

# Localización de aguas subterráneas en la dorsal de Tiris (Sahara Occidental)

## *Groundwater location in the Tiris dorsal (Western Sahara)*

Baba Ahmed<sup>1</sup>, Fermín Villarroya<sup>1</sup>, Luis F. Rebollo<sup>2</sup>, Antonio Olaiz<sup>3</sup>, Rafael Jordá<sup>4</sup> y José López-Gómez<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. C/ José Antonio Novais 12, 28040 Madrid, España. britosbritos2005@gmail.com, ferminv@ucm.es

<sup>2</sup> Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente. Facultad de Ciencias. Universidad de Alcalá. 28871 Alcalá de Henares (Madrid), España. luis.rebollo@uah.es

<sup>3</sup> Repsol Services. 2455 Technology Forest Boulevard. The Woodlands, TX, 77381. United States. antoniojose.olaiz@repsol.com

<sup>4</sup> Rudnik Ciencias de la Tierra. C/ de la Cañada no 5, 28720 Bustarviejo (Madrid), España. rjorda@rudnikandina.com

<sup>5</sup> Instituto de Geociencias (CSIC-UCM). C/ José Antonio Novais 12, 28040 Madrid, España. jlopez@ucm.es

### ABSTRACT

*The aim of this work is the exploration of groundwater resources in the southeastern corner of the Sahara territory to alleviate the basic needs of the nomadic population of the region, and also assess the possibility of building new settlements in the area. It is the first time a geological, hydrogeological and geophysical work in this particular area of the Sahara is performed. Electrical Resistivity profiles show low values of apparent resistivity deeper than 50 meters, opening the door to the possibility of finding sufficient water, especially in areas of deep fractures. Preferred areas where located boreholes are alluvial fans, sabkhas and alluvial valley with fracturing. It remains a vast field of research when political conditions allow proper investigation.*

**Key-words:** Groundwater, Sabkhas, Zug, Western Sahara.

### RESUMEN

*El objetivo del presente trabajo es la prospección de recursos hídricos subterráneos en el extremo sureste del territorio saharauí, para paliar las necesidades básicas de la población nómada de la región, y a la vez evaluar la posibilidad de creación de nuevos asentamientos en el área. El trabajo es el primero de carácter geológico, estratigráfico, geofísico e hidrogeológico que se lleva a cabo en la zona. Mediante los trabajos de geofísica se ha podido detectar que en algunos lugares los valores de resistividad eléctrica aparente disminuyen hasta profundidades superiores a los 50 metros, abriendo una puerta a la posibilidad de encontrar agua en cantidad suficiente especialmente en zonas de fracturas profundas. Los lugares preferentes para emplazar captaciones son los abanicos aluviales, las sabkhas y fondos de valle sometidos a fracturación. Queda por delante un amplio campo de investigación cuando se den las condiciones políticas estables que permitan una investigación con mayor detalle.*

**Palabras clave:** Agua subterránea, Sabkha, Zug, Sahara Occidental.

*Geogaceta*, 58 (2015), 131-134  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 1 de diciembre de 2014  
Fecha de revisión: 29 de abril de 2015  
Fecha de aceptación: 15 de mayo de 2015

## Introducción y objetivo

En la región argelina de Tinduf viven refugiados más de 200.000 saharauis desde 1975. Por esta razón se ha planteado la prospección de recursos hídricos en la región de Zug (Fig. 1). Se trata de un trabajo hidrogeológico de notable dificultad, puesto que ni el clima de la región ni los tipos de materiales que afloran son los más apropiados para encontrar recursos hídricos en cantidad y calidad adecuadas, a lo que se une la inestabilidad política que dificulta extraordinariamente la realización de investigaciones en la zona. En dicha región existe

un solo trabajo de índole científica que fue llevado a cabo por Quiroga (1886).

Los trabajos cuyos resultados presentamos han consistido en el reconocimiento sobre el terreno y posterior análisis en laboratorio de los materiales geológicos más representativos de la región, así como un reconocimiento geofísico de área. Todo ello ha conducido a la presentación de un primer esquema de escenarios de presencia de agua subterránea que es necesario analizar con mayor detalle en futuras etapas de investigación. El objetivo principal de este trabajo es la localización de estructuras favorables para el almacenamiento de agua

subterránea en cantidad y calidad suficientes. Esto se ha llevado a cabo mediante el reconocimiento hidrogeológico del terreno (inventario de puntos de agua) y la aplicación de la tomografía eléctrica, basada en el análisis de la respuesta del terreno al paso de la corriente eléctrica en zonas de fractura previamente cartografiadas en superficie a través de imágenes de satélite (Muñoz-Martín *et al.*, 2007).

