

Fallas ciegas de carácter transtensivo en la Cuenca del Guadalquivir: posible origen del enjambre sísmico de Torreperogil (Octubre 2012-Enero 2013)

Transtensive blind faults in the Guadalquivir basin: the origin of the october 2012 - january 2013 Torreperogil earthquake swarm

Francisco Javier Roldán¹, José Miguel Azañón^{2,3}, José Rodríguez-Fernández³ y Rosa María Mateos¹

¹ Instituto Geológico y Minero de España, Urbanización Alcázar del Genil 4, 18006-Granada, España. fj.roldan@igme.es, rm.mateos@igme.es

² Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, 18071-Granada, España. jazanon@ugr.es

³ Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC), 18002-Granada, España. jrodrig@ugr.es

ABSTRACT

In this paper, The structural characteristics of extensional faults and detachments in the northeastern Guadalquivir basin are presented, drawing on the interpretation of seismic reflection profiles and geological maps. Some of these faults are blind, cutting across the Variscan basement and southern Iberian continental margin. However, some of these faults cut the Subbetic Extensional Complex and the Tortonian autochthonous sediments of the basin itself. The most significant structural features are: a) a tectonic horst located under the town of Baeza, b) a NE-SW graben located on the hill of Úbeda, c) a NW-SE graben located between the towns of Úbeda and Torreperogil. The Torreperogil seismic swarm (October 2012-January 2013) could be caused by the reactivation of some of these faults.

Key-words: Tabular Cover, Extensional Subbetic Complex, Olistostromic Unit, extensional detachments.

RESUMEN

En este trabajo se presentan las características estructurales de fallas y despegues extensionales, a partir de datos de geología de superficie y perfiles sísmicos de reflexión en la parte más nororiental de la cuenca del Guadalquivir. Algunas de estas fallas son ciegas y cortan exclusivamente al Basamento Varisco y la Cobertera Tabular. Sin embargo, otras llegan a afectar al Complejo Extensional Subbético y los sedimentos autóctonos de la propia cuenca, de edad Tortonense Superior. Los rasgos estructurales más destacables son: a) un alto tectónico del sustrato de la cuenca ubicado bajo la localidad de Baeza; b) un surco de dirección NE-SO ubicado al O de la loma de Úbeda y c) un surco de dirección NO-SE localizado entre las localidades de Úbeda y Torreperogil. El enjambre sísmico de Torreperogil (octubre 2012-Enero 2013) podría estar producido por la reactivación de alguna de estas fallas.

Palabras clave: Cobertera Tabular, Complejo Extensional Subbético, Unidad Olistostrómica, despegue extensional.

Geogaceta, 54 (2013), 83-86.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 31 de enero de 2013
Fecha de revisión: 25 de abril de 2013
Fecha de aceptación: 24 de mayo de 2013

Introducción

Los sedimentos de la parte nororiental de la cuenca del Guadalquivir son del Tortonense superior. Afloran al sur de los materiales triásico-jurásicos del borde de la Meseta, cubriéndolos en disconformidad. Asimismo, se sitúan bajo la pila de cabalgamientos del arco de Cazorla, que los cubre por el este (Martínez del Olmo y Núñez, 1973; García-Cortés y Trío-Maseda, 1994). Finalmente, al sur sus relaciones geométricas con el resto de materiales de las Zonas Externas de la Cordillera Bética son menos claras, debido a la presencia de dos

unidades sinorogénicas. La unidad inferior, denominada Unidad Olistostrómica (UO; Roldán, 1995; Roldán *et al.*, 2012), depositada gravitacionalmente en origen, aunque está fuertemente afectada por la tectónica extensional posterior (Azañón *et al.*, 2012); su edad es Langhiense superior-Serravalliense inferior. Esta unidad alberga grandes bloques e incluso sierras enteras, pertenecientes al Prebético y Subbético de las Zonas Externas de la Cordillera Bética. La unidad superior, denominada Unidad de Castro del Río (UCR; Roldán, 1995) es de edad Serravalliense superior-Tortonense inferior y se sitúa discordante sobre la ante-

rior. Esta unidad tiene carácter discontinuo y se depositó en pequeñas cuencas de *piggy-back* (Roldán y Rodríguez-Fernández, 1991) y presenta rasgos sedimentarios que indican un depósito sobre un fondo móvil.

