

# Costras ferromanganesíferas pelágicas inducidas por comunidades bentónicas microbianas en el límite Jurásico Medio-Superior (Subbético Externo, provincia de Córdoba)

*Pelagic Fe-Mn crusts induced by benthic microbial communities in the Middle-Upper Jurassic boundary (External Subbetic, Cordoba province)*

José Miguel Molina y Matías Reolid

Departamento de Geología. Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas, 23071 Jaén, España. jmmolina@ujaen.es; mreolid@ujaen.es

## ABSTRACT

*A hardground with Fe-Mn crusts of an important Middle-Upper Jurassic stratigraphic discontinuity in the External Subbetic has been analysed. These are mainly hydrogenetic-biogenic crusts induced by the activity of benthic microbial communities. The main organisms related with the Fe-Mn mineralization are probably fungi. The pelagic swells of the External Subbetic were a favourable environment for the development of authigenic mineralizations mainly by a very low rate of sedimentation and the existence of submarine volcanic processes in the neighboring Median Subbetic.*

**Key words:** Hardground, microbial communities, Fe-Mn crusts, stratigraphic discontinuities, Jurassic.

*Geogaceta*, 48 (2010), 59-62  
ISSN: 0213-683X

Fecha de recepción: 15 de febrero de 2010  
Fecha de revisión: 21 de abril de 2010  
Fecha de aceptación: 28 de mayo de 2010

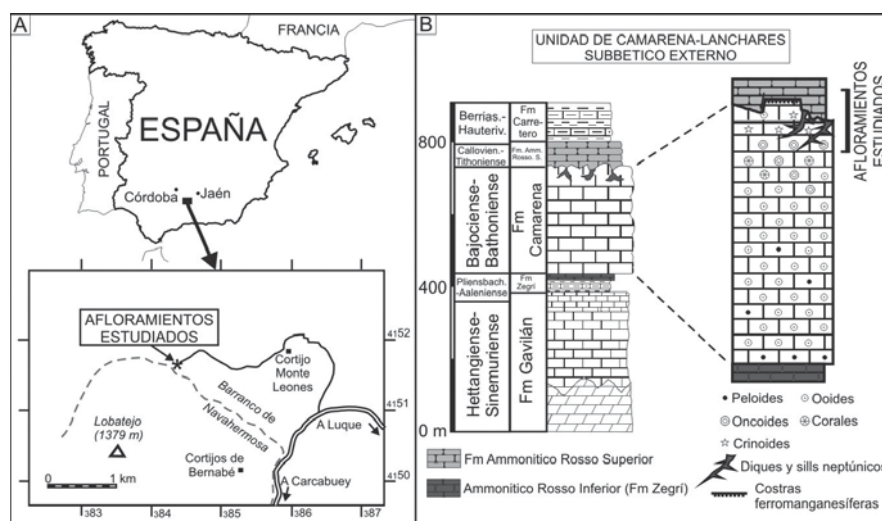
## Introducción

En la Unidad del Camarena-Lanchares del Subbético Externo en el sector central de la Cordillera Bética, a techo de la Formación Camarena aparece un notable *hardground* con abundantes costras de Fe-Mn cuyo estudio es el objeto de este trabajo (Fig. 1A).

La Formación Camarena de edad Bajociense-Bathonense (Molina, 1987) está compuesta de calizas oolíticas y corresponde a sedimentos depositados en un ambiente de plataforma marina somera. Encima se encuentra la Formación Ammonítico Rosso Superior de edad Calloviense-Berriasiense formada por facies condensadas depositadas en un umbral pelágico (Fig. 1B). Las costras de Fe-Mn estudiadas están relacionadas con la discontinuidad estratigráfica entre las calizas de plataforma marina somera y las calizas pelágicas citadas previamente. La edad de esta discontinuidad es variable, abarcando como máximo desde el Bathoniense superior al Oxfordiense superior en el sector estudiado. En los afloramientos analizados aparecen abundantes diques y sills neptúnicos encajados en la Formación Camarena cuyo techo muestra una superficie con morfologías kársticas, que se interpreta actualmente

