

Caracterización de la geometría de la depresión de Navamuño (Sistema Central Español) aplicando técnicas geofísicas

Characterization of the geometry of the Navamuño depression (Spanish Central System) by using geophysical techniques

Rosa M. Carrasco¹, Jesús Sánchez¹, Alfonso Muñoz Martín², Javier de Pedraza², Antonio J. Olaiz^{2, 7}, Blanca Ruiz Zapata³, Daniel Abel-Schaad⁴, Oscar Merlo⁵ y David Domínguez-Villar⁶

¹ Departamento de Ingeniería Geológica y Minera, UCLM. Avda. Carlos III s/n, 45071 Toledo. Rosa.Carrasco@uclm.es, Jesus.SVizcaino@uclm.es

² Departamento de Geodinámica, UCM. C/ José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid. amunoz@geo.ucm.es, javierp@geo.ucm.es

³ Departamento de Geología, UAH. Ctra. A-II km 33,600, 28871 Alcalá de Henares, Madrid. blanca.ruiz@uah.es

⁴ Instituto de Historia, Centro de Ciencias Humanas y Sociales, CSIC, Albasanz 26-28, 28037 Madrid. dabel222@hotmail.com

⁵ Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación, UCLM. Avda. Camilo José Cela s/n, 13071 Ciudad Real. Oscar.Merlo@uclm.es

⁶ Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana. Paseo Sierra Atapuerca s/n, 09002 Burgos. david.dominguez@cenieh.es

⁷ Non Seismic Methods. Repsol Exploración, Houston, USA. antoniojose.olaiz@repsol.com

ABSTRACT

The Navamuño depression, located in the high sector of the Cuerpo de Hombre valley (Sierra de Béjar), was partly occupied by a glacier during the Late Pleistocene. The basin is a ~14 Ha pseudoendorheic depression with boundaries defined by fault lineaments and the left lateral moraine of the Cuerpo de Hombre paleoglacier. The geometry of the base of the basin and the thickness of sediments that contain were studied together with the relationship of these deposits with the structural elements. Eight bi-dimensional profiles of electrical resistivity tomography were carried out supported by nine vertical electrical sounding logs. Although heterogeneous, the maximum thickness of the deposit infilling the basin is higher than approximately 20 m in some sectors, with three units under the surficial soil. The depression is interpreted as a basin filled with fluvio-glacial and fluvio-torrential deposits with episodes of local shallow pond/bog peat sedimentation.

Key-words: Pseudoendorheic depression, electrical resistivity tomography (ERT), vertical electric sounding (VES), morphotectonic, Spanish Central System.

RESUMEN

La depresión de Navamuño se localiza en el tramo de cabecera del valle del río Cuerpo de Hombre (Sierra de Béjar), que durante el Pleistoceno Superior fue ocupado por un glaciar. Se trata de una cubeta tipo nava con una superficie de ~14 Ha, limitada entre laderas correspondientes a escarpes de línea de falla y la morrena lateral izquierda del paleoglacial de Cuerpo de Hombre. Para conocer la geometría y el espesor de sedimentos de la cuenca así como sus relaciones con las estructuras y formaciones que la delimitan, se han realizado 9 perfiles de tomografía de resistividad eléctrica (TRE) en dos dimensiones (2D), apoyada en 9 sondeos eléctricos verticales (SEV) y dos sondeos mecánicos. Las interpretaciones sugieren un relleno sedimentario de la cubeta de más de unos 20 m de espesor. Genéticamente se interpreta como una cubeta rellena por sedimentos de origen fluvio-glacial y fluvio-torrential, con episodios de tipo lacustre locales y someros.

Palabras clave: Depresión tipo nava, tomografía de resistividad eléctrica (TRE), sondeos eléctricos verticales (SEV), morfotectónica, Sistema Central Español.

Geogaceta, 57 (2015), 39-42.

