

# Distribución de los espesores del aluvial de la zona de Zaragoza, análisis de la influencia kárstica

## *Thickness distribution of alluvial deposits in the Zaragoza area, analysis of the karstic influence*

Óscar Pueyo Anchuela<sup>1</sup>, Héctor Gil<sup>1</sup>, Javier Ramajo<sup>1</sup>, Javier F. Ipas<sup>1, 2</sup>, José Luis Simón<sup>1</sup>, Diego Ansón<sup>1</sup> y Javier Gracia<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna, 12, 50009 Zaragoza, España. opueyo@gmail.com, hecgilgarbi@gmail.com, javierramajo@gmail.com, apocovi@unizar.es, ipas@unizar.es, jsimon@unizar.es, anson.diego@gmail.com

<sup>2</sup> Tubkal Ingeniería, S.L., C/ Juan Pablo II, 70, 9ºA, 50009. Zaragoza, España. jipas@tubkal.com

<sup>3</sup> Control 7. Polígono Malpica – Santa Isabel, Calle E, parcelas 59-61, nave 9. 50057 Zaragoza, España. grabaja@control7.es

### ABSTRACT

*Anomalous Quaternary alluvial thickness development is analyzed in the surroundings of the Zaragoza city. Thickness and substratum position models allow identifying the presence of space creation due to evaporite solution that produced anomalous thickness or substratum topographic depressions. These depressions do not show a correlation with actual rivers and they develop closed topographic depression without lateral continuity. Locally these sectors can exhibit anomalous thickness of several tens of meters. The influence of water mixing in the confluence of different aquifers and the presence of more soluble salts in the subsoil develops an irregular topography of the substratum. Actual karst activity is identified with a higher development over sectors linked to anomalous alluvial thickness identifying a long record of karst activity in such sectors.*

**Key-words:** Mantled karst, Ebro Basin, long subsidence record, paleotopographical models.

### RESUMEN

*En este trabajo se analiza el desarrollo anómalo de espesores del aluvial cuaternario en las proximidades de la ciudad de Zaragoza. Los modelos de espesor y posición del substrato permiten identificar la presencia de un espacio sedimentario creado en relación con la disolución de evaporitas en el subsuelo. Estas anomalías forman depresiones topográficas cerradas y sin continuidad lateral, que no presentan relación con los cauces actuales fluviales. Localmente estos sectores presentan espesores de materiales aluviales anómalos de varias decenas de metros. La influencia de la mezcla de aguas en la confluencia de distintos acuíferos y la presencia de sales más solubles en el subsuelo produjeron una topografía irregular del substrato. El desarrollo actual de dolinas en la zona es mayor en aquellos sectores asociados a mayores espesores del aluvial, permitiendo identificar una actividad kárstica de amplio desarrollo temporal.*

**Palabras clave:** Karst aluvial, Cuenca del Ebro, registro continuado de subsidencia, modelos paleotopográficos.

*Geogaceta*, 53 (2013), 113-116.  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 17 de julio de 2012  
Fecha de revisión: 25 de octubre de 2012  
Fecha de aceptación: 30 de noviembre de 2012

## Introducción

La disolución de evaporitas en el subsuelo de la zona de Zaragoza afecta a la Fm. Zaragoza (Quirantes, 1978) localizada por debajo del aluvial Cuaternario. Esta disolución produce afecciones superficiales y daños a estructuras y edificaciones. Además del desarrollo actual, existen evidencias de actividad kárstica sinsedimentaria durante la mayor parte del Cuaternario.

En distintos trabajos se han realizado mapas de espesores del aluvial analizando sus variaciones como consecuencia de la actividad kárstica durante la sedimentación en el entorno de Zaragoza (Simón *et al.*, 1998). Benito *et al.* (1998), interpretaban el desarrollo anómalo de espesores en la desem-

bocadura del río Gállego en Zaragoza como un proceso de subsidencia. Este proceso sería responsable de incrementos puntuales del espesor del aluvial por encima de los 100 metros. Aspectos similares han sido puestos de manifiesto también en el entorno del cauce y desembocadura del río Huerva en Zaragoza (Guerrero *et al.*, 2004). En estos sectores, como en las zonas analizadas en este trabajo, se puede identificar un espacio sedimentario creado difícilmente por erosión fluvial y que requiere de un hundimiento progresivo de la superficie de sedimentación durante el desarrollo del aluvial.

