

Sedimentología de un sistema de abanico deltaico dominado por flujos supercríticos (Formación La Peza, ¿Serravaliense?-Tortonense basal, Cordillera Bética)

Sedimentology of a supercritical-flow dominated fan delta (La Peza Formation, Serravalian? to Tortonian transition, Betic Cordillera)

Fernando García-García* y Juan Antonio Sánchez-Guerra

Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Campus de Fuente Nueva, s/n, 18071 - Granada

*Corresponding author

ABSTRACT

This sedimentological study focuses on the grey detrital member of the La Peza Formation (Serravalian?-Lower Tortonian, SW of the Guadix Basin, Betic Cordillera) on the basis of outcrop observations. The 135 m thick succession consists of 15 coarsening and thickening-upward meter to decameter thick sequences made up of five facies association (FA 1-5) representing different depositional subenvironments: (A) Delta plain (distributary channel (FA-1) and distributary mouth-bar (FA-3), interdistributary bay (FA-2)); (B) Wave-dominated shoreface (FA-4), and (C) Chutes along a deltaic slope (FA-5). Gravel facies associations (FA-1, 3, 5) consists of deposition of high-concentration coarse-grained flows (i.e. from hiperconcentrated to high-density turbiditic flows) with common structures and bedforms linked to supercritical conditions related to hydraulic jumps in slopes or channel-lobe transition zones. All these features fit to a non-mature, steep and short sedimentary systems (fan delta-type) attached to a basin margin with emergent reliefs close to the coast.

Key-words: High-density turbidite, supercritical flow, coarse-grained delta, fan delta.

Geogaceta, 74 (2023), 15-18

<https://doi.org/10.55407/geogaceta98197>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción

En la última década, los estudios sobre flujos de alta concentración de sedimento (desde hiperconcentrados a turbiditas de alta densidad) han cobrado un nuevo protagonismo a raíz del mejor conocimiento de los procesos y las facies resultantes de dichos flujos bajo condiciones supercríticas (Cartigny et al., 2013). La mayoría de estos trabajos se han centrado en contextos marino profundos de cañones, canales y abanicos submarinos (Postma y Kleverlaan, 2018; Ono y Plink-Björklund, 2018; Postma et al. 2021, entre otros). Los depósitos conglomeráticos de la Formación La Peza (transición Serravaliense-Tortonense, Cordillera Bética) presentan un magnífico ejem-

plo donde observar en afloramiento las peculiaridades sedimentarias de flujos hiperconcentrados a concentrados (p.ej. turbidíticos de alta densidad) con ocasionales regímenes de flujo supercrítico en registros sedimentarios de contextos ambientales menos comúnmente documentados en este resurgir del interés por las corrientes de alta concentración de sedimento en régimen supercrítico.

Metodología

El trabajo de campo consistió en el levantamiento de perfiles estratigráficos, reconstrucción de la arquitectura de cuerpos sedimentarios y análisis de facies y asociaciones de facies a partir de observaciones y fotografías de afloramiento.

RESUMEN

En este trabajo se ha llevado a cabo la caracterización sedimentológica en afloramiento del miembro detrítico gris de la Formación La Peza (¿Serravaliense?-Tortonense basal, SO de la Depresión de Guadix, Cordillera Bética). Se han diferenciado en los 135 m de potencia del miembro detrítico 15 secuencias grano y estratocrecientes de espesor métrico a decamétrico constituidas por cinco asociaciones de facies (AF 1-5) características de otros tantos subambientes deposicionales: (A) Llanura deltaica (canal distributario (AF-1) y barra de desembocadura (AF-3), bahía interdistributaria (AF-2)); (B) Zona infralitoral dominada por acción del oleaje (AF-4), y (C) Canales de chute en un talud/frente deltaico de grano grueso (AF-5). Las asociaciones de facies de gravas (AF-1,3,5) representan flujos de alta concentración de sedimento de grano grueso (desde flujo hiperconcentrados a turbiditas de alta densidad) con comunes estructuras de formas de lecho asociadas a flujos supercríticos características de zonas de pendiente con saltos hidráulicos. Estos rasgos son característicos de sistemas sedimentarios inmaduros de corto recorrido y alta pendiente del tipo abanicos deltaicos probablemente adosados a un margen de cuenca con relieves emergentes próximos a costa.

