

# Tapices microbianos y estructuras sedimentarias asociadas en sistemas deposicionales evaporíticos de La Mancha: Un enfoque actualista

## *Microbial mats and related sedimentary structures in evaporitic lakes: An actualistic perspective into ancient sequences*

M.E. Sanz-Montero<sup>1</sup>, M.A. García del Cura<sup>2,3</sup>, J.P. Rodríguez-Aranda<sup>1</sup> y J.P. Calvo<sup>1</sup>

1 Dpto. de Petrología y Geoquímica, Facultad de CC. Geológicas (UCM). C/ José Antonio Novais, 2. 28040-Madrid. mesanz@geo.ucm.es

2 Instituto de Geociencias. CSIC-UCM. Facultad de CC. Geológicas. C / José Antonio Novais, 2. 28040-Madrid. agcura@geo.ucm.es

3 Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad Asociada Universidad de Alicante-CSIC.

**Resumen:** Los microorganismos presentes en tapices microbianos interactúan con el medio originando estructuras sedimentarias características que difieren de las puramente abióticas, pero también de los estromatolitos típicos. Aunque en los ambientes evaporíticos modernos proliferan los tapices microbianos, las referencias a ellos son escasas. Este trabajo describe estructuras sedimentarias asociadas a tapices microbianos en lagunas evaporíticas (Lillo, Toledo). Éstas son variadas e incluyen, además de la precipitación bioinducida de minerales, formas de crecimiento irregulares en tapices, biolaminación, huellas de escape de gases, domos de gases, morfologías de los polígonos de desecación y su asociación a escape de gases, presencia de enrollamientos hacia arriba (*curling up*), tapices replegados (*wrinkle structures*), pseudoripples relacionados con formas de piel de elefante (*elephant skin textures*), ripples en parches (*ripple patches*), clastos de tapices (*mat chips*), estructuras fenestrales, etc. Se documenta también que algunas de estas estructuras se encuentran bien representadas en series evaporíticas terciarias, lo que indica que tienen potencial de preservación e invita a revisar interpretaciones previas. Estas estructuras sedimentarias se han descrito originalmente en series siliciclásticas del Arcaico por lo que su interpretación como facies biogénicas es, a veces, controvertida. Nuestras observaciones permiten ahondar en su origen biológico y añaden nuevos criterios para su interpretación.

**Palabras clave:** sedimentos evaporíticos, interacciones biológicas, estructuras sedimentarias, análogos fósiles.

**Abstract:** *Microorganisms in microbial mats interact with the environment leading to specific sedimentary structures (microbially induced sedimentary structures - MISS) that differ either from purely abiotic structures or from those typical of stromatolites. Although microbial mats are common in modern evaporitic environments, references to this type of structures formed under hypersaline conditions are scarce. In this paper, a variety of sedimentary structures associated with microbial mats in salt lakes (Lillo, Toledo) are described. In addition to a number of bioinduced precipitated minerals, the structures are varied and include irregular growth forms of the microbial mats, biolamination, traces of gas bubbling, trapping and doming, desiccation polygonal forms usually associated with gas bubbles and showing curling up edges, and wrinkle structures, pseudo-ripples and other shapes resembling elephant skin (old elephant skin), ripple patches, mat chips, fenestral fabrics, etc. Some of these structures are well represented in Tertiary evaporitic series, thus indicating that they have potential for preservation in rock record and points to reconsidering earlier interpretations of these evaporitic sequences. The new observations can increase knowledge on the biological origin of the microbially induced sedimentary structures and provide new criteria for their interpretation.*

**Key words:** saline deposits, microbial mats, MISS, sedimentary structures, mineralogical textures.

## INTRODUCCIÓN

Los tapices y/o biofilm microbianos se desarrollan en los medios sedimentarios evaporíticos donde escasean sus depredadores debido a las condiciones ambientales hostiles. Los microorganismos interactúan de diversos modos con el medio físico originando una serie de estructuras características que difieren de las puramente abióticas, pero también de los

estromatolitos típicos, por lo que a veces resulta complejo identificarlas en el registro geológico. Las estructuras sedimentarias resultantes son variadas y se conocen con el acrónimo inglés MISS (*microbially induced sedimentary structures*), introducido por Nofke et al. (2001). Estas estructuras han sido documentadas en rocas siliciclásticas (Schieber et al., 2007), sin embargo, las descripciones en ambientes evaporíticos son escasas. De ahí el interés del estudio de algunas lagunas salinas manchegas que presentan

tapices microbianos desarrollados de desigual manera sobre su litoral. En dicha zona se ha reconocido un amplio cortejo de estructuras sedimentarias inducidas por los microbios, que varían según las estaciones. El presente trabajo describe las estructuras encontradas en estos ambientes comparándolas con las preservadas en el registro fósil para evaluar su potencial de conservación.