Por otro lado, el estudio de cortes naturales y antrópicos de las terrazas altas muestran claras evidencias de la contem-

poraneidad de la sedimentación con la creación de espacios sedimentarios (Luzón *et al.*, 2008).

En las terrazas bajas, es habitual la identificación de espesores anómalos del aluvial en zonas con evidencias superficiales de dolinas y que pueden presentar incrementos locales de varias decenas de metros. En estas terrazas, el nivel freático se encuentra siempre por encima del contacto con el substrato evaporítico y los incrementos de espesor se producen por debajo del nivel de base actual y de la previsible posición erosiva del cauce. Estos incrementos de espesor indican un proceso de largo recorrido temporal y asociado a tasas de subsidencia actuales no acorde con los espesores anómalos identificados.

Con el objetivo de analizar las variaciones del espesor del aluvial en el entorno de la ciudad de Zaragoza y de su orla industrial occidental se ha realizado un análisis integrado de la base de datos de puntos de agua (IPA) de la Confederación Hidrográfica del Ebro, datos de informes geotécnicos del Ayuntamiento de Zaragoza, y datos propios.

La zona de Zaragoza se localiza en el sector Central de la Cuenca del Ebro, en la confluencia de los ríos Ebro, Gállego y Huerva y del río Jalón aguas arriba de la ciudad. Los materiales aluviales presentan un desarrollo desigual y asimétrico con respecto al Ebro. Existe un escalonamiento progresivo de los niveles de terraza hacia el N, mientras que el río actual discurre en las proximidades del "escarpe del Ebro" (afloramiento de materiales terciarios que desarrolla alturas de varias decenas de metros con respecto al cauce; Fig. 1A). Los materiales aluviales están integrados mayoritariamente por gravas, y en menor medida por arenas y arcillas. Estos materiales conforman distintos niveles de terraza y la llanura de inundación. El trabajo presentado se centra principalmente en las terrazas bajas T1 a T3 de edad Pleistoceno-Actual (p.e., Gil Marín *et al.*, 1995).

En esta zona, la topografía muestra una depresión paralela al Ebro, donde el cauce actual se localiza desplazado dentro de esta depresión hacia el sector septentrional y donde se identifica un escalonamiento topográfico progresivo hacia el S frente a un contacto más neto al N (Fig. 1B).

Atendiendo al sustrato mioceno, la zona de Zaragoza y el sector aguas arriba de ésta, se encuentra en la zona central lacustre del lago Mioceno (con predominio de facies halíticas) bordeada por materiales menos solubles, donde el contenido en yesos supera el 80% (Orti, 1990; Fig. 1C). Al N y S del cauce del Ebro, afloran materiales mayoritariamente sulfatados, sin embargo existen materiales más solubles en el subsuelo identificados a través de sondeos (halita y glauberita; Salvany, 2009) o éstos se conocen en explotaciones mineras tradicionales aguas arriba de Zaragoza (sector de Remolinos).

La distribución de evidencias superficiales de actividad kárstica (dolinas) presenta un mayor desarrollo en el estudio de fotografías aéreas sobre las terrazas bajas (niveles T1 a T3), aunque las terrazas más altas (con menos desarrollo areal) presentan evi-

dencias similares de actividad paleokárstica (Fig. 1D).

Las dolinas presentan en la zona una orientación desigual (Fig. 1D), si bien se identifica una orientación principal paralela tanto a las direcciones estructurales (fracturación de los materiales miocenos; Arlegui y Simón, 2000), a los cambios generales de facies dentro del aluvial y a la orientación del cauce del Ebro actual. Las dolinas presentan una orientación principal NNO-SSE y las mayores anisotropías según una orientación N095°E,  $R=1,44$ .

## Modelos y resultado

El modelo se ha realizado a partir de 1725 puntos (sondeos), de los cuales 745 atraviesan el aluvial de forma completa y 29.692 se han utilizado para refinar el modelo con datos de espesores mínimos y de superficie.

