

Evidencias de fallamiento y plegamiento activo en el borde norte de la Cuenca del Guadalquivir

Evidences of Active faulting and folding in the northern edge of the Guadalquivir Basin.

J. J. Martínez-Díaz^{1,2}, C. Canora-Catalán³, J.L. Sánchez-Roldán y Juan M. Insua-Arévalo¹

1 Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, Universidad Complutense de Madrid (UCM), C/ José Antonio Novais, 12, Madrid, jl.sanchez.rolan@ucm.es, jmdiaz@ucm.es, insuaev@geo.ucm.es

2 Instituto de Geociencias, CSIC-UCM. Madrid

3 Dpto. Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. Campus de Cantoblanco, 28049. carolina.canora@uam.es

Resumen: Se presenta una serie de evidencias estructurales y geomorfológicas que apoyan la existencia de estructuras compresivas con actividad post-Tortonense y que afectan a la red fluvial cuaternaria a lo largo del borde NO de la cuenca del Guadalquivir, en el sector de Palma del Río (Córdoba). Se trata de una serie de suaves anticlinales asimétricos de orientación entre ESE-ONO y ENE-OSO y vergencia norte, marcadas en el paisaje por la morfología controlada por las calcarenitas del Tortonense Superior, posiblemente asociadas a la actividad de fallas inversas de orientación Bética ENE-OSO, y a la reactivación neotectónica de estructuras antiguas de orientación varisca. Se ha estimado una tasa preliminar de levantamiento tectónico de algunas de ellas y se describen afecciones a la red fluvial cuaternaria que apoyan la vigencia de su actividad, lo que contribuye al entendimiento del régimen tectónico actual y aporta datos de interés para los estudios de riesgo sísmico en la zona.

Palabras clave: Cuenca del Guadalquivir, tectónica activa, pliegues activos, fallas activas.

Abstract: *We present structural and geomorphological evidence supporting the existence of post-Tortonian compressional structures that are also affecting the present fluvial network along the NW edge of the Guadalquivir basin in the Palma del Río sector. They are a series of gentle asymmetric anticlines verging north, oriented ESE-ONO to ENE-OSO and marked in the landscape by the morphology controlled by the Late Tortonian calcarenites. They are possibly associated with fault propagation folds related to reverse faults of Betic orientation and by the neotectonic reactivation of older structures with Variscan ONO-ESE orientation. A preliminary rate of tectonic uplift for some of these structures has been estimated. Deformation and deflections affecting the present fluvial network support a very recent age for this activity. These data contribute to the understanding of the current tectonic regime and provides valuable data for seismic risk assessments in the region.*

Keywords: *Guadalquivir basin, active tectonics, active faults, active folds*

INTRODUCCIÓN Y MARCO GEOLÓGICO

Presentamos en este trabajo los resultados preliminares del estudio neotectónico y morfo-tectónico de un tramo de 50 km de longitud del borde norte de la Cuenca del Guadalquivir (CG), situado al norte de Palma del Río (Córdoba). Se han podido identificar una serie de relieves asociados a estructuras compresivas cuya actividad continua durante el Cuaternario y, por lo tanto, presentan interés tanto a la hora de entender el régimen tectónico activo, como de mejorar las estimaciones de peligrosidad sísmica en la región. La zona se sitúa en el sector de transición entre los depósitos miocenos y cuaternarios de la cuenca del Guadalquivir y el sector de Sierra Morena de Macizo Ibérico (Fig. 1).

A lo largo de la lineación que configura el borde norte de la CG se ha propuesto históricamente la posible existencia de una falla que pudiera explicar su geometría aparentemente lineal aunque los estudios y exploraciones geofísicas posteriores, así como distintos modelos tectónicos, explican este carácter lineal como asociado a una flexura de carácter

litosférico (van der Beek and Cloetingh, 1992; García-Castellanos *et al.*, 2002) asociada a procesos de carga litosférica y variaciones de espesor en la corteza inferior y manto litosférico que favorecería además, bajo un régimen compresivo NO-SE, el levantamiento de Sierra Morena (García-Castellanos *et al.*, 2002).

