

Cementación temprana por calcita en un frente deltaico de escala métrica: cambios en la calidad del reservorio

Early calcite cementation in a metre-scale delta front: changes in reservoir quality

Anna Travé^{1,5,*}, Miguel López-Blanco^{2,5}, Miquel Coll³, Irene Cantarero^{1,5}, Vinyet Baqués¹, Eloi Carola^{2,5}, David Cruset⁴ y Elisabet Playà^{1,*}

¹Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada. Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona (UB), 08028 Barcelona. atrave@ub.edu

²Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà. Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona (UB), 08028 Barcelona.

³GPR3D. Peñíscola, Spain.

⁴Geosciences Barcelona (GEO3BCN-CSIC). Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona

⁵Geomodels Research Institute. Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona (UB), 08028 Barcelona.

*Corresponding author

ABSTRACT

The Roda Sandstone corresponds to a lower Eocene delta located at the northern margin of the Graus-Tremp Basin in the South-Pyrenean foreland. The distribution of the different diagenetic products affecting a decameter-thick detrital delta-front regressive unit and the under and overlying transgressive carbonates are studied. The lower part of the sandy wedge contains nodules formed by precipitation of high magnesium calcite (HMC) during an early cementation stage which are absent in the upper part of the wedge. In the topmost part, there is a continuous zone cemented by low magnesium calcite (LMC). The $\delta^{18}\text{O}$ of the early calcite cement is interpreted as related to meteoric water input during regressive periods. Transgressive carbonate units are dominated by HMC, mostly from the bioclasts. Herein the early diagenetic processes, mostly precipitation of calcite cement, are the fundamental control on the main petrophysical properties of the sandstones, instead of the internal primary depositional architecture of the sand body. Furthermore, the presence or absence of this early calcite cement has been proven to be basic in controlling later diagenetic processes such as cracking, pressure-solution between bioclasts and millimetric fracturing. All of them highly affect the quality of the sandstone reservoir.

Key-words: Pyrenees, Roda Sandstone, Diagenesis, Eocene, Calcite Cement.

RESUMEN

La arenisca de Roda se corresponde con un delta del Eoceno inferior situado en el margen norte de la cuenca de Graus-Tremp en el antepaís surpirenaico. Se estudia la distribución de los diferentes productos diagenéticos en una secuencia regresivo-transgresiva de escala decamétrica. La parte inferior del cuerpo arenoso contiene nódulos formados por la precipitación de calcita con alto contenido en magnesio (HMC) durante una etapa temprana, que están ausentes en la parte superior de la secuencia. En la parte superior, existe una zona continua cementada por calcita con bajo contenido en magnesio (LMC). El $\delta^{18}\text{O}$ del cemento de calcita temprano se ha relacionado con el aporte de agua meteórica durante períodos regresivos. Las unidades carbonáticas transgresivas están dominadas por HMC, principalmente en los bioclastos. Aquí, los procesos diagenéticos tempranos son el control fundamental sobre las principales propiedades petrofísicas de las areniscas, en lugar de la arquitectura deposicional primaria. Además, se ha demostrado que la presencia o ausencia de este cemento temprano es básica en el control de procesos diagenéticos posteriores. Todos ellos afectan en gran medida a la calidad del reservorio.

Palabras clave: Pirineos, Areniscas de Roda, Diagénesis, Eoceno, Cemento de calcita.

Geogaceta, 77 (2025), 95-98

<https://doi.org/10.55407/geogaceta108706>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 15/07/2024

Fecha de revisión: 30/10/2024

Fecha de aceptación: 29/11/2024

Introducción

Este estudio tiene como objetivo conocer la distribución de los diferentes tipos de cemento de calcita y discutir su efecto sobre la calidad del reservorio en análogos arenosos marinos poco profundos deltaicos sometidos a episodios transgresivos. Para comprender el reservorio, se ha realizado un estudio petrológico y geoquímico de la distribución del cemento carbonático dentro de una unidad regresiva detrítica de frente deltaico de espesor decamétrico y los depósitos de plataforma carbonática transgresiva infra- y suprayacentes.

Marco Geológico

Los Pirineos son un orógeno alpino de dirección E-W construido desde el Cretácico Superior hasta el Mioceno Medio debido a la colisión continental entre las placas Ibérica y Euroasiática. El afloramiento estudiado se localiza en la cuenca de Graus-Tremp, una cuenca desarrollada sobre la lámina cabalgante del Montsec durante el Paleoceno-Eoceno temprano.