Por tanto, se considera que en este segmento de la cuenca del Guadalquivir los sedimentos del Tortonense superior, son autóctonos, dado que se sitúan sobre el basamento Varisco y la Cobertera Tabular (CT) del borde de la Meseta y bajo el Prebético de la Sierra de Cazorla, estructurado en escamas tectónicas que dibujan un arco de dirección NNE. Los sedimentos de las UO y UCR, que constituyen el Complejo Exten-

sional Subbético (CES; Rodríguez-Fernández *et al.*, 2013), son alóctonos en este sector y se han emplazado por una migración extensional hacia el OSO, superponiéndose al Tortoniense superior.

En este trabajo se realiza una interpretación estructural del sustrato y del relleno de la cuenca del Guadalquivir en su sector NE, basada en datos de subsuelo extraídos de más 20 perfiles sísmicos y de dos sondeos profundos de investigación de hidrocarburos. También se relaciona el enjambre sísmico de Torreperogil-Sabiote de octubre 2012-Enero 2013, con terremotos entre 1 y 7 kilómetros de profundidad (IGN 2013), con la reactivación de alguna de las fallas ciegas observadas en estos perfiles sísmicos.

Marco geológico regional

La cuenca del Guadalquivir se encuentra situada entre dos grandes dominios geológicos: la Meseta Ibérica y las Zonas Externas de la Cordillera Bética. La Meseta constituye la representación más extensa y meridional de la Cadena Varisca Europea y se divide en varias Zonas en función de sus características geológicas. La Zona Centroeuropea es la que sirve de basamento para el sector NE de la cuenca del Guadalquivir. Los materiales que constituyen esta zona son series paleozoicas de pizarras y cuarcitas y algunos cuerpos graníticos; las directrices estructurales son NO-SE. Las Zonas Exter-

nas de la Cordillera Bética comenzaron a formarse en el Mesozoico con una etapa de *rifting* y la formación de un margen pasivo, que se invirtió en el Paleógeno. Se han dividido clásicamente en Prebético y Subbético; este último representa el dominio más alejado del antepaís Ibérico. La estructura de estas Zonas Externas respondería a un dispositivo imbricado de diferentes dominios paleogeográficos, superpuestos y despegados de su basamento varisco durante la colisión continental miocena con el Dominio de Alborán (García-Hernández *et al.*, 1980).

En la parte central y oriental de la Cordillera, el Subbético muestra una secuencia de pliegues y cabalgamientos con vergencia generalizada al NO (García-Hernández *et al.*, 1980), compatible con un acortamiento moderado de dirección NNO-SSE (Blankenship, 1992; Crespo-Blanc *et al.*, 2007). Según este esquema de colisión, el "foredeep" de este dispositivo sería la cuenca de antepaís del Guadalquivir.

El Prebético de la Sierra de Cazorla dibuja un arco de dirección NNE-SSO (Fig. 1), que se estructura en múltiples escamas cabalgantes, que pinzan en su interior sedimentos de edad Serravaliense superior-Tortoniense inferior. Sin embargo, el Prebético del frente noroccidental de la Sierra de Cazorla cabalga sobre los sedimentos del Tortoniense superior de la cuenca del Guadalquivir como queda reflejado en los mapas geológicos de Cazorla y Villacarrillo (García-Cortés y Trío-Maseda, 1994; Martínez del

Olmo y Núñez, 1973). El cabalgamiento muestra una dirección de movimiento de techo hacia el O y produce un estrechamiento en los sedimentos del Tortoniense superior, de la cuenca del Guadalquivir, hacia el NE de Villacarrillo (Fig. 1).

