

# Aplicación del georradar al estudio de sistemas fluviales tobáceos: los depósitos holocenos de Añavieja-Dévanos (Soria, NE de España)

*Application of Ground penetrating radar in the study of tufa systems: the Holocene deposits of Añavieja-Dévanos (Soria, NE Spain).*

Antonio Pérez, Óscar Pueyo, Aránzazu Luzón, Arsenio Muñoz y Ángel González

Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza, c/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, España.  
anperez@unizar.es, opueyo@gmail.com, aluzon@unizar.es, armunoz@unizar.es, agonzal@unizar.es

## ABSTRACT

A geophysical survey (using GPR) has been developed in a sector of the Holocene fluvio-lacustrine system in the Añamaza river valley and the results have been contrasted with two new cores. Prospected area includes tufa barriers and pools between them. The integration of the results with nearby outcrops permits the internal structure of the system to be characterized. GPR survey shows a distinctive geophysical signal among pool and tufa barrier media that will permit to identify them in the subsoil in non-outcropping areas. Moreover an internal anisotropic structure can be deduced for the system. The study reveals an asymmetrical growth of the tufa barriers as well as a lateral displacement of the system towards the right bank of the river along the Holocene. An aggrading evolution (conserved series is more than 25m-thick) and, in general, a decrease of tufa constructions with time can be inferred.

**Key-words:** GPR, tufa, fluvio-lacustrine system, radarfacies, Holocene.

## RESUMEN

Se ha realizado una prospección geofísica con georradar sobre un sector del sistema fluvio-lacustre Holoceno en el valle del río Añamaza y contrastado los resultados con dos nuevos sondeos. La zona prospectada incluye barreras de toba y áreas encharcadas intermedias. La integración de los resultados con datos de afloramiento permite caracterizar la estructura interna del sistema. El georradar muestra una señal distintiva entre los medios de tipo piscina y de barrera de toba, que permitirá identificarlos en el subsuelo en otras zonas no aflorantes, así como una estructura interna anisótropa para el sistema. El estudio pone de manifiesto un crecimiento asimétrico de las construcciones tobáceas y un desplazamiento lateral del sistema hacia la margen derecha del río y, en general, una disminución de construcciones tobáceas a lo largo del Holoceno.

**Palabras clave:** Georradar, toba, sistema fluvio-lacustre, radarfacies, Holoceno.

Geogaceta, 52 (2012), 121-124.  
ISSN 2173-6545

Fecha de recepción: 8 de febrero de 2012

Fecha de revisión: 26 de abril de 2012

Fecha de aceptación: 25 de mayo de 2012

## Introducción

Estudios recientes realizados por Luzón *et al.* (2011) en el entorno de la antigua laguna de Añavieja (Fig 1) han puesto de manifiesto que durante el Pleistoceno superior-Holoceno se desarrolló un complejo sistema sedimentario integrado por abanicos aluviales que rodeaban un lago somero (Laguna de Añavieja) que a su vez conectaba hidrológicamente, aguas abajo, con un sistema fluvial carbonatado integrado por barreras de tobas perpendiculares al cauce. Estas barreras daban lugar, aguas arriba, a represamientos y áreas encharcadas con abundante vegetación o a piscinas naturales someras en las que se acumularon mar-

gas, oncolitos, fragmentos de tobas y calcarenitas, si bien no en todas las zonas del sistema se encuentran desarrolladas las mismas facies. La sucesión sedimentaria conservada alcanza los 25 m, según datos de sondeos, y en función de las dataciones radiométricas ( $^{14}\text{C}$  y U/Th) su edad es Pleistoceno superior-Holoceno (Pérez *et al.*, 2010; Luzón *et al.*, 2011).

