

ÁREA TEMÁTICA: **R4 La reutilización de las aguas en la recarga de acuíferos**

**ANÁLISIS DE ZONAS FAVORABLES PARA LA RECARGA CON AGUA RESIDUAL
REGENERADA MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA**

Albert Casas ^{1,3}, Yael Díaz-Acha ^{1,3}, Mahjoub Himi ^{1,3}, Xavier Font ^{1,3}, Josefina-Carlora Tapias ^{2,3}

- (1) Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Universidad de Barcelona, 08028-Barcelona e-mail: albert.casas@ub.edu
- (2) Laboratorio de Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona, 08028-Barcelona
- (3) Instituto del Agua. Grupo de Geología Económica y Ambiental e Hidrología. Universidad de Barcelona

RESUMEN

La recarga artificial de acuíferos con agua residual regenerada puede considerarse una eficaz alternativa de gestión de los recursos de agua en situaciones de déficit hídrico, como la que padecemos de forma prolongada nuestro litoral mediterráneo. Hasta la fecha se han realizado en nuestro país escasos proyectos de recarga mediante infiltración indirecta a partir de balsas desde la superficie del terreno o bien por inyección directa a través de pozos, pero es seguro un aumento de la demanda y la necesidad de mejorar la técnica en el próximo futuro.

Sea cual sea el sistema de recarga aplicado es muy importante caracterizar las variaciones laterales y en profundidad de las propiedades hidrogeológicas tanto de la zona saturada como de la no saturada. Sin embargo, esta caracterización no puede hacerse únicamente a partir de ensayos en sondeos, ya que la información que estos proporcionan es puntual y no siempre fiable su extrapolación a las zonas próximas. Por el contrario, los modernos métodos de prospección geofísica, como la tomografía eléctrica, permiten obtener la distribución de las propiedades eléctricas del subsuelo con una elevada resolución, y posteriormente interpretar los resultados obtenidos en términos de variación de las propiedades hidráulicas del terreno.

INTRODUCCIÓN

Cada vez es más evidente la necesidad de aprovechar al máximo los recursos hídricos disponibles en las regiones que están afectadas por largos ciclos de sequía, como ocurre en muchas regiones de España, y particularmente en toda la cuenca Mediterránea (Iglesias y Ortega, 2008). Una de las posibles soluciones al problema es la recarga de acuíferos con agua residual tratada. El agua residual de origen urbano, después de ser sometida a tratamientos de depuración en las estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR), con la correspondiente reducción de los sólidos en suspensión y la adecuada desinfección mediante tratamiento terciario, constituye un recurso hídrico a tener en cuenta que ha demostrado ampliamente su utilidad en la recarga de los acuíferos como se viene desarrollado desde hace varios años de forma pionera en California (Crock et al, 1990).

La recarga de acuíferos requiere criterios de calidad rigurosos para el agua regenerada que se desee infiltrar (Asano y Corrujo, 2004). En España, el Real Decreto 1620/2007 (BOE, 2007), de 7 de diciembre establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Recientemente se han planteado numerosas iniciativas de recarga con agua residual tratada, como la barrera hidráulica para frenar la intrusión salina en el delta del Llobregat (Cazurra, 2006).

OBJETIVOS

El suelo puede considerarse como un reactor biológico de gran superficie específica, en el que se desarrollan los microorganismos responsables de la oxidación de los materiales contaminantes disueltos todavía presentes en el agua residual; así como procesos de desinfección, filtración, adsorción, etc. Uno de los principales problemas en la planificación de un sistema de recarga artificial es conocer la estructura y composición de la zona de infiltración, transmisión y almacenamiento del agua de recarga.

