

Evolución tectónica del entorno del Cabalgamiento de la Sierra de Arcos (Ariño, Cordillera Ibérica nororiental)

Tectonic evolution around the Sierra de Arcos thrust (Ariño, northeaster Iberian Chain)

Daniel Ruiz Blasco^{1,*} y Teresa Román Berdiel²

¹ Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. C/Pedro Cerbuna, 12, 50009 Zaragoza. danielrb2802@gmail.com.

² Departamento de Ciencias de la Tierra. Grupo Geotransfer-IUCA. Universidad de Zaragoza. C/Pedro Cerbuna, 12, 50009 Zaragoza. mtdjrb@unizar.es

*Corresponding author

ABSTRACT

The Ariño sector of the Aragonese Branch of the Iberian Chain (Oliete basin) shows a set of macrostructures resulting from its tectonic evolution: NNW-SSE, E-W and NW-SE trending folds, and a plurikilometric thrust (Sierra de Arcos thrust) detached on the Upper Triassic evaporites. Mesostructures include normal faults forming conjugate systems, stylonitic peaks with two main preferred directions and cleavage planes associated with normal and overturned limbs in the Upper Triassic. The analysis of these structures allows to propose two different hypotheses about the tectonic evolution of this sector of the Iberian Chain during the Cenozoic. The first one deals with several compressional episodes with differently oriented stress axis that generated the tectonic structures present in the study area. The second one is focused in the interpretation of an only N-NNE oriented compression, the different orientation of the structures found resulting from the orientation anisotropy of structural features, resulting from the previous basinal evolution of the area.

Key-words: Iberian Chain, Alpine Orogeny, tectonic structures, stress field, anisotropy.

Geogaceta, 75 (2024), 47-50

<https://doi.org/10.55407/geogaceta100902>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

RESUMEN

El área de Ariño (Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica, borde norte de la cuenca de Oliete) muestra un conjunto de macroestructuras que resultan de la evolución tectónica de la misma: pliegues con orientación variada (NNO-SSE, E-O y NO-SE), fallas normales conjugadas, y un cabalgamiento plurikilométrico (cabalgamiento de la Sierra de Arcos) enraizado en las evaporitas del Triásico superior. El análisis de estas estructuras permite proponer dos hipótesis acerca de la evolución tectónica de este sector de la Cordillera Ibérica. La primera versa sobre la existencia de varios episodios compresivos de distinta orientación en sus ejes de esfuerzo, que generaron las estructuras tectónicas presentes en la zona de estudio en el contexto de la Orogenia Alpina. La segunda se centra en la existencia de un solo campo de esfuerzos, de orientación N-NNE, y la anisotropía en la orientación de sus elementos, fruto de la presencia de estructuras de origen extensional cretácicas relacionadas con fallas de zócalo.

Palabras clave: Cordillera Ibérica, Orogenia Alpina, estructuras tectónicas, campos de esfuerzo, anisotropía.

Fecha de recepción: 10/07/2023

Fecha de revisión: 24/10/2023

Fecha de aceptación: 24/11/2023

Introducción

La localidad de Ariño (Teruel) se sitúa en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (Fig. 1A), en el margen NO de la subcuenca de Oliete y está integrada dentro del Parque Cultural del Río Martín (Aurell *et al.*, 2017). Se trata de un sector poco estudiado desde el punto de vista de la geología estructural, siendo Oliete la localidad más próxima y mejor revisada en lo que respecta a la evolución tectónica durante la fase de extensión del Mesozoico, por autores como Bordonaba *et al.* (1999), Soria *et al.* (1992) Casas *et al.* (1997) y Aurell *et al.* (2018).

Dada la falta de datos estructurales, este trabajo se plantea con el objetivo de identificar y caracterizar las estructuras tectónicas pertenecientes a la zona de estudio, y presentar una hipótesis acerca de la evolución tectónica del sector durante la fase compresiva de la Orogenia Alpina, lo cual permite evaluar los distintos mo-

delos existentes para el conjunto de la Cordillera Ibérica.

