

La Fosa de Morés (Cordillera Ibérica): extensión triásica e inversión cenozoica

The Morés trough (Iberian Chain): Triassic extension and Cenozoic inversion

Raúl Lázaro-González* y Carlos L. Liesa

Departamento de Ciencias de la Tierra-IUCA, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza, España.

raullazarouni@gmail.com, carluis@unizar.es

*Corresponding author

ABSTRACT

The Mores Trough (Aragonese Branch of the Iberian Chain) is filled by rocks of Triassic age (Germanic facies) unconformably overlying folded and fractured Paleozoic materials. The trough is delimited by two major NW–SE faults, the Purroy normal fault to the northeast, locally inverted, and the Inogés reverse fault to the southwest. In addition, other structures of a similar direction to the faults, such as folds, thrusts and normal faults can be found within the basin. Geological cross-sections and the measurement and interpretation of bedding and fracture data have allowed to give an interpretation of the different structures found in both basin boundaries. A first extensional stage during the Triassic produced synsedimentary normal faults, as the Purroy fault, and mesoscale horst and graben structures. A second compressive stage of Cenozoic age led to the reactivation of faults with a reverse component and the formation of folds.

Key-words: Subbasin, extension, compression, Triassic, Iberian Chain.

Geogaceta, 75 (2024), 39–42

<https://doi.org/10.55407/geogaceta100821>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

RESUMEN

La Fosa de Morés (Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica) está rellena por materiales de edad triásica (facies germánica) que se superponen discordantes sobre materiales paleozoicos plegados y fracturados. La cuenca está delimitada por dos grandes fallas de dirección NW–SE, la falla normal de Purroy, invertida localmente, y la falla inversa de Inogés. Pliegues, cabalgamientos y fallas normales de dirección similar se observan dentro de la cuenca. Los cortes geológicos y los datos de estratificación y fracturación han permitido dar una interpretación de las diferentes estructuras de los márgenes de la cuenca. Una primera etapa extensional triásica dio lugar a fallas normales sinsedimentarias, como la falla de Purroy, y estructuras en horsts y grabens a escala mesoestructural. Una segunda etapa, de carácter compresivo, produjo en el Cenozoico la reactivación de fallas con componente inversa y la formación de pliegues.

Palabras clave: Cubeta, extensión, compresión, Triásico, Cordillera Ibérica.

Fecha de recepción: 6/07/2023

Fecha de revisión: 24/10/2023

Fecha de aceptación: 24/11/2023

Introducción

La Fosa de Morés forma parte de un conjunto de estructuras de dirección NW–SE y posible alcance cortical o litosférico, que determinan la estructura de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (Fig. 1). En los Mapas Geológicos de España 1:50.000 (Aragonés *et al.*, 1980;

Hernández *et al.*, 1981) se describe la Fosa de Morés como limitada por dos fallas inversas, aunque en corte se representa una de ellas como una falla normal (Aragonés *et al.*, 1980). En trabajos recientes se sugiere que la cubeta de Morés es una cubeta extensional triásica, posteriormente invertida durante el Cenozoico (Casas *et al.*, 2016, 2017). El objetivo principal de este estudio es determinar la estructura de dicha cubeta a partir de observaciones macro y mesoestructurales y elaborar un modelo evolutivo de la zona.

Situación geológica

La cubeta de Morés se enmarca en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (Fig. 1), y en ella aflora una cobertera relativamente delgada compuesta por materiales triásicos en facies germánica (Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper) discordante sobre materiales paleozoicos plegados y fracturados (Aragonés *et al.*, 1980; Hernández *et al.*, 1981; Casas *et al.*, 2016, 2017). Está delimitada por dos grandes fallas, al suroeste la falla de Ino-

gés y al noreste, la falla de Purroy (Aragonés *et al.*, 1980; Hernández *et al.*, 1981). Estas fallas ponen en contacto materiales paleozoicos (cámbricos y ordovícicos, respectivamente) con materiales triásicos (Fig. 1). La cubeta está atravesada por fallas, anticlinales y sinclinales de escala plurikilométrica de dirección NW–SE.