En esta región, la existencia de importantes depósitos de tobas es conocida desde antiguo (Sáenz García, 1954; Sáenz y Sanz, 1989) siendo atribuidas tanto al Mioceno como Pleistoceno y Holoceno. En este sentido, Arenas *et al.* (2010) realizan una aproximación cronológica basada principalmente en dataciones U/Th de los aflora-

mientos de tobas de edad Pleistoceno situados en el paraje denominado como Cuesta del Cajo, en la parte distal del sistema. Trabajos cartográficos en curso, nos permiten precisar que en un recorrido de unos 4,5 Km en el entorno de la localidad de Dévanos, existen al menos 6 barreras de tobas distribuidas a lo largo del río Añamaza dispuestas transversales al cauce. Una de ellas fue datada (Luzón *et al.*, 2011) como Holoceno (7080-4752 yr BP). Con el fin de avanzar en el conocimiento de las relaciones entre las barreras de tobas y las facies fluvio-lacustres asociadas, se ha realizado un estudio geofísico mediante georradar (GPR) y dos nuevos sondeos (DV2 y DV3) cuyo registro ha sido datado me-

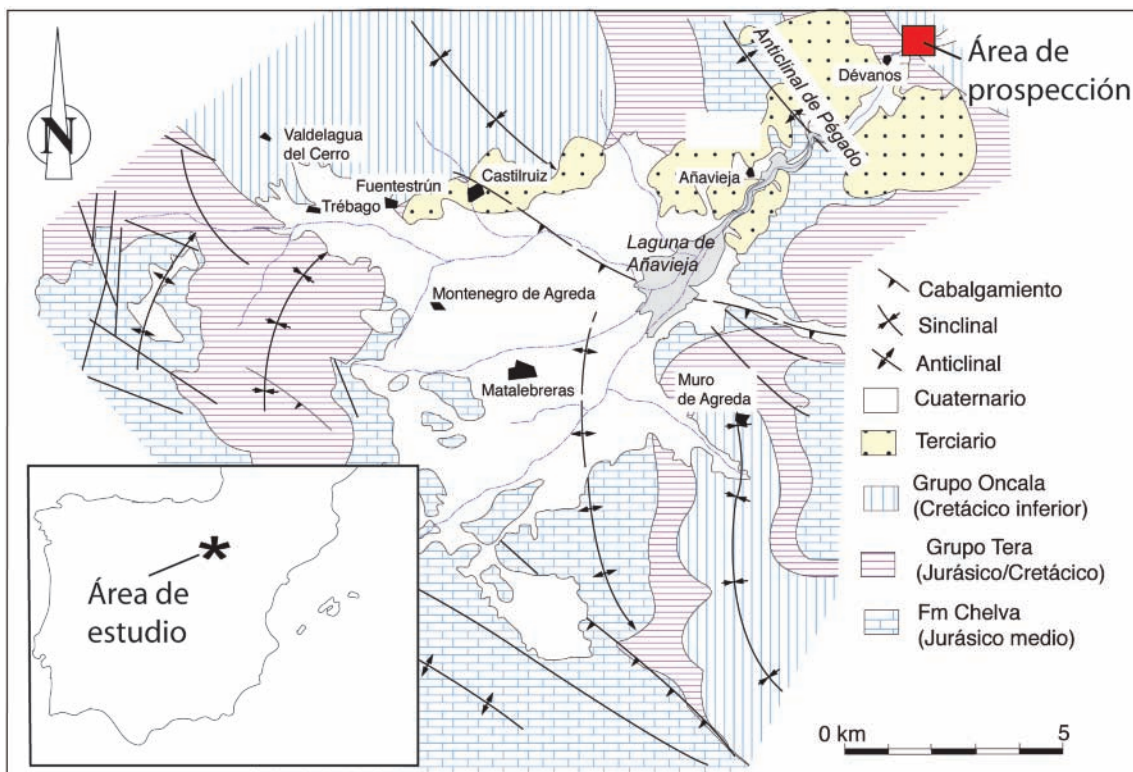


Fig. 1.- Contexto geológico.

