

Caracterización de acuíferos mediante testificación geofísica e imágenes 3D en los sondeos de investigación Almera-1 y Almera-2, en el entorno urbano de la ciudad de Barcelona

Geophysical characterization of aquifers, in Almera-1 and Almera-2 boreholes, in urban area in Barcelona

J. Crespo¹ y M. J. Jurado¹

¹ Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, CSIC, 08028 Barcelona (Spain), jcrespo@ictja.csic.es , mjjurado@ictja.csic.es

Resumen: Se presenta un estudio sobre los acuíferos, en las perforaciones científicas Almera-1 y Almera-2, en el subsuelo del campus de Pedralbes de la Universidad de Barcelona. Los datos obtenidos mediante la testificación de los sondeos con sondas de testificación geofísica, las imágenes 3D y la monitorización del nivel piezométrico llevada a cabo han permitido identificar tres zonas de flujo preferente. La información obtenida con sondas geofísicas se ha complementado con el estudio de testigos para la caracterización litológica y petrofísica de los acuíferos. Para el estudio de la dinámica de los acuíferos, se han comparado los registros de monitorización de niveles piezométricos con datos pluviométricos con el objeto de analizar la relación entre los niveles y las precipitaciones y observar la dinámica de cada uno de los acuíferos.

Palabras clave: Testificación geofísica, sondeos, acuíferos, monitorización

Abstract: Logging, borehole imaging and monitoring carried out in the scientific boreholes Almera-1 and Almera-2 in the Pedralbes campus of the University of Barcelona has allowed us to identify three preferential groundwater flow paths. Geophysical logging data combined with groundwater monitoring levels allowed us to identify three high permeable zones in the boreholes. Logging data combined with core analysis were used to characterize the aquifers lithology and petrophysical properties. We compared the groundwater measured levels and the rainfall in the area to identify and characterize aquifer dynamics and potential relationships between the variations in groundwater levels and the rainfalls.

Key words: Geophysical logging, boreholes, aquifers, monitoring

INTRODUCCIÓN

En el año 2011 se perforaron dos sondeos de investigación, denominados Almera-1 y Almera-2, contiguos al Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera-CSIC situado en el campus universitario de Pedralbes, en plena zona urbanizada de la ciudad de Barcelona (Fig. 1). Uno de los objetivos principales de esta perforación científica fue el de crear una nueva infraestructura para la realización de diferentes estudios en el subsuelo mediante la utilización de sondas geofísicas, así como para su calibración, experimentación y monitorización con sensores.

El sondeo principal, denominado Almera-1, se perforó hasta los 214 metros de profundidad y entubado con PVC ciego desde la superficie hasta una profundidad de 112 metros.

Almera-2, una segunda perforación situada aproximadamente a un metro de distancia de la anterior, alcanzó una profundidad de 46 m y fue entubada con PVC ranurado desde la superficie hasta una profundidad de 44m.

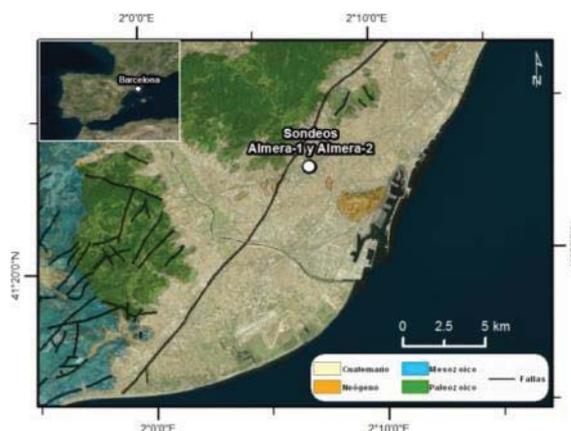


FIGURA 1. Situación de los sondeos Almera-1 y Almera-2 en el entorno urbano de la ciudad de Barcelona. (base geológica: ICC, 2002).

En la Figura 2A se muestra un esquema de ambos sondeos y en la Figura 2B se exponen las fotografías de los testigos de sondeo recuperados en los tramos objeto del presente estudio. Además del análisis de los testigos, también se han realizado testificaciones geofísicas con diferentes sondas con el fin de estudiar y caracterizar los materiales atravesados por los sondeos.