Metodología

A partir del trabajo de campo y análisis de ortoimágenes de alta resolución (Centro Nacional de Información Geográfica, CNIG) se ha realizado la revisión y elaboración de la cartografía. Se han estudiado varios afloramientos en detalle, tomándose datos de estratificación y foliación, planos de falla, mayores y menores, y diaclasas. Estas observaciones, junto a los datos de cartografías previas (Aragonés *et al.*, 1980; Hernández *et al.*, 1981) han permitido determinar las características de la Cubeta de Mores y realizar tres cortes geológicos. Los datos obtenidos en el campo fueron analizados con el software Stereonet (Allmendinger *et al.*, 2013).

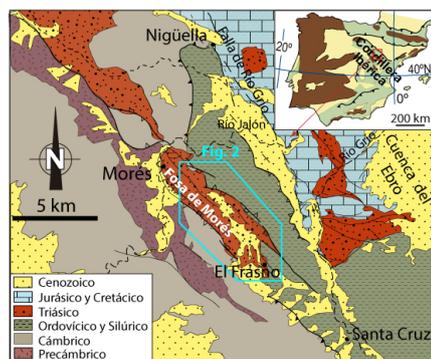


Fig. 1.- Situación geológica de la Fosa de Morés (modificada de Casas *et al.*, 2017). Ver figura en color en la Web.

Fig. 1.- Geological location of the Mores Trough (modified from Casas *et al.*, 2017). See color figure on the Web.

Resultados

Macroestructura

Las dos grandes fallas de dirección NW-SE que delimitan los materiales triásicos de la cubeta, falla de Inogés al suroeste y falla de Purroy al noreste (Figs. 1 y 2), muestran notables diferencias. La falla de Inogés muestra en toda su traza un carácter inverso, de modo que materiales cámbricos se superponen sobre materiales triásicos (cortes geológicos I, II y III, Fig. 2). No obstante, la estructura cambia a lo largo de este margen. En su extremo sureste, sólo se reconoce un único plano de cabalgamiento y, en su bloque inferior, aparece bien desarrollado un sinclinal de igual dirección que la falla y con su flanco suroeste invertido (56°), el denominado sinclinal tumbado de El Frasno (Aragónés *et al.*, 1980; corte I en Fig. 2), en cuyo núcleo afloran los materiales evaporíticos del Keuper. Hacia el noroeste, la estructura de este margen se resuelve, primero, con dos escamas de cabalgamiento paralelas (corte II) y, luego, con tres escamas, formando un sistema imbricado (corte III). Estas escamas se encuentran superpuestas sobre materiales del Muschelkalk que componen el flanco inclinado de una estructura monoclinual de dirección NW-SE, que aparece en la parte central de la cubeta. Este cambio en

la estructura parece estar relacionado con fallas de orientación NE-SW que afectan a los materiales triásicos y segmentan dicho margen (Fig. 2). El desplazamiento horizontal mínimo de este sistema de cabalgamientos es de 500 m, pero su salto vertical puede superar 1 km.

En el sector central de la cubeta, un conjunto de fallas de orientación NW-SE de carácter normal, no aflorantes en la zona meridional por estar cubiertas por materiales cuaternarios, definen una estructura en *horst* y *graben*. Entre ellas destaca la falla de El Frasno, que tiene buzamiento alto (70°) hacia el suroeste y un salto mínimo de 200 m, que decrece hacia el noroeste. Hacia el este de esta falla, los materiales triásicos pasan a buzarse hacia el noreste, definiendo el anticlinal fallado del Barranco del Cubo (Fig. 2, Aragónés *et al.*, 1980). Localmente, el tramo inferior del Muschelkalk se apoya sobre el tramo intermedio del Buntsandstein (corte I, Fig. 2).

La estructura del margen noreste, la falla de Purroy presenta en la mayor parte de su traza un buzamiento medio-alto (50-70°) hacia el suroeste y componente normal (cortes I, II y III, Fig. 2). Los materiales triásicos se apoyan sobre los paleozoicos y el salto normal de esta estructura podría superar los 500 m. Sólo en su extremo sureste, la falla de Purroy presenta un buzamiento hacia el

noreste y las rocas paleozoicas están superpuestas sobre las triásicas (Fig. 2).