Fig. 1.- Geological context.

dante U/Th. El objetivo principal de este trabajo es contrastar los resultados del estudio geofísico con los datos aportados por los sondeos realizados, comprobar si los diferentes elementos del sistema fluvio lacustre presentan distinta señal geofísica y analizar cómo se relacionan barreras y piscinas.

**Metodología**

Los datos de los sondeos proceden de las campañas de campo realizadas en marzo de 2009 y junio de 2011. Los testigos fueron extraídos a rotación con una sonda RL-48-L de la empresa TERRACONTROL. Sus referencias y coordenadas UTM son: Sondeo DV2 (30TWM883404) y Sondeo DV3 (30TWM882406). DV2 se perforó sobre una barrera de tobas y DV3, inmediatamente aguas arriba, en una zona entre barreras (Fig. 2). Los testigos fueron trasladados al laboratorio de Estratigrafía de la Universidad de Zaragoza donde se realizó su descripción. Las dataciones de U/Th se efectuaron en el laboratorio del Instituto Jaime Almera (CSIC) de Barcelona. La prospección geofísica ha consistido en la realización de perfiles de georradar utilizando distintas antenas con frecuencias centrales

de 50 MHz (no apantalladas) y 100 MHz, 250 MHz y 500 MHz (apantalladas). Los registros obtenidos han sido tratados digitalmente a través de amplificación de la señal con la profundidad, filtro de frecuencias fuera de rango y, puntualmente, migrado de los perfiles. La velocidad de propagación de las ondas en el medio se ha obtenido a partir del ajuste de hipérbolas de difracción en los perfiles, obteniéndose una velocidad media de propagación de 90 m/μs.

**Resultados**

**Caracterización litológica y edad de los materiales.**

Los sondeos DV2 y DV3 han permitido recuperar un testigo continuo de 21 y 16 m respectivamente. En conjunto, las litologías identificadas son: tobas, margas grises, lutitas marrones y arenas ocres, con presencia variable de oncolitos y fragmentos de tobas.

La litología común en ambos sondeos son los niveles de tobas, de 10-20 cm de espesor (ocasionalmente hasta 75 cm). Se corresponden con boundstone de bryophytas, estromatolitos y tallos que, en algunos casos, corresponden al desarrollo de barre-

ras fluviales. La diferencia entre ambos sondeos está en las litologías que separan los niveles de toba. Así, en el sondeo DV2 hay tramos de lutitas y margas, con espesores de decimétricos a métricos, que contienen abundantes oncolitos y fragmentos de toba (de hasta 8 cm) dando lugar a texturas wackestone a packstone y floatstone a rudstone. Por el contrario, en el sondeo DV3 dominan las arenas amarillas en la mitad inferior y las margas grises en la superior, ambas en niveles de espesor decimétrico (10-30cm), ocasionalmente 1 m. Presentan restos de toba de tamaño milimétrico y escasos oncolitos.

La edad de los materiales ha sido precisada en base a 5 dataciones de U/Th cuyas muestras han sido tomadas en el sondeo DV2, indicando un rango de edad Pleistoceno superior-Holoceno.

**Prospección geofísica**

Los perfiles de georradar se han realizado a lo largo de parcelas agrícolas con topografía general subhorizontal. Partiendo de la posición en la que se perforó el sondeo DV2 y desplazándonos aguas arriba, se han realizado perfiles con dirección SE-NW

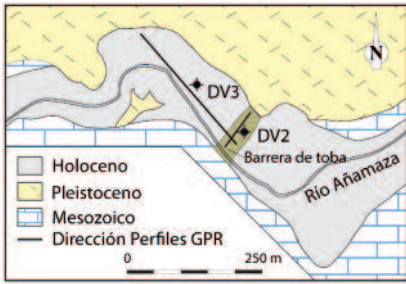


Fig. 2.- Situación de sondeos y perfiles GPR.  
Fig. 2.- Location of cores and GPR profiles.