Palabras clave: Turbidita de alta densidad, flujo supercrítico, delta de grano grueso, abanico deltaico.

Fecha de recepción: 31/01/2023

Fecha de revisión: 20/04/2023

Fecha de aceptación: 26/05/2023

to. Se realizaron medidas sistemáticas de paleocorrientes diferenciando entre las obtenidas en estructuras sedimentarias con indicación de polaridad horizontal en sentido del flujo (imbricación de clastos, estratificaciones cruzadas inclinadas a favor de la corriente -foreset-) o en sentido contrario del flujo ligadas a formas del lecho generadas en régimen supercrítico como las antidunas (laminaación/estratificación cruzada inclinada contracorriente -backset-).

Contexto geológico de la Fm La Peza

Los afloramientos de la Formación La Peza se extienden adosados a lo largo de bordes de falla que limitan las depresiones de Granada y Guadix. Litoestratigráfica-

mente la formación está formalmente definida a partir del estratotipo ubicado en el afloramiento inmediatamente al norte de la localidad granadina del mismo nombre (Rodríguez-Fernández, 1982). Es en esta sección tipo del pueblo de La Peza, situada a 40 km de la ciudad de Granada en el borde suroeste de la Depresión de Guadix, y al norte y pie de los más altos relieves de Sierra Nevada, donde se ha llevado a cabo este estudio (Fig. 1A, B). En el conjunto de formaciones Neógeno-Cuaternarias que aparecen al suroeste de la Depresión de Guadix, la Formación La Peza representa la más antigua, superponiéndose a ella y en discordancia el conjunto de formaciones del relleno marino (Tortonienense) y continental (Plio-Cuaternario) de la Cuenca de Guadix (Fig. 1C, D). La Formación La Peza, de potencia variable y que llega a alcanzar más de 150 m, la integran tres miembros estratigráficos: Miembro detrítico rojo, miembro de margas con yeso (donde se han encontrado dientes de carpas (*Cyprinus* Linnaeus, Gaudant *et al.*, 2014) y miembro detrítico gris (Rodríguez-Fernández, *op.cit.*). Formas de foraminíferos planctónicos que aparecen en los niveles superiores de la formación han permitido datar el Tortonienense basal lo que llevó a asignar a esta formación la edad Serravaliense-Tortonienense basal (Rodríguez-Fernández, *op.cit.*). En el afloramiento estudiado, la sucesión sedimentaria se encuentra tectónicamente basculada hacia el norte con fuertes ángulos de buzamiento (45-50°) y aparece cortada por multitud de fallas y deslizamientos.

Estratigrafía del Mb detrítico gris

El miembro detrítico gris de la Formación La Peza presenta una potencia de unos 135 m en el que se alternan tramos de litofacies finas (limos, arenas limosas y niveles carbonatados, estos últimos solo aparecen en la mitad superior del miembro) y paquetes de gravas de potencia métrica con bases netas. Este conjunto de litofacies se encuentra organizado en 15 secuencias de escala métrica a decamétrica (de 5 a 20 m) estrato- y granocrecientes en el tramo inferior (primeras 7 secuencias), y de estrato y granodecreciente en el tramo superior (secuencias 8 a 15) (Fig. 2, 3A). Las secuencias inferiores (hasta la secuencia 8) presentan mayor potencia de litofacies finas mientras que a partir de la secuencia 12 se reduce considera-

