutrophication processes. Potentiometric measurements realized before and after the storm, together with data from lysimeters and automatic sensors for water head, EC and temperature provide interesting inputs on the functioning of the aquifer and its impact on the Mar Menor lagoon.

Key words: coastal aquifers, exceptional storm, Campo de Cartagena, Mar Menor lagoon

1. Introducción

La evaluación de recarga de acuíferos es crucial para determinar la disponibilidad de recursos hídricos y el establecimiento de los caudales ambientales aspecto de especial relevancia en sistemas en los que existen relaciones con los cauces superficiales, con zonas húmedas, y/o relaciones agua dulce/salada. En zonas de agricultura intensiva, en las que el suelo mantiene condiciones de humedad cercanas a la capacidad de campo, los eventos de precipitación de cierta importancia suelen traducirse en recarga por lo que es difícil desagregar la recarga natural procedente de la infiltración de la precipitación de la procedente de los retornos de riegos. En estos casos, la casuística es muy diversa y la variabilidad espacial influye de forma significativa, especialmente cuando se trata de zonas de cultivos hortícolas con diferentes dotaciones y sistemas de riego. En

climas áridos y semiáridos, no es esperable que la precipitación ligera y moderada contribuya a la recarga del agua subterránea debido a las mayores tasas de evapotranspiración. A nivel general, las tendencias de variabilidad climática (variables hidrometeorológicas) y los cambios de uso del suelo y cobertura vegetal son los que tienen un mayor efecto en la recarga del acuífero a largo plazo.

Los eventos excepcionales de precipitación concentrada en el tiempo (varios días), suponen una excelente oportunidad para conocer la respuesta instantánea del acuífero, proporcionan información del acuífero difícil de obtener por otros métodos, y a menudo revelan aspectos del comportamiento hidrológico que o bien fueron inesperados en base a respuestas más pequeñas o destacan el comportamiento anticipado pero previamente no observado.

En el presente trabajo se ha caracterizado el extraordinario evento de diciembre de 2016 en el acuífero del Campo de Cartagena (SE España) en el que se llegaron a registrar precipitaciones de hasta 286 mm en unas 60 horas, que provocaron fuertes inundaciones en las zonas de concentración de la escorrentía superficial y una excepcional recarga del acuífero. Para la caracterización de este fenómeno se han utilizado observaciones de campañas piezométricas previas y posteriores cercanas al evento, y el seguimiento de lisímetros y sondas de registro de niveles, conductividad y temperatura del acuífero. Los datos disponibles han permitido inferir interesantes patrones de funcionamiento del acuífero y su impacto potencial sobre el Mar Menor.

2. Area de estudio

El acuífero del Campo de Cartagena (Demarcación Hidrográfica del Segura, SE España), es un caso paradigmático de sistema antropizado, cuyo ciclo hidrológico y ecosistemas se encuentran sometidos a una alta presión. Representa uno de los sistemas acuíferos más importantes en cuanto a productividad de las aguas, y más interesantes desde el punto de vista científico y técnico por la diversidad de circunstancias que confluyen. Los aspectos agronómicos, las interrelaciones con la laguna costera del Mar Menor y las implicaciones ambientales proporcionan un interés adicional y una trascendencia socioeconómica de primer orden, que implica necesariamente la mejora del conocimiento de los procesos para poder mitigar los impactos negativos.

En el Campo de Cartagena, tradicionalmente se han definido cuatro acuíferos separados en la vertical, por niveles de baja permeabilidad, que desde la superficie hacia el muro son los siguientes (Fig. 1): 1) Acuífero Cuaternario, compuesto por gravas, arenas y arcillas, con relativa alta heterogeneidad de parámetros hidráulicos; 2) Acuífero Plioceno, compuesto por calcarenitas bioclásticas y conglomerados; 3) Acuífero Messiniense –también llamado Andaluciense-, compuesto por calcarenitas, conglomerados y calizas; y 4) Acuífero Tortoniense, compuesto por conglomerados y areniscas ("La Naveta" según Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura). Por lo tanto, el esquema hidrogeológico puede sintetizarse como un sistema multicapa (aunque no todos los acuíferos están presentes a lo largo de toda la extensión superficial del Campo de Cartagena) constituido por un acuífero superficial libre de edad Cuaternario y tres acuíferos profundos fundamentalmente confinados (de edad Plioceno, Messiniense y Tortoniense). Por último, se define un quinto material de características acuíferas formado por rocas carbonatadas de edad Pérmico-Triásico, que aflora en la parte central del acuífero (Cabezo Gordo), y tiene un umbral hacia el noroeste (Sucina; Fig. 1C), y que, en determinados sectores estaría en conexión con el acuífero Messiniense (García Aróstegui *et al.*, 2012).