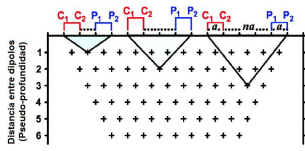
La conductividad hidráulica es un parámetro esencial para la gestión de cualquier proyecto de recarga. La determinación de la conductividad hidráulica de la zona no saturada es más compleja, ya que los ensayos de infiltración realizados desde la superficie del terreno están afectados de forma particular la compactación de la capa superior, mientras que los ensayos con permeámetro en testigos de sondeo son generalmente poco representativos, a parte de su carácter puntual, por la dificultad de obtener muestras no alteradas.

La evaluación de la conductividad hidráulica mediante métodos geofísicos uchos autores desde hace muchos años y recientemente este interés se ha acelerado con el desarrollo de una nueva rama que se conoce con el nombre de hidrogeofísica (Slater, 2007).

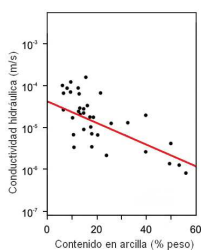
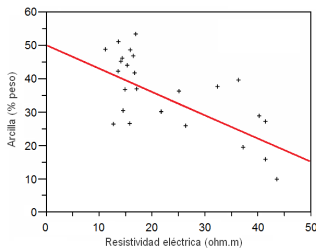
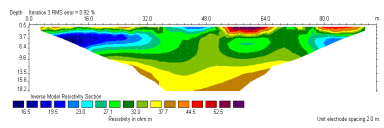
DISPOSITIVO DE MEDIDA



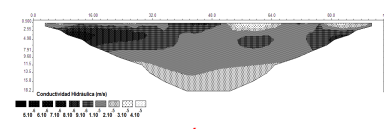
PUNTOS DE ATRIBUCIÓN



SECCIÓN DE RESISTIVIDADES ELÉCTRICAS INVERTIDAS



SECCIÓN DE CONDUCTIVIDADES HIDRÁULICAS



ESTIMACIÓN INDIRECTA

RESULTADOS

El ensayo de correlación se ha efectuado a partir de un perfil de tomografía eléctrica registrado en el Alt Empordà (Girona). El perfil se adquirió con un equipo Syscal Junio de 48 canales y una separación entre los electrodos de medida de dos metros. La longitud total del perfil es de 94 metros y la profundidad de investigación alcanza 18 metros con el dispositivo electrónico Wenner Schlumberger utilizado. En la figura 1 se muestra la sección de resistividades obtenida a partir de la inversión de los valores de resistividad aparente medidos experimentalmente. El ajuste del proceso es excelente, con un error de 1.04% después de 5 iteraciones.

El programa utilizado para la inversión de los datos y convertir las pseudosecciones de resistividad aparente en secciones de profundidad y resistividad reales ha sido el RES2DINV (Loke, 2002). El programa determina de forma automática un modelo bidimensional de resistividades reales del subsuelo a partir de un conjunto de datos que constituyen una pseudosección de resistividades aparentes. El modelo bidimensional utilizado por el programa consiste en un conjunto de bloques rectangulares, la situación de los cuales se corresponde con la distribución de los puntos de medida en la pseudosección. Para realizar el cálculo de los valores de resistividad se utiliza una subrutina de modelización directa, así como una técnica de optimización no lineal de mínimos cuadrados para la rutina de inversión. Durante el proceso de inversión se adopta como criterio de convergencia el valor del error cuadrático medio (RMS) entre los datos experimentales y la respuesta del modelo actualizado en cada iteración.

DISCUSIÓN

La conversión de los valores de resistividad eléctrica a sus equivalentes de conductividad hidráulica se ha llevado a cabo a partir del análisis de 25 muestras obtenidas a intervalos de 0.5 metros procedentes de un sondeo mecánico situado a la altura del electrodo 32 del perfil de tomografía eléctrica. Para cada una de las muestras de suelo se determinó su contenido en arcilla y se estimó el correspondiente valor de resistividad eléctrica a dicha profundidad. Como era previsible, la correlación entre los valores de resistividad eléctrica y de contenido en arcilla muestra una tendencia quejuda, de forma que los tramos más arcillosos presentan los valores más bajos de resistividad eléctrica, mientras que contrariamente a menor contenido en arcilla mayor es la resistividad eléctrica.