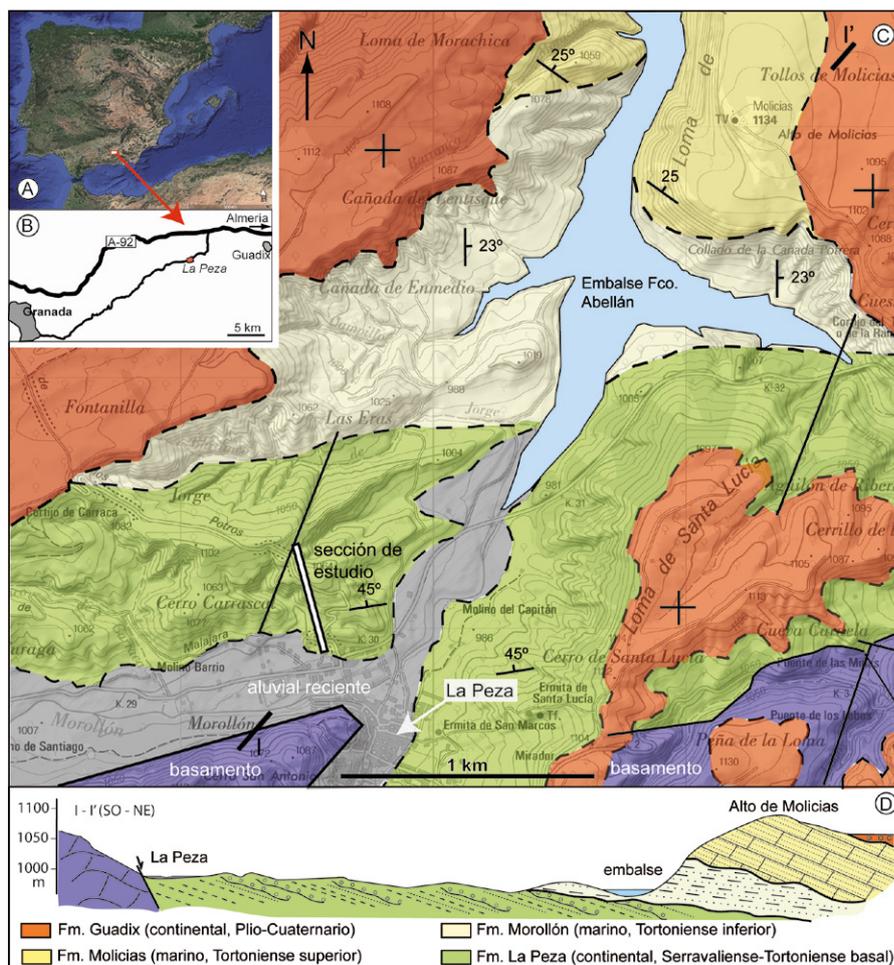


Fig. 1.- A. y B. Localización del afloramiento de La Peza, C. Mapa geológico del entorno de La Peza con la posición de la sección estudiada, D. Corte geológico (localización del corte en el mapa) (ver figura en color en la web).

Fig. 1.- A and B. Location of La Peza outcrops, C. Geological map of the study area with location of the studied section, D. Geological cross-section (see section location in the map) (see colour figure in web).

blemente la potencia de los tramos de sedimento fino de cada secuencia en detrimento de la grava lo que confiere una tendencia secuencial vertical de conjunto granocreciente y estratodecreciente a todo el miembro detrítico.

Asociaciones de facies

El conjunto de litofacies se han agrupado en cinco asociaciones de facies (AF 1-5) que caracterizan otros tantos subambientes deposicionales. A continuación se describen e interpretan cada una de las asociaciones de facies definidas:

Asociación de facies 1: Está representada por cuerpos canalizados de grava con potencia de 50 cm a 1 m de base neta y erosiva y techo plano. El relleno de los canales lo constituyen gravas, bien de granos subredondeados tamaño canto a guija o bien de gránulos de textura angular en fábricas clasto-soportadas exhibiendo a veces imbricación de clastos

hacia SO. La tendencia granulométrica vertical de estos rellenos es de tipo normal culminando en areniscas. Es común que entre las estructuras de ordenamiento interno se reconozcan en la parte inferior de los cuerpos estructuras de corte y relleno (*cut-and-fill*), estratificaciones cruzadas inclinadas a favor de la corriente (*foresets*) y hacia la parte media alta se reconozcan laminaciones planares, de bajo ángulo e incluso con inclinación contracorriente (*backset*). Estos cuerpos canalizados bien aparecen aislados embebidos entre litofacies de grano fino (AF-2 y AF-5), bien amalgamados o bien aparecen a techo de los depósitos descritos en la asociación de facies 3.

