

Evaluación de técnicas de prospección electromagnética en la explotación de nódulos masivos de yeso alabastrino

Evaluation of electromagnetic geophysical techniques in the mining of massive nodules of alabaster gypsum

Óscar Pueyo Anchuela¹, Carlos Revuelto², Andrés Pocovi Juan¹, Emilio Querol Monfil³ y Juan Ignacio Bartolomé³

¹ Grupo de Investigación Geotransfer. Dpto. Ciencia de la Tierra. Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza, España. opueyo@gmail.com, apocovi@unizar.es

² Geoscan Consultoría S.L.L. Ajedrea 20, Nave E-24, Parque Empresarial Magnus (Pol. Empresarium), 50720, Zaragoza, España. crevuelto@geoscan.es, jibartolome@geoscan.es

³ Asistencia Técnica Minera ATM S.L. Cantagallos, 1, Alcañiz (Teruel), España. emilio@atmsl.com

ABSTRACT

The Central Ebro Basin exhibits a wide potential in the mining of alabaster nodules. Their sedimentary and diagenetic origin makes difficult the resources evaluation from conventional surficial analyses. In this work, the application of electromagnetic geophysical techniques in the identification of such nodules is evaluated at different mining stages. Obtained data show that only after the cover retirement and with high frequency GPR antennas, nodules can be discriminated. These aspects limit the applicability of such techniques in the exploration campaigns but permit the evaluation of resources and reserves during quarry activity.

Key-words: Gypsum, alabaster, GPR, EM, geophysics.

RESUMEN

La explotación de nódulos de alabastro tiene en los materiales evaporíticos de la Cuenca del Ebro un gran potencial. Las características sedimentarias y diagenéticas de su formación dificultan la predicción y evaluación de estos recursos a partir de técnicas convencionales de superficie. En este trabajo, se evalúa la aplicabilidad de técnicas geofísicas electromagnéticas para la localización de dichos nódulos en distintos estadios de la actividad minera. Los resultados obtenidos permiten identificar que sólo tras haberse retirado la cobertera sobre los niveles de explotación y con antenas de georradar de alta frecuencia se pueden identificar dichas estructuras en los niveles. Estos aspectos limitan la aplicabilidad de estas técnicas como técnica de exploración pero no en la evaluación de recursos y reservas en frentes de explotación.

Palabras clave: Yeso, alabastro, GPR, EM, geofísica.

Geogaceta, 57 (2015), 47-50.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 23 de junio de 2014
Fecha de revisión: 22 de octubre de 2014
Fecha de aceptación: 28 de noviembre de 2014

Introducción

Las características de translucidez, ductilidad y homogeneidad del yeso con textura alabastrina lo hacen una roca con amplias aplicaciones tanto como piedra ornamental, esculturas o producción de elementos decorativos. Su uso está íntimamente relacionado con factores asociados a su homogeneidad textural, isotropía y grado de transparencia y tiene, en Aragón, uno de los productores mundiales más importantes (se estima que entre el 80 y el 95% de la producción mundial; López Gabasa, 2005; Rubio Navas *et al.*, 2007).

La explotación de estas rocas en Aragón se realiza principalmente en las unidades evaporíticas del sector Central de la Cuenca del Ebro (Fm. Zaragoza; Quirantes, 1978),

aunque existen explotaciones también en la Fm. Yesos de Barbastro, las unidades evaporíticas neógenas del relleno de la Cuenca de Calatayud, el Keuper, u otras formaciones detríticas oligocenas o cretácicas de menor desarrollo (Rubio Navas *et al.*, 2007).

Además de la explotación para la producción de hemihidrato y yeso aglomerante para construcción, la explotación para roca ornamental requiere de unas características texturales y de homogeneidad determinadas que hacen que su explotación dependa de distintos factores asociados a las condiciones de formación de la roca evaporítica, los procesos de deshidratación (paso a anhídrita) y su hidratación posterior, equilibrio entre crecimiento, presión intersticial y carga sedimentaria que permitan el crecimiento de los nódulos y la necesaria desaparición de

las texturas primarias de la roca. Estos nódulos suelen aparecer incluidos en niveles estratiformes de yesos laminados, con intercalaciones margosas y pueden alcanzar tamaños de entre 0,5 a 2 metros de diámetro. Los factores que evalúan su calidad se relacionan con su homogeneidad textural, color, ausencia de intercalaciones y tamaño. Estos factores producen que la explotación tradicional se produzca a través de la retirada de los materiales cuaternarios y niveles detríticos cenozoicos localizados por encima de los niveles de yeso y donde los frentes de explotación siguen aquellos niveles con las características comerciales deseadas. Esta forma de explotación puede suponer importantes impactos asociados a la excavación, y que en muchas ocasiones, puedan presentar bajos rendimientos.