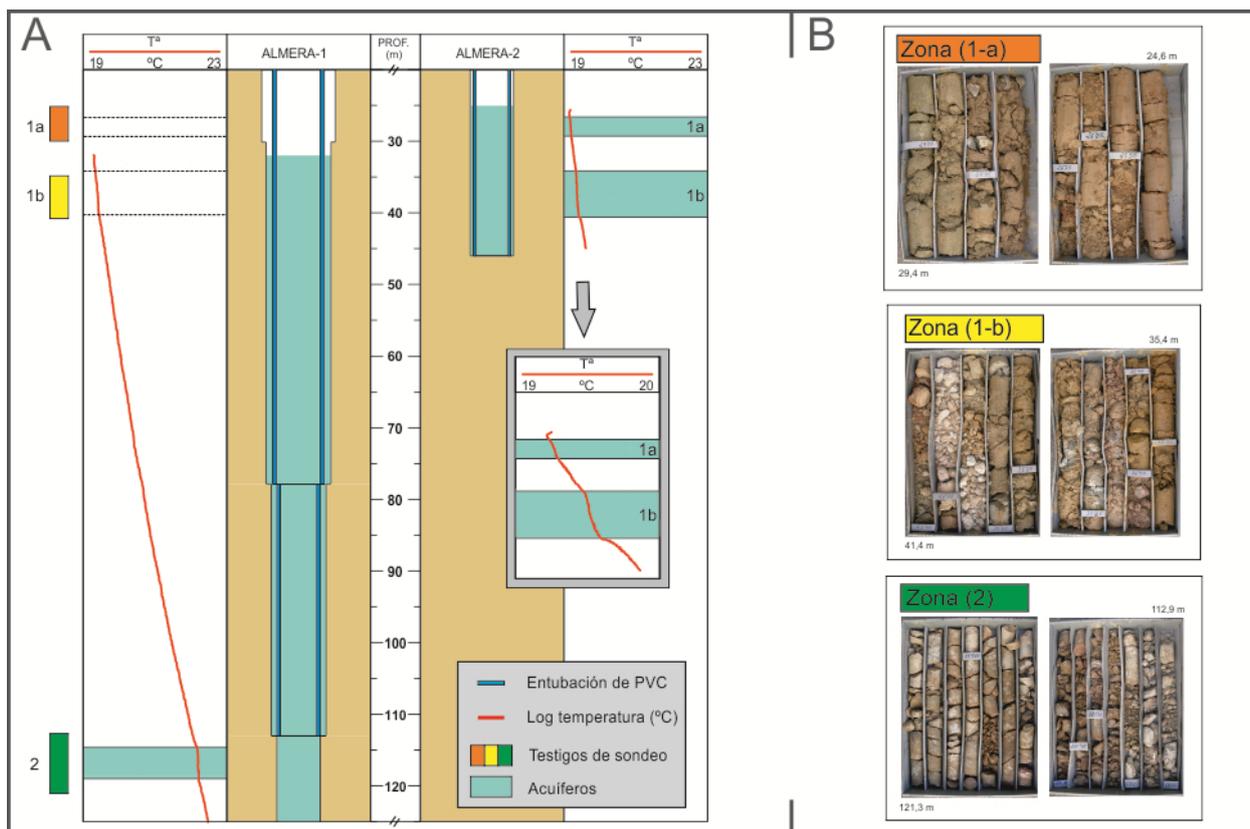


FIGURA 2. A) Esquema de los sondeos Almera-1 y Almera-2 que muestran las 3 zonas de flujo de agua subterránea preferentes identificadas en los logs de temperatura obtenidos mediante la utilización de la sonda geofísica hidroquímica. B) Muestras de testigo continuo recuperadas durante la perforación del sondeo Almera-1.

METODOLOGÍA

Se realizaron testificaciones completas en los sondeos Almera-1 y Almera-2 con el equipo de testificación del ICTJA-CSIC que incluyeron imágenes orientadas (con *televiwers* óptico y ultrasónico), espectrometría de la radioactividad gamma, perfilaje acústico de onda completa, resistividad dual, entre otros.

De especial interés para el estudio que aquí se presenta han resultado las testificaciones realizadas con la sonda hidroquímica, equipada con sensores *Idronaut (Idronaut Ocean Seven 303)*. El perfilaje con esta sonda proporciona un perfil continuo de diferentes propiedades del fluido en el sondeo. Se obtuvieron medidas multiparamétricas cada 5 cm de los siguientes parámetros: presión, temperatura, conductividad, pH, redox, oxígeno disuelto y salinidad/conductividad.