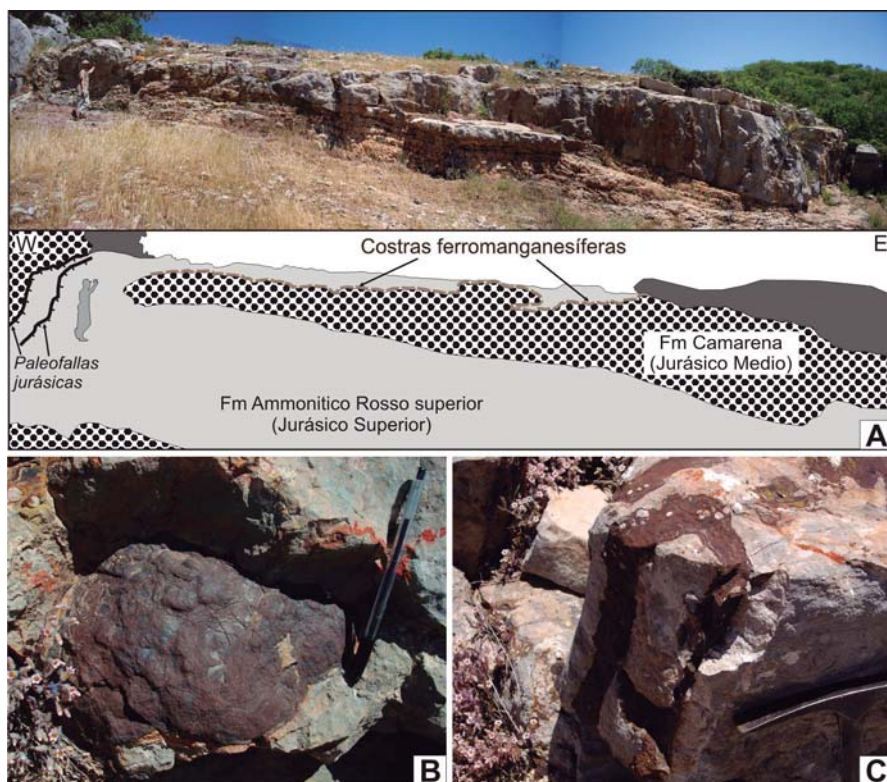
como un paleokarst polifásico relacionado con fracturación y disolución en la zona de mezcla entre aguas marinas y meteóricas (Molina *et al.*, 1995, 1999).

Numerosos trabajos han caracterizado el significado estratigráfico y sedimentológico de estas costras, mientras que otros han descrito su compo-



**Fig. 1.- A) Localización geográfica de los afloramientos estudiados. B) Columna estratigráfica de la Unidad de Camarena-Lanchares (Subbético Externo) con la situación de los afloramientos estudiados. Las costras ferromanganesíferas se encuentran en el techo de la Formación Camarena que se representa con más detalle en la columna estratigráfica de la derecha.**

*Fig. 1.- A) Geographic location of the studied outcrops. B) Stratigraphic section of the Camarena-Lanchares Unit (External Subbetic) in which the analysed outcrops appear. The Fe-Mn crusts are in the top of the Camarena Formation represented in more detailed stratigraphic section on the right.*



**Fig. 2.- A)** Vista general e interpretación del afloramiento del Barranco de Navahermosa con un gran sill neptúnico con relleno de facies Ammonítico Rosso. A techo de la Formación Camarena se disponen las costras ferromanganesíferas estudiadas. **B)** Detalle de las costras laminares. **C)** Costras ferromanganesíferas relleno de un dique de forma aproximadamente semicilíndrica.

*Fig. 2.- A) General view and interpretation of the outcrop in the Navahermosa ravine with a big neptunian sill filled in an Ammonitic Rosso facies. On the top of the Camarena Fm the studied Fe-Mn crusts appear. B) Detail of the laminar crusts. C) Fe-Mn crusts filling in a dyke with an approximately semi-cylindrical shape.*

ción mineralógica y geoquímica (Martín-Algarra y Sánchez-Navas, 2000; Jiménez-Millán y Nieto, 2008; entre otros). Sin embargo, se ha hecho poco por analizar en detalle las asociaciones microbianas y de foraminíferos de estas costras de Fe-Mn.