Las hipótesis planteadas se pueden resumir en dos bloques contrapuestos (i) la existencia de una compresión dominante de orientación NNE-SSO y la presencia de elementos de zócalo responsables de la anisotropía de la orientación de las estructuras (Casas *et al.*, 1997), y (ii) la actuación de varios campos de esfuerzo compresivos de diferentes orientaciones, responsables de las distintas orientaciones de las estructuras (Liesa, 2000; Simón y Liesa, 2011).

Marco geográfico y geológico

La zona de estudio abarca los alrededores de la localidad turolense de Ariño, situada a lo largo del curso del río Martín y delimitada en su margen N por la zona recreativa "La Casilla", una de las ubicaciones con los afloramientos de mayor

relevancia dentro del sector, y al S por el pico "La Atalaya" (Fig. 1B).

Los materiales más antiguos presentes en la zona de estudio pertenecen a la Facies Keuper, constituida por lutitas versicolores, yesos y margas yesíferas, y a las dolomías tableadas de la Formación Imón (Triásico Superior). A continuación, aflora la serie del Jurásico Inferior, conformada por una secuencia de margas y calizas que se suceden de forma continua hasta los carbonatos de la Formación Chelva (Jurásico Medio). Apoyándose discordante sobre los materiales de edad jurásica, la serie del Cretácico Inferior aflora continua, a excepción de la Formación Blesa (Aurell *et al.*, 2017) ausente en la zona, hasta las arenas y arcillas versicolores de la Formación Utrillas. En contacto discordante sobre a la serie cretácica, encontramos materiales detríticos pertenecientes al Paleógeno y finalmente depósitos cuaternarios de terraza y glacis.

La zona de estudio durante el Mesozoico estuvo condicionada por la tectónica extensional, la cual configuró la subcuenca de Oliete, y dio lugar a varias estructuras extensivas, principalmente correspondientes a los tránsitos triásico-jurásico y jurásico-cretácico como apuntan varios autores (Bordonaba y Aurell, 2001; Soria *et al.*, 1992; Aurell *et al.*, 2018). La zona de estudio se encuentra en el margen septentrional de la subcuenca de Oliete y debido a ello presenta un menor depósito de la serie jurásico-cretácica con respecto al depocentro de la subcuenca e incluso episodios de exposición subaérea (Delvene *et al.*, 1997).

Metodología

Previo al trabajo de campo, se realizó un estudio de la zona mediante fotografía aérea en Google Earth Pro, utilizando como base la hoja 467 (Muniesa) del Mapa Geológico de España 1:50.000 (Ríos *et al.*, 1981).

El trabajo de campo consistió en la medida de orientaciones de capas y estructuras a escala de afloramiento.

Esta información fue inmediatamente incorporada al software SW Maps, del cual

era trasladada a ArcGIS para la elaboración de la cartografía geológica, georreferencia y tratamiento. Otra de las herramientas indispensables durante la realización de este trabajo fue el software Stereonet (Allmendinger *et al.*, 2013) mediante el cual han sido representadas las direcciones de las estructuras tectónicas en proyección estereográfica y se ha aplicado sobre ellas métodos clásicos de análisis direccional.

Resultados

En la Figura 1B y 1C aparece representada la cartografía geológica sintética realizada en base a los datos obtenidos durante el trabajo de campo, además de dos cortes geológicos I-I' y II-II' localizados en la misma.