Se realizaron registros de periodicidad mensual en ambos sondeos a lo largo de 18 meses con el fin de monitorizar las posibles variaciones en los parámetros hidroquímicos anteriormente citados, además de medir las variaciones del nivel piezométrico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La monitorización de los niveles piezométricos permitió determinar que en los sondeos Almera-1 y Almera-2 (adyacentes) existen diferencias de 8 metros

entre el nivel más profundo, medido en el sondeo Almera-1, y el menos profundo, medido en el sondeo Almera-2. Se comprobó que el nivel en el sondeo Almera-1 presentaba fluctuaciones de escala métrica, mientras que el nivel se mantenía prácticamente constante en el sondeo Almera-2.

Se recogieron muestras de agua de ambos sondeos, mediante la utilización de la sonda denominada *Fluidsampler*, para realizar un análisis químico de estas en el laboratorio. Los valores de conductividad eléctrica de las muestras de agua recogidas fueron de 1536 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el sondeo Almera-1 y de 1896 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el sondeo Almera-2.

Tanto las diferencias de nivel piezométrico como los valores del análisis de conductividad eléctrica del agua de ambos sondeos, confirmaron que se trataba de aguas provenientes de diferentes acuíferos.

Los perfiles continuos de temperatura obtenidos mediante la sonda hidroquímica (Fig. 2A) muestran variaciones respecto al gradiente geotérmico normal en tres zonas principales y han sido interpretadas en relación a la circulación de agua en el subsuelo (Fig. 2 A).

Se identificaron 3 niveles a los que se asocia una mayor circulación de agua: dos niveles en el sondeo Almera-2 (Zonas 1-a y 1-b) y otro más profundo en el sondeo Almera-1 (Zona 2). Las profundidades y potencias de estos niveles se muestran en la TABLA I.