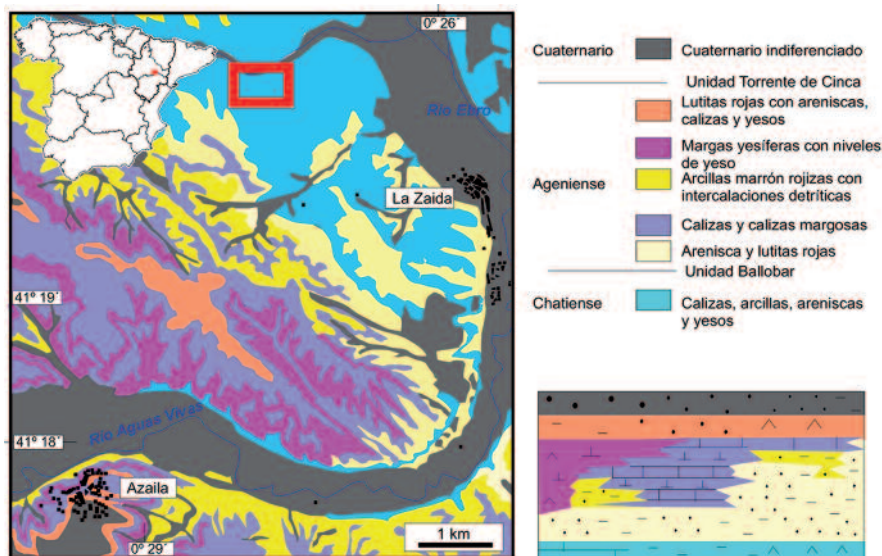


Fig. 1.- Mapa geológico del entorno de la zona de estudio (modificado de Ramírez Merino *et al.*, 1997 y Hernández Samaniego *et al.*, 2004). (Figura en color en la web).

Fig. 1.- Geological map from the studied zone (after Ramírez Merino *et al.*, 1997 and Hernández Samaniego *et al.*, 2004). (Colour figure on the web).

Dada esta limitación de predicción previa, además de la evaluación de las características geológicas locales y cartografías detalladas de los niveles con estas características, este análisis podría ser abordado a través de la aplicación de aproximaciones indirectas que permitieran la evaluación del tipo y estructura de los materiales del subsuelo. La prospección geofísica puede servir para este tipo de análisis y debería centrarse tanto en la capacidad de identificar niveles yesíferos en el subsuelo, como también en técnicas que permitieran establecer la geometría, estructura de los niveles yesíferos y su contenido en nódulos.

La prospección geofísica en la caracterización de niveles evaporíticos, su posición y características, se ha centrado habitualmente en la prospección por tomografía eléctrica ofreciendo buenos resultados en la caracterización de la estructura general de las unidades (p. ej., Lugo *et al.*, 2008; Guinea *et al.*, 2009; 2014). Sin embargo, a la resolución requerida para la identificación de nódulos que, en condiciones excepcionales, pueden llegar a tener 1,5 a 2 metros, no parece estar dentro de los rangos esperados de dicha técnica. Por otro lado, las principales variaciones asociadas a los nódulos alabastrinos son más de tipo estructural que de cambio de las propiedades de los materiales.

La aplicación del georradar (GPR) en la identificación de la estructura interna de materiales evaporíticos ha mostrado previamente resultados interesantes (Dérobert

y Abraham, 2000; Kovin, 2011) con factores de atenuación, en general, bajos. En este sentido, la aplicación integrada de georradar y medidas de conductividad eléctrica aparente a través de prospección electromagnética de frecuencia variable, podría ayudar en la caracterización del subsuelo con fines de evaluación.