## Marco geológico

El área de estudio se encuentra en el extremo suroccidental de la Dorsal de Tiris.

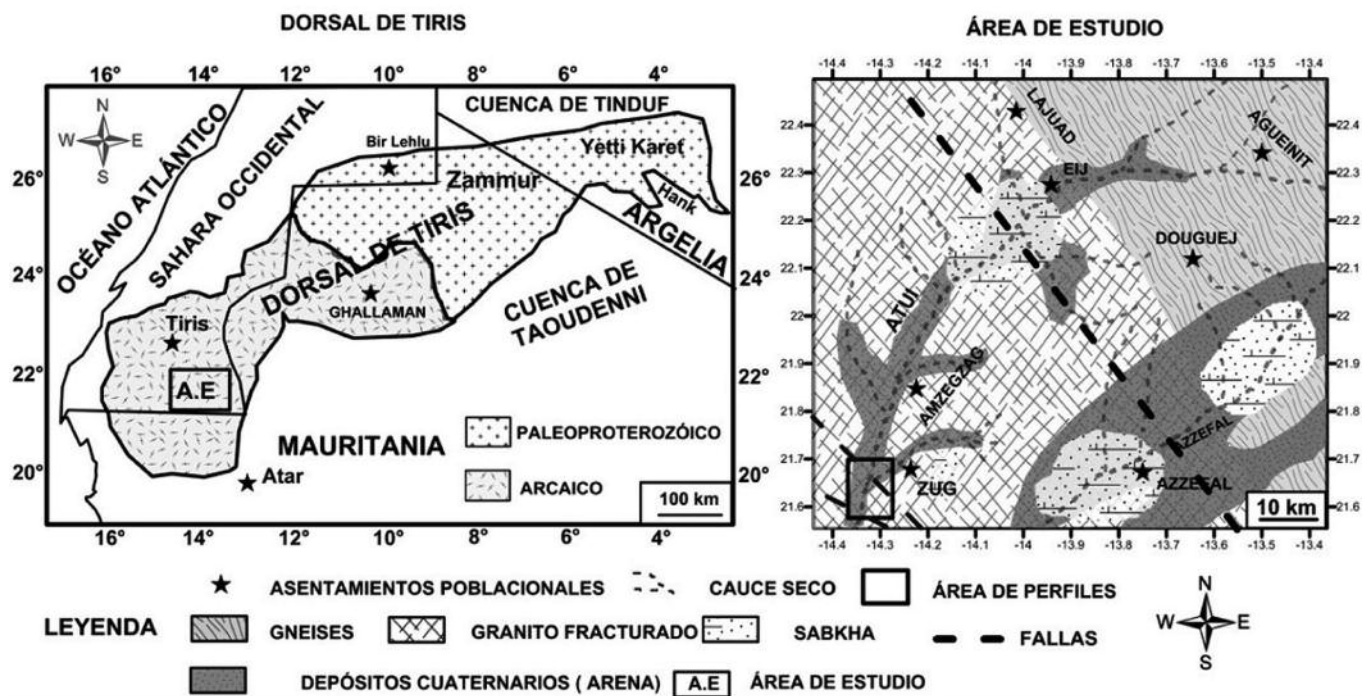


Fig. 1.- Mapa geológico de la Dorsal de Tiris, con indicaciones de la zona de emplazamiento de perfiles geofísicos.

Fig. 1.- Geological map of the Tiris Dorsal, including the location of the geophysical profiles.

Dicha estructura limita al sur-sureste con la cuenca de Taoudenni y al norte-noroeste con la cuenca de Tinduf (Fig. 1).

Esta región (Fig. 1) se caracteriza por el predominio de materiales arcaicos (Quiroga, 1886; Menchikoff, 1949; Sougy, 1954). Afloran gneises migmatíticos y cinturones de rocas verdes cuya edad está comprendida entre 2,34 y 2,84 Ga (Potrel, 1994; Pitfield *et al.*, 2005).