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 4 de julio de 2014

Fecha de revisión: 22 de octubre de 2014

Fecha de aceptación: 28 de noviembre de 2014

Introducción

La depresión de Navamuño es una cubeta tipo nava localizada en el tramo de cabecera del valle del río Cuerpo de Hombre (Sierra de Béjar) y confinada por elementos morfoestructurales (escarpes) y glaciares (morrenas) (Fig. 1A). Ocupa una superficie de ~14 Ha, y se ha estimado un espesor de

sedimentos superior a los 4,75 m (Ruiz-Zapata *et al.*, 2011).

Durante el último periodo glaciar, en el valle de Cuerpo de Hombre se desarrolló una de las lenguas de mayores dimensiones (24,6 km²) que formaba parte de la meseta glaciar de la Sierra de Béjar. Los datos cronológicos obtenidos en los depósitos de till mediante ¹⁰Be indican unas edades entre

23,1 y 21,6 ka BP para el máximo glaciar (GM) y 21,8 a 19,0 ka BP para el inicio de la deglaciación (Carrasco *et al.*, 2013, Domínguez Villar *et al.*, 2013).

Una de las morrenas de este paleoglacial, concretamente la lateral izquierda del complejo denominado Morrena Principal (PM, Pedraza *et al.*, 2013), es la que define el límite oriental de Navamuño. Los límites

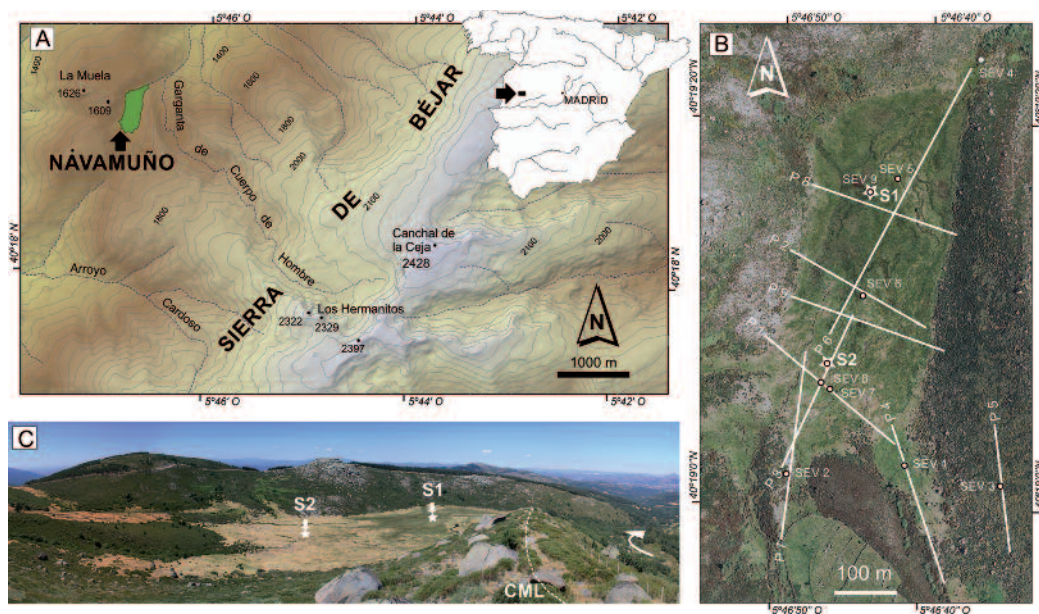


Fig. 1.- A) Situación geográfica de Navamuño. B) Localización de los sondeos mecánicos (S1 y S2) y de los ETR (P1 a P9) y SEV realizados. C) Vista panorámica de Navamuño. S1 y S2 corresponden a la situación de los sondeos mecánicos. La línea discontinua representa la cresta de la morrena lateral izquierda (CML) del paleoglaciar de Cuerpo de Hombre.

Fig. 1.- A) Location of the Navamuño depression at the Sierra de Béjar framework. B) Location of the drillings (S1 and S2) and the ETR (P1 to P9) and SEV which have been made. C) Panoramic view of the Navamuño depression. S1 and S2 correspond to the situation of drillings. The dashed line represents the crest of the left lateral moraine (CML) of the Cuerpo de Hombre paleoglaciar.

septentrional y occidental son laderas graníticas correspondientes a escarpes de línea de falla de orientación NNE-SSO. Finalmente, el límite meridional es complejo y en él están implicados ambos elementos, glaciares y estructurales, y un sistema de abanicos fluviotorrenciales.