Para este cometido se ha diseñado una campaña piloto sobre la aplicabilidad de la prospección geofísica por georradar y electromagnética de frecuencia variable con los siguientes objetivos: i) delimitación potencial del espesor de cuaternario o niveles detríticos por encima de los niveles con nódulos y ii) capacidad de identificación de nódulos alabastrinos en el interior de los niveles yesíferos. Los principales resultados de esta campaña se recogen en este trabajo.

Contexto del estudio

El análisis geofísico se ha realizado en una cantera de Exportadora Turolese S.L., que se encuentra actualmente en explotación en Azaila (Teruel). La unidad en explotación se caracteriza por un nivel o grupo de niveles con geometría tabular y donde se identifican, en su interior, estructuras nodulares de desarrollo métrico (Fig. 2). Por encima de esta unidad se identifican niveles de areniscas, lutitas y de yesos con estructura laminar o en empalizada de edad Ageniense (Unidad Mequinenza-Ballobar; Ramírez Merino *et al.*, 1997; Hernández Samaniego *et al.*, 2004; Fig. 1). El Cuaternario recubre esta

unidad y está caracterizado por depósitos de tipo glacis y un suelo vegetal.

La prospección se ha realizado en varios contextos (Fig. 2A): i) zona no modificada por la explotación (zona 01) en la que se identifica una serie de entre 4-8 metros de cuaternario, un tramo cenozoico principalmente detrítico (4-6 metros) y la identificación de niveles con nódulos métricos de alabastro, ii) directamente sobre el techo de la unidad que contiene nódulos y que están siendo explotados en la actualidad (zona 02) y iii) a la cota de la base de la unidad previamente explotada (zona 03). La campaña geofísica consistió en la realización de prospección geofísica electromagnética de frecuencia variable (GEM-02; para frecuencias de entre 5,3 y 65 KHz) y georradar con antenas no apantalladas (50 MHz) y apantalladas 100 y 250 MHz (Ramac, CUI-2). El objetivo de la prospección en cada una de las zonas fue diferente, por un lado, analizar la posibilidad de identificar el espesor de cuaternario y de niveles detríticos localizados por encima del nivel de yeso con nódulos (zona 01) y, por otra parte, determinar la capacidad de las técnicas para discriminar la presencia de nódulos en el interior de las unidades del subsuelo (zonas 02 y 03).

Resultados

Dados los distintos objetivos de la prospección en los distintos sectores, los resultados son presentados por separado para los sectores 01 y 02-03.

En el caso de la zona 01, los perfiles de georradar permiten identificar (Fig. 3) un medio superficial homogéneo o con cambios progresivos de la cota de los reflectores. Este dispositivo se desarrolla a lo largo de toda la zona de prospección y donde se puede identificar, en los perfiles migrados, un contacto inferior donde se produce una reducción drástica de la penetración de los equipos.

La prospección electromagnética de frecuencia variable muestra, en el sector central, un incremento de la conductividad aparente transversal a la zona de prospección (Fig. 3). Este incremento puede identificarse para todas las frecuencias de estudio, aunque presenta sus mayores contrastes en las frecuencias más altas analizadas (contrastos mayores en los intervalos más someros de análisis). La conductividad aparente total (Fig. 3) muestra que las anomalías principales se identifican en el inter-

valo de mayor frecuencia analizado ($f = 65$ KHz) y que supondría su localización en una profundidad media de 7,5 metros (Won *et al.*, 1996).

El estudio integrado de georradar y prospección electromagnética permite identificar cambios paralelos entre el incremento de conductividad y el espesor de la unidad localizada por encima del contacto de alta atenuación identificado en el georradar y cambios estructurales internos dentro de dicha unidad. La penetración de los equipos es variable, siendo en el caso de los equipos de frecuencia central de 50 MHz, donde se puede identificar claramente el contacto mencionado en el subsuelo (Fig. 3). En el caso de los perfiles de 100 y 250 MHz no llega a alcanzarse dicho contacto.

En el caso de las zonas 02 y 03 de prospección, la penetración de los equipos de georradar muestra resultados similares, con un medio superficial reflectivo en el que se identifican cambios laterales netos de la estructura (caso de las antenas de 100 MHz), y donde se desarrollan anomalías puntuales con geometría hiperbólica para los perfiles realizados con el equipo de 250 MHz (Fig. 4). En todos los equipos, la penetración efectiva identificada en los registros no excede los 2-3 metros (Fig. 4). Los resultados obtenidos en las zonas 02 y 03 muestran resultados similares, aunque la densidad de anomalías hiperbólicas es mayor en la zona 02 de prospección (Fig. 4).