El modelo de espesores del aluvial muestra un incremento significativo en el entorno septentrional de la ciudad de Zaragoza, en el valle de río Gállego similar al obtenido por Benito *et al.* (1998) y Moreno Merino *et al.* (2008), e interpretado como asociado a un proceso de subsidencia kárstica. En estos sectores los sondeos profundos de la zona muestran, en el subsuelo, facies halíticas por debajo del nivel freático local y regional. Se identifica otro grupo de máximos relativos, de menor desarrollo, coincidentes con la desembocadura del río Huerva en Zaragoza (de forma similar a los espesores anómalos descritos por Guerrero *et al.*, 2004), en la confluencia con el río Jalón y en un sector intermedio, sin asociación con cauces tributarios al Ebro y que representa dos incrementos locales de espesor por encima de la media de la zona (Fig. 1E).

El modelo realizado para la posición del sustrato en la misma zona, muestra un descenso topográfico general siguiendo el cauce tanto del río Ebro como del Gállego (en sentido aguas abajo). Resulta contradictorio que aunque los cauces produzcan un descenso de la cota del sustrato, dichas depresiones no coincidan en ninguno de los casos con los cauces actuales. En el caso del Ebro, la depresión topográfica del sustrato se localiza al S del cauce actual y éste se encuentra en un entorno con poco espesor de aluvial. Los modelos permiten identificar una distribución aislada de las depresiones topográficas del sustrato (Fig. 1E), sin continuidad lateral o sin una pauta

general asociable a la incisión de los cauces fluviales.

El modelo para la posición del sustrato permite identificar un depocentro sin solución de continuidad, localizado aguas arriba de la ciudad de Zaragoza. En este sector se identifica el mayor desarrollo de espesores del aluvial, posición relativa más profunda del sustrato evaporítico y una densidad media mayor de indicadores superficiales de actividad (dolinas y campos de dolinas).

## Discusión

Los resultados obtenidos muestran una depresión del contacto del sustrato (o espesores anómalos del aluvial) definiendo varios depocentros sin continuidad lateral definida. Esta no continuidad y la ausencia de correlación con los cauces de la zona, permite establecer un origen diferente al esperable para una incisión erosiva del río Ebro actual y sus afluentes. Estos depocentros se disponen según una dirección general paralela al cauce, a los contactos laterales de las facies más solubles interpretados en profundidad y en la confluencia de los 4 cauces analizados. Este desarrollo es mayor en el caso de las confluencias entre los ríos Gállego y Huerva con el río Ebro, pero también está presente en el caso del río Jalón. La relación entre la orientación de los depocentros, el cauce, la tectónica que afectó al Mioceno y la orientación de las dolinas en superficie presenta una distribución paralela. Esta correlación hace suponer una influencia mutua entre los distintos factores, aunque no determinante, ya que la anisotropía de las dolinas presenta una amplia variabilidad.

Los modelos de gradiente para las variaciones de espesor y topografía (Fig. 2), permiten identificar la presencia de individualizaciones locales de focos de subsidencia, diferentes y no relacionados con la incisión fluvial.

La correlación entre la orientación de las dolinas y los cambios anteriores, además del mayor desarrollo de dolinas en los sectores donde mayores espesores del aluvial se han identificado, permiten determinar un proceso kárstico continuado en el tiempo y que es activo actualmente.

Este mayor desarrollo de la actividad kárstica inferida afecta especialmente a la orla occidental de la ciudad de Zaragoza, coincidente con la presencia en profundidad de las fases evaporíticas más solubles del sustrato Mioceno.