Esta disposición de los elementos fisiográficos que configuran la depresión le otorga una notable singularidad, ya que permite investigar las posibles interacciones entre las dinámicas neotectónica y glacial.

Para abordar esos temas y conocer en detalle las características palinológicas y la litología y cronología de los sedimentos, se iniciaron una serie trabajos mediante sondeos de testigo continuo (Ruiz-Zapata *et al.*, 2011). Hasta el momento se han realizado tres sondeos, llegando a una profundidad máxima de 8 m en uno de ellos. En este último se han podido diferenciar tres tramos (de techo a muro): el superior (0-300 cm) formado por niveles de limo arcilloso con intercalaciones de grava; uno intermedio (300-500 cm) formado por arenas con intercalaciones de niveles de arcilla finamente laminada; y, finalmente, el tramo inferior (500-800 cm) formado por arenas y gravas con intercalaciones de nieles de arcillas y limos. Las dataciones realizadas con ¹⁴C establecen unas edades aproximadas de 5700 BP para una muestra localizada a 485 cm y de 10000 BP para un nivel situado a 565-570 cm.

Las dificultades encontradas para situar los puntos de sondeo, aconsejaron realizar un estudio previo aplicando técnicas geofísicas para determinar la configuración de la nava en profundidad y sus relaciones con las estructuras y formaciones que la delimitan.

En este trabajo se presentan los primeros resultados sobre la geometría y profundidad del relleno de la nava. Estos datos se han obtenido mediante sondeos eléctricos verticales y perfiles de tomografía de resistividad eléctrica (TRE) en dos dimensiones (2D).

Metodología

Se han realizado 9 perfiles de tomografía de resistividad eléctrica (TRE) en dos dimensiones (2D) apoyada en 9 sondeos eléctricos verticales (SEV) y 3 sondeos de testigo continuo (Figs. 1B y C).

El equipo de medida utilizado en los SEVs es el resistímetro AGI Supersting R-8 de 8 canales. Los SEVs se midieron con la configuración Schlumberger tetra electródica con una apertura media de alas de 200 m.

La separación inter-electródica empleada en las tomografías fue de 5 metros y el equipo utilizado es un sistema RESECS de 64 canales. Se han realizado hasta 24 niveles de medidas para alcanzar una profundidad de investigación superior a los 40 metros. El dispositivo electródico de medida ha sido el Wenner-Schlumberger y el dipolo-dipolo. El primero presenta unos valores más bajos de constante de configuración electródica (K), y permite obtener datos en profundidad con una mayor relación señal/ruido. El segundo es más adecuado para investigar cambios laterales de resistividad,

pero debido a sus elevados valores de K los valores sólo son fiables en los primeros niveles de investigación. Por ello, se han utilizado ambas configuraciones para cada perfil y posteriormente se realizó la inversión con todos los datos de manera conjunta

Todas las secciones de tomografía eléctrica fueron interpretadas mediante inversión utilizando el código RES2DINV (Giffiths y Barker, 1993; Loke y Barker, 1996; Loke, 1999), con elementos finitos de cuatro nodos. La corrección de la topografía se realizó usando una malla distorsionada (Loke, 2000).

Estudio geofísico

El uso combinado de SEVs 1D, con el apoyo de los sondeos mecánicos, ha proporcionado un conjunto de datos complementarios para la interpretación de la TRE 2D.

La profundidad alcanzada con los SEVs es variable entre los 25 y los 100 metros. Los datos preliminares de su interpretación permiten identificar tres grupos de materiales por debajo de la formación edáfica superficial. Un primer nivel (G1) resistivo (valores > 2500 Ohm-m) bastante heterogéneo en cuanto a composición que se refleja en sus variaciones de resistividad. Su potencia es variable entre los 3 y 4 metros del SEV nº 5 y los 19,3 metros del SEV nº 8. Un nivel inferior intermedio (G2) que se caracteriza por unos valores medios de resistividad de 500 Ohm-m y que llega a alcanzar valores de 800 Ohm-m en el SEV 2. Este nivel, que está ausente en el SEV 6, muestra notables

variaciones de espesor (entre 20 y 50 metros). Finalmente, por debajo de esos dos niveles se ha detectado en algunos SEVs la presencia de un material (G3) de alta resistividad (>1500 Ohm-m), con potencias superiores a los 50 m y en diferentes posiciones dentro de la depresión.