Interpretación: Representan canales fluviales rellenos por flujos de alta concentración de sedimento, a menudo flujos de tipo hiperconcentrados (en el sentido de Nemec, 2009), que fluían hacia suroeste. Estos flujos debieron alcanzar regímenes supercríticos en relación con

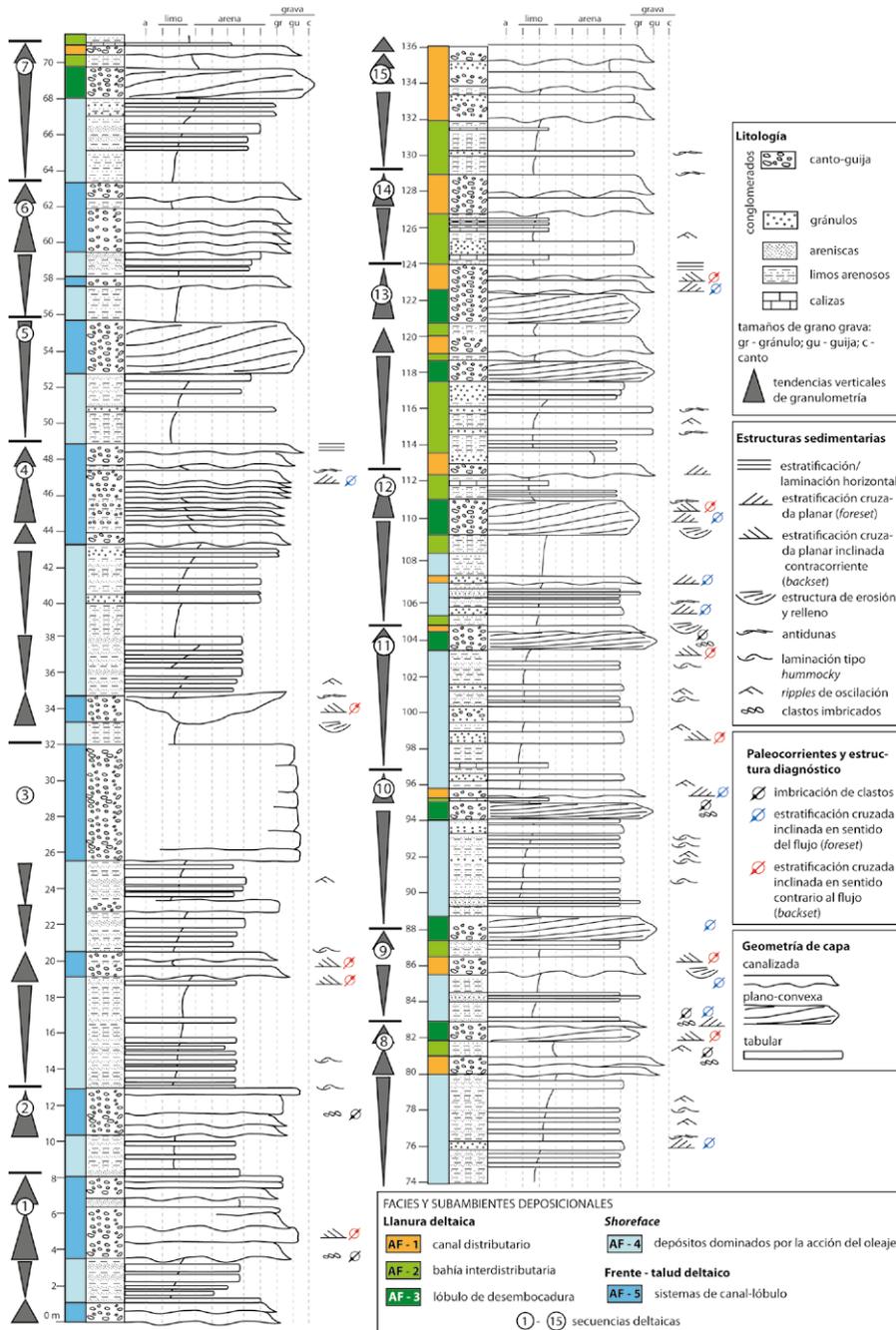


Fig. 2.- Columna estratigráfica del miembro detrítico gris de la Formación La Peza levantada en el afloramiento al norte de la localidad (ver figura en color en la web).

Fig. 2.- Stratigraphic column of the grey detritic member of the La Peza Formation in the outcrop at the north of the village (see colour figure in web).

saltos hidráulicos donde se desarrollaron antidunas y otras formas de lecho que migraban contracorriente.

Asociación de facies 2: Esta asociación está representada por limos y arenas, y niveles centimétricos de calizas. Los limos y arenas muestran comunes laminaciones cruzadas simétricas (*ripples* de oscilación). En algunos niveles de granulometría más arcillosa se han reconocido grietas de sinéresis. Los niveles calizos contienen caráceas, ostrácodos, oncoídes y tubos encostrados. Están estratigráficamente relacionados con la AF-1.

Interpretación: Representan áreas de baja energía entre los canales, bahías interdistributarias parcialmente sumergidas cuyo fondo es removido por oleaje de buen tiempo. La salinidad del agua pudo ser cambiante (grietas de sinéresis) con dominio de condiciones salobres e influencia de aguas bicarbonatadas aportadas desde acuíferos en macizos carbonatados a través de surgencias (calizas tobáceas).

Asociación de facies 3: Representados por cuerpos de grava de potencia de 1 a 5 m con geometría tabular a plano-convexa. Los clastos suelen tener tamaño canto y/o guija