y NE-SW. Atendiendo a la reflectividad aparente, amplitud, dispersión y grado de atenuación de los registros, los perfiles muestran dos tipologías diferentes (Fig. 3A) que permiten definir dos radarfacies en el sentido de Baker (1991). La radarfacies A está caracterizada por registros de georradar inhomogéneos con multitud de anomalías hiperbólicas. Se trata, en general, de medios muy dispersivos y con reflectores que cambian su buzamiento y disposición internamente. Esta radarfacies muestra variaciones geométricas internas en las que se pueden identificar reflectores con disposición no horizontal (Fig.3B). Frente a ella, la radarfacies B se corresponde con un medio mucho más homogéneo, menos reflectivo o de características más atenuantes, con una disposición subhorizontal de los reflectores, o un comportamiento homogéneo relativo. La discriminación entre ambas radarfacies es más sencilla para el caso de los equipos de georradar de alta frecuencia (mayor resolución).

Los perfiles realizados muestran radarfacies de tipo A en los extremos SE y NW de los perfiles y un sector intermedio con radarfacies B (Fig. 3A). Asimismo se observa que en las zonas donde ambas facies se encuentran en contacto, la B se dispone sobre la A, si bien los contactos son progresivos para el caso del extremo meridional y más netos para el caso del extremo septentrional de los perfiles. En detalle (Fig. 3C), si bien en el sector intermedio se identifica un comportamiento de tipo homogéneo (radarfacies B) que se prolonga en profundidad, éste se muestra localmente interrumpido por medios de tipo A, que pueden aparecer aislados, o en conexión lateral con las radarfacies A localizadas en ambos extremos de la zona de prospección.

En relación con el buzamiento de los reflectores (Fig. 3A), en el caso de los perfiles SE-NW existe gran variabilidad, siendo más

acusados los buzamientos hacia el NW en el caso de la radarfacies A localizada en el sector meridional de los perfiles (Fig. 3B), o hacia el SE en el caso de la radarfacies A del sector septentrional. En el caso de los perfiles con orientación principal NE-SW (Fig. 3D), el buzamiento general es hacia el SW.

### Discusión

La comparación entre los resultados obtenidos del análisis sedimentológico y las radarfacies definidas a partir de la prospección geofísica, muestran que el principal cambio entre las dos radarfacies no se correlaciona con un cambio litológico significativo (con materiales básicamente carbonatados), sino con la estructura del depó-

sito y la textura de las intercalaciones detríticas. De este modo, la radarfacies A se corresponde con áreas donde la estructura es más desorganizada y las intercalaciones entre carbonatos presentan variación granulométrica (wackestone a rudstone), mientras que el comportamiento homogéneo de la radarfacies B se correlaciona con la existencia de niveles de carbonatos con intercalaciones de lutitas. La correlación observada muestra un claro paralelismo con los resultados obtenidos por Pedley *et al.* (2000) con medios de GPR brillantes ("bright") para los materiales litificados y con horizontes ricos en litoclastos frente a medios con bajo contraste en las reflexiones para los medios homogéneos de tipo limo.