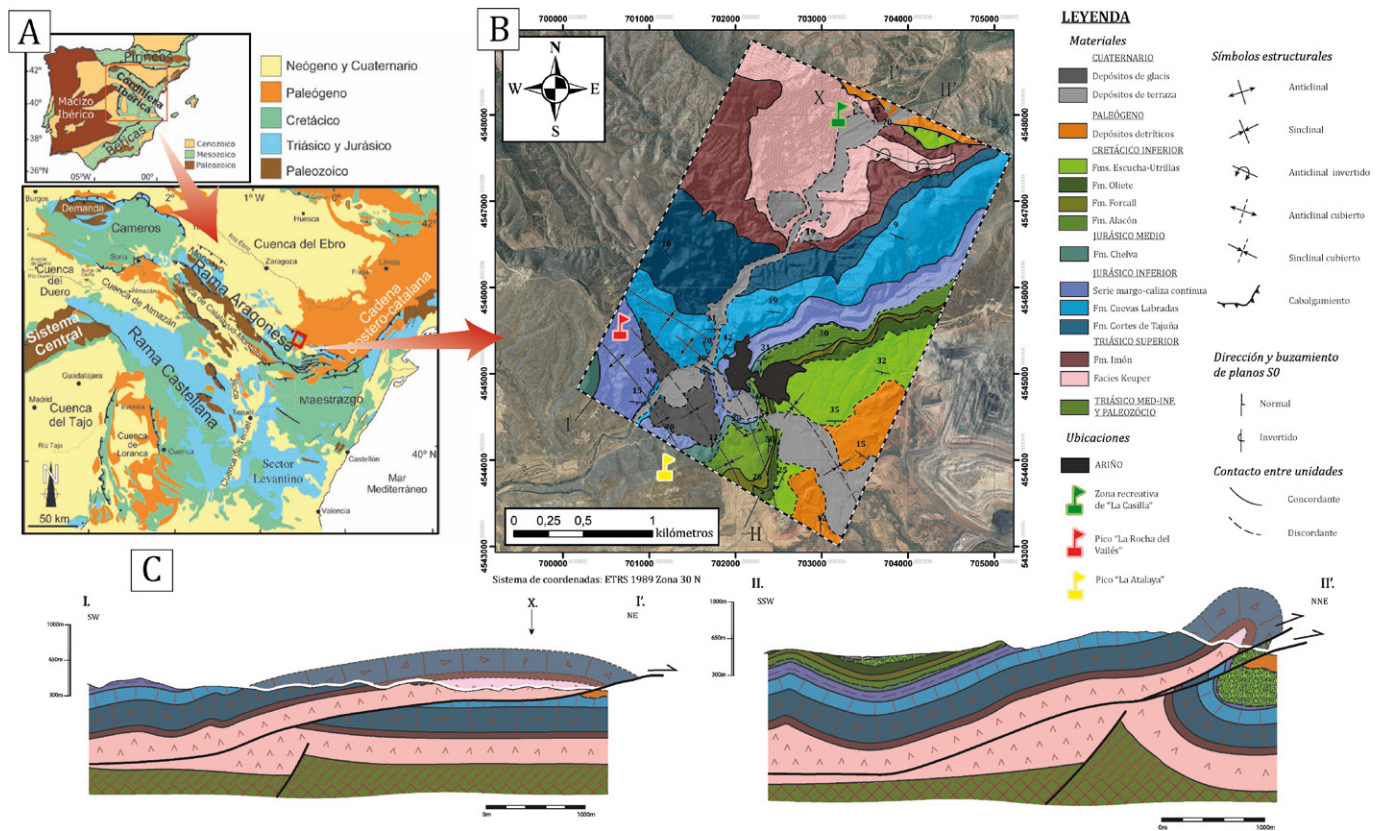
La zona de estudio ha sido dividida en dos sectores. Por un lado, la zona S, caracterizada por los afloramientos de la serie carbonatada jurásico-cretácica y la presencia de pliegues de escala cartográfica, picos estilolíticos y fallas normales. Por el otro lado, la zona N, donde los materiales del Triásico Superior se sitúan en contacto con los depósitos detríticos de edad paleógena a favor del Cabal-

gamiento de la Sierra de Arcos (Fig. 1C). Además, en el afloramiento próximo al cabalgamiento donde los materiales en facies Keuper se encuentran fuertemente deformados, se han caracterizado varios pliegues de distinta entidad y geometría, así como planos de esquistosidad.

