

Estructura del *graben* asimétrico de Albuñuelas (Granada)

Structure of Albuñuelas asymmetric graben (Granada)

Cristina Reyes-Carmona, Antonio Jabaloy-Sánchez y Jorge Pedro Galve-Arnedo

Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Av. de Fuentenueva, 18071 Granada, España.
cristirecar@gmail.com, jabaloy@ugr.es, jpgalve@ugr.es

ABSTRACT

The Albuñuelas asymmetric graben is located in the southeastern end of the Granada intramontane basin. Its structure is defined by a conjugate system of E-W normal faults that down-drop the Neogene sedimentary deposits and cross-out a system of north-vergent asymmetric folds. The observed structural features allow the reconstruction of the asymmetric graben evolution and its linkage to the regional geologic evolution of the Betic Chain. The interpreted data from the river profiles and the recent sediments related to the main southern fault (Albuñuelas Fault) suggest the need of revision of its activity.

Key-words: Neogene, fault activity, tectonic inversion, palaeostress, Betic Chain.

Geogaceta, 64 (2018), 7-10
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción

El *graben* asimétrico de Albuñuelas se ubica en el extremo sureste de la Cuenca de Granada. Esencialmente, esta estructura se define mediante un bloque de falla hundido donde se encuentran depósitos de rocas sedimentarias neógenas que queda limitado por dos fallas normales de dirección E-O que elevan, al norte y al sur, relieves de rocas metamórficas del Complejo Alpujárride (Zonas Internas, Cordillera Bética) (Figs. 1A y 1B).

La estructura interna del *graben* asimétrico es poco conocida y en este trabajo se ha estudiado la relación de las estructuras observadas con el resto de estructuras recientes de la Cordillera Bética, como las descritas por diversos autores tales como Sanz de Galdeano *et al.* (2012), Galindo-Zaldívar *et al.* (2015) y Martínez-Martos *et al.* (2017), entre otros.

En este trabajo, se presenta una cartografía geológica detallada del entorno del

municipio de Albuñuelas (Granada) que muestra diferencias respecto a la hoja MAGNA de la región, Avidad Castañeda *et al.* (1978). El fin principal es definir la estructura completa del *graben* asimétrico existente en esta zona, así como establecer la evolución tectónica y estructural de éste, discutiendo además la actividad de la falla principal que genera dicha estructura.

Contexto geológico

La Cuenca de Granada es una de las cuencas intramontañosas formadas durante el Neógeno en el contacto entre las Zonas Externas y las Zonas Internas de la Cordillera Bética. El área de estudio se focaliza en el entorno de la localidad de Albuñuelas (Granada), situada en la prolongación hacia el sureste de dicha cuenca, y es el límite de la cuenca en este sector (Fig. 1B).

A partir del Mioceno inferior, comienza la etapa de deformación principal

RESUMEN

El graben asimétrico de Albuñuelas se localiza en el extremo sureste de la cuenca intramontañosas de Granada. Su estructura se define por un sistema de fallas normales E-O que hundan el bloque de depósitos sedimentarios neógenos y que intersectan con un sistema de pliegues asimétricos vergentes al norte. Los rasgos estructurales observados permiten reconstruir la evolución del graben asimétrico y vincularla a la evolución geológica regional de la Cordillera Bética. Los datos interpretados de los perfiles de los ríos y de los sedimentos recientes cerca de la falla principal sur (Falla de Albuñuelas) sugieren revisar su actividad.

Palabras clave: Neógeno, actividad de falla, inversión tectónica, paleo-esfuerzos, Cordillera Bética.

Recepción: 15 de noviembre de 2017
Revisión: 19 de abril de 2018
Aceptación: 25 de abril de 2018

de la Cordillera Bética asociada a la convergencia difusa entre las placas euroasiática y africana. Los relieves actuales se generaron principalmente a partir del Tortonense como resultado de un acortamiento N-S/NNO-SSE con una extensión perpendicular asociada, esencialmente hacia el SO. Este acortamiento generó grandes antiformes que se corresponden con los relieves mayores, como Sierra Nevada, entre otros; y sinformes correspondientes a cuencas o depresiones (Galindo-Zaldívar *et al.*, 2015). Asociadas a estos pliegues, se desarrollaron fallas conjugadas de salto en dirección. La extensión se acomodó principalmente por fallas normales de dirección NO-SE y conjugadas con geometría en relevo (Soliva y Benedicto, 2004), como la Falla de Padúl-Nigüelas y por fallas E-O y NE-SO como la Falla de Arenas del Rey o la Falla de Albuñuelas (Galindo-Zaldívar *et al.*, 1999; Sanz de Galdeano *et al.*, 2012).