Estudio mesoestructural

La falla de Purroy se observa en el talud de la vía de tren de alta velocidad (Fig. 3A), en el sector norte de la zona de estudio. Allí, el plano de falla de dirección NW-SE tiene buzamiento hacia el suroeste (45-50°) y las areniscas y arcillas triásicas se apoyan sobre los materiales ordovícicos. En detalle, las capas triásicas dibujan un pliegue de *rollover* que está trastocado por fallas menores, sintéticas y antitéticas. Los sedimentos triásicos muestran, además, algunas geometrías en cuña que se abren hacia el NE, es decir, hacia la falla principal.

En el sector central de la cuenca es frecuente encontrar fallas normales, de escala métrica a decamétrica y saltos decimétricos a métricos, y diaclasas afectando a los materiales triásicos. En el talud de la autovía A2, en la localidad de El Frasno (Fig. 3B), materiales arcillosos y limolíticos del tramo medio del Buntsandstein están afectados por fallas y diaclasas. Se observan dos familias de fallas normales de dirección NW-SE y buzamientos de 60-70° al NE o SW, según la familia, y dos familias de diaclasas, una con dirección NNW-SSE y otra ENE-WSW que definen un sistema con-

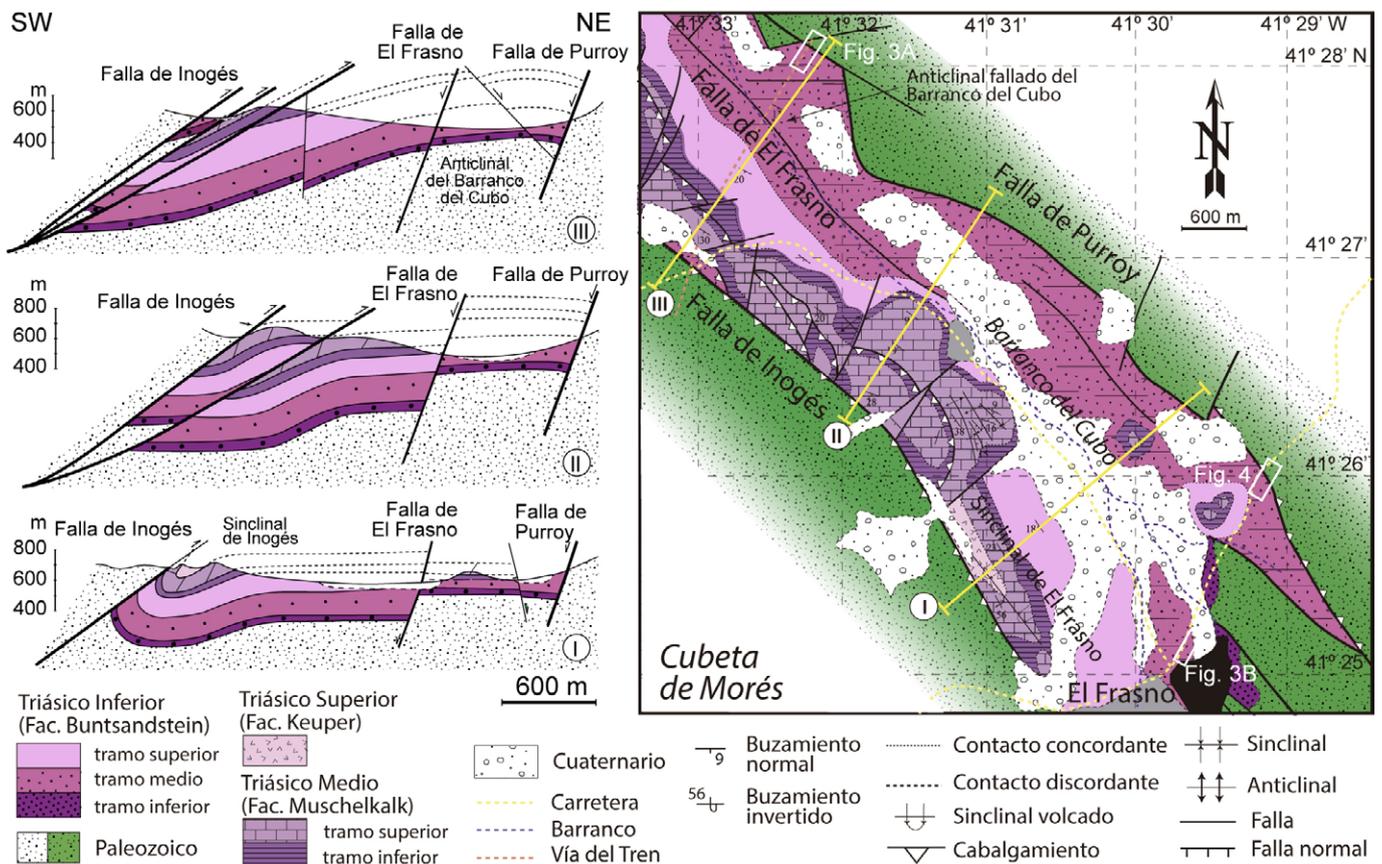


Fig. 2.- Cartografía y cortes geológicos de la Fosa de Morés (ver localización en Fig. 1). Ver figura en color en la Web.

Fig. 2.- Cartography and geological sections of the Mores Trough (see location in Fig. 1). See colour figure on the Web.

jugado. Si aplicamos el modelo de fallas conjugadas de Anderson (1951) se obtiene una dirección de extensión NE–SW. Por su parte, las diaclasas indican dos direcciones de tracción, una principal WSW–ENE y otra secundaria NNW–SSE (Fig. 3B).

Un afloramiento muy significativo es el que se observa en otro talud de la autovía, en las proximidades del túnel de Morata 1 (Fig. 2), justo al sur de la falla de Purroy (extremo superior izquierdo de la imagen en Fig. 4A). La falla de Purroy muestra un buzamiento hacia el noreste y movimiento inverso, con las