La estructura de la cuenca del Guadalquivir y su relación con la cobertera tabular y el basamento varisco

En el borde NE de la cuenca del Guadalquivir sobre el basamento varisco de la Meseta Ibérica, se sitúa una cobertera tabular formada por conglomerados, areniscas, arcillas rojas y yesos, pertenecientes al Triásico, y calizas y dolomías del Jurásico. Esta cobertera hunde hacia la cuenca del Guadalquivir con un suave buzamiento de unos 10º al S y está afectada por dos familias de fallas de componente normal y de dirección NE-SO y NO-SE, con separaciones verticales que pueden alcanzar los centenares de metros. El paleorrelieve del basamento varisco y algunas fallas de directriz N110-100ºE (varisca), también han contribuido a la presencia de irregularidades a la base del relleno de la cuenca. El análisis e interpretación de perfiles sísmicos que cruzan la cuenca del Guadalquivir (Fig. 1), han permitido deducir la estructura, forma y profundidad del relleno sedimentario y la secuencia de emplazamiento de las unidades sinorogénicas (Fig. 2).

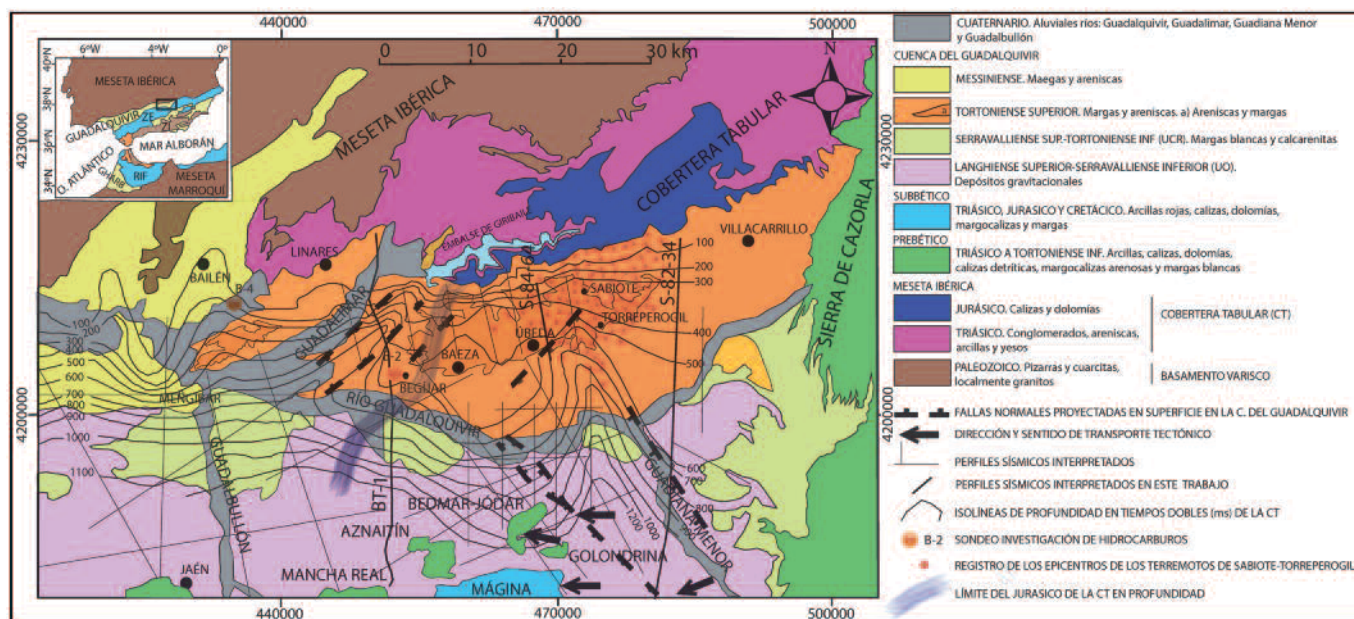


Fig. 1.- Mapa geológico del sector NE de la Cuenca del Guadalquivir.
 Fig. 1.- Geological map of the NE sector of the Guadalquivir Basin.