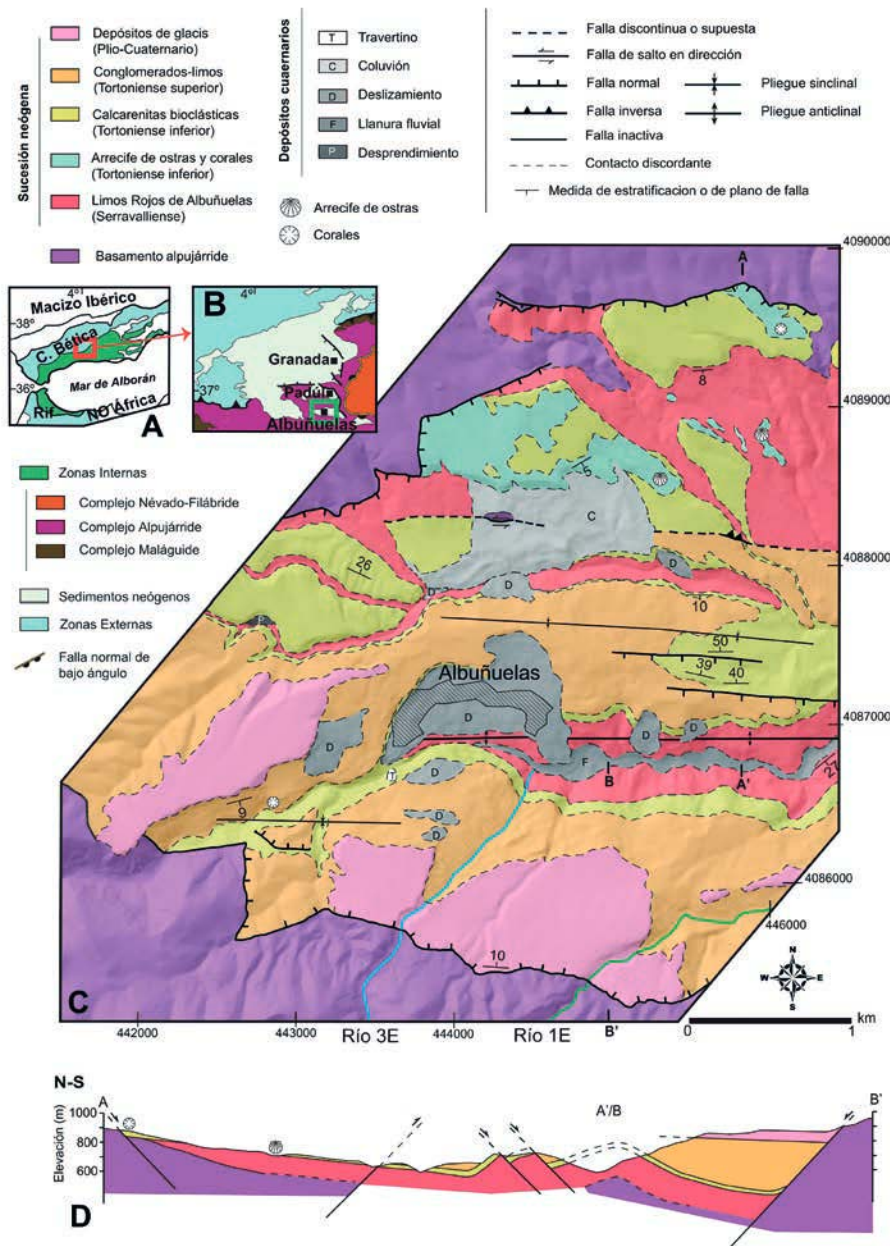


Fig. 1.- A) y B) Localización geológica de la zona de estudio. C) Mapa geológico del graben de Albuñuelas. Se indican los cauces de los dos ríos seleccionados (1E en color verde y 3E en color azul) para su posterior análisis. D) Corte geológico del graben asimétrico de Albuñuelas.

