

Estructuras microbianas en la Laguna de La Playa (Bujaraloz, NE España)

Microbial structures in La Playa playa-lake (Bujaraloz, NE Spain)

Inés Membrado Royo y Josep Gisbert Aguilar^{1,*}

¹ Dpto. de Ciencias de la Tierra. Área de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 19, Zaragoza.

gisbert@unizar.es, imembrado@unizar.es

*Corresponding author

ABSTRACT

We describe the presence of microbial mats in La Playa, whose presence influences the formation of certain structures that appear on its surface. These structures, known as petees, can be classified according to their morphology and origin. They have been classified into three different types and can be formed by the action of the wind on the poorly developed microbial mats (alpha-petees), by the joint action of the accumulation of gases and evaporitic precipitation on the mats (beta-petees) and by the lateral expansion produced by crystalline growth (gamma-petees). The petees are distributed according to the variations in the water level that floods the playa lake in the rainy seasons. In such way, beta-petees predominate in the NW, where the water sheet evaporates earlier, and alpha-petees predominate in the SE, where the water accumulates for longer periods of time. Gamma-petees are located in the intermediate zone, where the presence of the water sheet is more variable. During the dry seasons, the playa lake dries out completely, leaving the microbial mat exposed to evaporitic precipitation processes.

Key-words: Microbial mats, petees, Bujaraloz, La Playa.

RESUMEN

Describimos la presencia de matas microbianas en la Laguna de La Playa que condicionan la formación de determinadas estructuras que aparecen sobre su superficie. Estas estructuras, denominadas petees, se pueden clasificar en función de su morfología y origen. Así, se han clasificado en tres tipos diferentes y pueden estar formadas por la acción del viento sobre las matas microbianas poco desarrolladas (alpha-petees), por la acción conjunta de la acumulación de gases y la precipitación evaporítica sobre las matas (beta-petees) y por la expansión lateral producida por el crecimiento cristalino (gamma-petees). Los petees se distribuyen en función de las variaciones en el nivel del agua que inunda la salada en las estaciones lluviosas. De tal manera que en la zona NO, donde la lámina de agua se evapora antes, predominan los beta-petees y en la zona SE, donde el agua se acumula durante períodos de tiempo más prolongados, predominan los alpha-petees. Los gamma-petees se sitúan en la zona intermedia, donde la presencia de la lámina de agua es más variable. Durante las estaciones secas, la salada se seca por completo, dejando la mata microbiana expuesta a los procesos de precipitación evaporítica.

Palabras clave: Matas microbianas, petees, Bujaraloz, La Playa.

Geogaceta, 75 (2024), 15-18

<https://doi.org/10.55407/geogaceta100779>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 5/07/2023

Fecha de revisión: 24/10/2023

Fecha de aceptación: 24/11/2023

Introducción y contexto geológico

La zona endorreica de Bujaraloz-Sástago se compone por múltiples depresiones situadas en el Sector Central de la Cuenca del Ebro (Gutiérrez y Gutiérrez, 2014; García Vera y Castañeda del Álamo, 2005). La mayoría de las depresiones presentan una orientación preferente NO-SE ya que se encuentran ligadas a elementos estructurales (Solà *et al.*, 1992).

La salada de La Playa es la más grande de todas las depresiones y cuenta con una superficie de 193 hectáreas (García Vera y Castañeda del Álamo, 2005). Se sitúa sobre la Unidad Bujaraloz-Sariñena y está rellena por depósitos holocenos de arcillas y limos con sales (Ramírez Merino *et al.*, 1991). Las precipitaciones de esta zona muestran un carácter bimodal,

con picos de precipitación en primavera y otoño, separados por al menos un mes seco (Rodó *et al.*, 1997). Como consecuencia de las lluvias, la salada se encharca de forma estacional provocando la precipitación de evaporitas durante su secado. Los iones necesarios para la precipitación provienen de la Unidad Yesífera Intermedia descrita por Salvany *et al.* (1995) que se sitúa bajo los sedimentos holocenos y son transportados hasta la superficie a través de las células de flujo de las aguas subterráneas (Salvany *et al.*, 1995). Además de las precipitaciones, la salada está afectada por la acción del viento típico de la zona, conocido localmente como Cierzo, que suele presentar dirección ONO con velocidades medias de 8,4 m/s (Ortega *et al.*, 2022).

Varios autores han descrito la pre-

sencia de matas microbianas o algales (Gutiérrez y Gutiérrez, 2014; García Vera y Castañeda del Álamo, 2005) sobre la superficie de las saladas, pero no se ha encontrado ninguna referencia sobre la presencia de estructuras relacionadas con la mismas. El objetivo de este trabajo es describir este tipo de estructuras tras su observación en la superficie de La Playa, así como determinar su relación con las inundaciones producidas en la salada y servir como precedente para futuras investigaciones más detalladas.