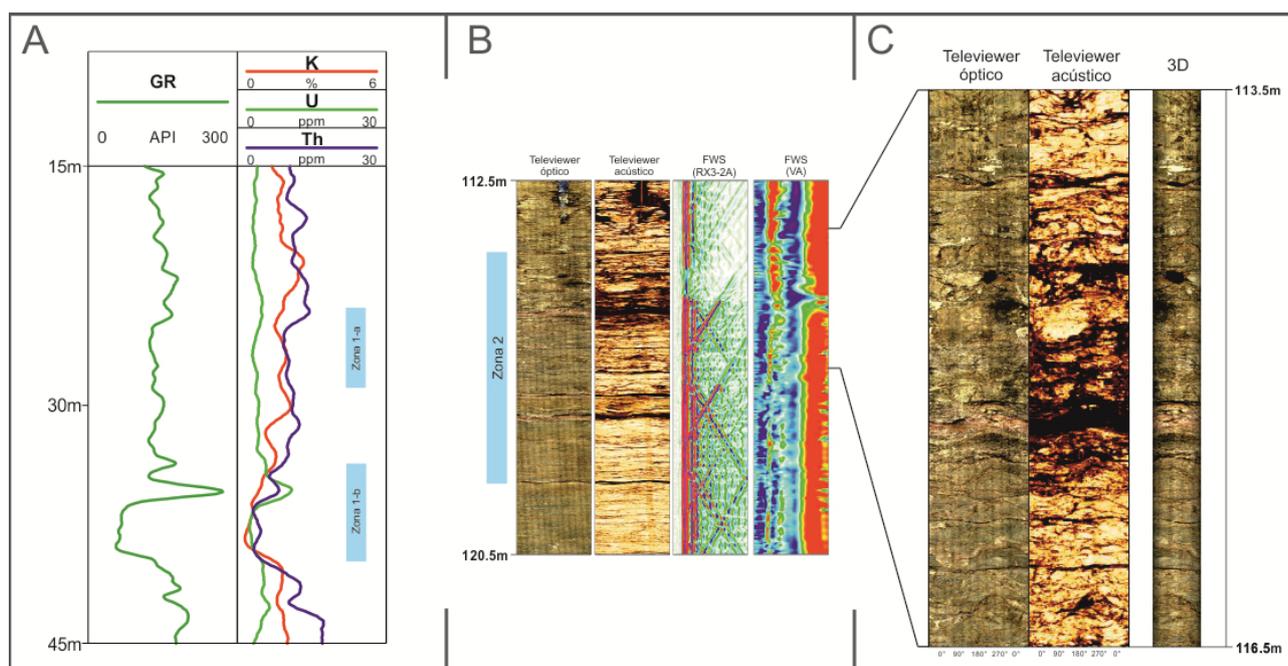


FIGURA 3. A) Registro obtenido mediante la sonda gamma natural (GR) y espectral (K, U y Th) en el tramo que engloba los dos niveles de flujo preferente más superficiales. B) Registros obtenidos con las sondas de imagen orientada (televiwer óptico y acústico) y la sonda acústica de onda completa (FWS) en el tramo que engloba el nivel acuífero más profundo (Zona 2). C) Detalle del registro con las sondas de imagen (televiwer óptico y acústico) y representación 3D.

Zonas de flujo prefente	Profundidad (m)	Potencia (m)
1-a	23,9 – 29,0	5,1
1-b	33,2 – 39,7	6,5
2	114,3 – 118,7	4,4

TABLA I. Nomenclatura, profundidades y potencia de las 3 zonas de flujo preferente identificadas.

Con el objetivo de caracterizar e interpretar esta respuesta en los niveles, se analizaron el resto de datos de testificación geofísica y los testigos de los sondeos. A continuación se presentan los resultados obtenidos y las características de cada uno de ellos:

ZONAS 1-a y 1-b

Son acuíferos situados en sedimentos de llanura de piedemonte cuaternarios, y son característicos de esta zona del llano de Barcelona (Ventayol et al., 2002), compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas (Fig. 2B).

Se trata de acuíferos detríticos que se sitúan en niveles arenosos intercalados con otros paquetes arcillosos. Los valores registrados con la sonda de espectrometría gamma muestran un menor contenido de arcilla en estos niveles más arenosos respecto a los niveles supra y subyacentes. Los valores de radioactividad gamma natural (GR) y gamma espectral (K) reflejan esta diferencia entre los niveles arenosos y niveles arcillosos, siendo esta diferencia más acusada en la zona 1-b (Fig. 3A).

Las medidas de nivel piezométrico periódicas tomadas en el sondeo Almera-2 (piezómetro) serían reflejo de los cambios en el nivel freático del acuífero superior, que apenas registra fluctuaciones de nivel.

ZONA 2

Se trata de un acuífero situado en calizas y dolomías devónicas que muestran características similares a las que afloran en los relieves próximos, en Santa Creu d'Olorde (García-López et al., 1990). La profundidad donde se encuentra situada la zona permeable, las rocas están fuertemente fracturadas según se observa en las imágenes orientadas del televiwer acústico (Fig. 3B y 3C), y presenta además procesos kársticos asociados (Ventayol et al., 2002), que se han podido identificar también en los testigos del sondeo Almera-1. No obstante, la muestra recuperada en los testigos de este tramo se ve muy disgregada, probablemente debido a la intensa fracturación en este tramo (Fig. 2B). Tanto las imágenes como las testificaciones realizadas han permitido caracterizar in situ y de forma precisa las texturas y estructuras de este nivel.

En la figura 3B se muestran los registros de imagen orientada obtenidos con televiwer óptico y acústico, identificándose con claridad la estratificación y el gran número de fracturas. También el registro extendido de uno de los receptores (RX3-2A) de la sonda sónica de onda completa (FWS) muestra indicios de permeabilidad en algunas de las fracturas.

En la figura 3C se observan imágenes orientadas de un tramo del acuífero con un mayor nivel de detalle, así como la representación 3D de las mismas. Se puede observar una cavidad relacionada con la fracturación y karstificación en este tramo. Se identifica como la principal zona permeable y es por ello por lo que se da la circulación de fluidos detectada.

El acuífero profundo perforado en el sondeo Almera-1 sería por tanto un acuífero ligado a fracturación y karstificación de las rocas carbonáticas del Devónico. Una vez se alcanzaron los 114m durante perforación de dicho sondeo el agua del acuífero ascendió por dentro de la entubación hasta los 32m de profundidad para equilibrar la diferencia de presión. Esta posición del agua a 32 m corresponde al nivel piezométrico de este acuífero confinado.

Las medidas del nivel piezométrico en el sondeo Almera-1 nos muestran variaciones periódicas de orden métrico, lo que sugiere que se trata de un acuífero afectado por pozos de explotación cercanos.