A lo largo de la zona de estudio, la presencia de materiales de edad neógena discordantes sobre las rocas del Macizo Ibérico permite tener un marcador de las deformaciones post-Miocenas. Como principales marcadores de la deformación se ha usado la posición y geometría las calcarenitas tortonienses de la Fm Niebla y su contacto con la Fm Arcillas de Gibrleón (arcillas margosas del Guadalquivir) de edad Messiniense. La elevada resistencia a la erosión de las calcarenitas hace que su buzamiento controle de forma clara el relieve y la geometría de las sierras de la zona. El análisis de este relieve, a partir de un modelo digital del terreno de 2m de resolución realizado usando datos LIDAR del Instituto Geográfico Nacional, el análisis de las

ortofotografías, y el estudio sobre el terreno han permitido identificar las estructuras numeradas de 1 a 6 en la figura 1.

ESTRUCTURAS DE DEFORMACIÓN

A continuación, se describen brevemente las estructuras siguiendo la numeración de la figura 1.

1) Antiforma de Puebla de Los Infantes. A la altura de este pueblo se aprecia un frente de montaña orientado entre ENE y ESE que parece controlado, al menos en su sector oriental, por una falla. Este frente de montaña forma parte de un anticlinal asimétrico que afecta a materiales messinienses y que configura los altos de la Sierra León, Quiebrahoyas y Viñas Viejas. La estructura presenta una longitud de ~10 km.

2) Pliegue del Acebuche. Al norte de La Puebla de Los Infantes se aprecia otra antiforma de dirección similar y menor dimensión (~4 km) que afecta claramente a los materiales messinienses, si bien éste no presenta un frente lineal claro. En su mitad oriental aparece cubierto de los depósitos miocenos que comienzan a plegarse insinuando una propagación hacia el este de la deformación.

3, y 4) Al sureste de la sierra del León se aprecian dos antiformas asimétricas que muestran evidencias de actividad similares a las descritas para la antiforma de La Puebla de los Infantes, pero con claras evidencias morfológicas de afección de la red fluvial, que apoyan su actividad cuaternaria. Las hemos denominado Pliegue-Falla del Retortillo y Pliegue de Peñaflo-Céspedes. El primero presenta 6 km de

longitud dividido en dos segmentos que estructuran el Cerro del Piojo en su sector oriental, con clara estructura antiformal marcada por el plegamiento de las calcarenitas en las que se encaja el río Retortillo, y el sector occidental con un escarpe muy lineal y que presenta claros ejemplos de valles fluviales colgados en el bloque levantado, antecedencias y desvío de la red que descende desde el norte (Fig. 2). Esto es especialmente evidente en el valle próximo al Cortijo de la Almenara. Más al sur, la estructura Peñaflo-Céspedes presenta 2 km de longitud y orientación ENE-OSO. En ella, las calcarenitas de la Fm Niebla buzan más de 5° hacia el sur en su flanco largo. En el análisis del MDT se aprecian claros procesos de antecedencia y desvíos de la red fluvial a medida que la estructura crece y se propaga.

5) La sierra Traviesa situada al este de los anteriores presenta una morfología similar pero con una orientación E-SE, aunque no ha podido comprobarse sobre el terreno.

6) Pliegues de Hornachuelos y Posadas. En esta zona, ya Zamorano y Ramírez Copeiro (1974) citan deformaciones afectando a los materiales miocenos adosados al basamento del Macizo Ibérico. Se trata de dos estructuras anticlinales de orientación E-SE situadas al sur y norte de la localidad de Hornachuelos (Fig.2). La Serrezuela de Posadas está controlada por una de estas estructuras. Aquí las calcarenitas tortonienses, que afloran en los flancos presentan buzamientos de 8° en el flanco sur y 15° en el flanco norte (Fig. 3). La ortofoto permite observar que este plegamiento afecta también a las arcillas y margas de la formación suprayacente de edad Messiniense.