De acuerdo con la información disponible, el único acuífero que presenta conexión hidráulica directa con el Mar Menor es el Cuaternario, si bien en determinados sectores, fundamentalmente en el sur, presenta conexión con el acuífero Plioceno (Baudron *et al.*, 2015; García Aróstegui *et al.*, 2016). El acuífero Cuaternario está contaminado por nitratos debido al retorno de riego, lo que junto a la gran densidad de pozos abandonados que atraviesan varios acuíferos y/o mal construidos que comunican los acuíferos, hace que se produzca un impacto importante facilitando el flujo de agua subterránea y el transporte de contaminantes hacia los acuíferos confinados profundos sometidos a mayor explotación por bombeo (Baudron *et al.*, 2014; Jiménez-Martínez *et al.*, 2016). No obstante, la evaluación cuantitativa de los flujos hacia los acuíferos profundos

es aun objeto de estudio y las cifras disponibles presentan alta incertidumbre. Por otro lado, la necesidad de disponer de agua en periodos de sequía, ha supuesto la proliferación de pequeñas plantas desaladoras privadas de aguas subterráneas salobres, cuya salmueras de rechazo suelen ser vertidas a salmueroductos de mantenimiento incierto, o de forma incontrolada se inyectan al propio acuífero, con el consiguiente impacto ambiental que ello supone a medio y largo plazo. Estos aspectos son de gran transcendencia ambiental y socioeconómica, especialmente por las relaciones hidráulicas existentes con el Mar Menor que sufre un grave problema de eutrofización.

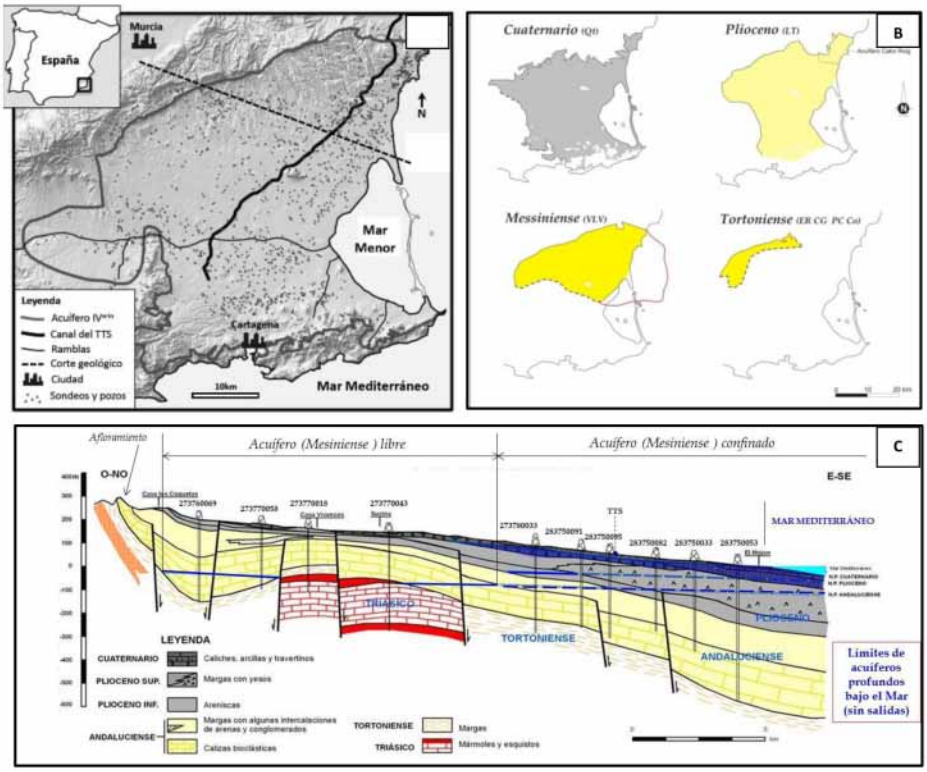

Figura 1. A) Localización y límite de la Masa de Agua Subterránea del Campo de Cartagena (García-Aróstegui *et al.*, 2016). B) Extensión y límites propuestos para los acuíferos (unidades hidroestratigráficas) de cobertera (modificado de García-Aróstegui *et al.*, 2012) Nota: Línea de trazos: límite desconocido y cambio lateral de facies. Línea roja: prolongación estimada bajo el mar. El acuífero Cuaternario también está presente bajo el Mar Menor. C) Corte hidrogeológico esquemático del Campo de Cartagena en la zona norte (modificado de García-Aróstegui et al, 2012). Nota: Se indica la zona saturada (por debajo del nivel piezométrico), y no saturada de los acuíferos Plioceno y Messiniense