Con el objetivo de analizar la posible correlación de los niveles piezométricos con la recarga por precipitaciones, se han comparado los niveles registrados en ambos sondeos con los datos de pluviometría correspondientes al periodo de estudio y registrados en las siete estaciones meteorológicas (AEMET) más cercanas a los sondeos, situadas en un radio de 7km (Fig. 4). También se ha complementado con medidas de niveles adicionales durante operaciones de testificación en los sondeos en fechas intermedias.

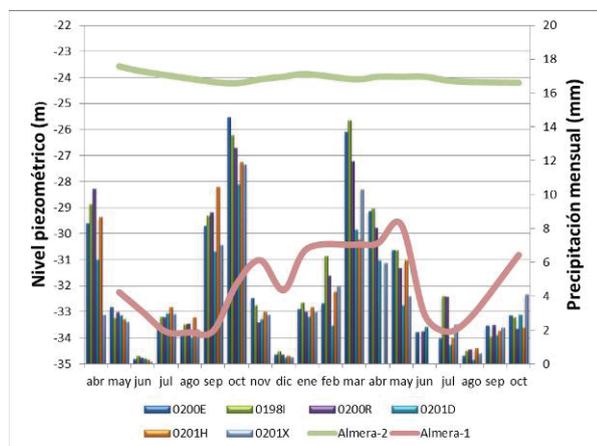


FIGURA 4. Comparativa entre los niveles medidos en ambos sondeos y las precipitaciones. En rojo el nivel medido en el sondeo Almera-1 y en verde el nivel medido en el sondeo Almera-2.

En la figura 4 se observa como el nivel freático del sondeo Almera-2 (verde) se mantiene prácticamente inalterado respecto a las precipitaciones. Por el contrario, analizando el nivel piezométrico en el sondeo Almera-1 (rojo) se observa como sufre variaciones de nivel que pueden llegar incluso a los 4 metros. Se intuye una variación estacional en los registros, donde en el periodo de verano y ligada a una menor recarga, se produce un descenso de nivel respecto al resto del año. Sin embargo para establecer de una forma consistente esta correlación deben tenerse

en cuenta otros factores como son los bombeos en los pozos de explotación de la zona (Vázquez-Suñé et al., 2001).

CONCLUSIONES

La testificación realizada mediante sondas geofísicas y las imágenes orientadas 3D se han aplicado a la caracterización de acuíferos en el subsuelo. En entornos urbanos las imágenes orientadas y medidas de testificación permiten caracterizar: estratificación, texturas, estructuras y propiedades petrofísicas de las zonas con flujo de agua subterránea preferentes.

La monitorización del nivel piezométrico combinada con el análisis estructural y petrofísico realizado sobre los datos de testificación geofísica e imágenes 3D permiten caracterizar las zonas con mayor preferencia al flujo. El conocimiento de estas zonas permite entender mejor el funcionamiento y características de la dinámica los de acuíferos.

La comparativa con datos pluviométricos permite relacionar la recarga y la disminución de los bombeos en invierno como condicionantes principales a las variaciones observadas en los niveles piezométricos medidos. Es necesario un análisis detallado de las oscilaciones de los niveles y del entorno de los acuíferos para conocer con precisión sus causas.

AGRADECIMIENTOS

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) por la cesión gratuita de datos pluviométricos de las siete estaciones analizadas. A Rotman Criollo y Enric Vázquez (IDAEA-CSIC) por su colaboración en la revisión del artículo. Proyecto: PNIDI-CGL2010-21568

REFERENCIAS

- García-López, S., Julivert, M., Soldevila, J., Truyols-Massoni, M., Zamarreño, I. (1990): Biostratigrafía y facies de la sucesión carbonatada del Silúrico superior y Devónico inferior de Santa Creu de Olorda (Cadenas Costeras Catalanas, NE de España). *Acta Geológica Hispánica*, 25(1-2), 141-168.
- ICC (2002). Mapa Geològic de Catalunya.1:250.000. Institut Cartogràfic de Catalunya
- Ventayol, A., Palau, J. y Roca, A. (2002): El Contexto Geotécnico de la Ciudad de Barcelona, *Projectos. E.T.S.I. Minas Madrid*. U.P.M. Barcelona.
- Vázquez-Suñé, E., Custodio, E., Soler, A. y Carrera, J. (2001): Aplicación de la geoquímica isotópica del azufre para la determinación del origen de la recarga en los acuíferos del Llano de Barcelona. *Las Caras del Agua Subterránea. IGME. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas*: 429-436