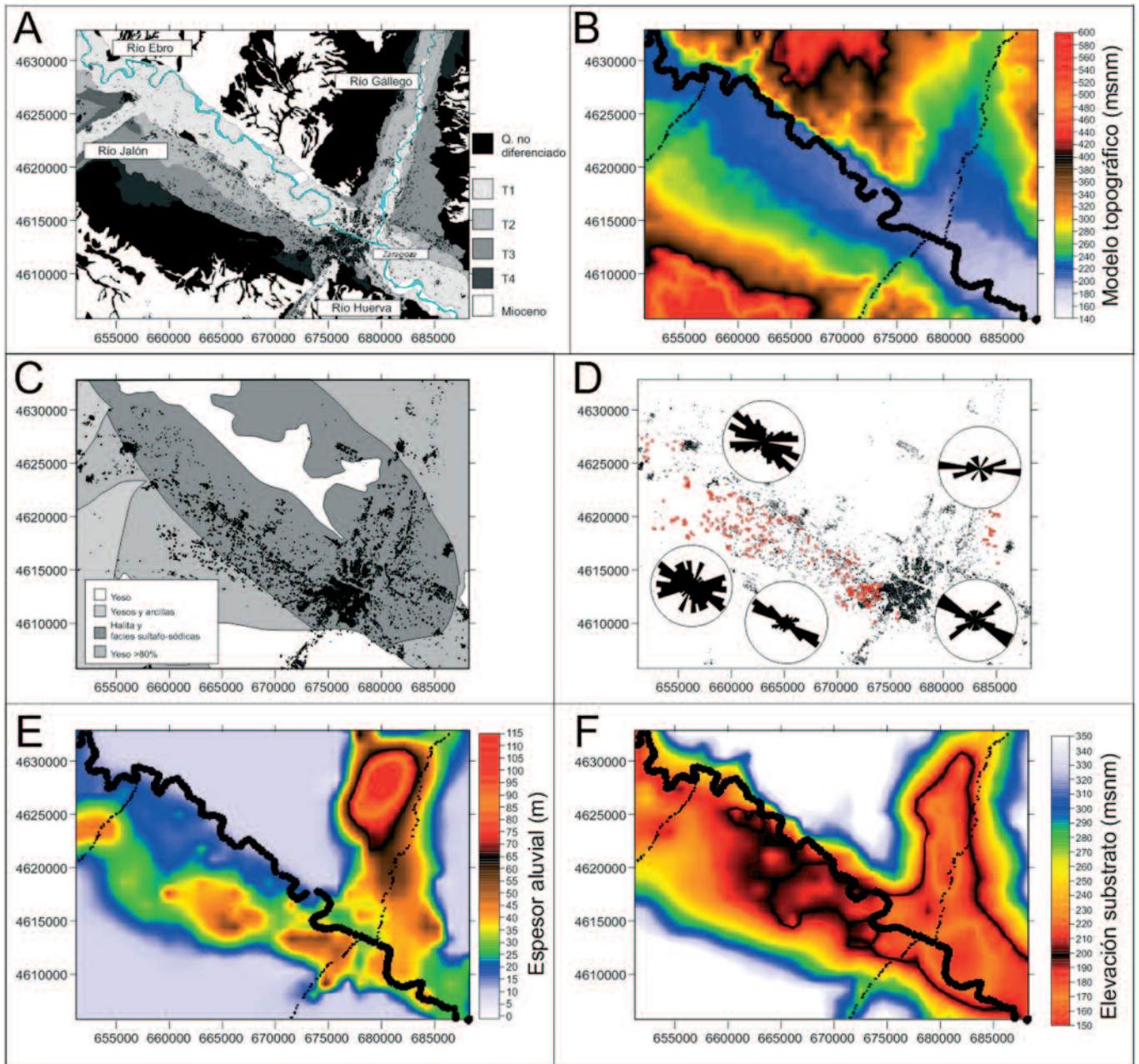


Fig. 1.- A. Cartografía geológica de la zona de estudio. B. Modelo topográfico para la misma zona (base SITAR del gobierno de Aragón). C. Distribución de facies evaporíticas en el subsuelo (Orti, 1990). D. Mapa de dolinas de la zona analizada y orientación principal de las mismas. E. Modelo de espesores modificado para espesores mínimos. F. Modelo de la cota de substrato corregido para profundidades mínimas. Cartografía en A y D basada en Esnaola y Gil (1998a, b), Gil Marín et al. (1995) y Marqués et al. (1998).

Fig. 1.- A. Geological mapping from the studied area. B. topographic model in the same zone (data from SITAR server; Gobierno de Aragón). C. Evaporitic facies distribution in the subsurface, (Orti, 1990). D. Sinkhole map from the studies zone and main orientation of their long axes. E. Thickness model from alluvial deposits after correction of minimum thickness. F. Model of substratum position after minimum depth correction. Cartography from A and D based in Esnaola and Gil (1998 a, b), Gil Marín et al. (1995) and Marqués et al. (1998).