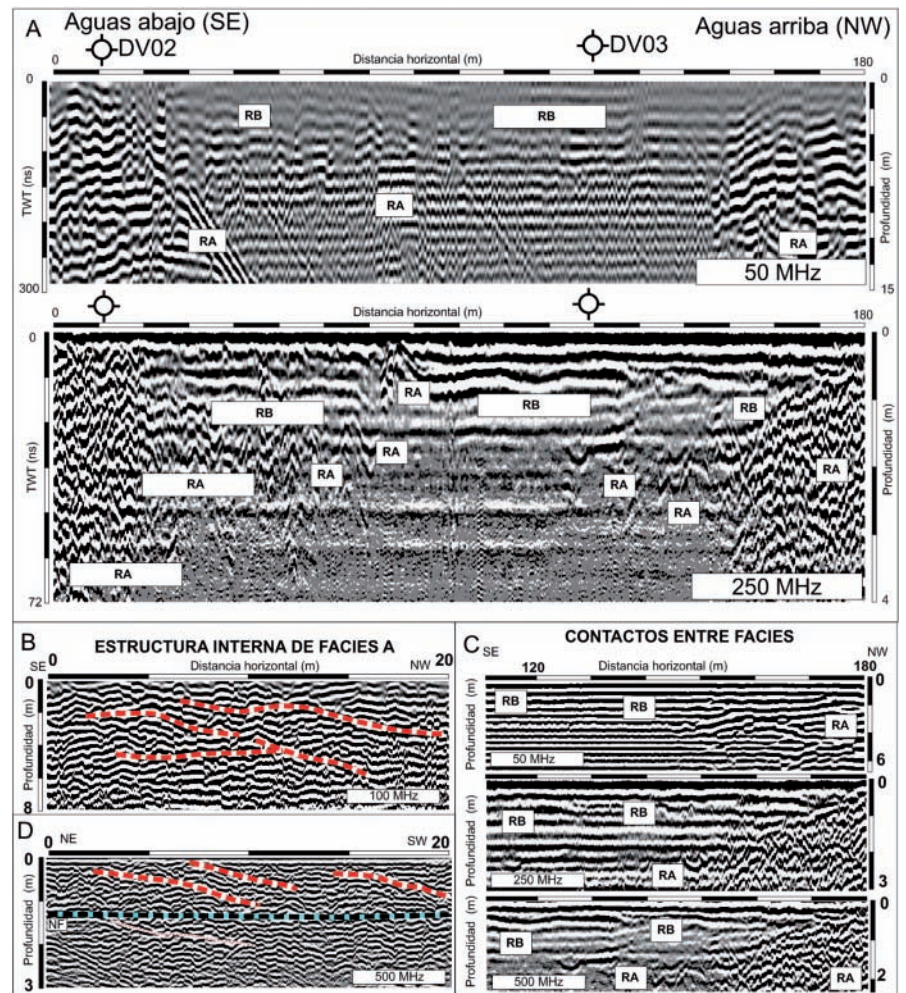


Fig. 3.- A. Perfiles de georradar realizados con el equipo de frecuencia central de 250 MHz en paralelo al sistema de progradación donde se han identificado las dos tipologías de facies. B y D. Detalle de algunos de los perfiles para la identificación de la estructura interna de la radarfacies A. C. Secciones de perfiles de georradar para el contacto de radarfacies B y A observados por distintos equipos de georradar.

Fig. 3.- A. GPR profiles developed with the 250 MHz central frequency device done parallel to the progradation system and where the different radarfacies identified are marked. B and D. Internal structure characterization of radarfacies A. C. GPR profiles where contact between radarfacies A and B are identified for different GPR antennas.

Los afloramientos de la zona permiten comprobar que la estructura interna de las barreras es más desorganizada que la observable en las zonas entre barreras (disposiciones tabulares-irregulares). De este modo la localización de los sondeos y las características de la radarfacies A permiten asociarla con los medios de tipo barrera carbonatada y las de la radarfacies B con medios homogéneos de tipo piscina entre barreras.

Los perfiles de radar SE-NW muestran una distribución centrípeta de los reflectores desde zonas inhomogéneas (de barrera) localizadas en los extremos hacia el sector donde domina la radarfacies B (medio de piscina). Los perfiles muestran, además, un crecimiento agradante de los cuerpos de barreras carbonatadas (con buzamiento de reflectores en ambos sentidos) y de las piscinas, pero con una distribución claramente asimétrica en este caso (radarfacies B). De este modo, el contacto entre los dos medios identificados es progresivo, con el medio B desarrollando un onlap sobre el medio de tipo A (Fig. 3C). Este contacto es algo más neto entre el medio B y la parte localizada aguas arriba del medio A.