## CONTEXTO GENERAL DE LAS LAGUNAS

Las lagunas estudiadas son: El Longar, Altillo Chica o del Cerrillo y Altillo Grande, situadas al sur de la población de Lillo en la provincia de Toledo (Fig. 1). Este complejo lagunar ocupa una superficie de 407 ha y fue declarado reserva natural en 2006. Se trata de humedales salinos de carácter somero con láminas de agua que raramente superan los 50 cm. Su importancia biológica reside en la vegetación halófila que presentan y en la fauna que las habita, con especies como pagazas reproductoras y grullas en paso. El clima de la zona es de tipo mediterráneo y se caracteriza por su aridez y continentalidad, con una temperatura media de 14.3° C y una precipitación media anual de 360 mm, muy inferior a los valores de evapotranspiración, lo que condiciona en gran medida los niveles hídricos de las lagunas. Durante los meses de verano se produce la desecación total de las lagunas más someras. Situadas a una altura media de 683 m, las lagunas ocupan depresiones naturales de fondo plano formadas durante el Cuaternario y dispuestas sobre materiales mayoritariamente lutíticos del Terciario.



FIGURA 1. Imagen de situación del complejo lagunar situado al S de la población de Lillo, latitud 39°7'N, longitud 3°34'O.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio y muestreo superficial de las lagunas se ha efectuado estacionalmente desde diciembre de 2009 y se ha centrado en la zona expuesta, que en el verano representa la superficie total de las lagunas del Altillo. Las muestras de sedimento han sido estudiadas con técnicas de difracción de rayos X y de microscopía óptica y electrónica de barrido.

Los análisis químicos de agua efectuados indican que se trata de salmueras sulfatado-magnésicas, siendo las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  (que oscilan entre 22.16-39.02 meq y 293-2964 meq, respectivamente) típicas de salmueras continentales saturadas en yeso. En consecuencia, el yeso es el principal precipitado y aparece junto a carbonatos, halita, celestina y diferentes sulfatos magnésicos. El pH oscila entre 8 y 8.5 medido a una temperatura que ha variado entre 13°C y 25°C.

En el Longar, que es la más productiva, los tapices bacterianos están compuestos por distintas comunidades que presentan zonación de colores (Fig. 2). De acuerdo con Guerrero y De Wit (1989), la cohesiva lámina de color verde que se observa en superficie (2 cm de espesor) está formada por cianobacterias filamentosas de tipo *Oscillatoria* y *Anabaena*. Dicha lámina se dispone sobre bacterias purpúreas sulfúreas fotosintéticas. En las otras lagunas se desarrolla una fina capa verde superficial de cianobacterias con *Oscillatoria* o *Anabaena* como especies dominantes. Bajo todas ellas, el tapiz se encuentra coloreado de negro, lo que indica procesos de reducción. Debido a la naturaleza salina y la variabilidad estacional de la lámina de agua, los microorganismos se caracterizan como extremófilos.

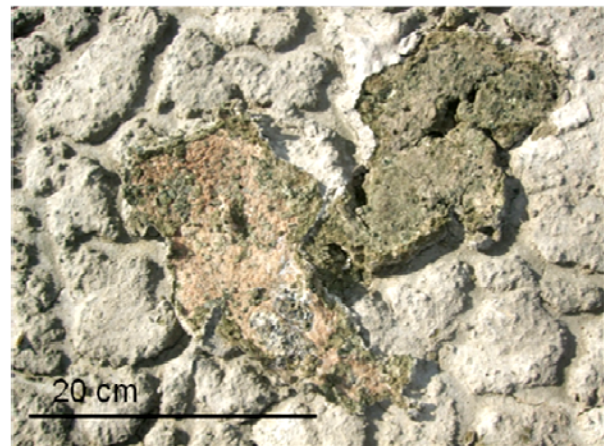


FIGURA 2. Estructuras de crecimiento de un tapiz cubierto por yeso. En el polígono volteado se reconoce la zonación de colores verde y rojo.

## ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

Aparte de la precipitación bioinducida de minerales (Sanz-Montero et al., 2001), se han reconocido otros rasgos sedimentarios que están relacionados con el crecimiento, estabilización del sustrato, aglutinamiento y destrucción de los tapices microbianos, algunos de los cuales se describen brevemente a continuación.