Fig. 1.- A) and B) Geological setting of the study area. C) Geological map of Albuñuelas graben. The two selected for later analysis river channels (1E in green colour and 3E in blue colour) are indicated. D) Cross-section of Albuñuelas asymmetric graben.

La secuencia estratigráfica presente en la zona de Albuñuelas se compone de un basamento formado por rocas del Complejo Alpujarride (Zonas Internas), principalmente esquistos oscuros y mármoles dolomíticos, sobre el cual se deposita una serie sedimentaria neógena (Braga *et al.*, 1996; Rivas *et al.*, 1999). Esta serie está compuesta, en primer lugar, por la unidad de "Limos rojos de Albuñuelas" (González-Donoso, 1978); de aproximadamente 60 metros de

potencia, origen continental y datada en el Serravaliense mediante micromamíferos (Martín-Suárez *et al.*, 1993). A techo de estos limos, se encuentra un nivel más arcilloso de color gris-verde de hasta 1 metro de espesor. A continuación, se encuentra la unidad de "Arrecife de ostras y corales" del Tortoniense inferior, con una potencia máxima de hasta 10 metros. Esta unidad se compone de niveles de arrecifes de ostras de distintos ejemplares sobre las que se instalan co-

lonias de coral *Tarbellastraea* (Braga *et al.*, 1996). La siguiente unidad es "Calcarenitas bioclásticas y calciruditas", de edad Tortoniense inferior y de espesor muy variable, como máximo de 45 metros. Se depositan sobre una superficie de erosión, en algunos sectores directamente sobre los "Limos rojos". La siguiente unidad está formada por "Conglomerados, limos y arrecifes de coral", del Tortoniense superior y con potencia máxima de 300 metros. Por último, se encuentran depósitos de glaciares de edad plio-cuaternaria y otros depósitos cuaternarios más actuales.

Estructura del graben asimétrico de Albuñuelas

La geometría principal del graben asimétrico de Albuñuelas se define mediante un sistema de fallas normales conjugadas de dirección E-O/NE-SO que hunden el bloque de materiales neógenos y elevan los materiales alpujarrides. De ellas, la que tiene un mayor salto es la falla sur (Falla de Albuñuelas) y es la principal responsable de la geometría de graben asimétrico. En el bloque hundido se encuentran los depósitos neógenos, que están cortados por varias fallas normales secundarias, que también afectan a un sistema de pliegues asimétricos de ejes paralelos a dichas fallas (Figs. 1C y 1D).

Sistema de pliegues asimétricos

El sistema de pliegues está formado por un anticlinal y dos sinclinales asimétricos, con ejes de dirección E-O y vergentes al norte. El flanco norte del primer sinclinal buza ligeramente en torno a 10° al sur, mientras que el flanco sur presenta buzamientos mayores entre 40 y 50° al norte. El anticlinal comparte el flanco anteriormente descrito y tiene un flanco sur de mayor longitud y buzamiento de 27° al sur. El segundo sinclinal observado se corresponde con un pliegue de arrastre de la Falla de Albuñuelas, cuyo buzamiento se atenúa hacia su flanco sur (Figs. 1C y 1D).

Estos pliegues afectan a las unidades de "Limos rojos" y de "Calcarenitas bioclásticas". La unidad de "Conglomerados, limos y corales" del Tortoniense superior se encuentra plegada hacia el muro y se horizontaliza hacia techo, lo que indica el carácter sinsedimentario de este plegamiento (Fig. 1D).

Sistema de fallas del *graben* asimétrico

El límite norte del *graben* asimétrico de Albuñuelas está definido por un sistema de fallas normales en relevo de dirección E-O-NE-SO inclinadas al sur en torno a 45-50°. Estas fallas ponen en contacto el basamento alpujárride con los materiales neógenos ("Limos rojos", "Calcarenitas bioclásticas" o "Arrecife de ostras y corales") (Fig. 1C). El contraste litológico entre las unidades implicadas facilita la localización de las fallas y la definición precisa de sus trazados.

