

# Pautas de Disolución de Estromatolitos de Yeso en el Desierto de Atacama

/ JOAQUÍN CRIADO REYES (1), ÁNGELS CANALS SABATÉ (2), FERMÍN OTÁLORA MUÑOZ (1), JUAN MANUEL GARCÍA-RUIZ (1\*)

(1) Laboratorio de Estudios Cristalográficos, Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra UGR-CSIC, C/Av. de las Palmeras 4. 18100, Armilla, Granada (España)

(2) Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad de Barcelona, C/Martí i Franqués, s/n. 08028, Barcelona (España)

## INTRODUCCIÓN

En varios contextos evaporíticos, tanto fósiles como contemporáneos, se han descrito estructuras similares a estromatolitos, pero formadas de cristales de yeso en vez de por carbonatos. Ejemplos notables de estas formaciones son los estromatolitos de yeso mesiniense en Chipre o los que actualmente se forman en el Desierto de Atacama, particularmente en unas pozas hipersalinas de la región de Huatacondo, en el Salar de Llamara.

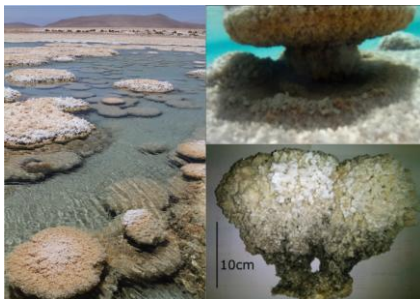


fig 1. Imágenes de varios estromatolitos de yeso del Salar de Llamara.

Los estromatolitos de carbonato son formaciones creadas por la deposición de partículas de carbonatos que se agregaron gracias a la acción de primigenias comunidades bacterianas. La principal diferencia entre los estromatolitos de carbonato y los de yeso es textural; mientras que los de carbonato están formados por microgranos detríticos, los de yeso están compuestos mayoritariamente de cristales centimétricos distribuidos de forma aproximadamente radial. El mecanismo de formación de los estromatolitos de carbonato ha sido estudiado de forma extensa (Awramik et al., 1976; Bissett et al., 2008) y, a pesar de algunas discrepancias, se acepta que son formaciones producidas por la acreción de capas sucesivas mediante el atrapamiento y cementación de

partículas sedimentarias en biopelículas de microorganismos. Existen varios estudios sobre los mecanismos de crecimiento de estromatolitos de yeso (Hardie y Eugster, 1971), pero todas se centran en estromatolitos fósiles con una morfología en domo y son de dudosa aplicación para los estromatolitos de Huatacondo, que poseen una morfología típica muy diferente de un domo (Fig. 1).

*El objetivo de este trabajo es el estudio de los mecanismos de formación de estromatolitos de yeso en medios evaporíticos actuales basado en observaciones de campo, análisis geoquímico de las aguas y experimentos de laboratorio. Los modelos resultantes pueden ser de aplicación a los estromatolitos fósiles (en particular del Mesiniense) para los que este tipo de estudios es imposible.*

## CONTEXTO HIDROQUÍMICO

Los puquios de Huatacondo son un grupo de cuatro piscinas naturales formadas por colapso de oquedades kársticas muy superficiales producidas por la disolución de conglomerados de yeso y anhidrita masiva presentes en la zona (Pueyo et al., 2001). Las piscinas resultantes (puquios) se alimentan de las aguas freáticas superficiales saturadas con respecto al yeso. Estas aguas circulan a través de las cuatro piscinas mientras su concentración cambia por evaporación del agua y precipitación de sales.

Los estudios existentes sobre el nivel de agua de los puquios (DICTUC, 2010) indican una variación periódica que depende del nivel freático de las aguas subterráneas (función de las precipitaciones en la Precordillera), y de la velocidad de evaporación que varía estacionalmente en función de la temperatura y de la intensidad del

viento (Garcés et al., 1996, López et al., 1999).