### Metodología

Para la realización de este trabajo se ha llevado a cabo un reconocimiento geológico e hidrogeológico. Se ha empleado la tomografía eléctrica como método más idóneo para la exploración de aguas subterráneas, debido a la versatilidad y el gran número de datos que se obtienen en cada lectura en comparación con otros métodos como el sondeo eléctrico vertical (SEV). Las mediciones fueron realizadas con un georresistímetro Syscal R1 Switch 48 (Iris), que puede conectarse a una configuración lineal de 48 electrodos, con espaciado de 5 m, potencia de 200 watts, intensidad de 2,5 amperios y una tensión de 600 voltios. La configuración elegida fue la Wenner-Schlumberger. Con arreglo a este esquema, se ha llevado a cabo una serie de ocho perfiles, tres de los cuales se muestran en la figura 2,

con mediciones realizadas hasta profundidades de 50 metros, debido a la naturaleza granítica del área. Todas las secciones de tomografía eléctrica fueron interpretadas mediante inversión, utilizando el código RES2DINV (Loke y Barker, 1996).

### Resultados

De modo general, los perfiles presentan un margen de error inferior al 3%, por lo que su calidad es aceptable. En el perfil 1 de la figura 2 se puede observar que entre 0 y 120 m de distancia hay una disminución acentuada de los valores de resistividad en profundidad, principalmente cerca de la superficie del cauce principal de Atui. Este fenómeno tiene su explicación en el precario desarrollo de la red fluvial, que da lugar a que durante los periodos de lluvias torrenciales el agua se acumule en los cauces secos. Parte de estas aguas se infiltraría en el suelo y la otra parte queda en superficie expuesta a procesos de evaporación, llegando a formar pequeñas costras de sal. El perfil 2 (Fig. 2) se localiza en el centro del cauce. En éste se puede observar un prolongado descenso en los valores de resistividad aparente, debido a la existencia de un espesor mayor de depósitos detríticos acumulados en el centro del cauce, lo cual explica la ausencia de materiales graníticos in-

alterados cerca de la superficie, a diferencia de los restantes perfiles. En el perfil 3 destacan las bajas resistividades dominantes hasta los 17 m de profundidad en el tramo suroeste del perfil, y hasta 26 m en su parte oriental, lo cual apunta a una posible zona de acumulación de agua (Fig. 2). A mayor profundidad, por el contrario, sube la resistividad (hasta valores de 2.327  $\Omega$ -m), lo que parece indicar ausencia de agua a esas profundidades. Todo parece indicar que en la zona central de dicho perfil 3 se localiza un área preferente de infiltración, aprovechando la zona de fracturación allí existente.

De esta forma los perfiles de geofísica pueden servir como un criterio de interés para emplazar sondeos de investigación en los lugares supuestamente preferentes para localizar aguas subterráneas.

### Esquema de funcionamiento hidrogeológico de la región de Zug

Los trabajos estratigráfico, sedimentológico e hidrogeológico, junto a la prospección geofísica, las observaciones y análisis llevados a cabo durante las diferentes campañas realizadas en Zug, han permitido plantear un esquema preliminar de funcionamiento hidrogeológico para la región