El límite sur es una única falla normal con ligera componente de salto en dirección (la Falla de Albuñuelas según Sanz de Galdeano *et al.*, 2012). Tiene una longitud aproximada de 5 km y buza hacia el norte 40 o 45°. Su dirección es predominantemente E-O/NO-SE aunque en algunos sectores varía a N-S o NE-SO (Fig. 1C). Esta falla separa los materiales alpujárrides (Sierra de los Gujares) de los depósitos de glaciais y de los materiales neógenos ("Calcarenitas bioclásticas" y "Conglomerados, limos y corales"). La falla es claramente identificable debido al contraste topográfico y litológico generado, el cambio de vegetación y la presencia de harina y rocas de falla a lo largo de su traza. Sin embargo, no existe un escarpe de falla desarrollado o conservado (Fig. 2A). Hacia la terminación oeste de la falla, ésta aparece fosilizada por los depósitos de glaciais y de los materiales neógenos ("Calcarenitas bioclásticas" y "Conglomerados, limos y corales"). El salto de falla en el límite norte es mucho menor que en el límite sur y la potencia de las unidades litológicas aumenta hacia el sur. De esta manera, la Falla de Albuñuelas define la estructura de un *graben* asimétrico (Figs. 1C y 1D).

El flanco norte del anticlinal descrito anteriormente se encuentra afectado por dos fallas normales inclinadas al sur en torno a 45° y de dirección E-O paralela a los ejes de los pliegues (Figs. 1C y 1D).

Hacia la zona central del área de estudio, se encuentra un afloramiento aislado de basamento alpujárride que aflora debido a una falla de salto en dirección izquierda (*pitch* de 10° hacia el E) con una ligera componente normal. Su dirección es aproximadamente E-O y buza 68° hacia el sur. El escarpe de falla tiene 200 metros de longitud y es bastante pronunciado, por lo que se encuentran multitud de bloques caídos en las proximidades. Hacia el oeste, se encuentra un segundo afloramiento aislado de



Fig. 2.- A) Fotografía del plano de la Falla de Albuñuelas. B) Diagrama de los ejes de esfuerzos, planos de falla, estrias y dirección de movimiento del sistema de fallas conjugadas (proyección equiareal, hemisferio inferior).

Fig. 2.- A) Photograph showing the Albuñuelas Fault plane. B) Diagram of stress axes, fault planes, striae and movement direction of the conjugate system of faults (equal area projection, lower hemisphere).

una falla de la misma dirección pero con buzamiento de 39° hacia el norte y cinemática de falla inversa (Fig. 1C). La ausencia de estrias en el escarpe de esta falla no permite conocer si existe componente de salto en dirección.

Análisis cinemático de las fallas

Se ha recogido y analizado información de estrias allí donde existen afloramientos adecuados o con buena conservación de planos de falla. Se tomaron nueve medidas en total: cinco de la falla del límite norte, tres de la falla del límite sur (Falla de Albu-

ñuelas) y una de la falla de salto en dirección con ligera componente normal. Estas medidas se han representado en la figura 2B en color rojo, azul y verde, respectivamente para cada falla. Así, se identifica una extensión hacia el SE con σ_1 prácticamente vertical.

Interpretación y discusión

*Evolución del *graben* asimétrico*

Las relaciones de corte de las distintas estructuras presentes en la zona de estudio permiten establecer una serie de fases que explican la evolución estructural del *graben*. Primeramente, tuvo lugar el depósito discordante de los "Limos rojos de Albuñuelas" (Serravallense) y de las "Calcarenitas bioclásticas y calciruditas" (Tortonense temprano) sobre los materiales alpujárrides en una cuenca inicial cuya geometría no se puede precisar. A continuación, tuvo lugar una etapa de acortamiento durante el Tortonense tardío que generó el sistema de pliegues vergentes al norte y la falla inversa del sector central. Esta etapa cesó durante el depósito de la unidad de "Conglomerados, limos y corales". Posteriormente, tuvo lugar un cambio en el régimen de esfuerzos que dio lugar a una deformación extensional en el Tortonense tardío, que generó las fallas normales principales que configuran el *graben* asimétrico así como las fallas normales secundarias que afectan al plegamiento anterior. Por último y durante la etapa de extensión, tuvo lugar el depósito de glaciais a lo largo del Plioceno-Cuaternario.