Zona S: Estructuras en la serie jurásico-cretácica

Se han definido una sucesión de pliegues que afectan a los materiales de edad jurásica y cretácica situados en las proximidades de Ariño (Fig. 2A). Este tren de pliegues presenta en cartografía una dirección de ejes curvos que cambian de dirección ONO-ESE en el sector occidental a dirección NO-SE para el caso de los sinclinales y NNO-SSE para el caso del anticlinal, en el sector oriental. Estos pliegues comparten un sentido de inmersión S en sus ejes, de dirección SE en el caso de los sinclinales y SSE para el anticlinal.

En la Formación Cuevas Labradas (Jurásico Inferior) han sido identificadas diversas fallas de componente normal. En uno de los afloramientos próximos al curso del río Martín, estas conforman un sistema de fallas conjugadas (Anderson, 1951, Fig.



2B). Dichas fallas presentan altos valores de buzamiento y direcciones E-O, con desplazamientos centimétricos. También han sido identificadas fracturas de geometría similar pero desplazamiento nulo o milimétrico en las dolomías de la Fm. Imón.

En cuanto a las medidas de orientación de picos estilolíticos, estas han sido realizadas en varias estaciones distribuidas a lo largo de los afloramientos de la Fm. Cuevas Labradas, Formación Alacón y Formación Oliete (Cretácico Inferior). Se define un máximo principal de dirección NNE-SSO y un máximo secundario en dirección NO-SE (Fig. 2C).

Zona N: Deformación en la Facies Keuper junto al cabalgamiento de Sierra de Arcos

El Cabalgamiento de la Sierra de Arcos recorre el margen NE de la zona de estudio con una traza de dirección NO-SE y E-O, poniendo en contacto las lutitas y yesos de la Facies Keuper y los carbonatos de Fm. Imón en el bloque superior con los depósitos detríticos de edad paleógena del bloque inferior.

Próximo al frente de cabalgamiento, la Facies Keuper se encuentra fuertemente deformada en una sucesión de pliegues tumbados con planos axiales inclinados hacia el S (Fig. 3A). Estos pliegues han sido clasificados en función de su entidad en principales, parásitos (adscritos a los flancos de los pliegues de mayor tamaño), secundarios (en el interior de las charnelas de los principales) y de escala deci- a centimétrica plegando la laminación. Las direcciones de sus planos axiales son diversas, pero se pueden distinguir dos poblaciones, una mayoritaria NO-SE y una secundaria E-O.

En los interestratos margosos presentes en este afloramiento de la Facies Keuper, se han tomado medidas de planos de esquistosidad, subparalelos a los planos axiales de los pliegues. De ellos se ha inferido una dirección de acortamiento N-S de acuerdo con el máximo de los polos de los planos de esquistosidad (Fig. 3B).

Discusión e interpretación

La zona de estudio comprende el bloque superior del Cabalgamiento de la Sierra de Arcos, el cual se ha interpretado como un cabalgamiento nucleado en la discontinuidad de una falla normal Mesozoica heredada, producido por el desacople