Las aguas tienen un pH ligeramente básico y una temperatura medida de unos 25°C en la superficie y entre 25 y 45°C el fondo de las pozas. Las medidas de salinidad muestran una diferencia de salinidad entre las aguas superficiales de las pozas con respecto a las del fondo, que puede llegar a ser el doble de la superficial. Esta diferencia de salinidad, y por tanto de densidad, define una haloclina, que debe variar estacionalmente debido al cambio de profundidad y composición de las aguas de las pozas.

## Hipótesis morfogénicas

Para discernir los posibles mecanismos implicados en la formación de los estromatolitos de yeso, es necesario considerar tanto los procesos biológicos (responsables principales de la formación de estromatolitos de carbonato) y los procesos abióticos, principalmente relacionadas con la evolución química de las aguas y la mezcla de aguas con diferente composición. En ambos casos será necesario considerar las implicaciones de estos procesos biológicos o abióticos sobre la sobresaturación con respecto al yeso, puesto que los estromatolitos se desarrollan por el crecimiento/disolución de los cristales centimétricos de yeso que los componen. Se han observado patrones de disolución en los cristales que forman los estromatolitos, pero se desconoce el mecanismo de la disolución.

Varias especies de microorganismos halófilos están presentes dentro de las pozas y en la costra de yeso que las rodea. En las pozas con menor salinidad crecen tapetes microbianos de hasta varios centímetros, compuestos de *Cyanothete sp.*, *Synechococcus sp.*,

**palabras clave:** Estromatolito, Yeso, Atacama, Estratificación, Disolución.

**key words:** Stromatolite, Gypsum, Atacama, Stratification, Dissolution.

*Microcoleus sp.*, y bacterias reductoras de sulfatos (SRB) entre otras. Estos tapetes microbianos no se desarrollan en las pozas cuya concentración supera los 2.5 M en NaCl; en estas condiciones solo crecen microorganismos extremófilos como las bacterias purpuras del azufre (Ollivier, 1994). Se pueden encontrar comunidades de bacterias en la parte disuelta de los estromatolitos (zonas oscuras en la Fig. 1), y estas bacterias podrían estar involucradas en el proceso de disolución. Sin embargo, estas bacterias necesitan sulfuro para obtener energía mediante una reacción de oxidación. El sulfuro es el producto de la reducción del sulfato mediante las SBR pero las condiciones de salinidad limitan su actividad. Por este motivo, es más probable que estas comunidades bacterianas sean simplemente oportunistas que crecen en las zonas de sombra donde la incidencia de luz ultravioleta y la disponibilidad de O<sub>2</sub> son menores (Rasuk et al., 2014).

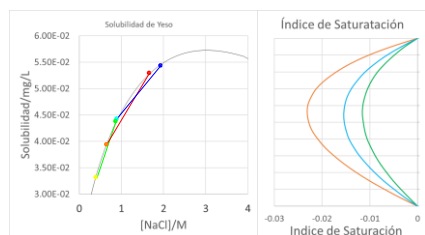


fig 2. Solubilidad de yeso vs salinidad (izda.). Índice de saturación de yeso vs proporción de mezcla entre aguas (dcha.)

La disolución de los cristales de yeso se produce a una profundidad característica (Fig. 1). Puesto que la solubilidad del yeso depende de la salinidad, y sabemos que existe una estratificación en temperatura y salinidad en las pozas, es necesario investigar si este gradiente composicional puede ser el responsable de la disolución de los estromatolitos. La figura 2, línea continua, muestra esta dependencia. En esta figura hemos representado la salinidad en la superficie y el fondo de 3 pozas (puntos coloreados), así como las composiciones obtenidas mediante mezcla de estas aguas (segmentos entre puntos). Es evidente que, mezclando disoluciones saturadas en yeso con distinta salinidad, es posible producir una disolución subsaturada, con una subsaturación máxima para una determinada proporción en la mezcla, es decir, profundidad.