3. Resultados

El extraordinario evento de precipitación que se produjo entre los días 17 a 19 de diciembre de 2016 (hasta 286 mm en unas 60 horas), provocó fuertes inundaciones y daños la zona litoral del Mar Menor. En la figura 2A se muestra la localización de las estaciones meteorológicas del Sistema de Información Agrario de Murcia. Los valores mínimos de precipitación se observaron al Oeste con 118 mm en la estación CA52, y al Sur con 142 mm en la estación CA73, y los mayores se registraron en las estaciones TP22 y TP42 con más de 270 mm.

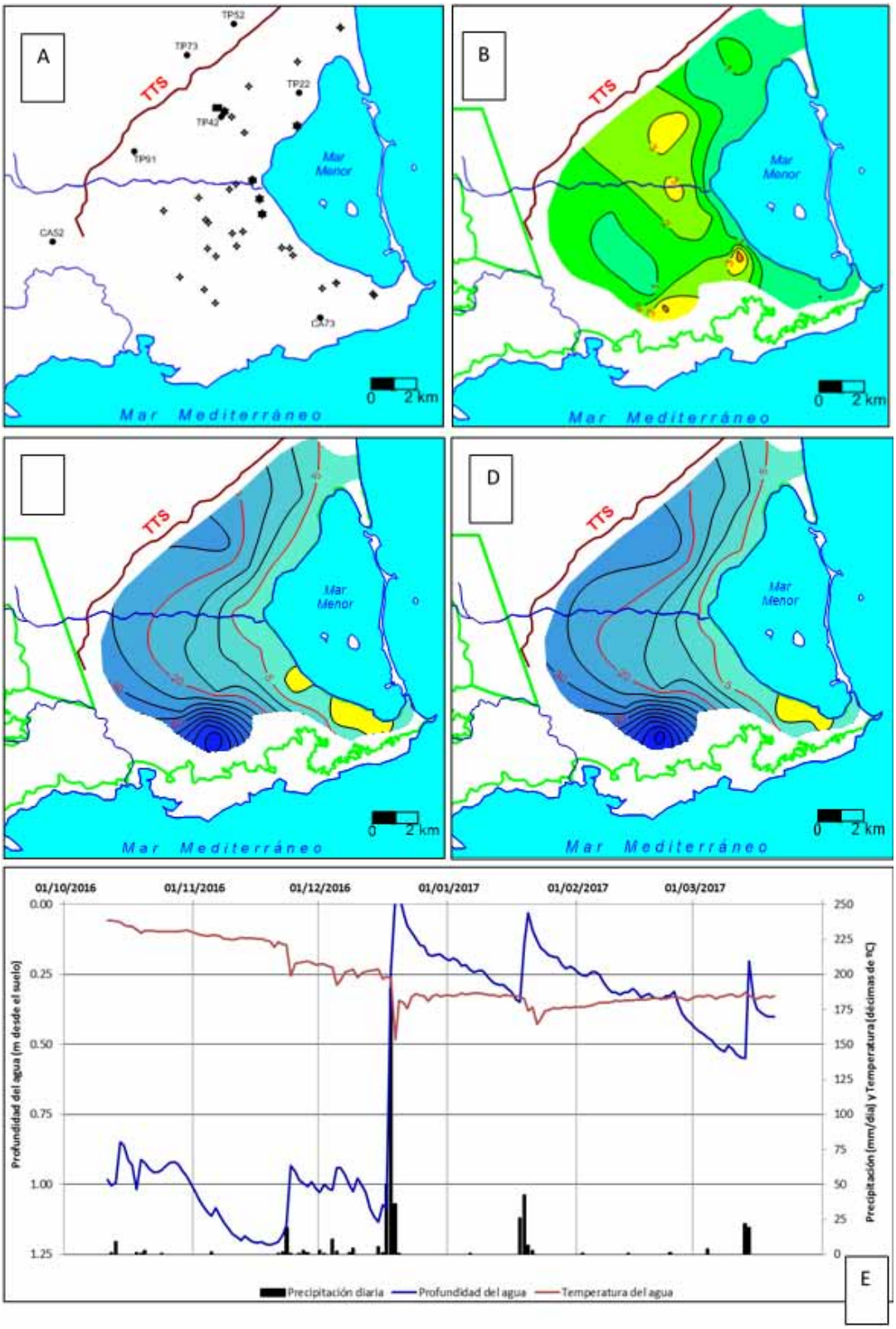

Figura 2. A) Localización de estaciones climatológicas (puntos con etiquetas), sondeos, lisímetros (rectángulo) y data logger (estrella). B) Variación de niveles piezométricos (subida en metros). C) Isopiezas del 7-12/Dic/2016. D) Isopiezas de 28-29/Dic/2016. E) Evolución temporal de la profundidad del agua, temperatura y precipitaciones diarias (Punto al norte junto al Mar Menor)

En el aspecto hidrogeológico, unos 10 días antes del evento se había realizado una campaña piezométrica en el acuífero Cuaternario (Fig. 2C) que fue repetida unos 10 días después del evento (figura 2D), con objeto de estimar la repercusión en el acuífero de dichas precipitaciones. El esquema general del flujo subterráneo refleja un eje principal de drenaje no coincidente con el principal cauce de superficie sino desplazado al Sur.

La interpretación preliminar, tanto de este evento hidrológico del 17-19 de diciembre de 2016, y en menor medida tras otro evento posterior (días 18-20 de enero de 2017), indican que los niveles piezométricos del acuífero han subido entre 1 y 3 m en la zona situada al este del canal del Trasvase, con una importante recarga del acuífero. Las isopiezas y las observaciones directas indican que en el tramo final del principal cauce de la cuenca vertiente (rambla del Albujón) se ha producido descarga del acuífero al cauce manteniendo de esta manera los caudales de base en la desembocadura. Esta descarga al cauce se ha ido reduciendo en los meses posteriores a medida que han bajado los niveles piezométricos como respuesta natural y por la puesta en funcionamiento de captaciones de bombeo.