La arenisca de Roda, del Eoceno inferior, pertenece al relleno de la cuenca de Graus-Tremp. La interpretación ambiental más aceptada se corresponde con un sistema deltaico de tipo Gilbert con influencia de marea (Puigdefàbregas *et al.*, 1985)

que muestra una tendencia general regresivo-transgresiva (López-Blanco, 1996 y López-Blanco, *et al.*, 2003). La arenisca de Roda se intercala hacia la cuenca con lutitas calcáreas. La alternancia de depósitos transgresivos y unidades de areniscas progradantes corresponden a secuencias transgresivo-regresivas de alta frecuencia (López-Blanco, 1996, Leren *et al.*, 2010). La mayor parte del volumen de areniscas se depositó en ambientes de frente deltaico y barras submareales.

Petrología, mineralogía e isótopos

La unidad estudiada es un cuerpo regresivo de arenisca de frente deltaico

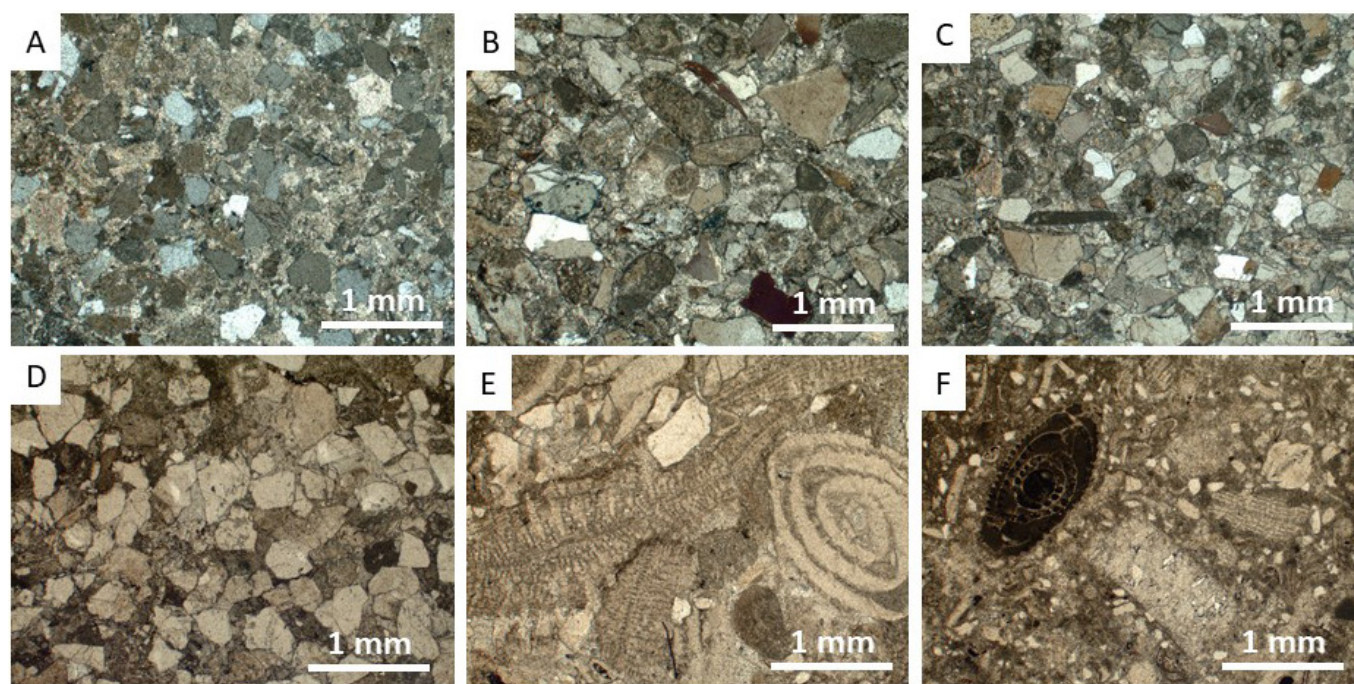


Fig. 1.- A y B) Arenisca altamente cementada por HMC; C) Arenisca altamente cementada por LMC; D) Arenisca mal cementada con granos de cuarzo y feldespato agrietados en una zona no cementada; E) Intervalo carbonático superior con abundante presión-solución entre bioclastos; F) Intervalo de calizas margosas inferiores. Ver figura en color en la versión web.