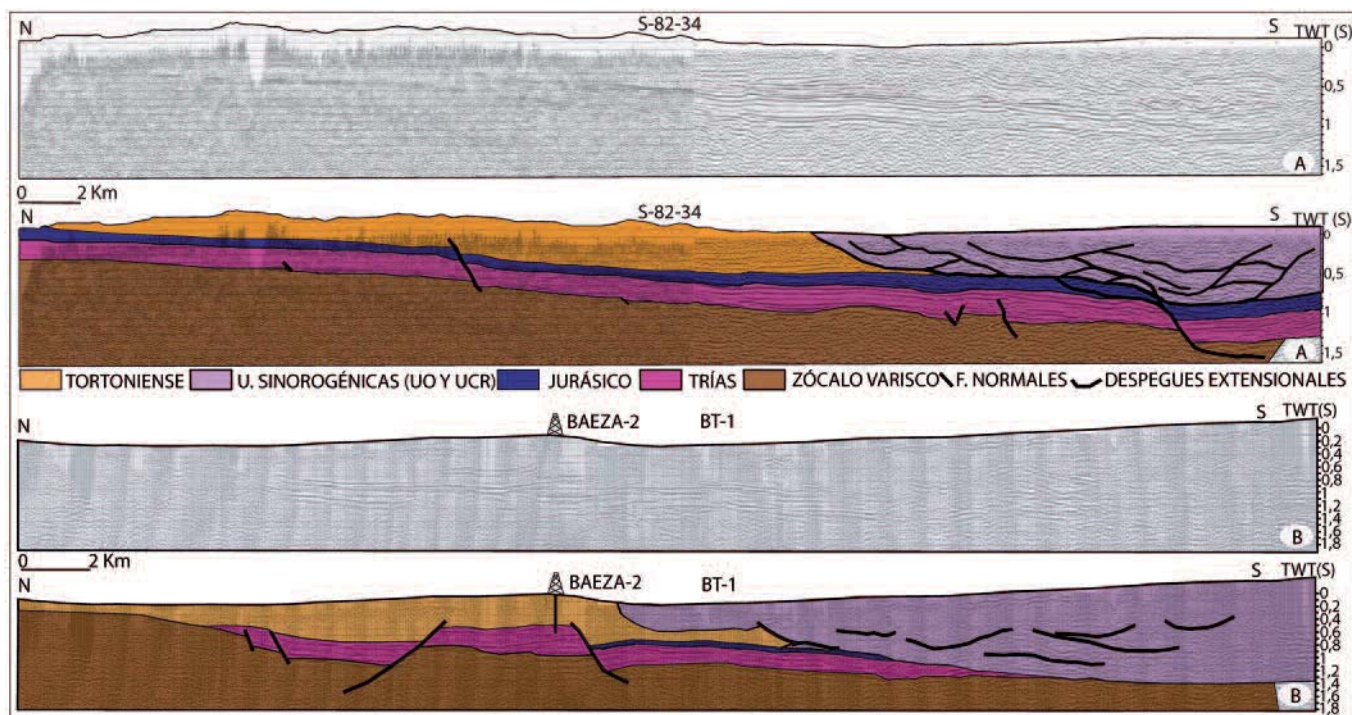


Fig. 2.-Perfiles sísmicos interpretados (situación en Fig. 1).

Fig. 2.- Interpretation of the seismic profiles (see location in Fig. 1).

En el sector de la Loma de Úbeda, entre ambos perfiles (Figs. 1 y 2A y B) existen fallas normales de directriz NE-SO, con buzamientos al SE y al NO. En el perfil BT-1, se reconocen un surco paralelo al río Guadalquivir y un alto tectónico paralelo a la Loma de Úbeda.

La cobertera tabular presenta un ligero acuñamiento hacia el N sobre el basamento varisco. Este acuñamiento es muy claro hacia el O, donde la cobertera jurásica desaparece totalmente, adquiriendo su límite cartográfico una dirección aproximadamente N-S sobre el Triásico entre los meridianos de Begíjar y Baeza (Fig. 1).

El relleno neógeno de la cuenca del Guadalquivir en este sector consta de: i) sedimentos autóctonos del Tortoniense superior, que afloran desde la Sierra de Cazorla hasta las inmediaciones de Mengíbar; y ii) depósitos del Messiniense, que afloran desde Mengíbar hacia el E (Fig. 1). Ambos depósitos son margas y areniscas, que se superponen mediante un dispositivo de *onlap* expansivo sobre la cobertera tabular o sobre el basamento varisco. Están afectados por las fallas de componente normal antes descritas y, además, están cobijados bajo las unidades sinorogénicas del CES, que los recubre entre 3 y 5 Km (Fig. 2A y B). El CES muestra generalmente reflectores de naturaleza caótica, pero pueden

reconocerse superficies muy continuas de morfología plano-concava vista desde arriba, que se asocian a despegues extensionales.