### Conclusiones

El análisis de datos de sondeos realizados en el entorno de la ciudad de Zaragoza permite identificar variaciones del espesor del aluvial y de la cota de su substrato evaporítico en el subsuelo, no explicables a través de un contacto irregular erosivo. La disolución de materiales evaporíticos en el

subsuelo fue la principal responsable de la creación de espacios sedimentarios irregulares durante el depósito del aluvial. Los resultados presentados permiten identificar distintos factores responsables del desarrollo de espesores anómalos asociados con la disolución kárstica.

Estos factores pueden, en este momento, resumirse en: i) la influencia de los

cambios de facies evaporíticas en el subsuelo (caso del entorno aguas-arriba de Zaragoza o la desembocadura del Huerva y Gállego en Zaragoza), ii) la posible influencia de la fracturación que afecta al substrato o del gradiente hidráulico horizontal asociado al cauce del río actual (las depresiones del substrato y las dolinas superficiales muestran orientaciones compatibles con



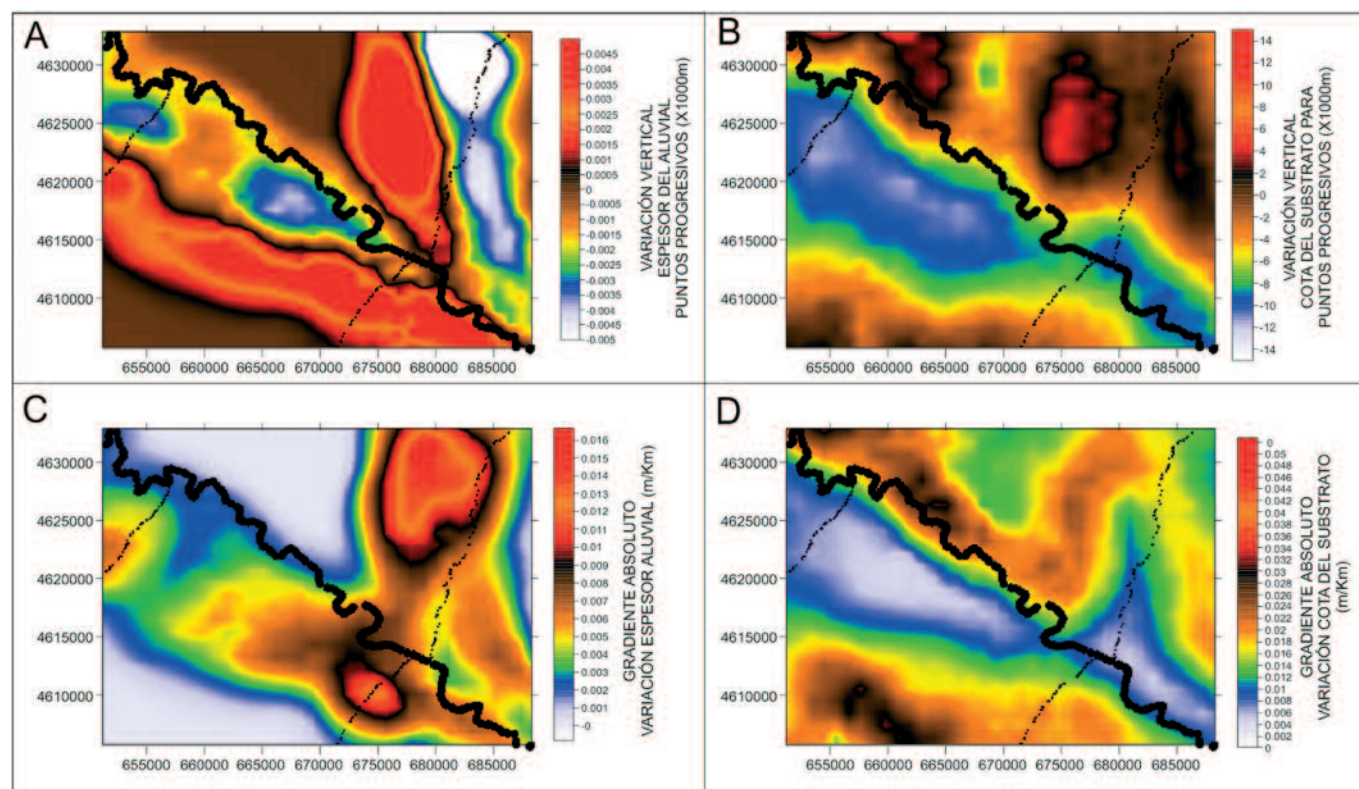


Fig. 2.- A. Variación vertical de espesor analizado entre puntos de medida correlativos. B. Variación vertical de la posición del substrato analizado para puntos de medida correlativos. C. Gradiente horizontal de variación del espesor del aluvial. D. Gradiente horizontal de variación de la cota de la posición del substrato.

Fig. 2.- Vertical changes of alluvial thickness between correlative points. B. Vertical variation of the substratum depth analyzed between correlative points. C. Vertical absolute gradient of alluvial thickness (m/Km) and D. Vertical absolute gradient of substratum position change (m/Km).

ambos factores), iii) la influencia de los niveles freáticos asociados a los cauces tributarios al Ebro y el desarrollo de incrementos del espesor del aluvial en zonas de mezcla de aguas de los diferentes acuíferos y iv) el factor temporal de los procesos kársticos, con un registro de actividad dilatado a lo largo del Cuaternario y donde los mayores espesores de aluvial se desarrollan en sectores donde todavía existen indicadores superficiales de actividad.