Estructuras descritas, régimen de esfuerzos y deformación regional

Es posible relacionar las distintas fases tectónicas, y algunos de los elementos de deformación descritos, con las descritas en la Cordillera Bética. Los pliegues de ejes E-O descritos en el área de estudio concuerdan con los pliegues de ejes E-O presentes en Sierra Nevada y otras sierras adyacentes descritos por Galindo-Zaldívar *et al.* (2015). Además, es posible correlacionar el sistema de pliegues local de la zona con estos grandes pliegues, ya que la fase de acortamiento Bética duró hasta el Tortonense (Galindo-Zaldívar *et al.*, 1999; Sanz de Galdeano *et al.*, 2012; Galindo-Zaldívar *et al.*, 2015). También es posible correlacionar las fracturas estudiadas con algunas de las fracturas des-

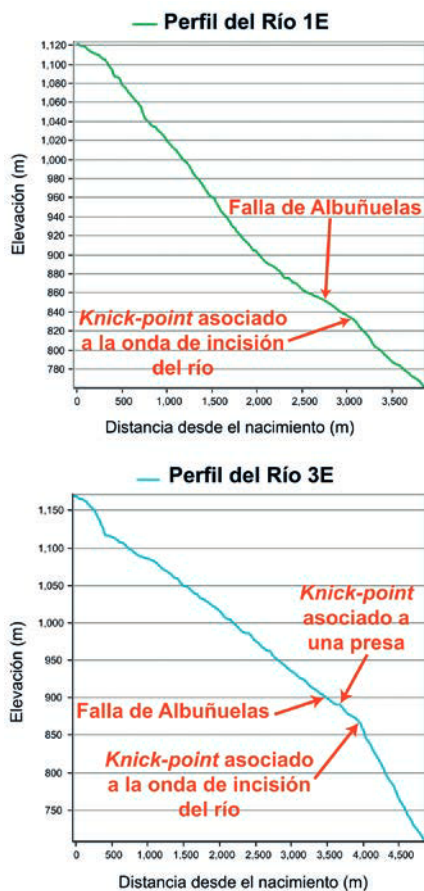


Fig. 3.- Perfiles longitudinales de los ríos 1E y 3E, seleccionados como representativos (señalados en Fig. 2C).

Fig. 3.- Longitudinal profiles of the rivers 1E and 3E, selected as the representative ones (indicated in Fig. 2C).

critas por Soliva y Benedicto (2004), Martínez-Martínez *et al.* (2006), y Galindo-Zaldívar *et al.* (2015) correspondientes a la fase de extensión posterior. Estas fracturas son las fallas de dirección E-O-NE/SO con geometría en relevo, con una componente importante de salto en dirección. Según el análisis cinemático realizado, existe una extensión hacia el SE que difiere de la predominante en el entorno de la Cuenca de Granada y de la Cordillera Bética (SO, según diversos autores como Sanz de Galdeano *et al.*, 2010; Galindo-Zaldívar *et al.*, 2015). Aun así, esta extensión SE local ha sido descrita en otras áreas; tal y como ocurre en la falla de Laujar según Martínez-Martos *et al.* (2017). Este autor define la existencia de fallas normales y pliegues paralelos entre sí, situación también existente en el área de estudio.

Actividad de la Falla de Albuñuelas

Sanz de Galdeano *et al.* (2012), cataloga la Falla de Albuñuelas como activa, tal

y como también aparece en la base de datos de fallas activas QAF (IGME, 2015). A pesar de ello, los resultados obtenidos en este trabajo no evidencian dicha actividad.

El sector oeste de esta falla es claramente inactivo, ya que está sellado por los depósitos de glaciis plio-cuaternarios. En el resto de la extensión de la falla, los mismos depósitos de glaciis están afectados por ésta. Sin embargo, la escasa expresión superficial, así como la alta degradación del escarpe de falla (Fig. 2A) cuestionan la actividad de ésta.