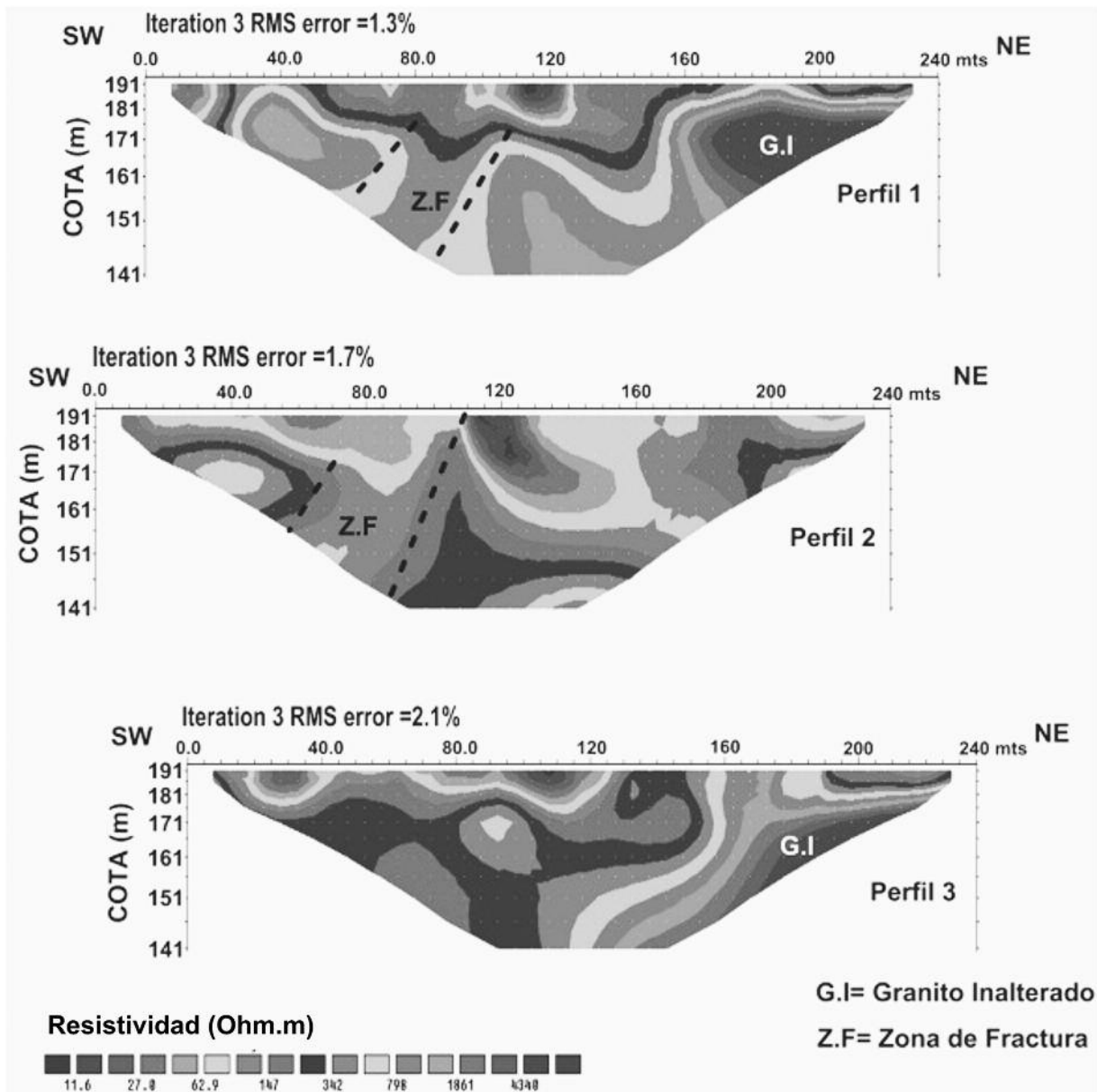


Fig. 2.- Resultados de los modelos de inversión de resistividades para las tres secciones de tomografía eléctrica, con la correlación entre las diferentes zonas de fractura. (Ver figura en color en la web).

Fig. 2.- Results of resistivity inversion models for the three sections of electrical tomography and the correlation between the different fracture zones. (See colour figure on the web).

(Fig. 3). Según este esquema hay tres emplazamientos preferentes a la hora de ubicar las captaciones de agua. Los abanicos aluviales constituyen una primera opción; se trata de aguas subterráneas poco profundas que se alojan en los materiales detríticos de estos depósitos. En segundo lugar está el agua subterránea vinculada a las *sabkhas*; éstas se forman en zonas de depresiones donde se acumulan los sedimentos, tanto de tipo eólico como fluvial durante el transcurso de lluvias torrenciales. Los sedimentos acumulados son sometidos a intensos procesos de evaporación, lo cual da lugar a la formación de minerales eva-

poríticos. Finalmente, tal y como la prospección geofísica parece indicar, cabe localizar emplazamientos preferentes donde se ha producido una fracturación intensa, lo que permite el almacenamiento y la circulación del agua subterránea.

En ninguno de los tres casos está garantizada la calidad del agua para su consumo humano, bien por el excesivo contenido de sales disueltas, bien por la presencia de nitratos derivados de abonos empleados en los huertos cercanos a las captaciones y, sobre todo, por los desechos de animales que acuden a beber agua. Es importante destacar que no existen perí-

metros de protección en dichas captaciones y que algunas carecen de brocales adecuados. Todo ello conduce a que las aguas necesiten un tratamiento químico para su potabilización. Estos aspectos son objeto de un artículo en preparación.