con textura subredondeada. Comúnmente presenta fábrica soportada por la matriz y también por clastos, aún con abundante matriz, con desarrollo de imbricación hacia suroeste. La tendencia granulométrica vertical suele ser de granocreciente a granodecreciente. A escala de todo el cuerpo, la organización interna más común es la de estratificación inclinada en el sentido del flujo. Estos depósitos suelen aparecer bajo los depósitos de AF-1 (Fig. 3A).

Interpretación: Esta asociación de facies representa lóbulos o barras de grava. La textura subredondeada de los clastos podría relacionarse con el transporte fluvial y con cierto retrabajamiento costero. Estas barras migraron hacia suroeste por acreción de capas de grava (en algún caso, cliniformas de progradación) en su frente relacionadas con la pérdida de inercia de flujos de alta concentración aportados por canales distributarios (AF-1) en la desembocadura en un cuerpo de aguas relativamente tranquilas.

Asociación de facies 4: Está representada por limos y areniscas bien seleccionadas de granulometría fina a media con espesor centimétrico a decimétrico. Los niveles arenosos muestran laminaciones cruzadas simétricas (*ripples* de oscilación), laminaciones de tipo *hummocky* de pequeña escala y bioturbación.

Interpretaciones: La aparición de comunes estructuras de flujo oscilatorio y combinado indican fondo subacuoso modelado por el oleaje, tanto de buen tiempo como de tormenta representativo de un ambiente subacuoso abierto a profundidad somera, desde luego sobre el nivel de base del oleaje de tormenta como pudiera ser el subambiente de *shoreface*. Una interpretación alternativa es que estas estructuras no estuvieran relacionadas con flujo oscilatorio sino con la fricción generada por flujos de alta concentración de sedimento entrando en la masa de agua del tipo de los flujos hiperpícnicos (Mutti *et al.*, 2003).