El objetivo de este trabajo es la caracterización preliminar de los componentes de las comunidades bentónicas microbianas (CBM), así como interpretar el papel de estos organismos en la precipitación de los minerales de Fe-Mn.

Para ello se han seleccionado afloramientos con importante desarrollo de costras de Fe-Mn localizados en el Barranco de Navahermosa (coordenadas UTM UG843517, mapa topográfico a escala 1:50000 n° 967-Baena) (Figs. 1B y 2A).

## Métodos

Se han analizado las microfacies con microscopio petrográfico, con especial atención a la textura y la estructura de las costras de Fe-Mn. Las composiciones mi-

neral y geoquímica se determinaron por difracción y fluorescencia de rayos X.

Numerosos fragmentos extraídos del interior de las costras de Fe-Mn fueron metalizados con oro y examinados en el microscopio electrónico de barrido (SEM) usando imágenes de electrones secundarios con el objetivo de analizar su ultraestructura interna, la morfología de los cristales e identificar microestructuras de posible origen microbiano. Se ha utilizado un microscopio SCI Quanta 400 del Centro Andaluz de Medio Ambiente (CEAMA).

## Análisis de las costras ferromanganesíferas

Estas costras, no superan los 5 cm de espesor (Fig. 2B) y se encuentran revisitando el techo o relleno de diques dentro de la Formación Camarena (Fig. 2C). Consisten principalmente de goetita y calcita con un contenido en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  variable entre 4 y 20 %, menos del 7% de  $\text{MnO}$ , y una clara anomalía positiva de Ce ( $3,54 \text{ Ce/Ce}^*$ ). El estudio de lámina

delgada de la textura de las costras de Fe-Mn ha permitido diferenciar morfologías planares y arborescentes.

En las morfologías planares se reconoce una alternancia de láminas claras y oscuras que corresponden a texturas laminadas microbianas similares a las descritas por Reolid y Nieto (2010). El espesor de las láminas es variable oscilando entre 20 y 140 mm (Fig. 3). Las costras de Fe-Mn muestran un empaquetamiento denso de mallas fibrilares de apariencia microbiana y abundantes foraminíferos encostrantes (*Vinelloidea* y *Placopsilina*). En imágenes de SEM se han observado densas redes de filamentos rectos a ligeramente curvados con morfología cilíndrica de 2 a 10  $\mu\text{m}$  de diámetro con ramificaciones en ángulos variables sin patrón aparente (Fig. 4).

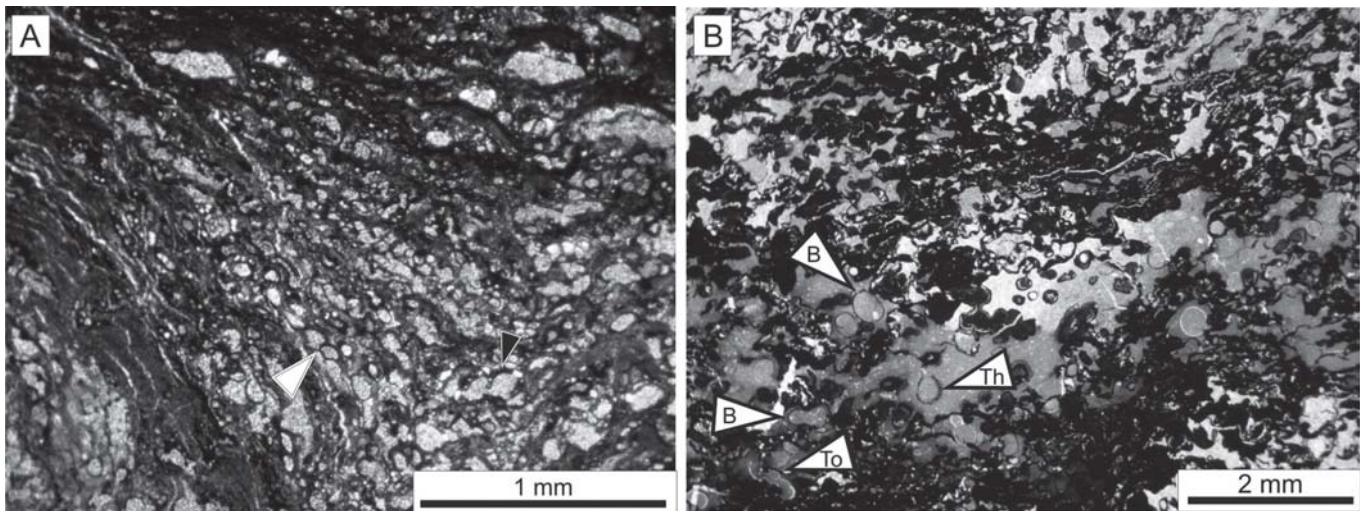
Las morfologías arborescentes presentan una laminación interna mal definida en la mayoría de los ejemplos, debida a su coloración más oscura (derivada del contenido en  $\text{MnO}$  ligeramente más alto). También abundan los foraminíferos encostrantes pero corresponden a distintos géneros (*Bulloporea*, *Tolypammina* y *Thurammina*).

