

# Indicadores Biológicos en Evaporitas. Implicaciones en Procesos de Bioformación y Bioalteración Mineral (Mioceno, Cuenca de Madrid)

/ M. ESTHER SANZ MONTERO (1,2\*), J. PABLO RODRÍGUEZ ARANDA (1)

(1) Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 28040. Madrid (España)

(2) Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM). C/ Antonio Novais, 2. 28040. Madrid (España).

## INTRODUCCIÓN.

Cuando precipitan, los minerales evaporíticos (sulfatos y cloruros) suelen atrapar y secuestrar cantidades significativas de diferentes sustancias, entre las que se encuentran los compuestos orgánicos y los propios organismos, presentes en el medio. Si se dan las condiciones geológicas favorables (p.e. enterramiento rápido) las evaporitas y los restos orgánicos atrapados pueden conservarse inalterados durante millones de años. La presencia de inclusiones fluidas puede, incluso, evitar la deshidratación de las bacterias que, junto a ellas, quedan atrapadas en las evaporitas (Satterfield et al., 2005). Debido a este elevado potencial de secuestro y preservación de biomarcadores, el estudio de los sulfatos cálcicos y de la halita presenta un gran interés para reconocer indicios de vida tanto en el registro fósil de la Tierra como de Europa y Marte (Bada, 2009), donde se ha descrito la existencia de halita y sulfatos de Ca y Mg (Reider et al., 2004).

Por otra parte, la presencia de bacterias en el medio de sedimentación influye en los procesos de cristalización de muy diversos modos y, en algunos casos, favorece la formación de ooides en la halita (Castanier et al., 1999).

La Unidad Inferior del Mioceno de la Cuenca de Madrid se originó en sistemas de abanico aluvial-llanura lutítica-lago salino, típicos de cuencas de sedimentación endorreicas. Dentro de las facies de lago salino se reconocen evaporitas (glauberita, halita, anhidrita y yeso), lutitas y margas magnésicas que han sido descritas por Sanz-Montero & Rodríguez-Aranda (2008).

A causa de los fenómenos de exhumación cuaternarios (Rodríguez-Aranda et al., 2009), la secuencia evaporítica se encuentra con frecuencia alterada en afloramiento, de modo que la glauberita y la anhidrita se han transformado a yeso secundario y la halita se ha disuelto.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

En el presente trabajo se han estudiado muestras obtenidas en el túnel y en los sondeos realizados en la Unidad Inferior del Mioceno cerca de Aranjuez (Madrid) para la línea del AVE a Valencia. La apertura de este túnel, de más de 2 km de longitud, ha ofrecido la excelente oportunidad de estudiar cortes frescos de rocas evaporíticas inalteradas. Considerando el potencial de preservación de indicios de actividad biológica en evaporitas, se analizan sus rasgos petrográficos centrándonos en los restos orgánicos que contienen. A la vez se evalúa el potencial papel desempeñado por estos organismos, tanto en la alteración como en la formación de los minerales asociados, poniendo énfasis en el origen de los carbonatos, representados exclusivamente por magnesita.

El estudio se ha realizado utilizando microscopía óptica de transmisión, microscopía de fluorescencia y microscopía electrónica de barrido. Asimismo, se han realizado análisis mineralógicos con DRX y de elementos con EDS y microsonda.

## RESULTADOS.

Las facies de evaporitas se disponen en estratos continuos o como cristales intrasedimentarios en lutitas y/o en margas, que contienen hasta el 30% de

magnesita. Las lutitas están constituidas fundamentalmente por minerales de la arcilla (ilita y caolinita), moscovita, cuarzo, feldespatos y biotita.