Asociación de facies 5: Esta asociación está representada por paquetes de gravas de granulometría dominante gránulo y guija con clastos angulosos y matriz de arenisca de grano grueso. Presentan fábrica soportada por la matriz o por los clastos, con rara imbricación de los mismos. Aparecen en cuerpos de base neta y erosiva, con tendencia granulométrica positiva bien aislados en cuerpos de potencia inferior al metro embebidos entre las facies de grano fino de AF-4 o bien amalgamados llegando a formar paquete-

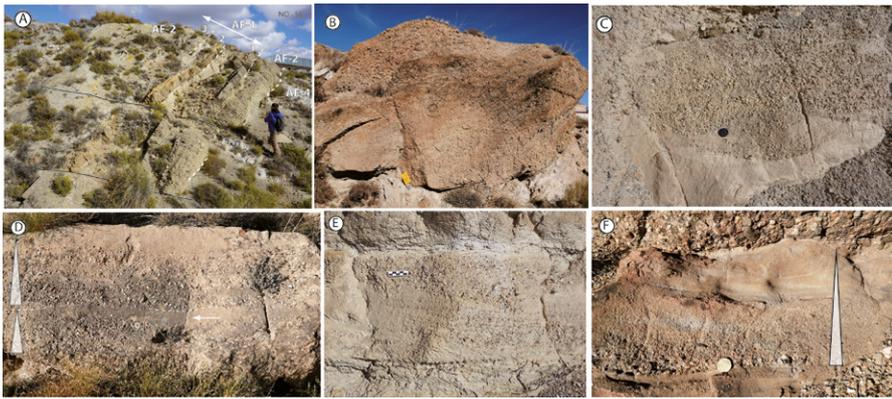


Fig. 3.- A. Secuencia de barra de desembocadura (AF-2) sobre depósitos infralitorales (AF-4) y canales distributarios (AF-1: canales 1 a 3) que evolucionan en secuencia granodecreciente a facies finas de bahía interdistributaria (AF-2), B-F. Diferentes rasgos de afloramiento de las facies de canales rellenos por flujos concentrados (AF-1 y AF-5) (en todas las fotografías el flujo fue hacia la izquierda): Canal con base neta y canalizada (B), estructuras de cut-and-fill ligadas a condiciones supercríticas (C), turbiditas de alta densidad con desarrollo de laminaciones de foreset (flecha) (D), backsets (E) y turbidita de alta densidad (F) (ver figura en color en la web).
Fig. 3.- A. Sequence of distributary mouth-bar (FA-2) overlying shoreface deposits (FA-4) and different distributary channels (FA-1: channels 1 to 3) vertical evolving to fine-grained distributary bay deposits (FA-4), B-F. Sedimentological features of gravel-sandstone channels infilling by concentrated flows (FA-1 and 5) (flow toward the left in all the pictures). Sharp-based chute-type channel (B), cut and fill structure at the base of a channel (C), high-density turbidite with cross-laminated gravels downflow dipping (foreset) (D), backset (E) and high-density turbidite (F) (see colour figure in web).

tes de gravas de 5 m de potencia con gradaciones internas de tamaño de grano y ratio clastos y matriz. Como estructuras de ordenamiento interno muestran estructuras de erosión y relleno (*cut-and-fill*) estratificaciones y laminaciones cruzadas inclinadas tanto hacia suroeste como hacia noreste (Fig. 3B-F). Los techos de algunos de estos cuerpos presentan laminaciones de muy bajo ángulo (antidunas).

Interpretación: Estos cuerpos representan canales rellenos por flujos concentrados inestables (por pulsos u oleadas de granos) con abundantes formas del lecho que migran en sentido contrario al flujo (que predominantemente es hacia suroeste) representativas de condiciones de flujo supercrítico (antidunas, *backsets*). Su relación con las facies de grano fino de AF-4 indican que estos canales son subacuáticos con desarrollo de condiciones supercríticas ligados a saltos hidráulicos. Las características de estos flujos canalizados de alta concentración permitirían catalogarlos como flujos de derrubios poco cohesivos a turbiditas de alta concentración depositadas en la transición de canales de tipo *chute* (en el sentido de Prior y Bornhold, 1988) a lóbulos (el desconfinamiento de flujos favorece la preservación de estructuras de flujo supercrítico) en un talud de naturaleza deltaica.