Fig. 1.- A and B) Highly cemented sandstone with HMC; C) Highly cemented sandstone with LMC; D) Poorly cemented sandstone with cracked quartz and feldspar grains in a non-cemented area; E) Upper limestone interval with abundant pressure-solution between bioclasts; (F) Lower marly limestones interval. See color figure on web.

progradante intercalado entre dos unidades de plataforma carbonatada.

Las areniscas están formadas por granos subangulares de cuarzo de tamaño medio, algunos componentes fósiles, cantidades menores de feldespato y pocos granos de carbonato, todos ellos cementados por un mosaico de cristales equidimensionales de calcita "blocky" con alto contenido en magnesio (HMC) y con bajo contenido en magnesio (LMC) (Fig. 1 y Tabla I).

El intervalo de calizas superiores está formado por un *packstones* de *Nummulites* y *Discocyclus* (Fig. 1E). El intervalo inferior está compuesto por una caliza margosa con operculina y otros fragmentos bioclásticos (Fig. 1F). Los productos diagenéticos incluyen la fracturación de los clastos detríticos, la presión-disolución entre los clastos detríticos y esqueléticos, y la cementación por calcita.

Las areniscas de frente deltaico presentan una zonación vertical relacionada con las características macroscópicas del cemento que las subdivide en tres zonas principales de base a techo (Coll et al., 2013): un cuerpo principal con una cementación nodular, un horizonte no cementado relativamente delgado y una unidad superior correspondiente con un nivel continuo muy cementado (Fig. 2).

Discusión

Del análisis de las muestras de las calizas y de las unidades de areniscas cementadas, se han distinguido las siguientes facies: calizas de plataforma carbonatada, areniscas altamente cementadas HMC (nódulos), areniscas altamente cementadas LMC (nivel continuo) y areniscas poco cementadas por LMC.

Los intervalos carbonatados inferior y superior, correspondientes a unidades de *packstones*, se caracterizan por más del 70% de HMC, menos del 20% de LMC, menos del 20% de cuarzo, valores relativamente altos de $\delta^{18}\text{O}$ y variables de $\delta^{13}\text{C}$ (Fig. 2). Estos dos intervalos se interpretan como depósitos transgresivos de plataformas carbonáticas.

La zona de arenisca con nódulos incluye muestras con bajo contenido en cemento de calcita y nódulos con abundante cemento de calcita. En general, los intervalos mal cementados se caracterizan por más de 60% de cuarzo, contenido variable de LMC, ausencia de HMC, valores más bajos de $\delta^{18}\text{O}$, principalmente entre -6.8 y -6.2 ‰ VPDB, y valores de $\delta^{13}\text{C}$ ligeramente más pesados (Fig. 2). En estas zonas sin el cemento HMC temprano observamos tanto el

agrietamiento de los granos de cuarzo y feldespato en los intervalos más detríticos como abundantes estilolitos y *solution seams* por presión-disolución entre los bioclastos de los intervalos más carbonáticos. Los nódulos más cementados se caracterizan por un alto contenido de cemento HMC, contenido variable de LMC, bajo contenido de cuarzo, abundantes componentes esqueléticos, valores de $\delta^{18}\text{O}$ más elevados y valores bajos de $\delta^{13}\text{C}$. Estas partes más cementadas corresponden a la precipitación de HMC durante una etapa temprana de cementación.

En la parte superior, la zona continua cementada por LMC, se ha interpretado como formada a partir de una mezcla de aguas marinas y meteóricas durante la máxima progradación del sistema deltaico. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en la mayor parte de la secuencia regresiva de 7 metros de espesor muestran un patrón de espejo (Fig. 2), mientras que en la parte superior hay una covarianza entre los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ más ligeros del cemento de calcita temprana (principalmente entre -6.8 y -5.1 ‰ VPDB) se interpretan como relacionados con el aporte de aguas meteóricas del continente durante períodos regresivos.

Muestra	Q%	LMC%	HMC%	FK%	Albita%	Calcita%	$\delta^{18}\text{O}\%$ VPDB	$\delta^{13}\text{C}\%$ VPDB
18	16	14	71			72	-5,27	-0,74
17	21	8	70			75	-6,05	-0,95
16	43	36		11	11	53	-8,02	-1,55
14	47	29		12	11	54	-6,01	-1,86
13	42	7	32	10	10	60	-6,37	-1,62
12	40	41		11	8	57	-5,07	-2,36
11	59	14		11	15	33	-6,36	-1,43
10	65	10		11	14	25	-6,29	-1,44
7	40	5	37	11	8	56	-5,87	-1,97
8	34	9	40	11	6	60	-5,12	-2,3
9	67	11		11	11	25	-6,18	-1,55
6	61	16		12	11	37	-6,85	-1,42
4	39	10	31	14	6	54	-6,67	-1,47
3	41	5	33	12	9	50	-5,24	-2,16
2	28	9	45	12	6	59	-5,37	-3,13
1	67	8		12	13	21	-6,67	-1,69
19	41	59				68	-6,25	-1,75
20	6	18	76			76	-4,81	-3,08