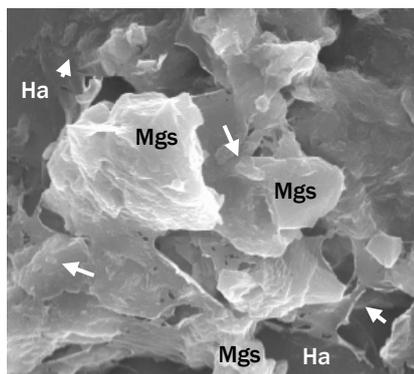
Las evaporitas constan de halita, glauberita, anhidrita y yeso. La halita puede presentar texturas *hopper*, *chevron*, intrasedimentarias, cementantes y, ocasionalmente de ooides. La glauberita se encuentra generalmente como facies intrasedimentarias, pero también formando niveles y nódulos. La anhidrita aparece como nódulos y cristales prismáticos intrasedimentarios. Los cristales de halita contienen abundantes inclusiones fluidas primarias que se disponen paralelas a sus caras de crecimiento. Las inclusiones suelen asociarse a microfósiles con formas bacilares y cocoides que se han interpretado como restos de bacterias. Con frecuencia estos micro-organismos se hallan embebidos en delicadas películas de materia orgánica que forman *biofilms*. Similares estructuras orgánicas se han encontrado en los microcristales de la magnesita que constituye la matriz donde han crecido los cristales de halita y glauberita (Fig. 1).

En las facies de margas magnésicas, tanto los silicatos detríticos como los sulfatos, muestran rasgos de microdisolución en forma de perforaciones circulares, tubos y galerías, a la vez que se encuentran reemplazados por magnesita, a la que se asocian fosfatos (Figs. 2 y 3).

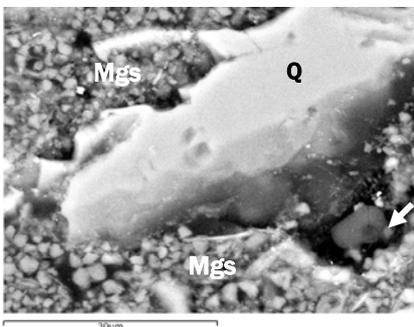
Además de por magnesita, la biotita se encuentra reemplazada por pirita los feldespatos potásicos por barita y los sulfatos por celestita (Fig. 3).

**palabras clave:** Bioindicadores, Magnesita, Halita, Sulfatos, Bacterias

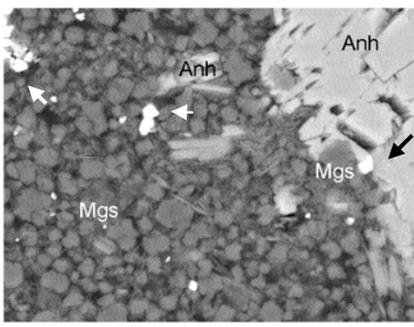
**key words:** Biosignatures, Magnesite, Halite, Sulphates, Bacteria



**fig 1.** Imagen SEM, agregado de cristales de magnesita (Mgs) embebidos en un biofilm con microfósiles (flechas), todo ello preservado en un cristal de halita (Ha). Ancho de la fotografía 15  $\mu$ m.



**fig 2.** Imagen SEM, grano de cuarzo (Q) mostrando disolución y reemplazamiento por magnesita (Mgs) microcristalina asociada a fosfatos (flecha).



**fig 3.** Imagen SEM, cristales de anhidrita (Anh) mostrando disolución y reemplazamiento por magnesita (Mgs) y celestita (flechas).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

Basándose en datos sedimentológicos, petrológicos y geoquímicos, Sanz-Montero & Rodríguez-Aranda (2008), interpretaron que la formación de la magnesita se llevó a cabo, con participación microbiana, dentro de tapices bacterianos, típicos de los medios evaporíticos actuales donde se encuentran carbonatos magnésicos (Renaut, 1993, Power et al., 2008).

La presencia de restos de tapices microbianos bien preservados en los

materiales estudiados, tanto en la magnesita como en los cristales de halita asociados, apoyan dicha interpretación. Una relación tan directa entre magnesita y restos orgánicos permite deducir que los microbios jugaron un papel importante en la formación de este carbonato. De la misma manera, estos resultados sugieren que los procesos biológicos estarían también involucrados en la disolución de los minerales detríticos y evaporíticos presentes en los tapices. Además controlarían su concomitante reemplazamiento por magnesita y, en menor medida, por celestita, pirita o barita.