A partir de los perfiles sísmicos que se exponen en la figura 2, más todos los que se sitúan en el mapa geológico de la figura 1, se han podido representar isolíneas de profundidad (en tiempos dobles) del relleno de la cuenca del Guadalquivir, calculadas en milisegundos. Estas isolíneas reflejan el hundimiento progresivo hacia el S de este dominio, con un umbral entre las localidades de Úbeda y Baeza que se prolonga al sur de la Loma de Úbeda (Fig. 1) y un surco de dirección NO-SE, subparalelo a la dirección del Guadiana Menor y a las fallas de componente normal que limitan los relieves subbéticos y prebéticos al S del río Guadalquivir. Este surco termina hacia el N en relación con fallas normales de dirección NE-SO. En esta zona se ha producido un enjambre sísmico (Octubre 2012-Enero 2013) con más de 1200 terremotos (IGN, 2013), parte de los cuales se representan en la figura 1 mediante una nube de puntos de sus epicentros.

Los terremotos con una magnitud superior a 2, están situados a una profundidad comprendida entre 3 y 7 km. Los de magnitud inferior a 2, están situados entre algo menos de 1 y 7 km (IGN, 2013).

Discusión y conclusiones

La interpretación de más de 20 perfiles sísmicos y dos sondeos profundos de investigación de hidrocarburos realizados en la parte nororiental de la cuenca del Guadalquivir ha permitido reconocer la estructura del basamento y del relleno. La interpretación muestra fallas normales de alto ángulo afectando al basamento de la cuenca. Estas fallas tienen una orientación NO-SE similar a otras aflorantes en la zona que presentan un régimen dextro (por ejemplo, la falla de Tíscar; Sanz de Galdeano *et al.*, 2006), por lo que parece razonable atribuirles un carácter transtensivo. En la parte más meridional del perfil S-82-34 (Fig. 2A), una de estas fallas se une con un despegue extensional que afecta al CES y a los sedimentos del Tortoniense Superior. En el campo, se reconocen también fallas normales de bajo ángulo, que suelen ir acompañadas por bandas de cataclitas en las que se reconocen estructuras s-c, estrías y dominios amigdalares asociados a la deformación.

Se han tomado datos estructurales (estrías con sus correspondientes sentidos de movimiento) al O de S^a Mágina, E de S^a de la Golondrina, E de S^a de Bédmar-Jódar e inmediaciones del Guadiana Menor (Fig. 1), habiéndose obtenido direcciones de

movimiento hacia N 265-280° E. Esta dirección de transporte tectónico justifica la superposición del CES sobre la cobertera tabular en el perfil S-82-34 (Fig. 2A).

La correlación de las fallas observadas en varios perfiles sísmicos sugieren direcciones NE-SO y NO-SE (Fig. 1). Estas fallas producen una geometría de altos (Loma de Úbeda) y surcos en el basamento, con direcciones paralelas a las que muestran los ríos Guadalimar y Guadiana Menor.

Se ha podido establecer el límite en profundidad de la cobertera jurásica, que adquiere una dirección NNE-SSO entre los meridianos de Begijar y Baeza. Esta dirección es paralela a la que describe el arco de Cazorla (Fig. 1). A su vez, la cobertera triásica también muestra un límite con la misma dirección sobre el basamento varisco en el meridiano de Montoro (Córdoba), unos 50 km al oeste de Bailén.