	Arenisca con fósiles marinos
	Arenisca sin contenido fósil
	Packstone de foraminíferos

Tabla I.- Mineralogía, $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de las muestras estudiadas. El % de calcita se calcula a través del CO_2 producido por disolución con ácido fosfórico durante los análisis de isótopos. Q%, LMC%, HMC%, FK% y Albita% se calculan aproximadamente a partir de los análisis DRX. Ver figura en color en la versión web.

Table I.- Mineralogy, $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of the studied samples. The calcite % is calculated through the CO_2 produced by dissolution with phosphoric acid during the isotope analyses. Q%, LMC%, HMC%, FK%, and Albite% are calculated roughly from the DRX analyses. See color figure on web.

Conclusiones

El estudio mineralógico, petrológico e isotópico de una unidad regresiva detrítica de frente deltaico de espesor decamétrico de la Formación Roda revela cambios en la calidad del reservorio debido a la cementación temprana por calcita.

Las muestras con abundante cemento temprano de HMC corresponden a nódulos, que probablemente crecieron a partir de los componentes bioclásticos. La presencia de este cemento HMC evitó procesos diagenéticos posteriores como el agrietamiento del cuarzo detrítico y los feldespatos, la presión-solución entre bioclastos y la fracturación milimétrica del reservorio. Las muestras con abundante cementación con LMC del nivel continuo superior incluyen agrietamiento de los granos detríticos, solución a presión y fracturación milimétrica que indica un evento de cementación ligeramente posterior. Todos estos procesos afectan en gran medida la calidad del reservorio de arenisca. Por lo tanto, la precipitación

del cemento HMC, y más tarde de LMC, es el control fundamental sobre las principales propiedades petrofísicas de las areniscas, en lugar de la arquitectura deposicional primaria interna del cuerpo de arena, caracterizada por la progradación de los foresets.

Contribución de los autores

AT, MLB y MC concibieron la idea y organizaron la estructura y el contenido de la publicación. AT, MLB y MC redactaron el manuscrito, e IC, VB y EC prepararon las figuras. DC y EP tomaron fotografías del afloramiento, recolectaron las muestras en el campo y organizaron su preparación en secciones delgadas. Todos los autores revisaron la versión final del manuscrito.

Agradecimientos

Este trabajo ha contado con el apoyo de los Proyectos DGICYT PID2021-122467NB-C22 y PID2019-106440GB-C21 financiados por el Ministerio de Ciencia,

Innovación y Universidades/Agencia Estatal de Investigación/Fondo Europeo de Desarrollo Regional, Unión Europea, los Grups de Recerca reconegut per la Generalitat de Catalunya, 2021 SGR-Cat 00349 "Geologia Sedimentària" y 2021 SGR 00076 "Geodinàmica i Anàlisi de Conques". Nuestro agradecimiento también a los dos revisores anónimos y al Editor Károly Hidas.

Referencias

- Coll, M., López-Blanco, M., Queralt, P., Ledo, J., y Marcuello, A. (2013). *Geologica Acta* 11, 27-43.
<https://doi.org/10.1344/105.000001778>
 Leren, B. L. S., Howell, J., Enge, H., & Martinus, A. W. (2010). *Sedimentary Geology*, 229(1-2), 9-40.
<https://doi.org/10.1016/j.sed-geo.2010.03.013>
 López-Blanco, M. (1996). *Estratigrafía secuencial se sistemas deltaicos en cuencas de Antepais: ejemplos de Sant Llorenç del Munt, Montserrat y Roda (Paleógeno, cuenca de antepais Surpirinaica)*. Tesis