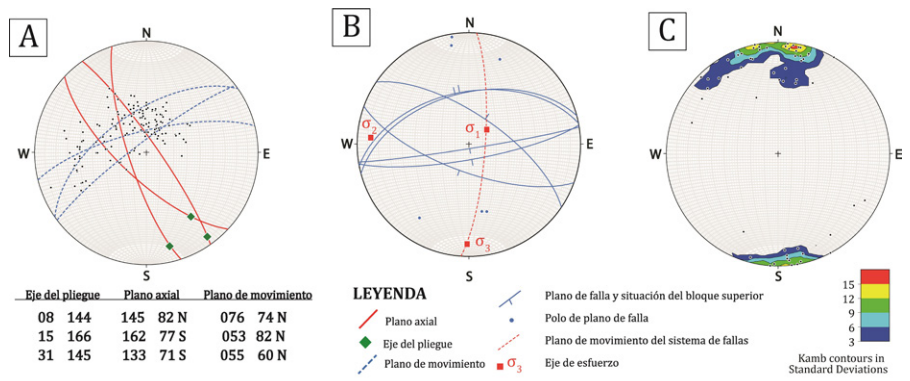


Fig. 2.- A) Representación en proyección estereográfica de la orientación de los pliegues de la serie jurásica-cretácica. B) Sistema de fallas conjugadas normales de Anderson en proyección estereográfica en el afloramiento de la Fm. Cuevas Labradas, próximo al pico de "La Rocha del Vailés" (Fig. 1A). C) Diagrama de densidades y proyección estereográfica de orientaciones de picos estilolíticos. Ver figura en color en la web.

Fig 2.- A) Stereoplot of bedding directions in the Jurassic-Cretaceous series. B) Stereoplot of the normal conjugate fault system in the Cuevas Labradas Fm., near the peak of "La Rocha del Vailés" (Fig. 1^a). C) Density diagram and stereoplot of stylolitic peak orientations.

ple de la Facies Keuper, que actúa como nivel de despegue del cabalgamiento que se habría formado durante la compresión de la Orogenia Alpina (Casas *et al.*, 1997).

En base a su geometría, orientación y materiales a los que afectan, la formación de las estructuras extensionales descritas en materiales jurásicos y de edad Triásico Superior (Fm. Imón) ha sido interpretada como resultado del esfuerzo de tracción generado por el desacople de la Facies Keuper durante la migración de la misma en la formación del cabalgamiento.

Las direcciones generales de los grupos de estructuras caracterizados en la zona de estudio son los representados en la Figura 4.

Partiendo de este punto, se han contemplado dos posibles hipótesis sobre la evolución tectónica de este sector de la

Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica durante la Orogenia Alpina.

Hipótesis I: Cambios en la orientación de los campos de esfuerzo

Esta hipótesis sostiene la existencia de varias orientaciones de los campos de esfuerzo compresivos durante diferentes etapas de la Orogenia Alpina que afectarían a la zona de estudio.

En base a los estudios de Liesa (2000) se puede establecer una relación temporal en función de la orientación del eje principal de esfuerzos. Así pues, este sector se vería afectado en primera instancia por una compresión temprana de orientación E-O, que provocaría la formación del anticlinal de dirección NNO-SSE en la serie jurásica-cretácica, seguida de la compresión

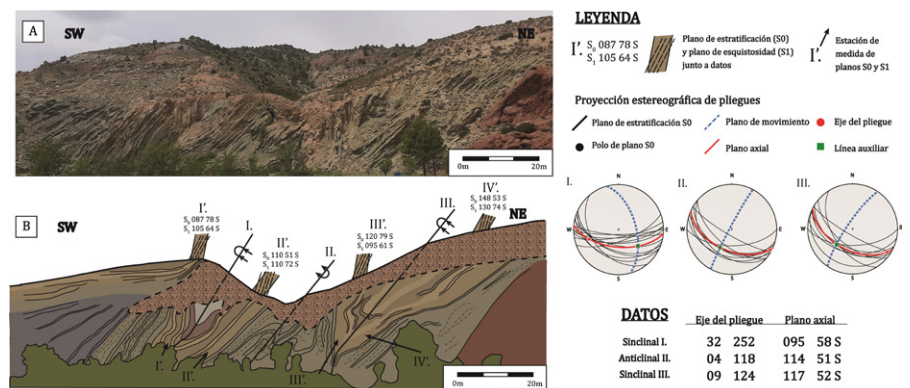


Fig. 3.- A) Panorámica de las estructuras desarrolladas en el Triásico Superior en el afloramiento de próximo al cabalgamiento de la Sierra de Arcos. B) Esquema estructural de los pliegues principales de la sucesión presentes en el afloramiento, junto a las representaciones en proyección estereográfica de los mismos. Se muestra la relación angular entre el buzamiento de los planos de estratificación, S0, y los planos de esquistosidad S1.