Respecto a las estructuras de crecimiento, lo más destacado es que los tapices adoptan **morfologías** reticulares en planta donde frecuentemente se observan abultamientos, formas pustulares y/o pináculos (Fig. 2), que pueden aparecer replegados y dando lugar a formas muy complejas, incluso, invertidas. Estas formas se

han producido por la propia dinámica de crecimiento de los distintos microorganismos del tapiz, y sus complejas respuestas al resquebrajamiento en el estío y subsiguientes hidrataciones. Formas pustulares y reticulares han sido descritas por Sanz Montero et al. (2006) y Sanz Montero et al. (2008) en el Mioceno de las Cuenca de Madrid y del Duero, respectivamente.

Una estructura característica del sedimento formado en la laguna es la **biolaminación** definida por la alternancia de láminas con predominio de minerales autigénicos (fundamentalmente yeso) y láminas donde abundan las estructuras orgánicas. En otros casos, la laminación se define por la alternancia de microorganismos. De igual modo, en el Mioceno de la Cuenca del Duero se han observado biolaminaciones en estromatolitos silíceos asociados a dolomías (Sanz Montero et al., 2008).

Los microbios que componen los tapices llevan a cabo distintas reacciones metabólicas que producen gases, fundamentalmente  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $SH_2$ , que tienden a escapar a la atmósfera formando burbujas. Estos gases pueden coexistir dentro del tapiz. En las lagunas estudiadas se ha observado que muchas burbujas de **gases** escapan al exterior a través de poros que crean al ascender, pero también es frecuente que los gases queden atrapados bajo el cohesivo tapiz que sella la superficie del sedimento y originen abultamientos, a modo de ampollas, que finalmente se rompen por la presión (Fig. 3). En secciones verticales del sedimento se ha observado que los gases procedentes de la descomposición de tapices previos, enterrados y que se encuentran en descomposición, dejan cavidades de tipo **fenestral** que son irregulares en cuanto a orientación y tamaño.



FIGURA 3. Ampollas producidas en la superficie de un sedimento yesífero por gases atrapados bajo los tapices.

Alrededor de los orificios ocupados por los gases, precipitan cristales que localmente muestran crecimientos dendríticos. La presencia de carbonatos (dolomita) precipitados alrededor de tubos atribuidos a gases se ha reconocido también en microfacies

yesíferas miocenas de la cuenca del Duero y de Madrid (Sanz Montero et al., 2006 y 2009).

Esporádicamente se han reconocido **elevaciones dómicas** de diámetro decimétrico que irrumpen en la superficie de los tapices por la presión creciente de los gases subyacentes que son empujados hacia arriba, probablemente por aguas freáticas ascendentes.

Las morfologías pustulares, tortuosas, arrugadas y/o cizalladas, semejando estructuras de ripples arqueados es otra característica de la superficie de los tapices (Fig. 5). Estructuras semejantes a éstas han sido escasamente descritas en rocas detríticas fósiles con el nombre de '*wrinkle structures*' y frecuentemente se relacionan con estructuras de piel de elefante (*elephant skin textures*).



FIGURA 4. Estructuras de tipo wrinkle.

Según nuestras observaciones, estas morfologías arrugadas se dan en tapices recubiertos por yeso, dispuestos en zonas húmedas del litoral, por el efecto de la capa agua que escurre hacia el centro de la laguna. Se forman tras episodios de precipitación y se asocian con abundantes burbujas de escape de gases. Esto permite apoyar y complementar interpretaciones previas realizadas en rocas (Porada y Bouougri, 2007).

El principal rasgo sedimentario de destrucción de los tapices es la presencia de **polígonos de desecación**, que se producen por la deshidratación de los tapices, y cubren por completo el fondo expuesto de las lagunas en verano. Las grietas formadas en presencia de tapices muestran morfologías muy irregulares, suelen ser incompletas, presentan desniveles y pueden mostrar enrollamiento hacia arriba (*curling up*). Este fenómeno coexiste a distintas escalas. Se ha observado que el agrietamiento se inicia a favor de ampollas que revientan y liberan gases lo que favorece el crecimiento de otros cristales desde los bordes de los polígonos hacia el centro. Las morfologías peculiares que se reconocen en las grietas de desecación se producen por el comportamiento flexible de la película superficial del sedimento conferido por la naturaleza plástica y viscosa de las secreciones microbianas.