En relación a la tomografía eléctrica se obtuvo una buena convergencia entre los datos medidos y los modelos, con valores de RMS cercanos al 3%. La profundidad alcanzada en los perfiles oscila entre 40 y 60 m (Fig. 2). Las secciones muestran un nivel superior resistivo, SFG, equivalente al G1,

con valores superiores a 1500 Ohm-m. En las secciones realizadas en el interior de Navamuño y de forma transversa al eje mayor de la misma, pueden diferenciarse subniveles, con distinta resistividad, que se alternan lateralmente y verticalmente a lo largo del eje menor de la misma. En gene-

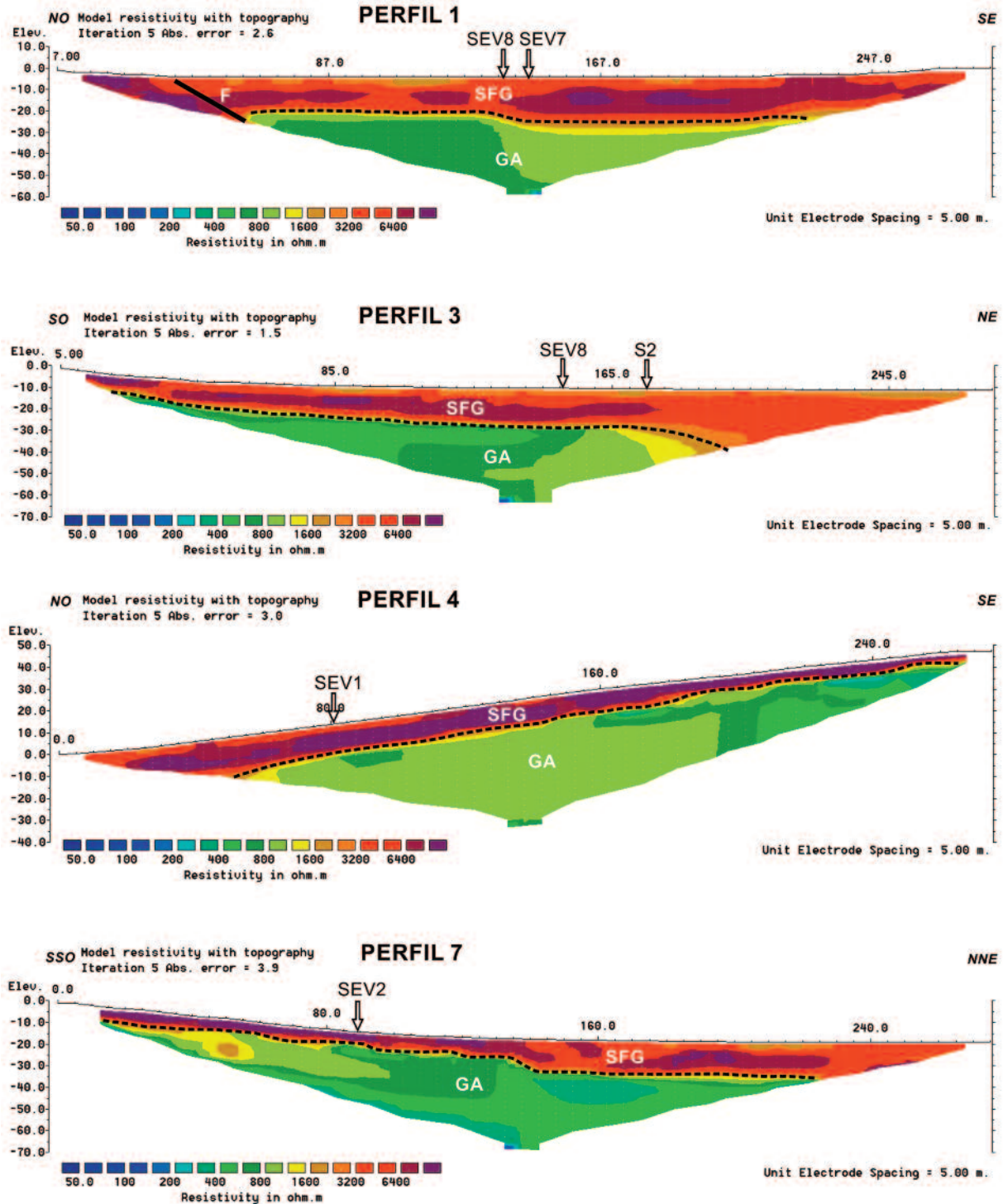


Fig. 2.- Perfiles de tomografía de resistividad eléctrica (TRE) en dos dimensiones mostrando los espesores determinados y los límites entre unidades georesistivas (líneas negras discontinuas). F, Falla normal. SFG, Nivel superior resistivo (sedimentos fluvio-glaciares y fluvio-torrenciales). GA, granitos alterados. G, Granito.

Fig. 2.- Tomography profiles of electrical resistivity (ERT) in two dimensions, showing the thicknesses and the boundaries between georesistives units (dashed black lines). F, normal Fault. SFG, upper level of resistivity (fluvio-glacial and fluvio-torrential sediments). GA, weathered granite (grus). G, Granite.

ral, dentro del SFG, predomina un primer subnivel de baja resistividad que se apoya sobre un segundo más resistivo. Dentro de este último, aparece una zona central con mayor resistividad (Fig. 2, perfil 1). El espesor total de esta unidad es de 10-18 metros con un engrosamiento general hacia el E-SE. En los perfiles 3, 4 y 7, paralelos al eje mayor de la nava, se observa que este primer nivel (SFG) aumenta de espesor hacia el N de la cuenca y destaca una disminución de resistividad del conjunto paralela al aumento de espesor (Fig. 2).