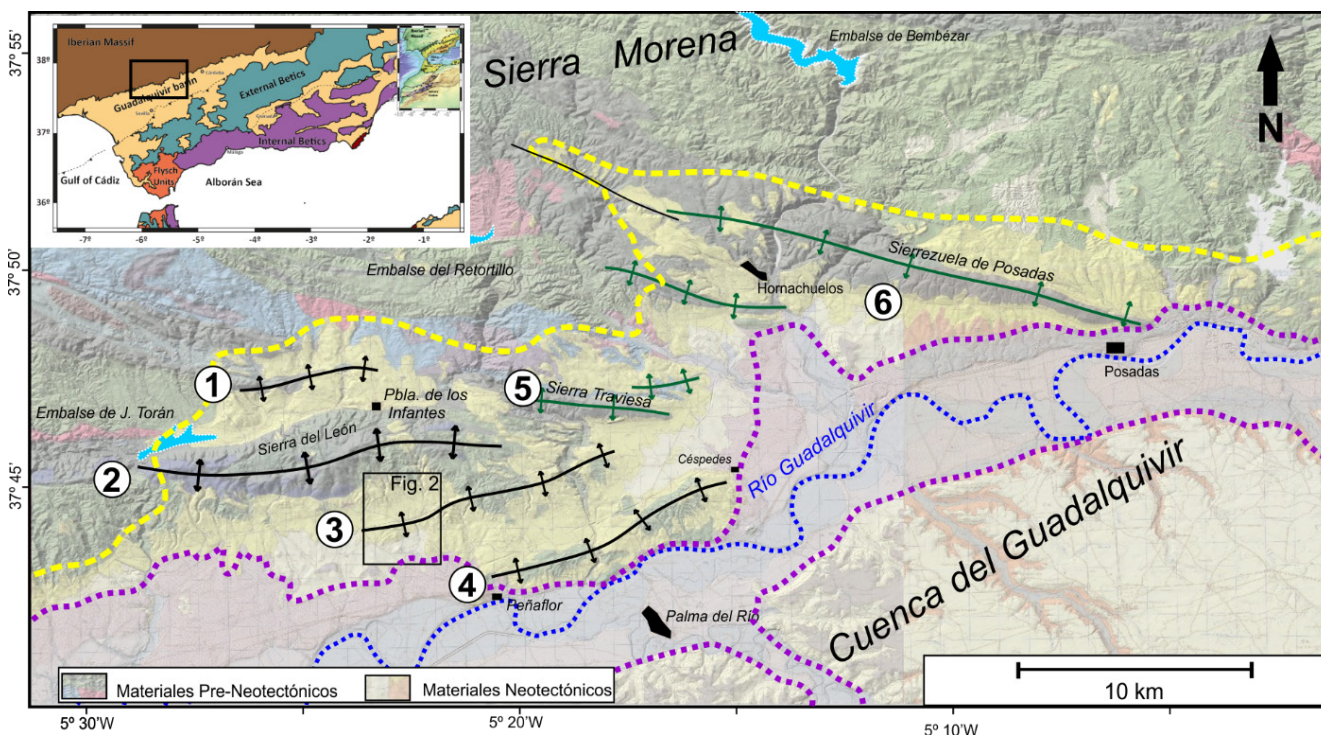


FIGURA 1. Esquema geológico de las estructuras descritas en el texto sobre mosaico de la cartografía geológicas MAGNA 1:50000 del IGME. La línea amarilla discontinua muestra el límite cartográfico aproximado de los depósitos marinos del Mioceno de la cuenca del Guadalquivir (fondo amarillo). La línea morada marca el límite de los depósitos del Cuaternario del Río Guadalquivir y depósitos aluviales circundantes.

