

# Estructuras de deformación sedimentarias en el Sinclinal de Monfragüe (Parque Nacional de Monfragüe, Cáceres, Extremadura)

## *Soft-sediment deformation structures in the Monfragüe Syncline (Monfragüe National Park, Cáceres, Extremadura, Spain)*

P. González-Cuadra<sup>1</sup>, L. González-Menéndez<sup>1</sup>, L.R. Rodríguez-Fernández<sup>2</sup>, F. Nozal<sup>3</sup> y A. Martín-Serrano<sup>2</sup>

1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Avda. Real 1, 24006, León. [pgc@usal.es](mailto:pgc@usal.es) / [l.gonzalez@igme.es](mailto:l.gonzalez@igme.es)

2 Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Ríos Rosas, 23, 28003, Madrid. [lr.rodriguez@igme.es](mailto:lr.rodriguez@igme.es) / [a.martinserrano@igme.es](mailto:a.martinserrano@igme.es)

3 Instituto Geológico y Minero de España (IGME). La Calera 1, 28760, Tres Cantos. [f.nozal@igme.es](mailto:f.nozal@igme.es)

**Resumen:** El Sinclinal de Monfragüe o de Cañaveral se sitúa en la Zona Centroibérica (N-NE de Cáceres) y está formado por una sucesión Cambro-Ordovícica a Silúrica que se apoya discordante sobre materiales principalmente del Neoproterozoico Superior. En la parte alta del Ordovícico Superior (Pizarras de Villarreal de San Carlos) y en la base del Silúrico (Cuarcitas del Criadero) aparecen multitud de estructuras de deformación sedimentarias características de materiales afectados por inestabilidades: "convolute lamination", estratificación contorsionada, "ball and pillow" o almohadillas y análogas a "pseudo mud cracks". Es destacable la presencia de "pillows" de tamaño métrico. Estas estructuras se encuentran en un tramo de unos 20-40 metros de espesor y presentan una continuidad lateral mínima de unos 8 km. Dada la intensa deformación sin-sedimentaria registrada en estas estructuras se considera necesaria la licuefacción previa de los sedimentos mediante agitación energética del medio de depósito, que podría explicarse por diferentes mecanismos (oleaje de tormentas, aportes sedimentarios energéticos, sismicidad).

**Palabras clave:** Zona Centroibérica, Sinclinal de Monfragüe, Estructuras de deformación sedimentarias, *Pillows*.

**Abstract:** The Monfragüe Syncline is located in the Central-Iberian zone of the Iberian Variscan Massif (N-NE of Cáceres, Spain). This domain is formed by a Cambrian-Ordovician to Silurian sedimentary sequence that overlies discordantly late Neoproterozoic sediments. In the upper part of the Ordovician sediments (Villarreal de San Carlos Shales) and at the base of the Silurian (Criadero Quartzites) there occur numerous soft-sediment deformation structures: convoluted and contorted beds, balls and pillows, and pseudo mud cracks analogs. Pillows can reach metric sizes. All these structures occur in a 20-40 m thick interval and a minimum lateral spread of 8 km. The high-intensity of the synsedimentary deformation recorded suggests liquefaction by energetic shake of the sedimentary environment. Different trigger processes are discussed to explain the generation of these structures (storms, high energy sedimentary inputs, seismicity).

**Key words:** Central Iberian Zone, Monfragüe Syncline, Soft-sediment deformation structures, *Pillows*.

## INTRODUCCIÓN

El sinclinal de Monfragüe o Cañaveral, es una estructura de plegamiento varisca, de dirección aproximada NO-SE, en la que aflora una sucesión de sedimentaria que abarca desde el Neoproterozoico Superior hasta el Silúrico. Geográficamente se sitúa en la zona N-NE de la provincia de Cáceres y desde un punto de vista geológico se encuentra en la zona Centroibérica, en su dominio de pliegues verticales, (Gumiel et al., 2000 y referencias incluidas) aunque el sinclinal de Monfragüe presenta una clara vergencia hacia el N (plano axial buzando al S).

En este trabajo se describe un conjunto de estructuras presentes en rocas del Ordovícico superior - Silúrico inferior, generadas por deformación de los sedimentos en un estadio previo a su litificación, circunstancia por la cual son conocidas normalmente bajo la denominación anglosajona de "Soft Sediment Deformation Structures" (SSDS).

Considerando la tipología de las estructuras, su aparición vertical episódica y la amplitud de su distribución lateral, se plantean diferentes mecanismos para explicar su generación.