Antecedentes

En ambientes evaporíticos la actividad microbiana coexiste con los procesos de precipitación, lo que produce estructuras originadas por la interacción

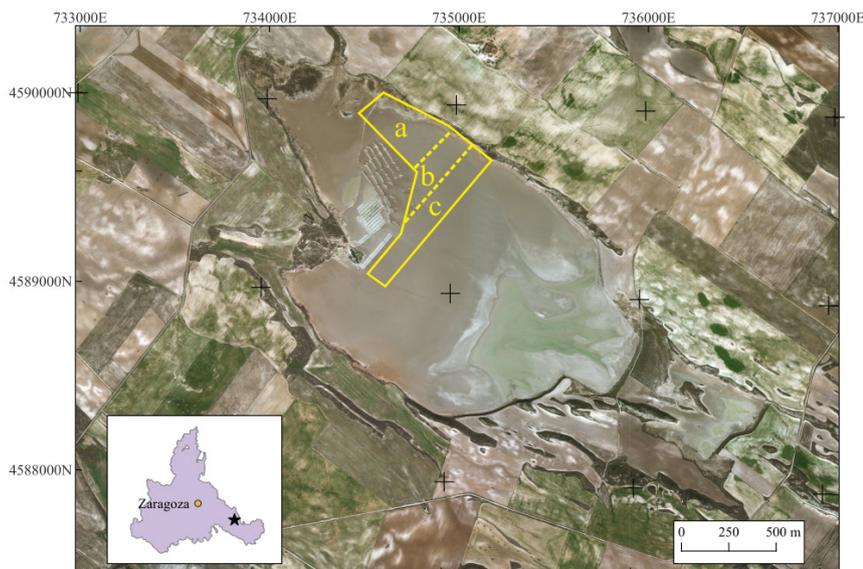


Fig. 1.- Vista aérea de La Playa y su localización en la provincia de Zaragoza. El polígono amarillo indica el área de estudio y las zonas donde se observaron los beta-petees (a), los alpha-petees (b) y los gamma-petees (c).

Fig. 1.- Aerial view of La Playa and its location in the province of Zaragoza. The yellow polygon indicates the study area and the places where the beta-petees (a), alpha-petees (b) and gamma-petees were observed.

entre ambos factores (Aref *et al.*, 2014). En general, la superficie de las matas microbianas actúa como un soporte sobre el que precipitan los cristales. Conforme los cristales crecen y cambian de volumen, este soporte permite que se formen estructuras de cabalgamiento (*overthrust structures*) redondeadas cuyo crecimiento se ve favorecido por la actividad microbiana y la oxidación de la materia orgánica, ya que producen como resultado gases que quedan atrapados entre las matas y el sedimento, aumentando el tamaño de las estructuras (Schieber *et al.*, 2007; Reineck *et al.*, 1990). Para referirse a las estructuras de cabalgamiento de ambientes evaporíticos cuya formación está influenciada por la presencia de matas microbianas, se utiliza el término *petee*, definido por Gavish *et al.* en 1985. Estas estructuras se describieron y clasificaron como alfa, beta y gamma-petees por Reineck *et al.* en 1990.

Alpha-petees

Dentro de esta categoría se observan pliegues estrechos con recorrido de hasta 1 m. Su altura no sobrepasa el centímetro y aparecen de forma semiparalela, aunque un mismo pliegue puede bifurcarse y cambiar de dirección.

Estas estructuras se forman en los primeros estadios del desarrollo de las matas, cuando están formadas por una única capa microbiana que se dispone sobre la superficie. La acción del viento

empuja la lámina de agua que se sitúa sobre la mata, que al estar situada sobre sedimentos arcillosos no está integrada con ellos y se desliza formando arrugas (Schieber *et al.*, 2007).

Una vez que el agua se retira por completo, las arrugas formadas quedan expuestas y se consolidan a través de procesos de precipitación evaporítica, formando los alpha-petees.

Transición alpha/beta-petees y beta-petees

Dentro de esta clasificación entran dos tipos de estructuras, los domos y los pliegues, que pueden ser considerados como alpha-petees cuando no presentan fracturas en su superficie y no han sido afectadas por procesos evaporíticos.