Discusión

Los registros geofísicos obtenidos y la comparación con los frentes de explotación próximos (en algunos casos la prospección se realizó en las inmediaciones de los límites de las bermas de la zona) pueden permitir determinar la sensibilidad de las técnicas y de los equipos utilizados en su aplicación para la explotación de nódulos alabastrinos en este o en otros sectores.

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten identificar, en entornos no excavados, un contacto neto de penetración para equipos de baja frecuencia. Este contacto, respecto la serie analizada en la zona, se correspondería con el límite entre el Cuaternario y el Cenozoico detrítico inferior. Sin embargo, dada la profundidad, antenas y resolución, no es posible identificar la presencia de nódulos en las unidades inferiores. En el caso de la prospección elec-

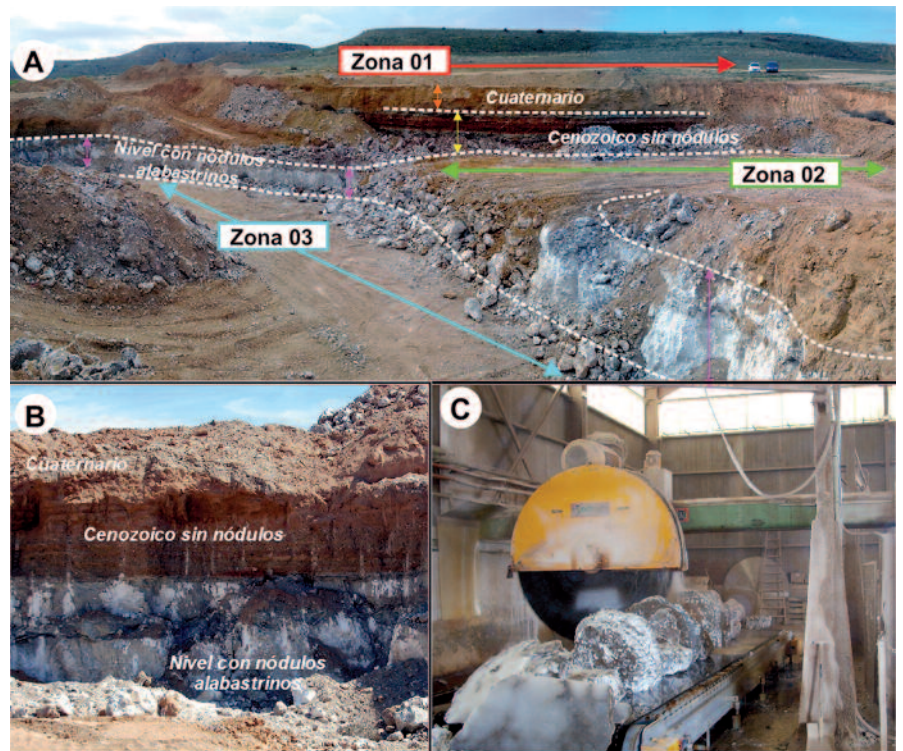


Fig. 2.- A) Zona de estudio donde se delimitan las unidades aflorantes en la zona y los sectores o zonas de prospección. B) Detalle de la serie analizada. C) aspecto de los nódulos alabastrinos durante las labores de corte.

Fig. 2.- A) Studies zone where the different outcropping units and the studied sectors are delimited. B) Detail from the analyzed series. C) Aspect of the alabaster nodules during cutting labors.