#### Agradecimientos

Los datos de los puntos utilizados provienen de datos públicos de la Confederación Hidrográfica del Ebro, Ayuntamiento de Zaragoza y datos provenientes de informes realizados por el Grupo de Investigación Geotransfer. Este trabajo forma parte de los objetivos del Grupo Consolidado de Investigación del Gobierno de Aragón (E27, Geotransfer). Los autores agradecen los comentarios y sugerencias de los revisores J.J. Durán Valsero y J.M. Salvany.

#### Referencias

- Arlegui, L.E., y Simón, J.L. (2000). *Cuaternario y Geomorfología*, 14, 11-20.
- Benito, G., Pérez-González, A., Gutiérrez, F. y Machado, M.J. (1998). *Geomorphology*, 22, 243-263.
- Esnaola, J.M. y Gil, C. (1998a). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 355 (Leciñena)*. IGME.
- Esnaola, J.M. y Gil, C. (1998b). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 383 (Zaragoza) y memoria*. IGME.
- Gil Marín, C., Santos, J.A., Marqués, A. y Esnaola, J.M. (1995). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 354 (Alagón) y memoria*. IGME.
- Guerrero, J., Gutiérrez, F. y Lucha, P. (2004). *Engineering Geology*, 72, 309-329.
- Luzón, M.A., Pérez, A., Soriano, M.A. y Pocoví, A. (2008). *Sedimentary Geology*, 205, 1-13.
- Marqués, L.A., Santos, J.A., Esnaola, J.M. y Gil, C. (1998). *Mapa Geológico de España*

1:50.000, hoja nº 384 (Fuentes de Ebro) y memoria. IGME.

- Moreno Merino, L., Garrido Schneider, E.A., Azcón González de Aguilar, A. y Durán Valsero, J.J. (2008). *Hidrogeología urbana de Zaragoza*. IGME, 197 p.
- Orti, F., (1990). En: *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante. Nuevas aportaciones y guía de superficie*. (F. Orti y J. Salvany, Eds.). Barcelona, 117-119.
- Quirantes, J. (1978). *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros*. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza. Institución Fernando el Católico (CSIC), 681, Zaragoza, 200 p.
- Salvany, J.M. (2009). *Geología del yacimiento glauberítico de Montes de Torrero (Zaragoza)*. Pressas Universitarias de Zaragoza, 9, 80 p.
- Simón, J.L., Martínez Gil, J., Soriano, M.A., Arlegui, L. y Caballero, J. (1998). *Estudio de riesgos naturales de los terrenos de la orla SW del suelo urbanizable*. Ayuntamiento de Zaragoza (informe inédito).