## Interpretación

Las texturas laminadas se interpretan como resultado de la actividad de comunidades bentónicas microbianas. Este tipo de texturas han sido tradicionalmente interpretadas como microbialitas, principalmente en el caso de carbonatos, pero también en costras ferromanganesíferas (Martín-Algarra y Sánchez-Navas, 2000; Mišik y Aubrecht, 2004; Reolid y Nieto, 2010; entre otros). Además, en el caso estudiado, el examen detallado de las láminas permite observar pequeños filamentos que corresponden a microbios sin determinar (Fig. 4). Estas morfologías no han podido ser identificadas con el análisis de SEM, probablemente alteradas por la diagénesis. Las redes filamentosas más delgadas observadas en imágenes de SEM se interpretan como micelios constituidos por hifas de hongos (Fig. 4).

Respecto a las morfologías arborescentes, éstas se asemejan a *Frutexitis*, del cual no se conoce a qué tipo de microorganismo corresponde. *Frutexitis* ha sido descrito recientemente en esta discontinuidad asociado a serpúlidos ocupando ambientes crípticos en el interior de diques y sills neptúnicos (Reolid y Molina, 2010).

Interpretaciones previas acerca de este tipo de costras de Fe-Mn relaciona-



**Fig. 3.-** Tipos de costras ferrromanganesíferas bajo el microscopio petrográfico. A) Fábricas laminadas microbianas con morfología planar con abundantes foraminíferos encostrantes como el nubeculárido *Vinelloidea* (flecha blanca) y *Placopsilina* (flecha negra). B) Morfologías arborescentes también con importante presencia de foraminíferos sésiles como *Bullopora* (B), *Tolypammina* (To) y *Thurammina* (Th).