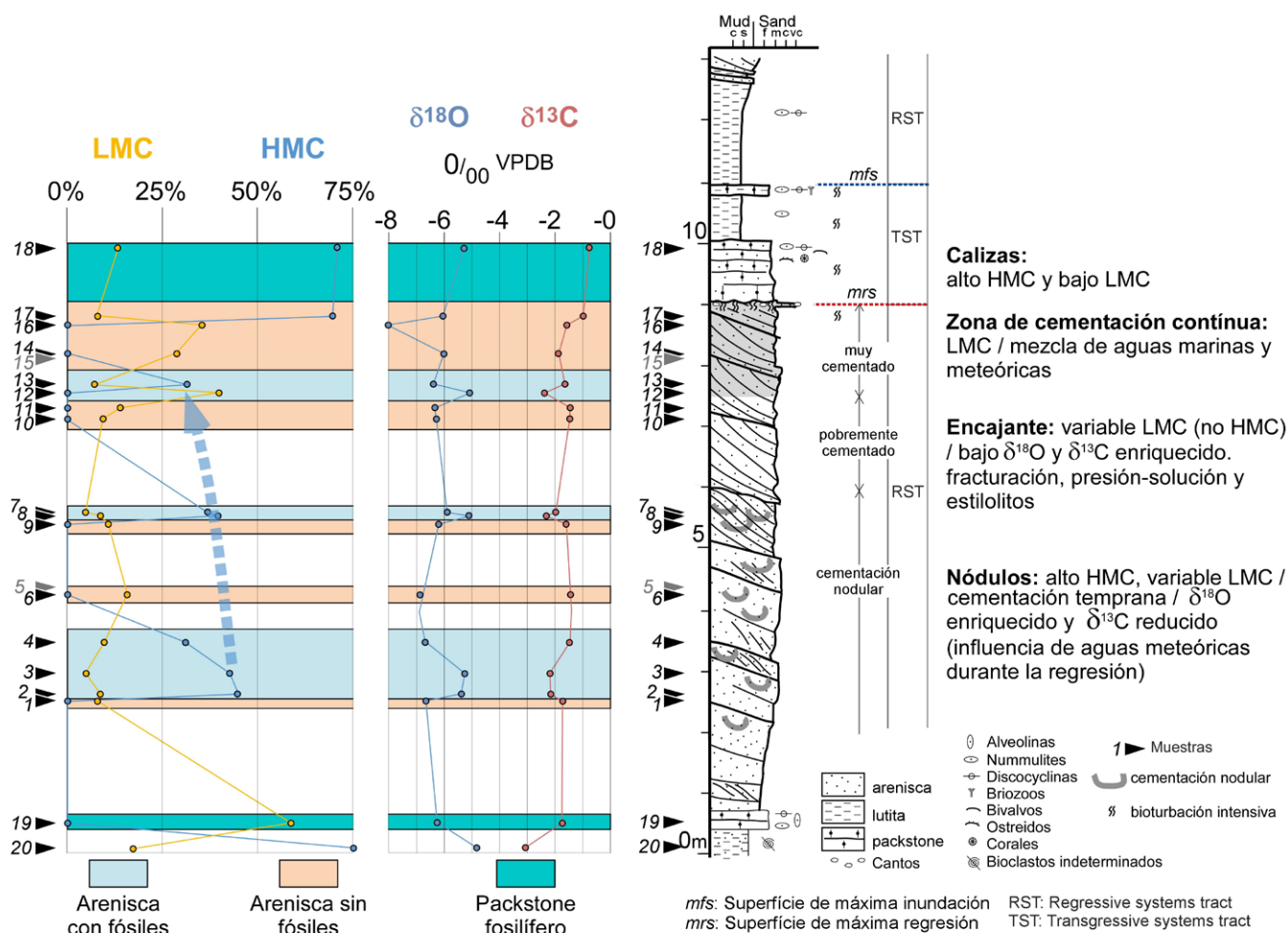


Fig. 2.- Gráfico que muestra el % de los diferentes cementos, y valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de las muestras distribuidas según la profundidad y su relación con las unidades de la columna estratigráfica y su subdivisión secuencial (columna modificada de Coll *et al.*, 2013). Ver figura en color en la versión web.

Fig. 2.- Graphic showing the % of different cements and $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of the samples distributed according to depth and their relation with the stratigraphic log units and its sequential subdivision (log modified from Coll *et al.*, 2013). See color figure on web.

Doctoral. Univ de Barcelona.
López-Blanco, M., Marzo, M., Muñoz, J.A.
(2003). *Basin Research* 15, 73-96.

<https://doi.org/10.1046/j.1365-2117.2003.00193.x>
Puigdefàbregas, C., Samsó, J.M., Se-

rra-Kiel, J., Tosquella, J. (1985). En: *6th IAS Regional Meeting of Sedimentology. Lleida. Spain. Abstracts*, 639-642.