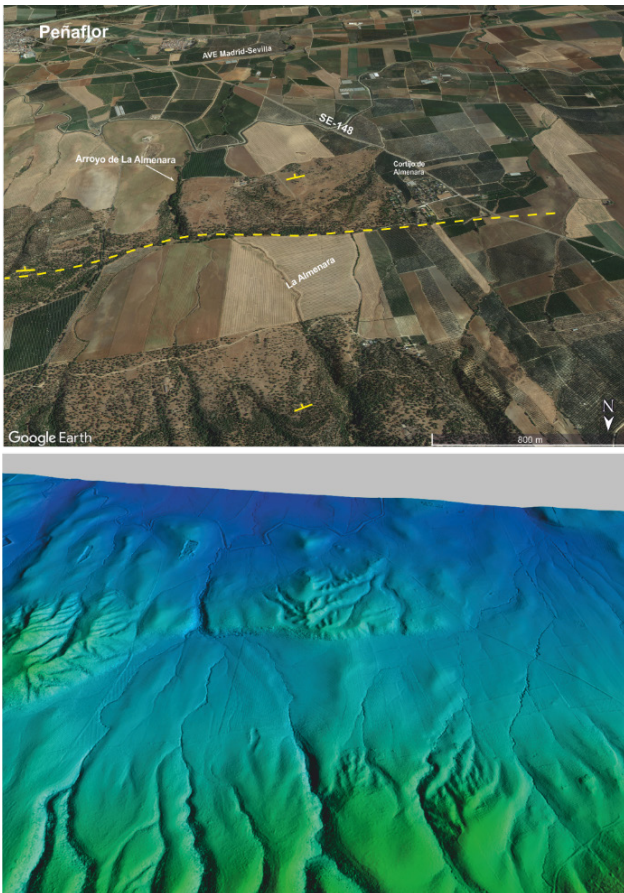


FIGURA 2. Vista oblicua desde el norte del sector occidental del pliegue-falla del Retortillo. Arriba vista de la ortofoto y abajo del MDT de 5 m de resolución iluminado desde el oeste.

INTERPRETACIÓN Y CONCLUSIONES

Se ha estimado una tasa mínima preliminar de movimiento, que podría asociarse a estas estructuras, utilizando los desniveles mínimo y máximo que se observan de los materiales del Tortonense superior y la cota de la superficie de relleno sedimentario del Mioceno en las zonas más bajas de las antiformas de Puebla de Los Infantes y El Retortillo, acotándose valores entre los 20 ± 5 y los 110 ± 5 m (Fig. 4). Si consideramos que esos desniveles se han podido producir desde el final del Messiniense o, en un escenario más conservador, desde finales del Plioceno, las tasas mínimas de levantamiento tectónico oscilarían entre 0.0026 mm/a y 0.04 mm/a. Si consideramos un escenario de fallas inversas en profundidad con buzamientos del orden de $35-40^\circ$ como responsables de esos levantamientos, las tasas se duplicarían. En todo caso, se requiere un estudio específico de potencias de las unidades de edad Miocena para estimar tasas más precisas.

Por otra parte, el hecho de que la red fluvial actual aparezca claramente afectada por estos movimientos hace que estas estructuras presenten interés para el entendimiento del régimen tectónico activo en la región.

Algunas de las trazas que encontramos en los flancos de algunas de las antiformas descritas, aparecen en cartografías previas (Pérez Domínguez y Hernán Reguera, 1972)

interpretadas como trazas de falla normal. Sin embargo, pensamos que existen suficientes evidencias estructurales y morfológicas para afirmar que dichas estructuras, así como las antiformas con las que están espacialmente relacionadas, apuntan a la existencia de fallas con componente inversa importante. Estas fallas alcanzarían los niveles superficiales de la corteza generando levantamiento de bloques de basamento a los que se adaptan los materiales miocenos a modo de pliegues forzados, aunque no se puede descartar que algunos de ellos puedan explicarse como pliegues de propagación de falla.