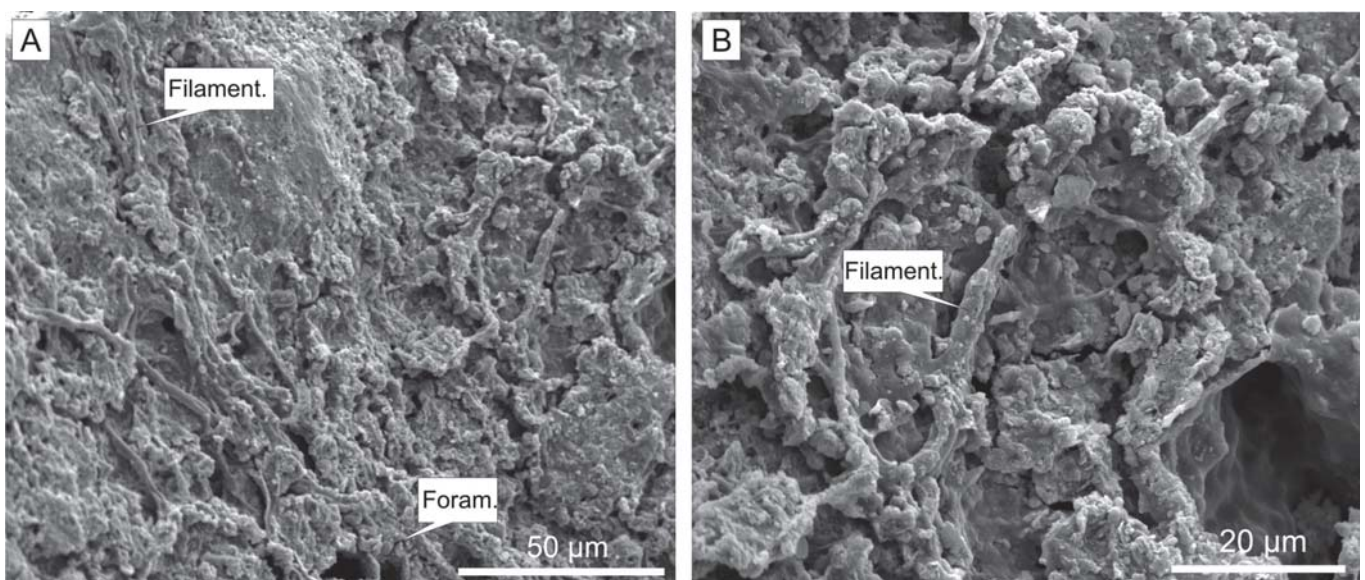
*Fig. 3.- Distinct types of Fe-Mn crusts under petrographic microscope. A) Microbial laminated fabrics with planar morphology and common encrusting foraminifera such as Vinelloidea (whiter arrow) and Placopsilina (black arrow). B) Arborescent morphologies with presence of sessile foraminifera such as Bullopora (B), Tolypammina (To) y Thurammina (Th).*

das con los hardgrounds que limitan el techo de los materiales del Jurásico Medio en el Subbético Externo apuntan a un origen microbiano (Martín-Algarra y Sánchez-Navas, 2000; Reolid y Nieto, 2010).

La precipitación de oxihidróxidos de Fe y Mn se relaciona con el comportamiento quimiorganotrófico de algunos componentes de la comunidad bentónica

microbiana descrita anteriormente. De acuerdo con Dahanayake y Krumbein (1986), los microorganismos relacionados con las mineralizaciones de hierro son predominantemente hongos. El enriquecimiento en Fe y Mn inducido por los microbios indica la importancia de las biocenosis microbianas como catalizadoras y en la precipitación de estos elementos (Krumbein y Jens, 1981;

Nealson, 1983). El Fe y el Mn son enriquecidos en trampas extracelulares específicas de Fe y/o Mn localizadas en la pared microbiana. La presencia de estructuras filamentosas ramificadas que evocan las hifas de los hongos en las costras estudiadas, permite inferir razonablemente la existencia inicial de sustancias mucilaginosas alrededor de los microbios y su papel como sideróforos segregados



**Fig. 4.-** Imágenes de SEM del interior de la costra ferrromanganesífera con fábrica laminada planar. A) Filamentos microbianos extendiéndose por la superficie de una lámina, donde también se observa parte de dos cámaras de foraminífero encostrante. B) Detalle de los filamentos microbianos, probablemente hifas de hongos.

*Fig. 4.- SEM images of microbial laminated fabrics with planar morphology recorded within Fe-Mn crusts. A) Microbial filaments on a lamina surface and some chamber of encrusting foraminifera. B) Detail of microbial filaments, probably fungal hyphae.*

por microorganismos en la precipitación de minerales autigénicos. La autigénesis se produjo por medio del enriquecimiento previo de Fe y Mn por parte de los sideróforos como fases precursoras amorfas que podrían más tarde precipitar como oxihidróxidos de Fe-Mn. La presencia de *Frutexites* es congruente con esta interpretación ya que en numerosas ocasiones ha sido considerado como un microorganismo quimiosintético (Böhm y Brachert, 1993; Chafetz *et al.*, 1998; Mišik y Aubrecht, 2004; Cavalazzi *et al.*, 2007; Reolid y Nieto, 2010).