Adicionalmente, se han tenido en cuenta los valores proporcionados por 8 lisímetros cuya ubicación queda junto a la estación meteorológica que ha registrado el valor más alto (TP42). Sobre un total de 293 mm (suma de los días 15 a 19 de diciembre de 2016), la infiltración ha sido de 109 mm lo que supone una tasa de infiltración del 37%. El piezómetro cercano registró una subida de 3,08 m por lo que si se considera que ésta se debe a una recarga de 109 mm, la porosidad eficaz resultante sería del 3,5%.

Las sondas automáticas situadas en la zona norte del sector litoral del acuífero a unos 230 m del borde costero (figura 2A), registraron una subida del nivel de 1,13 m como consecuencia del evento de diciembre de 2016, y llegaron a mostrar surgencia de agua (figura 2E). La interpolación realizada de la precipitación en el área de estudio proporcionó un valor de 270 mm, por lo que si se asume la misma tasa de infiltración calculada con los lisímetros (37%), la porosidad eficaz resultante sería del 9%. Como es de esperar, las respuestas del acuífero no son uniformes, destacándose entre otras, importantes subidas del nivel cercanas al tramo final de la Rambla del Albujón como marcas de la recarga inducida por la puesta en carga de este cauce emblemático del aspecto visible de las problemáticas ambientales de la zona.

La repercusión sobre el Mar Menor es de incremento de la descarga subterránea tal y como se muestra en las zonas cercanas al Mar Menor, donde la isopieza de 5 metros se acerca de forma generalizada varias centenas de metros hacía la costa en las dos semanas posteriores al evento. Se observan también patrones locales muy llamativos como la mayor subida registrada en la zona sur del frente costero, donde se invirtió la tendencia de niveles piezométricos negativos a positivos de tal manera que se produjo un fenómeno de extrusión marina (zonas amarillas en figuras 2C y 2D). Esta tendencia se ha mantenido en las campañas piezométricas posteriores realizadas a finales de enero y marzo de 2017.

4. Conclusiones

Los eventos excepcionales de precipitación pueden emplearse para conocer la respuesta instantánea del acuífero e inferir propiedades que pueden ser muy costosas de estimar por otros métodos. Sin embargo, resulta obvio que se requiere tener monitorizado el acuífero de forma adecuada en los momentos en que se producen que lógicamente no pueden anticiparse con mucho tiempo, a veces sólo con varios días de antelación.