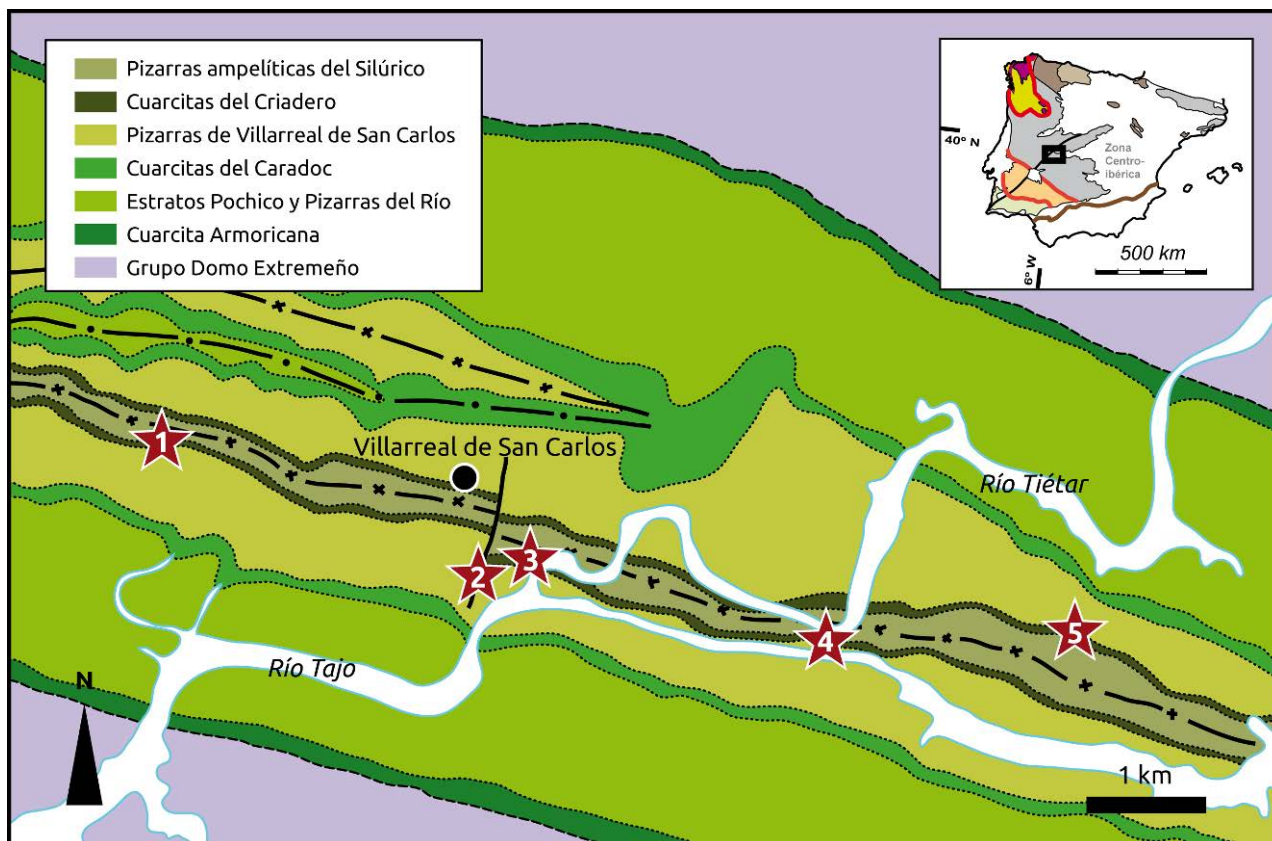


FIGURA 1. Mapa geológico simplificado del Sinclinal de Monfragüe. Afloramientos con SSDS. 1. Arroyo Barbaón. 2. Puente del Cardenal. 3. Afluencia del Tiétar. 4. Embalses de Torrejón. 5. Mirador de La Báscula. (Bascones y Alvira, 1982; Bascones et al., 1983)

## SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA

Las rocas más antiguas en el sector estudiado (zona de Villarreal de San Carlos; Fig.1) corresponden al Alogrupo Domo Extremeño (Complejo Esquisto Grauváquico). Se trata de una sucesión de areniscas grauváquicas, limolitas, pizarras y algunos niveles de conglomerados, de edad Neoproterozoico superior. Sobre esta sucesión se apoya de forma discordante el resto de materiales Paleozoicos que forman el Sinclinal de Monfragüe comenzando con la Cuarcita Armoricana del Ordovícico inferior. Por encima se disponen las pizarras y cuarcitas de los Estratos Pochico (Ordovícico inferior), Pizarras del Río (alternancias de pizarras y areniscas del Ordovícico medio), Cuarcitas y areniscas del Caradoc, y las Pizarras de Villarreal de San Carlos (alternancias de pizarras y areniscas del Ordovícico superior). La primera unidad asignada al Silúrico son las Cuarcitas blancas del Criadero (Llandovery). Le siguen las pizarras ampelíticas del Silúrico medio-superior (Wendlock-Ludlow) con sills y rocas volcánicas máficas intercaladas.

## ESTRUCTURAS DE DEFORMACIÓN

Las estructuras que se describen en este trabajo se localizan en la parte terminal de las Pizarras de Villarreal de San Carlos y en el tramo basal de las Cuarcitas del Criadero.

La identificación de las estructuras de deformación sedimentaria, realizada durante los trabajos de reconocimiento para la elaboración de la Guía Geológica del Parque Nacional de Monfragüe, ha servido para constatar su presencia en una extensión lateral mínima de unos ocho kilómetros, tanto en el flanco sur del sinclinal como en el flanco norte (Fig. 1).

Los tipos de estructuras identificadas son del tipo “convolute lamination”, estratificación contorsionada, almohadillas o “ball and pillow structures” y similares a “pseudo mud cracks” (Fig. 2).

Las laminaciones convolucionadas forman repliegues de amplitud centimétrica en la estratificación, y aparecen como estructuras de deformación aisladas separadas por distancias decimétricas (Fig. 2C). Se han localizado pocas estructuras de este tipo, circunstancia que puede deberse a que la intensidad de la deformación propicia el predominio de los otros tipos de estructuras de deformación.

En algunos puntos la estratificación aparece fuertemente deformada, formando repliegues irregulares de dimensiones decimétricas. Entre los repliegues pueden identificarse además rupturas de la estratificación, por lo que se han interpretado estas formas como estratificaciones contorsionadas.

El tipo de estructura de deformación más vistoso de los que aparecen en la zona de estudio son las estructuras de tipo “Ball and Pillow” (Fig. 2A y B). Exhiben una morfología claramente redondeada, a veces tuberosa por la presencia de subestructuras menores coalescentes con una mayor. En su interior puede apreciarse la disposición concéntrica de la laminación, que se encuentra desconectada del estrato. Vistos en planta los cuerpos almohadillados muestran una geometría de proporción variable, que va desde equidimensional a alargada, llegando a observarse formas en las que la dimensión mayor duplica a la menor. Las estructuras de tipo almohadillado tienen una disposición preferente con la convexidad hacia el muro. En los afloramientos donde la serie estratigráfica se encuentra invertida aparecen como grupos de formas abombadas que exponen su geometría prácticamente íntegra. Respecto al tamaño, se han encontrado desde cuerpos pequeños, de poco más de un decímetro, hasta otros más notables que alcanzan hasta dos metros de longitud en planta y casi un metro de espesor, abundando toda una serie de tamaños intermedios de orden decimétrico.

En el entorno de las estructuras almohadilladas, se reconocen, en el muro de las superficies de estratificación, mosaicos irregulares de bloques de arenisca entre los cuales aparecen materiales pelíticos formando una especie de encintado de continuidad variable, similar a una roca en un estado de brechificación incipiente. Dado que el relleno de las fracturas de las areniscas no es un cemento ni una harina de falla, sino lutitas infrayacentes, estas estructuras pueden corresponder a un estado de ruptura incipiente de la estratificación de sedimentos sin consolidar, lo que las hace similares a los denominados polígonos de arena y “Pseudo mud cracks”, aún cuando la distribución de materiales es la contraria a la de éstas (Fig. 2D).