El CES aumenta de potencia hacia el O (compárese la potencia entre los perfiles S-82-34 y BT-1, de las figuras 2A y 2B). El desplazamiento del bloque de techo del CES hacia el O, muestra un cabalgamiento aparente hacia el N (Fig. 2A y B), pero esta geometría se asocia a una rampa lateral transtensiva, en la que los sedimentos del Tortonense superior que estuvieran por encima en posiciones más orientales serían trasladados hacia el oeste. Algo similar le ocurre a los depósitos de la cobertera tabular y a las potentes series del Prebético (S^a de la Golondrina, S^a de Bédmar-Jódar, Aznaitín, Mancha Real y Jaén, figura 1) y Subbético (S^a Mágina), que proceden de posiciones más orientales situadas como mínimo en el meridiano de la Sierra de Cazorla, donde tienen sus series afines.

La ubicación de los focos de este enjambre sísmico (Fig. 1) indica que su origen

podría estar relacionado con las fallas transtensivas de carácter ciego que se describen en este trabajo.

Los rangos de profundidad en metros a los que se encuentra el basamento varisco (utilizando datos conservadores de velocidades entre 3.300 y 4.300 m/s), son los siguientes: a) Debajo de la alineación Begijar-Baeza-Úbeda-Torreperogil es de unos 1.300 m.; b) Debajo de la alineación del río Guadalquivir es de unos 2.100 m.; c) Debajo de la alineación sierra de la Golondrina-Guadiana Menor es de 2.950 m.

La escasa profundidad a la que se están produciendo estos terremotos (1-7 km en su mayoría, e incluso algunos de ellos a menos de 1 km), sugieren que las fallas que se muestran en la figura 2A y B, que son al menos visibles en los perfiles a partir de los 500 m de profundidad, podrían seguir activas en la parte nororiental de la cuenca del Guadalquivir.

En el sentido antes apuntado, Pérez-Valera *et al.* (2012) describen fallas de edad Pleistoceno superior próximas al terremoto de Huesa en la cuenca del río Guadiana Menor, situadas una decena de kilómetros al SE del área estudiada.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con los proyectos de investigación CGL2011-29920 y CSD2006-00041 TOPOIBERIA CONSOLIDER-INGENIO 2010 del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011.

Referencias

Álvaro, M., Hernández, A. y del Olmo, P. (1991). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 948 (Torres) y memoria*. IGME. 71 p.

- Azañón, J.M., Roldán, F.J. y Rodríguez-Fernández, J. (2012). *Geogaceta* 52, 13-16.
- Blankenship, C. (1992). *Marine and Petroleum Geology* 9, 256-264.
- Crespo-Blanc, A., Balanyá, J.C., Expósito I., Luján, M. y Díaz-Azpiroz, M. (2007). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 20, 135-152.
- García-Cortés, A. y Trío-Maseda, M. (1994). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 928 (Cazorla) y memoria*. IGME. 61 p.
- García-Hernández, M., López-Garrido, A.C., Rivas, P., Sanz de Galdeano, C. y Vera, J.A. (1980). *Geologie en Mijnbouw* 59, 155-168.
- IGN (2013). www.ign.es/Servicio de Información Sísmica.
- Martínez del Olmo, W. y Núñez, A. (1973). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 907 (Villacarrillo) y memoria*. IGME. 28 p.
- Pérez Varela, F., Sánchez Gómez, M., Peláez, J.A. y Pérez Varela, L.A. (2012). *Geogaceta* 52, 25-28.
- Rodríguez-Fernández, Roldán, Azañón y García-Cortés (en prensa). *Boletín Geológico y Minero* 124 (3), 477-505.
- Roldán, F.J. (1995). *Evolución Neógena de la Cuenca del Guadalquivir*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 259 p.
- Roldán, F.J. y Rodríguez-Fernández, J. (1991). En: *I Congreso del Grupo Español del Terciario*. Comunicaciones, 297-300.
- Roldán, F.J., Lupiani, E. y Jerez, L. (1991). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 927 (Baeza) y memoria*. IGME. 44 p.
- Roldán, F.J., Azañón, J.M. y Rodríguez-Fernández, J. (2012). En: *VIII Congreso Geológico de España*. Geotemas 13, 484.
- Sanz de Galdeano, C., Galindo Zaldívar, J., López Garrido, A.C., Alfaro, P., Pérez-Valera, F., Pérez-López, A. y García Tortosa, F.J. (2006). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 19, 271-280.