En determinadas zonas, esta excepcional recarga del acuífero se ha traducido en extrusión marina y fuerte incremento de la descarga al lagoon costero del Mar Menor en estado crítico por fenómenos de eutrofización. Mediante campañas piezométricas previas y posteriores cercanas al evento, y el seguimiento de lisímetros y sondas de registro de niveles, conductividad y temperatura del acuífero se ha podido obtener interesantes patrones de funcionamiento del acuífero e inferir su previsible impacto sobre el Mar Menor que está siendo objeto de modelización superficial-subterránea acoplada.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido parcialmente financiada con fondos del IGME y Polytechnique Montreal, Proyecto GESINH-IMPADAPT (CGL2013-48424-C2-2-R), programa de investigación de UCAM (PMAFI-06-14), y Gobierno de la Región de Murcia (CARM).

Referencias

Baudron, P., Barbecot, F., García-Aróstegui, J.L., Leduc, C., Travi, Y., Martínez-Vicente, D. 2014. Impacts of human activities on recharge in a multilayered semiarid aquifer, Campo de Cartagena, SE Spain). Hydrological Processes, 28, 2223-2236. http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9771

Baudron, P., Cockenpot, S., Castejón, F.L., Radakovitch, O., Gilabert, J., Mayer, A., García-Aróstegui, J.L., Martinez-Vicente, D., Leduc, C., Claude, C. 2015. Combining radon, short-lived radium isotopes and hydrodynamic modeling to assess submarine groundwater discharge from an anthropized semiarid watershed to a Mediterranean lagoon (Mar Menor, SE Spain). Journal of Hydrology, 525, 55-71. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.015

García-Aróstegui, J.L., Jiménez-Martínez, J., Baudron, P., Martínez-Vicente, D., Senent, M., Guerra, J. 2012. Geometría del acuífero del Campo de Cartagena e implicaciones en el funcionamiento hidrogeológico. En: Nuevas aportaciones al conocimiento de los acuíferos costeros. Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 29: Madrid, España. Instituto Geológico y Minero de España, p. 439-450.

García-Aróstegui, J.L., Jiménez-Martínez, J.; Baudron, P.; Hunink, J.; Contreras, S.; Candela, L. 2016. Las aguas subterráneas en el Campo de Cartagena-Mar Menor. En: León, V.M y Bellido J.M. Mar Menor: una laguna singular y sensible. Evaluación científica de su estado. Madrid, Instituto Español de Oceanografía, Ministerio de Economía y Competitividad. 414 p. Temas de Oceanografía, 9. ISBN 978-84-95877-55-0.

Jiménez-Martínez, J., García-Aróstegui, J.L., Hunink, J., Contreras, S., Baudron, P. and Candela, L. (2016). The role of groundwater in highly human-modified hydrosystems: A review of impacts and mitigation options in the Campo de Cartagena-Mar Menor coastal plain (SE Spain). Environmental Reviews, 24(4), 377-392. http://dx.doi.org/10.1139/er-2015-0089

International Association of Hydrogeologists
Spanish Chapter

Proceedings

Congress on Groundwater and Global Change in the Western Mediterranean
Granada 2017

Impacts of Global Change on Western Mediterranean Aquifers

eug

UNIVERSIDAD DE GRANADA

María Luisa Calvache,
Carlos Duque, David Pulido-Velázquez (eds.)

María Luisa Calvache
Carlos Duque
David Pulido-Velazquez
(eds.)

IMPACTS OF GLOBAL CHANGE ON WESTERN MEDITERRANEAN AQUIFERS

Oral and posters presentations submitted to the International Congress on Groundwater and Global Change in the Western Mediterranean

Granada, 6-9 November 2017

Granada, 2017

Sponsors:

Ayuntamiento de Granada

© EDITORS:
MARÍA LUISA CALVACHE
CARLOS DUQUE
DAVID PULIDO-VELAZQUEZ
© 2017 International Association of Hydrogeologists-Spanish Chapter and
Digital Edition, November 2017: www.aih-ge.org
ISBN: 978-84-338-6152-8
© UNIVERSIDAD DE GRANADA
Campus Universitario de Cartuja
Colegio Máximo, s.n., 18071, Granada
Telf.: 958 243930-246220
Web: editorial.ugr.es
Edita: Editorial Universidad de Granada
Campus Universitario de Cartuja. Granada
Fotocomposición: María José García Sanchis. Granada

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.