A partir de su contenido en arcilla diversos autores han formulado diferentes relaciones para estimar la conductividad hidráulica de suelos y sedimentos no consolidados. En nuestro caso hemos tomado la relación propuesta por Scheffer y Schachtschabel (1984). A partir de los resultados de la tomografía eléctrica y tomando en consideración las relaciones entre variables puede inferirse que la conductividad hidráulica de las formaciones que constituyen el subsuelo tiene un rango de variación entre 10⁻⁴ y 10⁻⁶ m/s. Además, se puede identificar perfectamente la presencia de un nivel menos permeable al inicio del perfil, mientras que la zona central es la más permeable. Son necesarios por tanto más ensayos utilizando de forma combinada otros métodos geofísicos, en particular la polarización inducida, para evaluar de forma más precisa la conductividad hidráulica como han propuesto Hördt et al (2007).

CONCLUSIONES

La tomografía eléctrica es una excelente técnica para caracterizar la distribución de las propiedades eléctricas del subsuelo y puede aplicarse con un buen grado de aproximación para determinar la distribución de la conductividad hidráulica del subsuelo en los proyectos de recarga de acuíferos. De este modo se pueden seleccionar con mayor seguridad las zonas más favorables donde efectuar la infiltración en el terreno. También puede utilizarse para complementar la información proporcionada por los ensayos hidrogeológicos clásicos, necesaria para predecir la capacidad de infiltración del terreno y la dinámica del flujo de recarga en el sistema.

Agradecimientos: El presente estudio se ha realizado en el marco de los proyectos "Tratamiento y Reutilización de aguas residuales para una gestión sostenible (TRAGUA)" del programa CONSOLIDER y del proyecto "Aplicación de la tomografía eléctrica para delimitar la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos y mejorar la protección de la calidad de las aguas subterráneas en zonas sensibles" (CGL2006-09697) ambos financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

REFERENCIAS

Asano, T. y Corrujo, J. (2004). Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations. *Water Research*, 38, 1961-1970.

Casas, A. (2002). Water Reuse of South Barcelona's wastewater treatment plant. *Desalination*, 216, 43-51.

Cook, J., Asano, T. y Heber, M. (1980). Groundwater recharge with reclaimed water in California. *Water Environment & Technology*, 2(4), 42-46.

Himi, M., Iglesias, R., Asano, T., Zornoza, G. (2007). Hydraulic conductivity estimation from indirect polarization data at the field scale - the Kofu basin case history. *Journal of Applied Geophysics*, 52, 22-36.

Iglesias, R. y Ortega, E. (2008). Present and future of wastewater reuse in Spain. *Desalination*, 216, 102-116.

Loke, M.H. (2002). RES2DINV ver. 3.00. Res2D resistivity and IP inversion using the least squares method. Geotomo Software.

Scheffer, F. y Schachtschabel, P. (1984). *Lehrbuch der Bodenkunde*. Elsevier Verlag, Stuttgart.

Slater, T. (2007). Near surface electrical characterization of hydraulic conductivity from geophysical properties to aquifer geomechanics. A thesis. *Surveys in Geophysics*, 28, 168-197.

Tapias, J., Casas, A., Himi, M., Font, X., Rodríguez, J., Sogán, J. y Casas, A. (2008). Using electrical imaging for assessing suitability of reclaimed water recharge at Segor. *Spain*. *Desalination*, 188, 60-77.

Patrocinadores:



Co-patrocinadores:

ETSIB

Colaboradores:

Depuración de Aguas del Mediterraneo y Àrea Metropolitana de Barcelona/Entitat del Medi Ambient

Organización:

ADECAAGUA, ASERSA, IMDEA AGUA, TRAGUA CONSOLIDER y Universidad de Alcalá