## INTERPRETACIÓN

El origen de las estructuras de deformación sedimentarias es debatido ya que diferentes procesos geológicos y ambientales podrían generarlas (Moretti y Van Loon, 2014). Los procesos de agitación mecánica del medio sedimentario como el oleaje de tormentas pueden desencadenar sobrecargas y licuefacciones en los sedimentos y llegar a producir estas estructuras. El medio sedimentario de la formación Pizarras de Villarreal de San Carlos, donde se encuentra parte de estas estructuras, se puede interpretar como una plataforma marina abierta donde se han descrito estructuras producidas por olas de tormenta (Carballeira et al., 1985). No obstante, en el resto de la sucesión Paleozoica de esta zona, aún cuando corresponde a un ambiente sedimentario similar, no aparecen estas estructuras de deformación sedimentarias. Dado que el oleaje asociado a tormentas

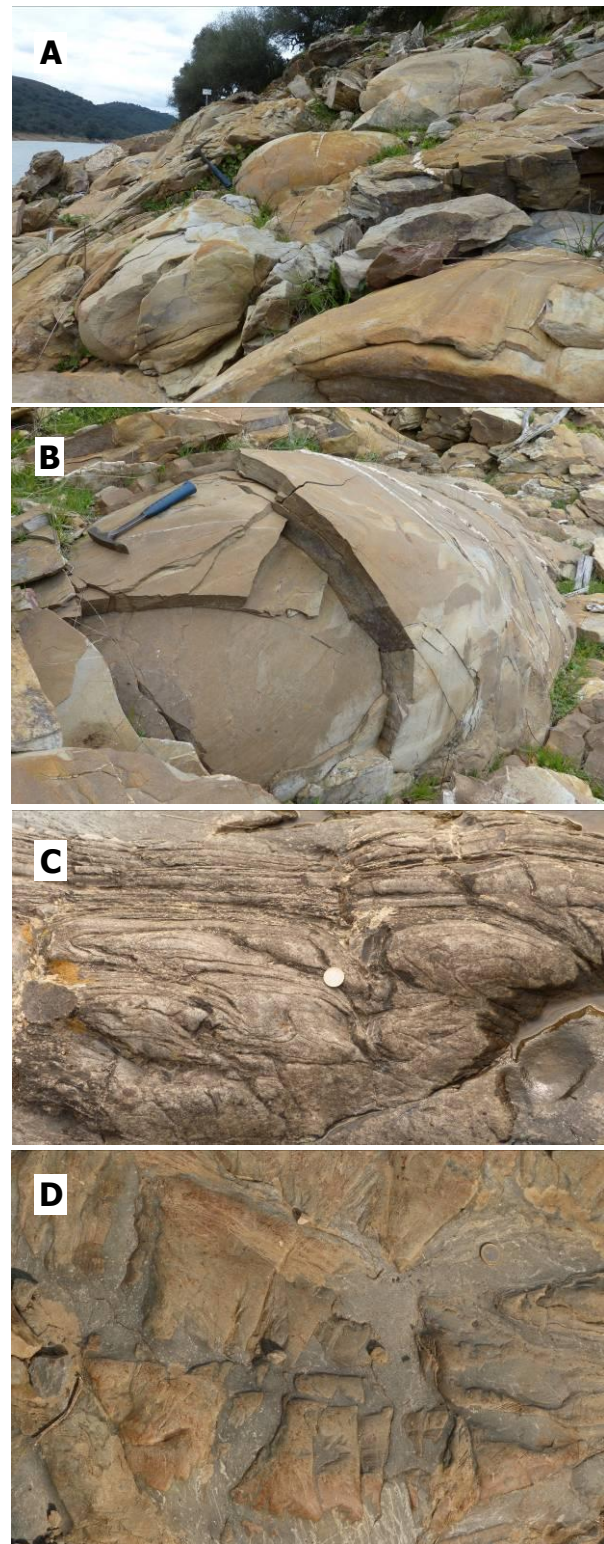


FIGURA 2. Estructuras de deformación en estratos con polaridad inversa del flanco meridional del Sinclinal de Monfragüe (techo hacia abajo en todas las fotos). A. “Pillows” de escala métrica. B. Estratificación concéntrica en un “pillow” métrico. C. “Convolute lamination”. D. Muro de capa con mosaicos de tipo “pseudo mud cracks”.

es un fenómeno común y bastante recurrente, cabría esperar muchos más niveles afectados a lo largo de la secuencia estratigráfica local, mientras que en este caso están restringidas a un nivel estratigráfico concreto.

Otro mecanismo desencadenante de este tipo de estructuras puede ser la sobrecarga local producida por una sedimentación rápida. Este tipo de aporte sedimentario podría estar representado por la parte media-superior de la Cuarcita del Criadero, un nivel de cuarcitas bastante recrystalizadas y de escasa potencia, aunque lateralmente muy continuo. Sin embargo, la presencia de estratificaciones y laminaciones paralelas o subparalelas en las cuarcitas situadas sobre el nivel deformado indicaría que su depósito fue progresivo en el tiempo y que por lo tanto no tuvo por qué producir sobrecargas bruscas ni licuefacción.