Similares paragénesis y rasgos de reemplazamiento asociados a dolomita microbiana han sido descritos en series de distintas edades, localizadas en cuencas separadas geográficamente (Sanz-Montero et al., 2009, Sanz-Montero & Rodríguez-Aranda, 2009), lo que no sólo indicaría que son procesos generalizados en facies con carbonatos magnésicos, sino que los procesos de disolución y precipitación mineral pueden estar interrelacionados. Así, se propone que la formación de los carbonatos se relaciona con procesos de sulfatorreducción bacteriana que afectarían a los sulfatos cálcicos. Dichos procesos descomponían la materia orgánica y aportaban sulfuros al medio, los cuales se unirían al Fe, obtenido a partir de la alteración de la biotita, para generar pirita. Si no se consumía todo el sulfuro, éste podía transformarse en sulfato por acción de los microorganismos sulfo-oxidantes, el cual, unido al Sr liberado de la disolución de la anhidrita, produjo la precipitación de celestita, o bien, barita, a partir del Ba que aportaba la alteración de los feldespatos potásicos.

Los procesos retroalimentados de bioalteración y de precipitación bioinducida de minerales han eliminado del sedimento sulfatos de calcio y granos detríticos, hecho que puede relacionarse con la escasez de detríticos en algunas facies y la desaparición de evaporitas en el registro geológico (*vanished evaporites*).

En las rocas evaporíticas antiguas no alteradas se preservan bien los indicadores de vida y, por tanto, su estudio permite cubrir un amplio registro temporal y espacial donde integrar los procesos de bioalteración y bioformación de minerales.

## AGRADECIMIENTOS.

A P. Goicoechea por las facilidades. Trabajo financiado por el Proyecto UCM-BSCH GR58/08 (grupo 910404).

## REFERENCIAS.

- Bada, J. (2009): Seeking signs of life on Mars: In situ investigations as prerequisites to a sample return mission. Planetary science decadal survey White Paper, Scripps Institution of Oceanography, USA.
- Castanier, S., Perthuisot, J.P., Matrat, M., Morvan, J.Y. (1999): The salt ooids of Berre salt works (Bouches du Rhône, France): the role of bacteria in salt crystallisation. *Sedim. Geol.*, **125**, 9-21.
- Power, I.M., Wilson, S.A., Thom, J.M., Dipple, G.M., Southam, G. (2007): Biologically induced mineralization of dypingite by cyanobacteria from an alkaline wetland near Atlin, British Columbia, Canada, *Geoch. Trans.*, **8**, 13.
- Renaut, R.W. (1993): Morphology, distribution and preservation potential of the microbial mats in the Hydromagnesite-magnesite playas of the Cariboo Plateau, British Columbia, Canada. *Hydrobiol.*, **267**, 75-98.
- Rieder, R., Gellert, R., Anderson, R.C., Brückner, J., Clark, B.C., Dreibus, G., Economou, T., Klingelhöfer, G., Lugmair, G.W., Ming, D.W., Squyres, S.W., d'Uston, C., Wänke, H., Yen, A., Zipfel, J. (2004): Chemistry of rocks and soils at Meridiani Planum from the alpha particle X-ray spectrometer. *Sci.*, **306**, 1746-1749.
- Rodríguez-Aranda, J.P., Sanz-Montero, M.E., Goicoechea, P., Garrayo, A. (2009): Secondary gypsum after soluble salts: hydrogeochemical model for the Madrid Basin (Spain). 27<sup>th</sup> IAS meeting of sedimentology. Book of abstracts, 330.
- Sanz-Montero, M.E. & Rodríguez-Aranda, J.P. (2008): Participación Microbiana en la Formación de Magnesita dentro de un Ambiente Lacustre Evaporítico: Mioceno de la Cuenca de Madrid. *Macla*, **9**, 231-232.
- Sanz-Montero, M.E. & Rodríguez-Aranda, J.P. (2009): Silicate bioweathering and biomineralization in lacustrine microbialites: ancient analogues from the Miocene Duero basin, Spain. *Geol. Magazine*, **146**, 527-539.
- Sanz-Montero, M.E., Rodríguez-Aranda, J.P., García del Cura, M.A. (2009): Bioinduced precipitation of barite and celestite in dolomite microbialites: Examples from Miocene lacustrine sequences in the Madrid and Duero Basins, Spain. *Sedim. Geol.*, **222**, 138-148.
- Satterfield, C.L., Lowenstein, T.K., Vreeland, R.H., Rosenzweig, W.D., Powers, V. (2005): New evidence for 250 Ma age of halotolerant bacterium from a Permian salt crystal. *Geology*, **33**, 265-268.