Modelo deposicional

La sucesión analizada representa un sistema siliciclástico subacuoso fluvio-litoral

de grano grueso con dominio de la influencia del oleaje en la zona de *shoreface* a la que entran esporádicos flujos concentrados de gravas y arenas que van ganando protagonismo en el tiempo. En la parte inferior de la sucesión dominan los flujos concentrados de sedimento inmaduro que atravesarían la zona costera en forma de turbiditas de alta densidad confinadas en canales de *chutes* aislados o amalgamados (secuencias 1 a 7) (Fig. 2). En el tramo intermedio de la sucesión (secuencias 8-11), sobre los depósitos litorales dominados por acción de oleaje, progradan sistemas de barra-canal distributario dominados por flujos hiperconcentrados con bahías interdistributarias propios de la llanura deltaica inferior o subacuosa en transición al frente deltaico. Finalmente, la parte alta de la sucesión (secuencias 12-15) muestra secuencias con mayor protagonismo de los canales respecto a las barras de distributario y dominio de carbonatos tobáceos en las áreas de bahía interdistributarias hasta la secuencia 15 dominada estas últimas por canales distributarios amalgamados sin representación de barras o de finos interdistributarios. Estas últimas secuencias representan la progradación de la llanura deltaica superior o emergida en transición al sistema alimentador representado por canales de flujo hiperconcentrado propios de abanicos aluviales o ríos de alto gradiente.

Conclusiones

El miembro detrítico gris de la Forma-

ción La Peza (¿Serravaliense?-Tortoniense inferior, Cordillera Bética) representa la instalación y progradación en un margen de cuenca de un sistema deltaico de grano grueso que evoluciona desde un talud deltaico, dominado por flujos concentrados de gravas transportados directamente desde el área fuente, a un dispositivo deltaico maduro con desarrollo de llanura deltaica construida por secuencias de barra-canal distributario con dominio de flujos hiperconcentrados, a menudo en régimen supercrítico, característico de abanicos deltaicos.

Contribución de los autores

Ambos autores hemos contribuido en la adquisición de datos, investigación y redacción del manuscrito.

Agradecimientos

A los proyectos I+D+i P20_00066 (FEDER-Junta de Andalucía 2020) y RA-RNM-368-UGR20 (Programa FEDER-UGR 2020), el grupo de investigación RNM178 (Junta de Andalucía), becas (JAS-G) de iniciación a la investigación y de colaboración (Plan Propio UGR-2022 y MEFP-2022-23) y ayuda Marcos Lamolda (Dpto. Estratigrafía y Paleontología, UGR).

Referencias

- Cartigny, M.J.B., Eggenhuisen, J.T., Hansen, E.W.M., Postma, G. (2013). *Journal of Sedimentary Research* 83, 1046-1064. doi:10.2110/jsr.2013.71
- Gaudant, J., García-Alix, A., Freudenthal, M. (2014). *Comptes Rendus Palevol* 14, 25-29. doi.org/10.1016/j.crpv.2014.10.001
- Mutti, E., Tinterri, R., Benevelli, G., di Biase, D., Cavanna, G. (2003). *Mar. Petr. Geol.* 20, 733-755. doi:10.1016/j.marpetgeo.2003.09.001
- Nemec, W. (2009) En: *Lecture abstract. Annual Meeting of the IAS Alguero (Italy)*.
- Ono, K., Plink-Björklund, P. (2018). *Sedimentology* 65, 639-669. doi: 10.1111/sed.12396
- Postma, G., Kleverlaan, K. (2018). *Sedimentary Geology* 364, 53-70. doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.11.015
- Prior, D.B. y Bornhold, B.D. (1988). En: *Fan Deltas: Sedimentology and Tectonic Settings* (W. Nemec y R.J. Steel, Eds.). Blackie and Son, Londres, 125-143.
- Rodríguez-Fernández, J. (1982). *El Mioceno del sector central de las Cordilleras Béticas*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 224 p.