Es frecuente la interpretación por sismicidad o paleo-sismicidad al descartar otros mecanismos de desencadenamiento (Alfaro et al., 2010; Gosh et al., 2012) o al relacionarlas con la presencia de fallas activas contemporáneas con las propias estructuras (Alfaro et al., 2010; Rodríguez-López et al., 2007; Rodríguez-Pascua et al., 2000). A partir de lo expuesto, las estructuras de deformación sedimentarias descritas en este trabajo podrían tener un origen por sismicidad en la plataforma Ordovícico-Silúrica, donde se estaba produciendo la sedimentación. Este contexto geológico sería de naturaleza extensional como indica la presencia de vulcanismo máfico contemporáneo a la sedimentación. Este ambiente tectónico se puede interpretar como de margen continental pasivo (ver Gumiel et al., 2000 y referencias incluidas). En dicho contexto, es posible que los procesos extensionales sean progresivos, aunque en determinados momentos puedan ser más puntuados e intensos, generando así eventos muy concretos de sismicidad que habrían producido la agitación brusca del medio sedimentario, su licuefacción parcial y, en consecuencia, las estructuras de deformación sedimentaria observadas en el Sinclinal de Monfragüe.

## CONCLUSIONES

La presencia de numerosas estructuras de deformación sedimentaria ha sido observada en la sucesión estratigráfica Ordovícica-Silúrica del Sinclinal de Monfragüe (Zona Centroibérica).

Se trata principalmente de un intervalo de unos 20-40 m de potencia (Ordovícico superior - Silúrico inferior) con una extensión lateral mínima de 8 km donde estas estructuras son abundantes. Se han observado "balls and pillows" o formas en almohadilla, capas contorsionadas, "convolutes" y estructuras análogas a "pseudo-mud-cracks".

Aunque no se descartan otros mecanismos de formación, como oleaje de tormentas o sedimentación rápida, también consideramos posible que eventos puntuales de sismicidad (Paleo-sismicidad) hayan causado la agitación brusca del medio sedimentario y

su licuefacción parcial que facilitarían la formación de estas estructuras.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto para la elaboración de diverso material divulgativo de índole geológica en la Red de Parques Nacionales, financiado por el OAPN. Agradecemos los comentarios y aportaciones de P. Huerta y M.A. Rodríguez-Pascua.

## REFERENCIAS

- Alfaro, P., Gibert, L., Moretti, M., García-Tortosa, F.J., Sanz de Galdeano, C., Galindo-Zaldivar, J. y López-Garrido, A.C. (2010): The significance of giant seismites in the Plio-Pleistocene Baza palaeolake (S Spain). *Terra Nova*, 22: 172-179.
- Bascones Alvira, L. y Martín Herrero, D. (1982): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 651 (Serradilla)*. IGME, Madrid.
- Bascones Alvira, L., Martín Herrero, D. y Ugidos Meana, J.M. (1983): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 623 (Malpartida de Plasencia)*. IGME, Madrid.
- Carballeira, J., Pol, C. y Duque, J. (1985): Tempestitas del Ordovícico Superior en el sinclinal de Cañaveral (Cáceres). *Trabajos de Geología*, 15: 87-97.
- Gosh, S.M., Pandey, A.K., Pandey, P., Ray, Y. y Sinha, S. (2012): Soft-sediment deformation structures from the Paleoproterozoic Damtha Group of Garhwal Lesser Himalaya, India. *Sedimentary Geology*, 261-262: 76-89.
- Gumiel, P., Campos, R., Segura, M. y Monteserín, V. (2000): *Guía Geológica del Parque Natural de Monfragüe*, Junta de Extremadura, Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, Dirección General de Medio Ambiente.
- Moretti, M. y Van Loon A.J.T. (2014): Restrictions to the application of "diagnostic" criteria for recognizing ancient seismites. *Journal of Paleogeography*, 3(2): 162-173.
- Rodríguez-López, J.P., Meléndez, N., Soria, A.R., Liesa, C.L. y Van Loon, A.J.T. (2007): Lateral variability of ancient seismites related to differences in sedimentary facies (the synrift Escucha Formation, mid-Cretaceous, eastern Spain). *Sedimentary Geology*, 201: 461-484.
- Rodríguez-Pascua, M.A., Calvo, J.P., De Vicente, G. y Gómez-Gras, D. (2000): Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene. *Sedimentary Geology*, 135: 117-135.