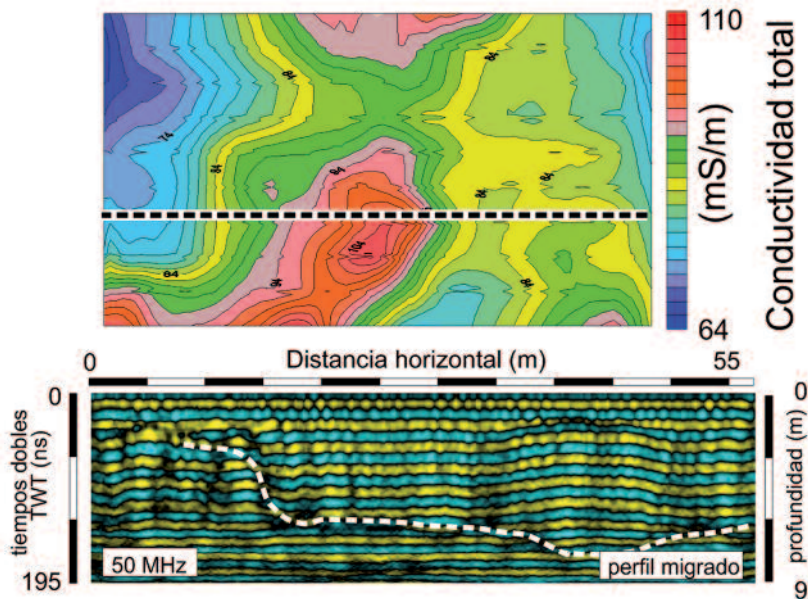


Fig. 3.- Mapa de conductividad aparentes para la zona analizada en el sector 01 y perfil de georradar realizado con el equipo de 50 MHz (perfil migrado). El perfil está localizado en el mapa de conductividades (línea discontinua). Velocidad de propagación 100 m/μs. (Figura en color en la web).

Fig. 3.- Apparent conductivity map from the zone 01 of study and gpr profile (50 MHz, migrated). The GPR profile location is included over the conductivity map (discontinuous line). Propagation velocity 100 m/μs. (Colour figure on the web).

tromagnética, los principales cambios identificados parecen responder a cambios del espesor y de las características internas de la unidad cuaternaria sin identificarse cam-

bios a las cotas esperadas para los niveles yesíferos.

En el caso de la prospección en las zonas 02 y 03, sólo los registros obtenidos

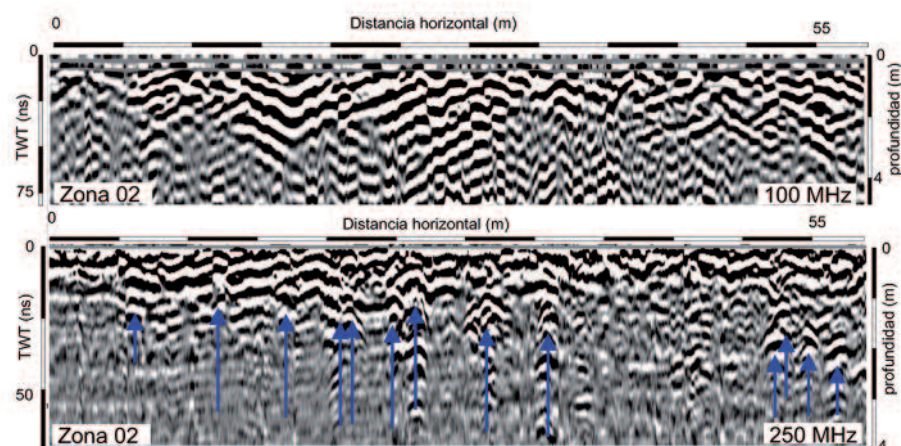


Fig. 4.- Perfiles de georradar realizados en la zona 02 de prospección con antenas de 100 y 250 MHz. En el perfil de 250 MHz se indica a través de flechas la localización de hipérbolas interpretadas como nódulos dentro de los niveles yesíferos. Velocidad de propagación 100 m/μs.

Fig. 4.- GPR profiles done in the zone 02 with 100 and 250 MHz antennas. In the 250 MHz profile arrows indicate the position of hyperbolic anomalies interpreted as related to alabastrine nodules within the gypsiferous levels. Propagation velocity 100 m/μs.

con el equipo de 250 MHz permiten identificar anomalías aisladas asociables a los nódulos alabastrinos en el interior de la unidad yesífera subyacente. En este contexto, la penetración de los equipos está restringida a los primeros metros y es similar con independencia de las antenas utilizadas (Fig. 4).

Conclusiones

El análisis realizado con el objetivo de determinar la aplicabilidad de algunas técnicas de prospección electromagnética en la evaluación de recursos mineros asociados a nódulos alabastrinos en unidades cenozoicas de la Cuenca del Ebro, presenta resultados limitados sobre su rentabilidad de aplicación.