Los tapices se levantan, se rompen y se erosionan por el efecto combinado de los gases, el viento y/o el agua. Los *chips* así formados, son fácilmente transportados desde su área de formación. El agua suele arrastrarlos hacia zonas interiores, mientras que el viento los acumula en las plantas halófilas que pueblan las orillas. La cohesión que aportan las cianobacterias a los *mat chips* les permite resistir el transporte y favorece su presencia en el registro geológico (Schieber et al., 2007, Bouougri y Porada, 2011).

En pequeñas depresiones, en las que se ha perdido la cubierta del tapiz microbiano (*mat chips*) se generan por acción del viento, ripples que aparecen distribuidos de un modo irregular, a modo de parches (*ripple patches*) (Fig. 5). Estos parches presentan una transición neta con las superficies desprovistas de ripples, como ocurre también en series antiguas (Schieber et al., 2007). Se está reconsiderando la posibilidad de que algunos niveles de yesos detríticos miocenos que presentan estratificación de tipo *wavy*, descritos por Sanz Montero et al., (1994) se correspondan con dichas estructuras.



FIGURA 5. Parches de ripples formados por el viento en las zonas desprovistas de tapiz microbiano.

## CONCLUSIONES

Las lagunas estudiadas se encuentran colonizadas por tapices microbianos y son un buen análogo reciente para analizar estructuras sedimentarias antiguas bioinducidas en ambientes salinos continentales. Las estructuras reconocidas varían según la estación y, posiblemente también, con la zona de la laguna que ocupan y el tipo de microorganismo dominante. Su formación está influida por la acción del viento, de los gases, del agua, etc. Algunas de las estructuras observadas (morfologías de crecimiento, grietas de desecación, huellas de escape de gases con precipitados asociados,...) se han descrito en series evaporíticas terciarias lo que indica que tienen potencial de preservación en el registro fósil y apoyan su origen

bioinducido. Se aportan nuevas observaciones sobre la formación de las estructuras de tipo *wrinkle* y *ripple patches* cuya presencia se remonta al Precámbrico.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por los proyectos CGL2011-26781 (MICNN) y GR35/10-A-910404.

## REFERENCIAS

- Bouougri, E.H. y Porada, H. (2011): Wind-induced mat deformation structures in recent tidal flats and sabkhas of SE Tunisia and their significance for environmental interpretation of fossil structures. *Sedimentary Geology* (in press).
- Guerrero, M.C. y De Wit, R. (1992): Microbial mats in the inland saline lakes of Spain. *Limnetica*, 8: 197-204.
- Noffke, N., Gerdes, Klenke, T. y Krumbein, W. (2001): Microbially Induced Sedimentary Structures: A New Category within the Classification of Primary Sedimentary Structures. *Journal of Sedimentary Research*, 71, 5: 649-656.
- Porada, H. y Bouougri, E.H. (2007): Wrinkle structures – a critical review. *Earth-Sci. Rev.*, 81: 199–215.
- Schieber, J., Bose, P.K., Erickson, P.G., Banerjee, S., Sarkar, S., Aletermann, W., Catuneau, O., eds. (2007): Atlas of microbial mat features preserved with the siliciclastic rock record. Elsevier. The Netherlands, 311p.
- Sanz Montero, M.E., García del Cura, M.A. y Rodríguez Aranda, J.P. (2008): Dolomite–silica stromatolites in Miocene lacustrine deposits from the Duero Basin, Spain: the role of organotemplates in the precipitation of dolomite. *Sedimentology*, 55: 729-750.
- Sanz Montero, M.E., García del Cura, M.A., Calvo, J.P. y Rodríguez Aranda, J.P. (2011): Formation of celestite in microbial mats from saline-lakes of Central Spain (Toledo). Mineralogical biosignatures in sulfate evaporite environments. En: 28<sup>th</sup> IAS Meeting of Sedimentology. Abstract book, p. 395.
- Sanz Montero, M.E., Rodríguez Aranda, J.P., Calvo, J.P. y Ordóñez, S. (1994): Tertiary detrital gypsum in the Madrid Basin, Spain: criteria for interpreting detrital gypsum in continental evaporitic sequences (R. Renaut y W. Last, eds.). SEPM, Special Publication, n° 50, 217-228.
- Sanz Montero, M.E., Rodríguez Aranda, J.P. y Calvo, J.P. (2006): Mediation of endoevaporitic microbial communities in early replacement of gypsum by dolomite: A Case Study from Miocene lake deposits of the Madrid Basin, Spain. *Journal of Sedimentary Research*, 76: 1257-1266.