Fig. 3.- A) Panoramic view of the structures developed in the Upper Triassic in the outcrop near the Sierra de Arcos thrust. B) Structural sketch and stereoplot of the main folds present in the outcrop. slightly deep. See color figure in the web.

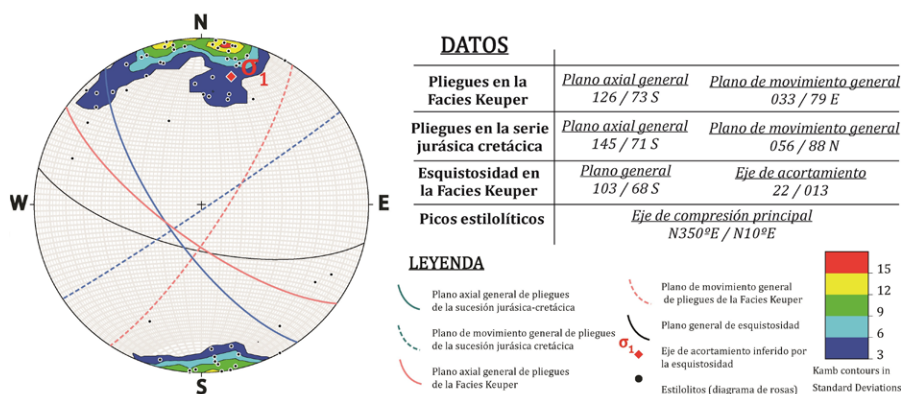


Fig. 4.- Proyección estereográfica de las orientaciones generales de los conjuntos de estructuras descritos; pliegues en el afloramiento de la facies Keuper, pliegues de la serie jurásica-cretácica, planos de esquistosidad de la facies Keuper y picos estilolíticos.

Fig. 4.- Stereoplot of the general orientations of the described sets of structures; folds in the outcrop of the Keuper facies, folds of the Jurassic-Cretaceous series, cleavage planes of the Keuper facies and stylolytic peaks. See color figure in the web.

NE-SO responsable de los sinclinales que afectan a la serie, varios de los pliegues en la Facies Keuper y la formación de los segmentos de orientación NO-SE del cabalgamiento de la Sierra de Arcos. A continuación, el eje principal de esfuerzos pasaría a presentar una orientación N-S, que provocaría el resto de deformaciones descritas en la Facies Keuper y la formación de picos estilolíticos en los carbonatos mesozoicos y los segmentos restantes del cabalgamiento de la Sierra de Arcos de orientación E-O.

Hipótesis 2: Compresión N-NNE y generación de distintas orientaciones de las estructuras debidas a anisotropías previas

La segunda hipótesis parte de considerar un campo de esfuerzos compresivo o dirección de acortamiento de orientación N-NNE, como responsable de la formación de las estructuras tectónicas presentes en el sector y generadas durante la compresión Cenozoica. Esta orientación queda reflejada en estructuras tales como los picos estilolíticos y planos de esquistosidad en la Facies Keuper, al igual que en varios pliegues en el afloramiento de la zona recreativa "La Casilla". La orientación de los pliegues en materiales mesozoicos vendría determinada por la presencia de las discontinuidades ocasionadas por las fallas normales Mesozoicas de basamento (Casas et al., 1997) que imprimirían una anisotropía de zócalo y cobertera, responsable de las orientaciones de las estructuras compresivas oblicuas con respecto a la dirección de acortamiento durante el proceso de deformación de estos materiales.