rocas ordovícicas superpuestas a arcillas y limolitas del Buntsandstein (Figs. 2 y 4A). En las proximidades de la falla, los materiales triásicos muestran pliegues apretados con una clara vergencia al suroeste (Fig. 4B). Algunos pliegues tienen en las proximidades de su traza axial planos de falla curvados. Las fallas tienen desplazamientos de escala decimétrica a métrica, tanto normales (indicados con semiflecha roja) como inversos (semiflecha blanca), combinándose en algunas de ellas, de manera que muestran, en la parte inferior de su traza, un desplazamiento normal y, en su parte superior, movimiento inverso (Fig. 4B-C). En detalle, las fallas con salto normal definen semigrabens y grabens que tienen asociados cambios de espesor en algunos intervalos estratigráficos. Un estrato (línea discontinua naranja, Fig. 4B) fosiliza una de estas fallas con salto normal que separa dos bloques con una serie estratigráfica local diferente. Las dos fallas normales de buzamiento contrario que definen un pequeño graben (Fig. 4B), también muestran evidencias de desplazamientos inversos en los niveles estratigráficos más altos de la serie. Asociados a esta estructura, y también a otras fallas, se reconocen pliegues menores, a veces con vergencia contraria, que se relacionan con la orientación de las fallas próximas.

Interpretación y discusión

El estudio macroestructural y de afloramiento de la cubeta de Morés sugiere que durante el Triásico tuvo lugar una etapa extensional que dio lugar a fallas normales y estructuras en *horsts* y *grabens* a distintas escalas. Esto es evidente para la facies Buntsandstein, cuya sedimentación tuvo lugar de manera contemporánea a la acción de las fallas normales de dirección NW–SE que estructuran la cuenca, como la falla de Purroy, como lo denotan los cambios de potencia de las unidades, las geometrías en cuña de las capas y las discordancias locales asociadas a fallas menores (Figs. 3 y 4). Esta situación se pudo mantener, aunque con menor desarrollo, du-