Los ejes de las antiformas van cambiando de dirección de sur a norte desde E-NE-OSO hasta ONO-ESE. Los más meridionales parecen controlados por estructuras de dirección Bética, mientras que los septentrionales estarían asociados a reactivaciones de estructuras paralelas a la orientación del basamento varisco, ya sea asociadas al apretamiento de estructuras antiguas o a la actividad de fallas que aprovecha la anisotropía previa.

En trabajos realizados en el extremo noreste de la cuenca del Guadalquivir se describen pliegues de propagación similares a los aquí propuestos, dentro de un régimen transpresivo dextral, a partir de datos sísmicos (Pedrera *et al.*, 2013) y fallas inverso-direccionales que se enraizarían en niveles de despegue a poca profundidad. La disposición de los ejes de los anticlinales en la zona aquí tratada y su relevo lateral parece indicar también un régimen de carácter transpresivo afectando a las fallas del basamento.

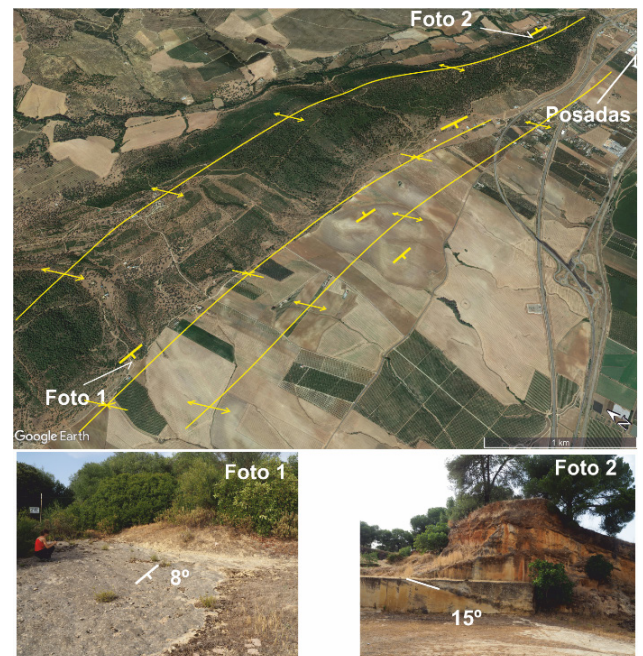


FIGURA 3. Vista oblicua desde el SO del antiforma de Hornachuelos-Posadas (arriba) en el que se muestra la posición de dos de los afloramientos de las calcarenitas basculadas en los flancos (abajo).

Asimismo, a partir de datos sísmicos y un perfil de prospección magnetotelúrico y gravimétrico realizado en una transversal NO-SE del valle del Guadalquivir, que llega