En relación con esta hipótesis, cabe contemplar la posibilidad de la presencia de cuerpos diapíricos o salt-walls asociados a la Facies Keuper, que se habrían formado durante la extensión Mesozoica o por migración de esta facies durante una etapa temprana de la formación del cabalgamiento de la Sierra de Arcos. Estas estructuras se corresponderían con las discontinuidades ocasionadas por las fallas normales Mesozoicas y serían responsables de la anisotropía de zócalo y cobertera.

La realización de un estudio futuro podría arrojar más información a cerca de la Facies Keuper y su importancia dentro de la evolución y configuración estructural actual de la zona de estudio.

Conclusiones

Se han identificado una serie de estructuras tectónicas en la zona de estudio, comprendida en las inmediaciones de la localidad turolense de Ariño. En su mayor parte están relacionadas con la compresión que afectó a la Cordillera Ibérica durante el Cenozoico. Los datos obtenidos son compatibles con dos hipótesis extremas: i) la secuencia de varias direcciones de compresión aproximadamente perpendiculares a los ejes de los pliegues, y ii) la generación de estructuras asociadas a estructuras de basamento bajo una dirección de acortamiento homogénea.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto PID2019-108753GB-C22 de la Agencia Estatal de Investigación (AEI/10.13039/501100011033), y por el

Gobierno de Aragón (E32_20R: Grupo de Investigación Geotransfer).

Agradecemos al Dr. Antonio Casas Sainz su colaboración durante las distintas fases de realización del trabajo.

Los autores agradecen los comentarios de los revisores, que sin duda han ayudado a mejorar este trabajo.

Referencias

Allmendinger, R. W., Cardozo, N. C. y Fisher, D. (2013). Structural Geology Algorithms: Vectors & Tensors: Cambridge, England, Cambridge University Press, 289 pp.

Anderson, E. M. (1951). The dynamics of faulting and dyke formation with application to Britain. Oliver & Boyd Ed. Reprinted of the revised second edition (1963), 206 pp.

Aurell, M., Bádenas, B., Canudo, J.I. y Casas, A. (2017). Guía de geología y paleontología del Parque Cultural del Río Martín, Edición Renovada. Asociación Parque Cultural del Río Martín, Ariño, 151 pp.

Aurell, M., Soria, A.R., Bádenas, B., Liesa, C.L., Canudo, J.I., Gasca, J.M., Moreno-Azanza, M., Medrano-Aguado, E. y Meléndez, A. (2018). Journal of Iberian Geology 44(2), 285-308. <https://doi.org/mx3v>

Bordonaba, A. P. y Aurel M. (2001). Revista de la Sociedad Geológica de España 14(1-2), 135-146.

Bordonaba, A. P., Aurel M. y Casas, A. (1999). Geogaceta 25, 43-46.

Casas, A. M., Cortes, A. L., Liesa, C. L., Meléndez, A. y Soria, A. R. (1997). Cuadernos de geología ibérica 23, 243-268.

Delvene, G., Meléndez, G., Bello, J. y Pérez, I. (1997). Cuadernos de geología ibérica 23, 269-300.

Liesa, C.L. (2000). Fracturación y campos de esfuerzos compresivos alpinos en la Cordillera Ibérica y el NE peninsular. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 760 pp.

Liesa, C.L., Casas, A. M. y Simón, J.L. (2018). Revista de la Sociedad Geológica de España, 31(2), 23-50.

Ríos, L.M., Beltrán, F.J., Lanaja, J.M. y Marín, F.J. (1981). Mapa Geológico de España E. 1:50.000, Hoja 467 Muniesa.

Simón, J.L. y Liesa, C.L. (2011). Geological Society of London, Special Publications 349, 77-79.

Soria, A.R., Vennin, E. y Meléndez, A. (1992). Revista de la Sociedad Geológica de España 8(1-2), 47-61.