El enriquecimiento en Ce, que excluye un origen directo hidrotermal, podría ser explicado adecuadamente por el consumo oxidativo de  $Ce^{4+}$  a partir del agua del mar por parte de los oxihidróxidos de Fe-Mn cuya formación fue inducida por microbios (Martín-Algarra y Sánchez-Navas, 1995). Los umbrales pelágicos desarrollados en el Subbético Externo serían emplazamientos favorables para el desarrollo de costras hidrogenéticas con participación microbiana debido a: 1) las condiciones de baja tasa de sedimentación y 2) la inyección en el agua del mar de Fe, Mn, elementos traza y tierras raras relacionadas con procesos volcánicos contemporáneos en el cercano Subbético Medio (Molina y Vera, 2001; Puga *et al.*, 1989; Vera *et al.*, 1997).

### Conclusiones

El análisis preliminar de las costras de Fe-Mn de la discontinuidad del Jurásico Medio-Superior del Subbético Externo en los afloramientos estudiados permite establecer las siguientes conclusiones:

A.- Las costras de Fe-Mn están constituidas por morfologías planares y arborescentes, las primeras con un mejor desarrollo de la laminación.

B.- La asociación microfósil está compuesta por comunidades bentónicas microbianas de aspecto filamentosas asignadas a hongos, y foraminíferos encostrantes.

C.- Las costras de Fe-Mn tienen un origen hidrogenético (anomalía positiva de Ce) con importante participación de los hongos en la precipitación de oxihidróxidos de Fe y Mn dado su más que probable comportamiento quimiorganotrófico.

D.- Las costras se generaron en umbrales pelágicos con muy baja o nula tasa de la sedimentación.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Grupo RNM-200 (Junta de Andalucía) y por los proyectos de investigación UJA\_07\_16\_23 (Universidad de Jaén) y RYC-2009-04316 (Programa Ramón y Cajal). Agradecemos a Javier Elorza y a un revisor anónimo sus correcciones y comentarios que han contribuido a la mejora del trabajo.

### Referencias

- Böhm, F. y Brachert, T.C. (1993). *Facies*, 28, 145-168.  
 Cavalazzi, B., Barbieri, R. y Ori, G.G. (2007). *Sedimentary Geology*, 200, 73-88.  
 Chafetz, H.S., Akdim, B., Julia, R. y

Reid, A. (1998). *Journal of Sedimentary Research*, 68, 404-413.

Dahanayake, K. y Krumbein, W.E. (1986). *Mineralium Deposita*, 21, 85-94.

Jiménez-Millán, J. y Nieto, L.M., (2008). *Chemie der Erde*, 68, 323-336.

Krumbein, W.E. y Jens, K. (1981). *Oecologia*, 50, 25-38.

Martín-Algarra, A. y Sánchez-Navas, A. (1995). *Sedimentology*, 42, 893-919.

Martín-Algarra, A. y Sánchez-Navas, A. (2000). *SEPM Special Publication*, 66, 499-525.

Mišik, M. y Aubrecht, R. (2004). *Slovak Geological Magazine*, 10, 183-202.

Molina, J.M. (1987). *Análisis de facies del Mesozoico en el Subbético Externo (provincia de Córdoba y sur de Jaén)*. Tesis Doctoral, Univ. Granada, 518 p.

Molina, J.M., Ruiz-Ortiz, P.A y Vera, J.A. (1995). *Sedimentology*, 42, 957-960.

Molina J.M., Ruiz-Ortiz, P.A y Vera, J.A. (1999). *Sedimentary Geology*, 129, 71-84.

Molina, J.M. y Vera, J.A. (2001). *Geogaceta*, 29, 142-146.

Nealson, K.H. (1983). En: *Microbial Geochemistry* (Krumbein, W.E., Ed.). Blackwell Scientific Publications, 159-190.

Puga, E., Portugal, M., Díaz de Federico, A., Bargossi, G.M. y Morten, L. (1989). *Geodinamica Acta*, 3, 253-266.

Reolid, M. y Nieto, L.M. (2010). *Geologica Acta*, 8, 1-18.

Reolid, M. y Molina J.M. (2010). *Palaios*, 25, 468-474.

Vera, J.A., Molina, J.M., Montero, P. y Bea, F. (1997). *Terra Nova*, 9, 163-166.