Conclusiones

El trabajo desarrollado ha permitido tener una primera idea sobre la presencia y características de las aguas subterráneas en el área estudiada. A través del análisis e interpretación de ocho perfiles geofísicos se ha podido determinar que a profundidades

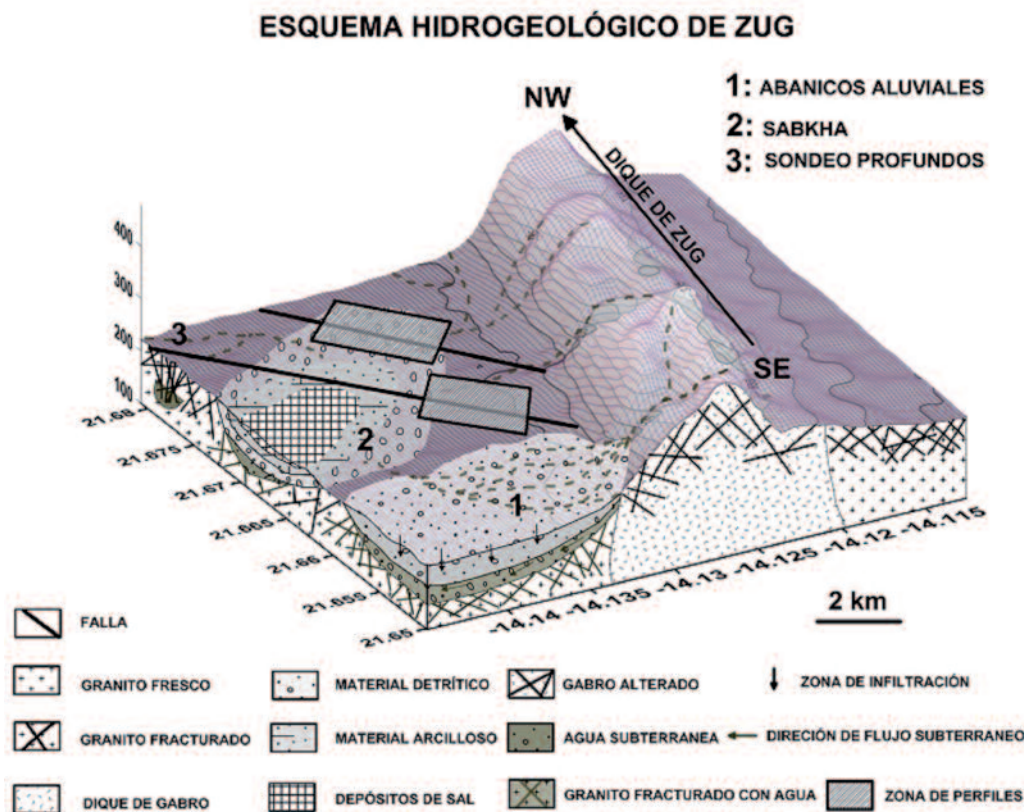


Fig. 3.- Esquema preliminar del funcionamiento hidrogeológico en el área de Zug.

Fig. 3.- Preliminary hydrogeological scheme for the Zug area.

superiores a las habitualmente estimadas en la bibliografía científica existen valores de resistividad muy bajos, lo cual sugiere que pueda existir esperanza de encontrar agua. En base a los trabajos efectuados, se plantea un modelo de prospección de recursos hídricos en la zona, proponiendo los abanicos aluviales, las *sabkhas* y los fondos de valle sometidos a fracturación como zonas preferentes para localizar aguas subterráneas.

**Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado gracias a una beca de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo

(MAEC). Se ha contado con la ayuda de las ONGs Geosolidarios e Ingeniería Sin Fronteras; los Departamentos de Geodinámica y Estratigrafía de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid; la Universidad de Alcalá y el Instituto de Geociencias (CSIC-UCM). Los autores agradecen especialmente la labor de los revisores Dr. J. M<sup>a</sup> Fornés y Dr. J. Mas-Plá.

**Referencias**

Loke, M.H. y Barker, R.D. (1996). *Geophysical Prospecting* 44, 131-152.  
 Menchikoff, N. (1949). *Livre jubilaire Charles Jacob*, Annales Hêbat et Haug 7, 303-325

Muñoz-Martín, A., Olaiz, A., De Vicente, G., Antón, L., Elorza, F.J. y De Vicente, R. (2007). *Geogaceta* 42, 35-38.  
 Pitfield, P.E.J., Key, R.M., Waters, C.N., Hawkins, M.P.H., Schofield, D.I., Loughlin, S.C. y Barnes, R.P. (2005). *Notice explicative des cartes géologiques et litologiques à 1:200000 et 1:500 000 du Sud de la Mauritanie*. Nouakchott, Mauritania.  
 Potrel, A. (1994). Dorsale Reguibat. *Mémoire de Géosciences* 56, Rennes.  
 Quiroga, F. (1886). Rio de Oro, *Revista de Geografía Comercial* 7, 8-10.  
 Sougy, J. (1954). *Rapport de fin de campagne 1953-1954*. Direction Fédérale de Mines et de la Géologie. AOF, Dakar.