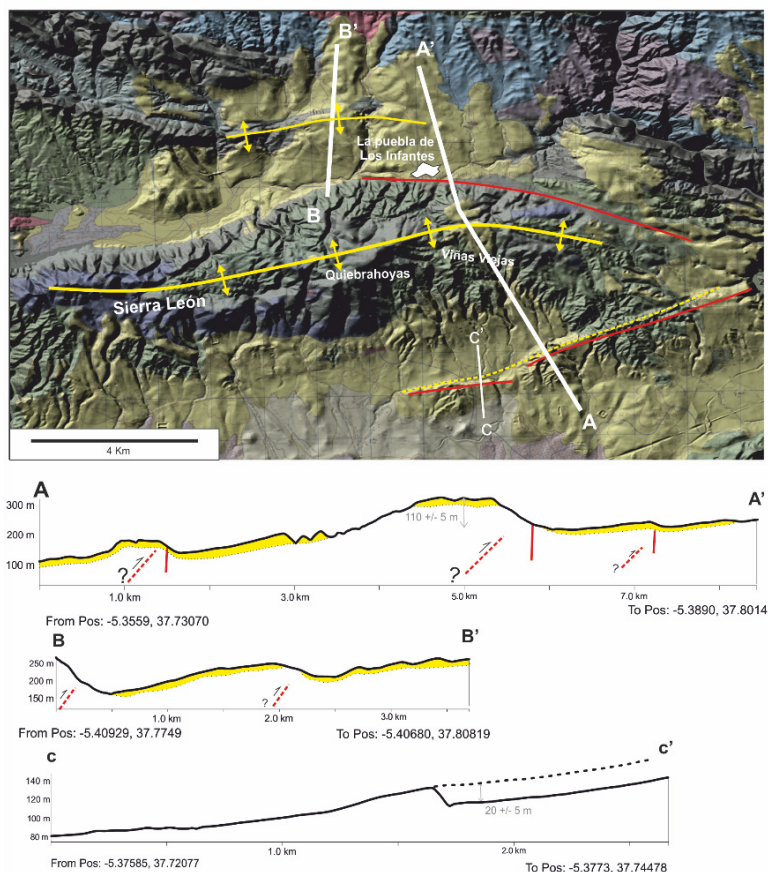


FIGURA 4. Vista del relieve del entorno de Puebla de Los Infantes en la que se aprecian una serie de anticlinas asimétricas que afectan materiales del Tortoniense Sup. y Messiniense (amarillo). Se marcan en rojo las trazas interpretadas de las fallas que explican la estructura. En amarillo discontinuo se muestra la traza de falla que aparece en el mapa geológico GEODE del IGME. En los perfiles A y B se marca en amarillo los tramos de afloramiento de las calcarenitas del Tortoniense Superior. El perfil A ha sido realizado cortando la zona del anticlinal de Puebla donde las calcarenitas aparecen a mayor altura y ya en la zona axial. Se marcan en los perfiles A y C los valores de desnivel vertical mínimo que se utilizan para la estimación preliminar de la tasa mínima de levantamiento tectónico post-Tortoniense.

hasta las proximidades de Hornachuelos, Ruiz Constán *et al.* (2012) identifican la geometría del techo de la corteza del Macizo Ibérico que, con un buzamiento muy bajo, discurre por debajo de la cuenca miocena del Guadalquivir y de las Zonas Externas de la cordillera Bética, aumentando después su buzamiento por debajo de las Zonas Internas. Esta estructuración sería coherente con la existencia de una tectónica compresiva de piel fina en el borde NO de la cuenca. Las estructuras son coherentes con un régimen compresivo con una dirección de acortamiento NNO-SSE o con un régimen transpresivo dextral.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco y con el apoyo del proyecto de investigación “QUAKESTEP” (CGL2017-83931-C3-1-P) financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. J. L. Sánchez-Roldán disfruta de un contrato de FPI (MICINN) dentro del mismo proyecto.

REFERENCIAS

Crespo Zamorano, A. y Ramírez Copeiro del Villar, J. (1974): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja n° 943 (Posadas)*. IGME, Madrid.

García-Castellanos, D., Fernández, M. y Torne, M. (2002). Modelling the evolution of the Guadalquivir foreland basin (southern Spain). *Tectonics*, 21, 3.

Pedraza, A., Ruiz-Constán, A., Marín-Lechado, C., Galindo-Zaldívar, J., González, A. and Peláez, J. A. (2013), Seismic transpressive basement faults and monocline development in a foreland basin (Eastern Guadalquivir, SE Spain). *Tectonics*, 32: 1571–1586,

Pérez Domínguez, H. y Hernán Reguera, P. (1972): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja n° 942 (Palma del Río)*. IGME, Madrid.

Ruiz-Constán, A., Pedraza, A., Galindo-Zaldívar, J., Pous, J., Arzate, J., Roldán-García, F. J., Marín-Lechado, C., and Anahnah, F. (2012), Constraints on the frontal crustal structure of a continental collision from an integrated geophysical research: The central-western Betic Cordillera (SW Spain), *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 13, Q08012, doi: 10.1029/2012GC004153.

Van der Beek, P.A. y Cloetingh, S. (1992). Lithosphere flexure and the tectonic evolution of the Betic Cordillera. *Tectonophysics*, 203: 325-344.