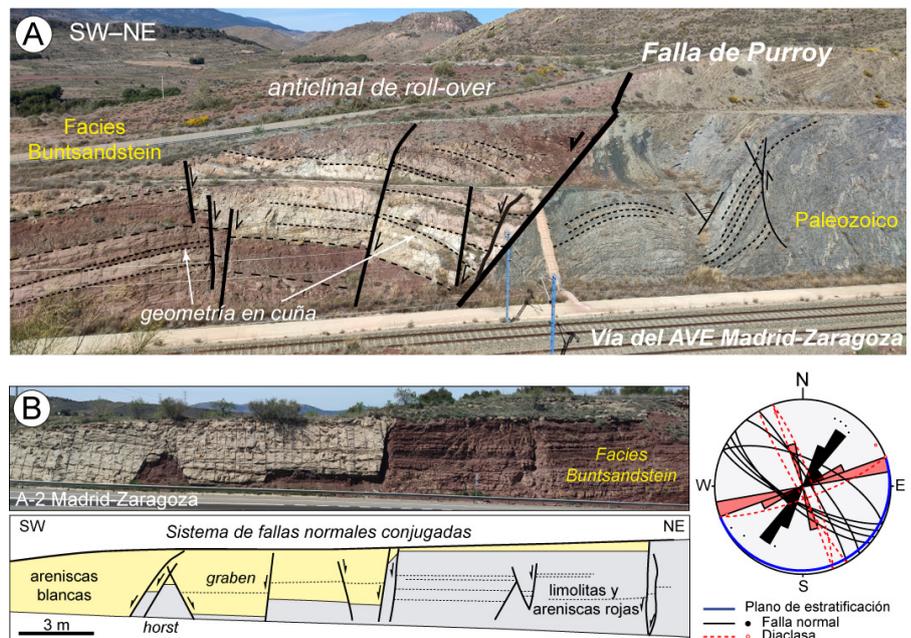


Fig. 3.- (A) La falla normal de Purroy en el talud de la vía del tren de alta velocidad Madrid-Zaragoza (ver situación en Fig. 2). (B) Foto y esquema de fallas normales menores (estructura en horst y graben), y diaclasas afectando a areniscas y limolitas triásicas en las proximidades de El Frasno (ver situación en Fig. 2) y estereograma (falsilla de Schmidt, hemisferio inferior) de los datos tomados en campo y diagrama en rosa de las direcciones de la línea de máxima pendiente de los planos estudiados. Ver figura en color en la Web.

Fig. 3.- (A) The Purroy normal fault on the slope of the Madrid-Zaragoza high-speed train track (see situation in Fig. 2). (B) Photo and scheme of minor normal faults (horst and graben structure), and joints affecting Triassic sandstones and siltstones in the vicinity of El Frasno (see situation in Fig. 2) and stereogram (Schmidt net, lower hemisphere) of the field data, including a rose diagram of the directions of the line of maximum slope of the studied planes. See colour figure on the Web.

rante la sedimentación de las facies Muschelkalk y Keuper, si se tienen en cuenta los cambios de espesor existentes en la región (Aragón et al., 1980; Hernández et al., 1981). La dirección de extensión triásica sería NE–SW, con σ_1 prácticamente vertical, como lo indica el sistema de fallas normales conjugadas, de dirección NW–SE. Esta dirección de extensión principal NE–SW es asimismo compatible con la dirección NW–SE de las fallas principales. Debemos recordar que la falla de Purroy, conserva en gran parte de su traza el salto normal asociado a esta etapa extensional como así lo sugiere el anticlinal de *rollover* y los abanicos de capas descritos (Fig. 3A).

Las fallas con salto normal en la parte inferior de su traza y saltos inversos en su parte superior descritos a escala de afloramiento (p. ej., Fig. 4) son interpretados como resultado de un proceso de inversión tectónica parcial de las estructuras en *semi-graben* y *graben* formadas durante el Triásico. Durante este proceso de inversión también se formaron probablemente nuevas fallas inversas y se desarrollaron pliegues menores. La vergencia contraria que muestran algunos de estos pliegues es indicativo de que están probablemente asociados a la reactivación de fallas con buzamientos contrarios durante el proceso de inversión. Este proceso también queda reflejado a es-

cala macroestructural como lo evidencia el segmento sur de la falla de Purroy, ahora cabalgando hacia el suroeste, como así lo sugiere también la vergencia hacia el SW de los pliegues desarrollados en el Triásico de su bloque inferior (Fig. 4B). La orientación NW–SE de las estructuras compresivas principales, como los cabalgamientos que definen la falla de Inogés del margen sur de la cubeta, sugieren una dirección de acortamiento principal NE–SW. El mayor desplazamiento asociado a la(s) falla(s) de Inogés durante la etapa compresiva ha impedido reconocer si esta estructura, que define el actual margen sur de la cubeta de Morés, tuvo un carácter extensional durante el Triásico, aunque la complejidad estructural y segmentación de este margen así lo sugieren. Esta etapa compresiva, que reactiva las fallas normales triásicas, tuvo lugar probablemente durante el Cenozoico (Oligoceno-Mioceno) si tenemos en cuenta la información regional (Capote et al., 2002; Liesa y Simón, 2009; Liesa et al., 2018). La vergencia principal de las estructuras compresivas hacia el noreste (cabalgamiento de Inogés y sinclinal tumbado de El Frasno) también está de acuerdo con la posición de la cubeta de Morés en la parte nororiental de la Cordillera Ibérica, una típica cadena de doble vergencia (Fig. 1). Por otro lado, la falla de Purroy, de vergencia