De manera complementaria, se han obtenido mediante herramientas SIG los perfiles longitudinales de los ríos que atraviesan la Falla de Albuñuelas. La ausencia de *knick-points* correspondientes a la localización de la falla en dichos perfiles (Fig. 3) indican que (1) la falla actualmente se encuentra en estado estacionario, (2) se trata de una falla lenta y la tasa de incisión de los ríos impide la generación de *knick-points* o (3) la falla también es inactiva en su tramo oriental. Por tanto, dada la escasez de evidencias claras de desplazamiento reciente en la Falla de Albuñuelas, proponemos una revisión más detallada de esta falla para caracterizar su actividad.

Conclusiones

La estructura actual del *graben* asimétrico de Albuñuelas se define mediante un sistema de fallas conjugadas normales, inclinadas al norte y al sur en torno a 45° y de dirección E-O/NE-SO, siendo la falla sur la principal. Estas fallas hundieron materiales neógenos y elevaron materiales alpujárrides. Además, otras fallas relacionadas a estas cortaron un sistema de pliegues de ejes E-O previo. Con las observaciones realizadas, se proponen al menos dos fases de deformación local que pueden correlacionarse con las existentes en la Cordillera Bética. Primeramente, tuvo lugar la inversión de una cuenca inicial durante el Tortoniense tardío. Durante esta fase de acortamiento, se generó el sistema de pliegues asimétricos E-O y similares a los pliegues E-O de la Cordillera Bética oriental y central. A continuación, tuvo lugar una fase extensional que generó fallas normales como la Falla de Albuñuelas, cuya actividad se cuestiona en este trabajo y, por tanto, se recomienda su revisión.

Agradecimientos

Agradecemos a Gabriel Gutiérrez Alonso y María Ortuño Candela por sus comentarios y correcciones. Este trabajo ha sido financiado por los proyectos de investigación CGL2015-71692-P y CGL2015-67130-C2-1-R del MINECO.

Referencias

- Avidad Castañeda, J., García-Dueñas, V., Gallegos, J.A. y González Donoso. (1978). *Mapa Geológico de España E. 1:50.000, hoja n° 1041 (Dúrcal) y memoria*. IGME. 45 p.
- Braga, J.C., Jimenez, A.P., Martín, J.M. y Rivas, P. (1996). *SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology* 5, 131–139.
- Galindo-Zaldívar, J., Jabaloy, A., Serrano, I., Morales, J., González-Lodeiro, F. y Torcal, F. (1999). *Tectonics* 18 (4), 686-702.
- Galindo-Zaldívar, J., Gil, A.J., Sanz de Galdeano, C., Lacy, M.C., García-Armenteros, J.A., Ruano, P., Ruiz, A.M., Martínez-Martos, M. y Alfaro, P. (2015). *Tectonophysics* 663, 290-301.
- González-Donoso, J.M. (1978). *Cuadernos de Geología* 8-9, 191-203.
- IGME (2015). *QAFI v.3: Quaternary Active Faults Database of Iberia*. <http://info.igme.es/QAFI>
- Martín-Suárez, E., Freudenthal, M. y Agusti, J. (1993). *Geobios* 26 (3), 377-387.
- Martínez-Martínez, J.M., Booth-Rea, G., Azañón, J.M. y Torcal, F. (2006). *Tectonophysics* 422, 159-173.
- Martínez-Martos, M., Galindo-Zaldívar, J., Sanz de Galdeano, C., García-Tortosa, F.J., Martínez-Moreno, F.J., Ruano, P., González-Castillo, L. y Añazón, J.M. (2017). *Journal of Geodynamics* 104, 15-26.
- Rivas, J., Braga, J.C. y Sánchez-Almazo, I.M. (1999). *Trabajos de Geología*, 21, 309-320.
- Sanz de Galdeano, C., Shanov, S., Galindo-Zaldívar, J., Radulov, A. y Nikolov, G. (2010). *Journal of Geodynamics* 50 (2), 57-66.
- Sanz de Galdeano, C., García-Tortosa, F.J., Peláez, J.A., Alfaro, P., Azañón, J.M., Galindo-Zaldívar, J., López Casado, C., López Garrido, A.C., Rodríguez-Fernández, J. y Ruano, P. (2012). *Journal of Iberian Geology* 38 (1), 209-223.
- Soliva, R. y Benedicto, A. (2004). *Journal of Structural Geology* 26 (12), 2251-2267.