Por un lado, estas técnicas podrían aplicarse en la caracterización del espesor del recubrimiento cuaternario por encima de los materiales cenozoicos de la zona, pero no en la determinación del espesor de unidades detríticas cenozoicas localizadas por encima de los niveles alabastrinos de potencial explotación. En este contexto, la presencia o ausencia de nódulos alabastrinos no podría ser evaluada en condiciones previas al inicio de las actividades mineras.

Por otro lado, la utilización de equipos de alta frecuencia en la caracterización de

dichas unidades sólo es viable técnicamente cuando la prospección se realiza inmediatamente sobre los niveles de explotación. En estos casos, los equipos de alta frecuencia permiten identificar la presencia de anomalías puntuales de alto contraste y que se correlacionan con la estructura esperada de nódulos alabastrinos dentro de las unidades yesíferas. Sin embargo, no sería de aplicación si no se han retirado previamente los niveles cuaternarios y cenozoicos detríticos superiores a los niveles yesíferos de interés.

En este contexto, los resultados obtenidos no permitirían evaluar la potencialidad de una zona para su explotación. Sin embargo, dados los resultados obtenidos con los equipos de alta frecuencia sobre las bermas de la cantera y la limitada información previa de la que se dispone sobre las características internas estructurales de las unidades de explotación, sí podrían utilizarse en la evaluación de reservas. Esta evaluación podría realizarse en momentos de baja actividad minera y con el objetivo de dimensionar las reservas disponibles. Esta información permitiría evaluar las reservas accesibles en los frentes previamente preparados y desarrollar la actividad comercial bajo demanda. En este momento, esta propuesta está siendo considerada para realizar una evaluación geofísica completa de uno de los yacimientos en explotación y que

podrá ser contrastada mediante su excavación.

Agradecimientos

Los autores quieren reconocer la colaboración de la empresa Exportadora Turo-lense S.L. en la realización de este trabajo. La financiación de esta investigación se ha realizado dentro del Convenio "ETRIDITER" entre la Universidad de Zaragoza y Geoscan S.L.L. y por el Grupo de Investigación Geotransfer de la Universidad de Zaragoza (financiado por el Gobierno de Aragón y Fondos Feder). Los autores quieren agradecer los comentarios y sugerencias de los editores y de dos revisores anónimos.

Referencias

- Dérobot, X. y Abraham, O. (2000). *Journal of Applied Geophysics* 45, 157-169
- Guinea, A., Playà, E., Rivero, LL., Salvany, J.M. y Himi, M. (2009). *Geogaceta* 47, 145-148
- Guinea, A., Playà, E., Rivero, LL. y Salvany, J.M. (2014). *Engineering Geology* 174, 73-86
- Hernández Samaniego, A., Ramírez Merino, J.I., Gomez Gras, D., Ramírez del Pozo, J. y Cuenca Bescós, G., (2004). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja n° 441 (Hijar) y memoria*. IGME, Madrid, 78 p.
- Kovin, O. (2011). *Journal of Applied Geophysics* 74, 131-141.
- López Gabasa, A. (2005) En: *Comarca de Ribera Baja del Ebro* (P. Bes Gracia y J. Blasco Zumeta, Eds.). Colección territorio, 17. Gobierno de Aragón, 339-349.
- Lugo, E., Playà, E. y Rivero, LL. (2008). *Geogaceta* 44, 223-226.
- Quirantes, J. (1978). *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario Continental de Los Monegros*. Institución Fernando el Católico, C.S.I.C., Zaragoza. 200 p.
- Ramírez Merino, J.I., Simón, J.L., González Llamazares, J.C., García Villar, A. y Hernández Samaniego, A. (1997). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja n° 413 (Gelsa) y memoria*. IGME, Madrid, 77 p.
- Rubio Navas, J., Baltuille Martín, J.M., Alberruche del Campo, E., Bel-Lan Ballester, A., Corral Lledó, M.P., Marchán Sanz, C. y Pérez Cerdán, F. (2007). *Libro Blanco de la Minería de Aragón*. IGME y Gobierno de Aragón. 594 p.
- Won, I.J., Keiswetter, D.A., Fields, G.R.A. y Sutton, L.C. (1996). *Journal of Environmental and Engineering Geophysics* 1, 129-137.