sur, podría asociarse a la rama sur de una estructura en flor cuya estructura principal sería la falla de río Gúro, de dirección NW-SE, caracterizada por movimientos transpresivos en esta etapa compresiva (Marcén Albero y Román Berdiel, 2015).

Conclusiones

El estudio macro y mesoestructural ha permitido reconocer una primera etapa extensional triásica que estructura la cubeta de Morés, caracterizada por fallas normales de orientación NW-SE (falla de Purroy y probablemente la falla de El Frasno). Esta etapa determina la dirección estructural de la cubeta y ha quedado reflejada tanto en sistemas conjugados de fallas normales como en familias de diaclasas. La segunda etapa es de carácter compresivo y se relaciona con la Orogenia Alpina en el interior de la placa que produce la reactivación e inversión de las fallas NW-SE y dan lugar a pliegues y cabalgamientos de la misma dirección.

Contribución de los autores

La redacción del artículo y la realización de las figuras ha sido desarrollada de manera conjunta por los dos coautores.

Agradecimientos y financiación

Este estudio forma parte del Trabajo Fin de Grado presentado por Raúl Lázaro González para la obtención del título de Graduado en Geología por la Universidad de Zaragoza, codirigido por Antonio Casas y Carlos Liesa. Agradecemos a Antonio Casas la colaboración en la preparación y discusión del trabajo, así como a dos revisores anónimos y al editor, Alberto Pérez López, por sus comentarios y sugerencias. Esta investigación ha sido financiada por el Gobierno de Aragón (E32_23R: Grupo GEOtransfer. Investigación Geológica para la Ciencia y la Sociedad).

Referencias

Allmendinger, R.W., Cardozo, N., y Fisher, D.M. (2013). *Structural Geology Algorithms: Vectors and Tensors*. Cambridge University Press, Cambridge, 304 p.
Anderson, E.M. (1951). *The dynamics of faulting and dike formation with application to Britain*. Oliver and Boyd, 2ª Edición, Edinburgo, 133147.
Aragonés, E., Hernández, A., Ramirez, J. y Aguilar, M. J. (1980). *Mapa Geológico de España. 1:50.000, hoja nº 410 (La Almunia de Doña Godina) y memoria*. IGME, Madrid, 65 p.