Para comprobar si este mecanismo de

generación de disoluciones subsaturadas puede ser el responsable de la morfología de los estromatolitos, hemos realizado experimentos de laboratorio en los que observa el comportamiento de un cristal de yeso en equilibrio con dos disoluciones con diferente salinidad en la zona donde estas dos disoluciones se mezclan (Fig. 3). Estos experimentos consisten en hacer pasar estas disoluciones con un flujo laminar para evitar la mezcla por turbulencias, el único mecanismo de mezcla es la difusión de los iones y moléculas a través de la interfase creada entre las dos disoluciones. Se evidencia la disolución del cristal de yeso en las inmediaciones del haloclina. Esto demuestra experimentalmente que la disolución localizada de los cristales de yeso de los estromatolitos es posible por mezcla de las aguas con diferente salinidad observadas en la superficie y el fondo de las pozas.

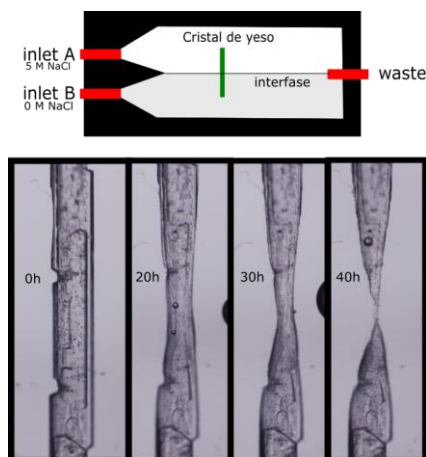


fig 3. Esquema del dispositivo de formación de haloclina (arriba). Evolución de la disolución de yeso a diferentes tiempos.

## CONCLUSIONES

Los estromatolitos de yeso que actualmente se forman en pozas salinas del desierto de Atacama se forman por cristalización de yeso a partir de disoluciones inicialmente saturadas que sufren una evaporación parcial al emerger en los puquios. Esto da lugar a la formación de estructuras en forma de domo. Las estructuras estromatolíticas requieren, además de una disolución selectiva producida por la mezcla de aguas de diferente salinidad procedentes de la superficie y del fondo de las pozas. Esta mezcla produce una disolución subsaturada con respecto al yeso. Para que este proceso ocurra y, por tanto para que se desarrollen estromatolitos de yeso es necesaria la

existencia de una estratificación en salinidad (haloclina) de la piscina donde se produce la precipitación del yeso.

## AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto GYGEOL (BES-2014-069790) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

## REFERENCIAS

- Awramik, S.M., Margulis, L., Barghoorn, E.S. (1976): *Evolutionary processes in the formation of stromatolites. Develop. Sedim.*, **20**, 1327-1329.
- Bissett A., de Beer D., Schoon R., Shiraishi F., Reimer A. and Arp G. (2008): *Microbial mediation of stromatolite formation in karst-water creeks. Limnol. Oceanogr.*, **53**, 1159-1168.
- Hardie L.A. & Eugster, H.P. (1971): *The depositional environment of marine evaporites: a case for shallow, clastic accumulation. Sedimentology*, **16**, 187-220.
- DICTUC (2010): *Diseño de las medidas de la mitigación en los puquios del Salar de Llamara. Informe interno de SQM*, 5-36.
- Garcés I., López, P.L., Auqué, L.F., Chong G., Vallès, V., Gimeno, M.J. (1996): *Características geoquímicas generales del sistema salino del Salar de Llamara (Chile). Estud. Geol.*, **52**, 23-35.
- López, P.L., Garcés, I., Auqué, L.F., Chong G., (1999): *Características geoquímicas y pautas de evolución de las salmueras superficiales del Salar de Llamara. Rev. Geol. Chile*, **26**, 89-108.
- Pueyo, J.J., Chong, G., Jensen, A. (2001): *Neogen evaporites in desert volcanic environments: Atacama Desert, northern Chile. Sedimentology*, **48**, 1411-1431.
- Ollivier, B., Caumette, P., Garcia, J.L., Mah, R.A. (1994): *Anaerobic bacteria from hypersaline environments. Microbiol. Rev.*, **58**, 27-38.
- Rasuk, M.C., Kurth, D., Flores, M.R., Contreras, M., Novoa F., Poire, D., Farias, M.E. (2014): *Microbial characterization of microbial ecosystems associated to evaporites domes of gypsum in Salar de Llamara in Atacama Desert. Microbiol Ecol.*, **68**, 483-494.