El análisis en detalle de las variaciones geométricas en el interior de los medios de tipo piscina muestra, en algunos casos, la existencia de radarfacies de tipo A. Estas pueden mostrar continuidad lateral con la construcción localizada aguas abajo (momentos de mayor extensión de la barrera), o ser elementos aislados dentro de los medios de tipo B (posibles construcciones de pequeño tamaño incluidas dentro del medio de piscina).

La estructura interna de los medios de tipo barrera muestra una mayor complejidad, con buzamientos variables y a veces

muy elevados, geometrías plano-cóncavas e interrupción lateral de reflectores. Ello demuestra el continuo crecimiento-destrucción de las barreras.

Sin embargo, frente a la aparente doble vergencia de la radarfacies A en los perfiles perpendiculares al sistema, en aquellos desarrollados paralelos a las barreras, se observa que crecieron exclusivamente hacia el SW, indicando un desplazamiento del cauce del río en el mismo sentido a lo largo del Holoceno.

Por otro lado, se puede establecer que la parte superior de la barrera localizada aguas abajo, se localiza en una posición topográfica más elevada que la localizada aguas arriba. Esto, unido al hecho de que el medio de piscina "onlapa" claramente la barrera aguas arriba, indica que la elevada tasa de sedimentación y la agradación registrada en este sistema (Luzón *et al.* 2011) estuvo controlada por la precipitación de carbonato y el crecimiento progresivo en altura de algunas barreos de toba que dificultaron la evacuación del material aguas abajo.

## Conclusiones

Los resultados presentados muestran las posibilidades del análisis combinado georadar-afloramientos-sondeos en el establecimiento de la geometría y las características internas de depósitos altamente erosionables como los sistemas de tobas. Nuestros datos han permitido identificar medios de tipo piscina y barreras, de los que no existían evidencias superficiales, precisar la correlación de afloramientos aislados y obtener claves para la correcta interpretación del funcionamiento del sistema. Por otro lado, los medios de tipo tobáceo no

sólo se identifican marginalmente respecto a los medios de piscina, sino que se identifican pequeños crecimientos aislados dentro de estos últimos, a veces en conexión con barreras más importantes.

En general, el dispositivo muestra un sistema agradante con una clara anisotropía en el crecimiento. Esta anisotropía es muy marcada para el caso del relleno de piscina, con un contacto neto en relación con la barrera aguas abajo, y una disposición del relleno transgresiva sobre la barrera localizada en posiciones aguas arriba. Asimismo se observa una disposición asimétrica (progradante) perpendicular al cauce fluvial.

## Agradecimientos

Trabajo subvencionado por el proyecto CGL2009-09165/BTE del MCINN y fondos FEDER. Así como de los grupos Análisis de Cuenas Sedimentarias Continentales y Geotransfer (UZ-DGA).

## Referencias

- Arenas, C., Sancho, C., Vazquez-Urbez, M., Pardo, G., Hellstrom, J., Ortiz, J.E., Torres, T.G., Osácar, C. y Auqué, L. (2010). *Geogaceta*, 49, 51-54.
- Baker, P.L. (1991). *Expl. Geophys*, 22, 19-22.
- Luzón, M.A., Pérez, A., Borrego, A.G., Mayayo, M.J. y Soria, A.R. (2011). *Sedimentary Geology*, 239, 87-103.
- Pedley, H.M., Hill, I., Denton, P. y Brasington, J. (2000). *Sedimentology*, 47, 721-737.
- Pérez, A., Luzón, A., Soria, A.R., Borrego, A.G., Holmes, J. y Mayayo, M.J. (2010). *Geogaceta*, 48, 39-42.
- Saénz García, C. (1954). *Boletín Real Sociedad Española de Historia Natural*. Tomo de homenaje a E. Hernández-Pacheco, 60-67.
- Sáenz, C. y Sanz, E. (1989). *Turiaso*, 9, 225-243.