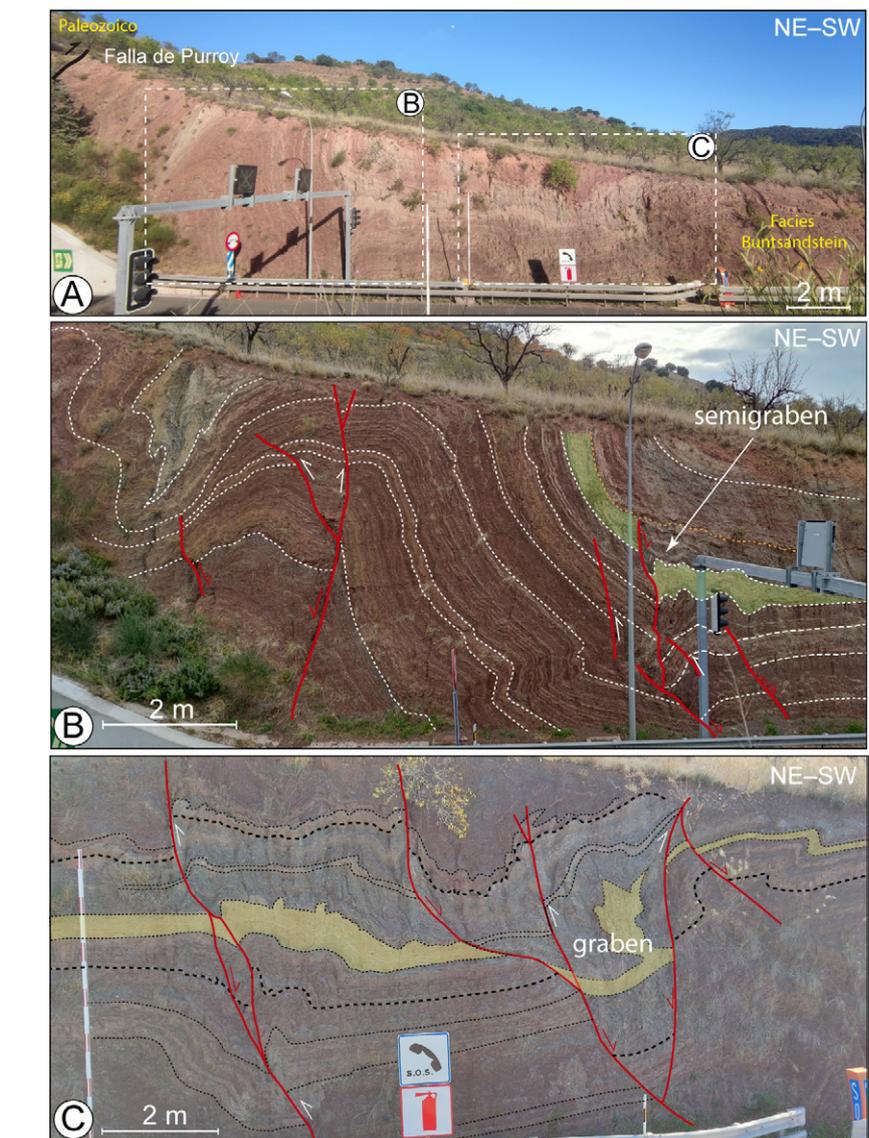


Fig. 4.- La estructura del Triásico del bloque inferior de la falla de Purroy en el sector de El Frasno (ver situación en Fig. 2). (A) Corte del talud de la autovía A2. (B) y (C) Detalles de (A) mostrando pliegues, fallas normales (flecha roja) e inversas (flecha blanca). Un nivel estratigráfico con fondo de color destaca los desplazamientos de las fallas. Nótese el cambio de espesor asociado a alguna de estas fallas, y la posterior fosilización de una de ellas por un nivel estratigráfico (línea discontinua naranja). Ver figura en color en la Web.

Fig. 4.- The structure of the Triassic of the footwall block of the Purroy fault in the El Frasno sector (see situation in Fig. 2). (A) Section of the A2 highway slope. (B) and (C) Details of (A) showing folds, normal (red arrow) and reverse (white arrow) faults. A stratigraphic level (coloured background) highlights fault displacements. Note the thickness changes associated to some faults, and the subsequent fossilization of one of them by a stratigraphic level (orange dashed line). See colour figure on the Web.

Capote, R., Muñoz, J.A., Simón, J.L. (coords.), Liesa, L.C. y Arlegui, L.E. (2002). En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, Eds.). The Geological Society, London, 367-400.
Casas, A., Aurell, M., Revuelto, C., Calvín, P., Simón, J.L., Pueyo, O., Pocoví, A. y Marcén, M. (2017). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 30(2), 51-64. [https://sge.usal.es/archivos/REV/30\(2\)/RSGE30\(2\)_p_51_64.pdf](https://sge.usal.es/archivos/REV/30(2)/RSGE30(2)_p_51_64.pdf)
Casas, A., Marcén, M., Calvín, P., Gil, A., Román, T. y Pocoví, A. (2016). *Geo-Temas* 16(2), 495-498.
Hernández, A., Aragonés, E., Ramirez, J. y Aguilar, M.J. (1981). *Mapa Geológico*

de España. 1:50.000, hoja nº409 (Calatayud) y memoria. IGME, Madrid, 44 p.

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

[https://sge.usal.es/archivos/REV/31\(2\)/RSGE31\(2\)_p_23_50.pdf](https://sge.usal.es/archivos/REV/31(2)/RSGE31(2)_p_23_50.pdf)

Liesa, C.L. y Simón, J.L. (2009). *Tectonophysics* 474, 144-159.

<https://doi.org/dkkr93>

Marcén Albero, M. y Román Berdiel, M.T. (2015). *Geogaceta* 58, 83-86.

<https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/geo58/geo58pag79-82.pdf>