La unidad inferior (GA), equivalente a la unidad inferior intermedia (G2), se caracteriza por sus relativamente bajos valores resistivos y porque es visible en todas las secciones realizadas. Alguna de estas secciones (Fig. 2) muestran variaciones de resistividad, con un predominio de la disminución en la zona central de la depresión. Por otra parte, puede observarse que dentro de esta unidad hay dos zonas de mínimos resistivos separadas por una zona de mayor resistividad. El espesor de este nivel, en aquellos perfiles en los que puede medirse, oscila entre los 7-10 m a los 40-50 m mínimos de los perfiles 1 y 7.

El tercer nivel (G), equivalente a la unidad G3, solo aparece en algunos perfiles. Se caracteriza por sus altos valores resistivos, ocupa los bordes de la depresión (Fig. 2, perfil 1) o bien se sitúa en zonas profundas de la misma y coincide con el afloramiento de las rocas graníticas que conforman el borde NO de la depresión.

Interpretación y discusión

El primer nivel (G1 o SFG), el más superficial, que presenta valores resistivos relativamente altos (> 2500 Ohm·m), puede interpretarse como una capa de arenas gruesas con gravas dispersas en niveles centimétricos y decimétricos. Entre esos niveles se intercalan pasadas de arcillas y limos. A veces presenta zonas con materia orgánica, más abundantes hacia el techo, lo que indica la presencia de paleocanales y/o zonas de turberas. Esta interpretación se apoya en los datos obtenidos a partir de los sondeos mecánicos.

El nivel infrayacente (G2 o GA), que se caracteriza por unos valores resistivos relativamente bajos (< 1000 Ohm·m), aparece a profundidades variables y con un techo muy neto. Atendiendo los valores de resistividad, y a su posición y espesor dentro de la

cuenca, puede interpretarse de dos maneras:

a) un depósito sedimentario detrítico de granulometría gruesa de alta porosidad y saturado por agua.

b) como granitos alterados (alterita o grus).

Finalmente, el nivel de alta resistividad (G3 y G), correspondería al sustrato granítico sin alterar. Su techo en las zonas centrales de la depresión se localiza a más de 50 m de profundidad.

En conjunto los datos aportados por la geofísica, especialmente por las secciones de tomografía eléctrica, apoyan la hipótesis de un relleno aluvial de la depresión. Este relleno ha estado condicionado por la presencia de umbrales que marcan la paleotopografía de la cuenca. Algunos de estos umbrales coinciden con los sistemas de fallas NNE-SSO y NO-SE que afectan claramente al basamento granítico que constituye el sustrato de la nava.

En las secciones de tomografía eléctrica transversales al eje de la nava, las zonas de mayor resistividad de la unidad SFG pueden estar relacionadas con: a) un aumento del tamaño de la granulometría de los sedimentos (borde occidental de la cuenca) y/o b) con la presencia de zonas de turbera en la parte central de la misma.

Las variaciones de resistividad detectadas en la sección 6, que recorre longitudinalmente la nava, indican que el nivel presenta anomalías positivas de resistividad de escala decamétrica, que pueden indicar variaciones laterales de facies entre canales y zonas de turbera.

Conclusiones

El estudio geofísico de Navamuño ha permitido caracterizar la geometría y el relleno esta depresión. Por debajo de la formación edáfica superficial se han podido diferenciar tres grupos de materiales.

a) El primer nivel, con espesores de hasta 19 m, se interpreta como un relleno fluvio-lacustre con alternancias de paleocanales y turberas. Los datos cronológicos disponibles y obtenidos mediante ¹⁴C establecen una edad máxima aproximada de 10000 BP para un nivel localizado a una profundidad de 565-570 cm.

b) El nivel inferior, presente en todos los perfiles realizados, puede interpretarse como un relleno detrítico saturado en agua y/o como un granito alterado con un mayor contenido en agua.

c) Finalmente, se identifica el sustrato granítico a una profundidad que llega a superar los 50 m en las zonas centrales de la cubeta.

La fisonomía de la cuenca en profundidad queda compartimentada por una serie de umbrales, que coinciden en su trazado con la red fractura identificadas en superficie limitando la nava. Como se ha demostrado en otras depresiones de la zona (p. ej., el Valle del Jerte; Carrasco *et al.*, 1991), estas fracturas han debido controlar la paleotopografía de la cuenca, condicionando la naturaleza y geometría del relleno sedimentario.

Agradecimientos

Al Parque Regional de la Sierra de Gredos y al Ayuntamiento de Candenario por permitirnos el trabajo de campo. A Germán Martín por su inestimable ayuda. Este trabajo es una contribución al proyecto CGL2013-44076-P financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad. Al editor y revisores, por sus aportaciones para mejorar este trabajo.

Referencias

- Carrasco, R.M., Pedraza, J. y Rubio, J.C. (1991). *Cuatrenario y Geomorfología* 5, 15-25.
- Carrasco, R.M., Pedraza, J., Domínguez-Villar, D., Villa, J. y Willenbring, J.K. (2013). *Geomorphology* 196, 83-93.
- Domínguez-Villar, D., Carrasco, R.M., Pedraza, J., Cheng, H., Edwards, R.L. y Willenbring, J.K. (2013). *Scientific Reports* 3 (2034), 1-6.
- Griffiths, D.H. y Barker, R.D. (1993). *Journal of Applied Geophysics* 29, 211-226.
- Loke, M.H. (1999). *Time-lapse resistivity imaging inversion*. En: *Proceedings of the 5th Meeting of Environmental and Engineering Geophysical Society, European Section*, Em1.
- Loke, M.H. (2000). Topographic modelling in resistivity imaging inversion. En: *62nd EAGE Conference & Technical Exhibition Extended Abstracts*, D-2.
- Loke, M.H. y Barker, R.D. (1996). *Geophysical Prospecting* 44, 131-152.
- Pedraza, J., Carrasco, R.M., Domínguez-Villar, D. y Villa, J. (2013). *Quaternary International* 302, 88-100.
- Ruiz-Zapata, M.B., Carrasco, R.M., Gil, M.J., Pedraza, J., Razola, L., Domínguez, D. y Gallardo, J.L. (2011). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)* 105, 109-124.