Los domos se caracterizan por presentar una morfología casi semiesférica, mayoritariamente simétrica, con diámetros de entre 3 y 10 cm, superficie rugosa y 5 cm de altura como máximo, mientras que los pliegues son estructuras cilíndricas de longitud de hasta 30 cm, anchuras de 1-2 cm y que pueden presentar repliegues muy pronunciados. Ambas se encuentran rellenas de gases y en ocasiones presentan fracturas en su superficie. Estas fracturas pueden situarse en la parte más alta de las estructuras (cresta de los pliegues o la cúpula de los domos) u orientadas hacia el ONO. En épocas secas, estas estructuras se ven afectadas por la

precipitación evaporítica y la acción eólica propias de la zona, provocando que presenten una textura rugosa.

Gamma-petees

Este tipo de petees son los más similares a los tepees. Se trata de pliegues de pequeño tamaño que crecen delimitando formas poligonales, formados por la expansión lateral debida al crecimiento cristalino de los minerales evaporíticos incrustados en las matas.

El hecho de que los petees presenten formas redondeadas se debe a la resistencia mecánica aportada por las matas microbianas y es lo que les diferencia de los tepees, que presentan lados más rectos.

Metodología

El 28/04/2023 se realizó una visita a La Playa, cuando la superficie estaba seca pero el sedimento subsuperficial permanecía húmedo. Se tomaron dos muestras de la superficie de la salada; BJ-3, donde *a priori* sólo se observaba sedimento arcilloso y LB-1, formada por sedimento arcilloso y evaporitas. La muestra BJ-3 fue estudiada bajo un microscopio digital Dino-Lite con una ampliación de 50X, mientras que sobre la muestra LB-1 se realizó difracción de rayos X.

En la salada se observaron diferentes tipos de estructuras localizadas en la zona delimitada por el polígono amarillo de la Figura 1, que se clasificaron de acuerdo a lo propuesto por Reineck *et al.* (1990).

Estudio de las muestras

Al observar la muestra BJ-3 bajo la lupa se observaron laminaciones microbianas paralelas que se corresponden



Fig. 2.- Detalle del perfil de la muestra BJ-3 donde se observan matas microbianas. Las flechas indican las capas de la mata microbiana.

Fig. 2.- Detail of a cross-section of the sample BJ-3 where microbial mats are observed. Arrows indicate the layer of the microbial mat.

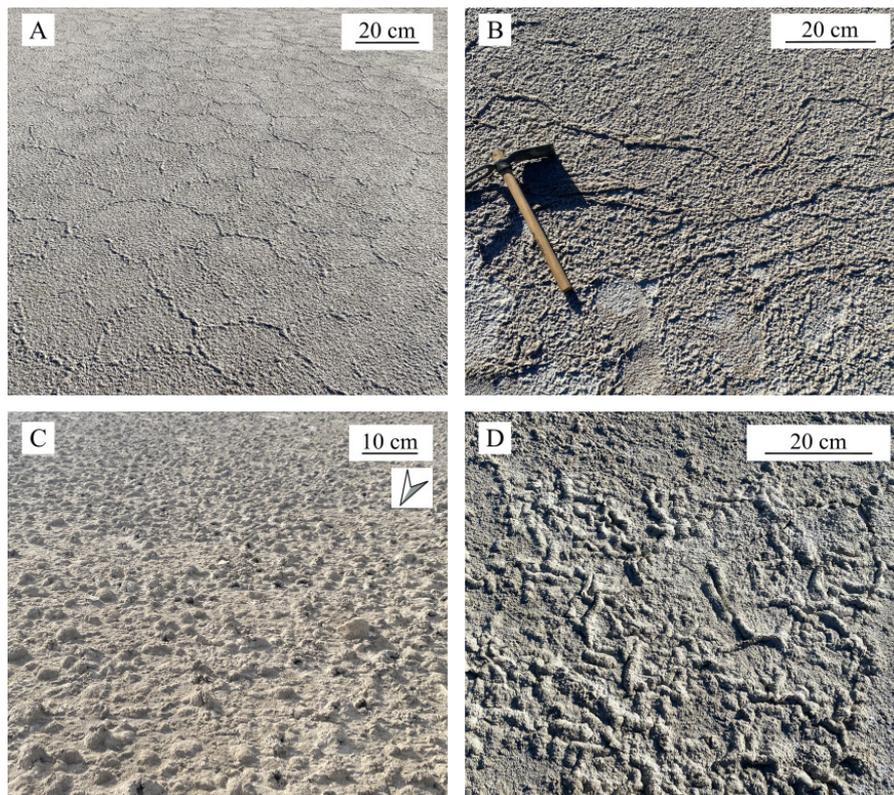


Fig. 3.- Petees observados en la salada La Playa. A) Gamma-petees describiendo estructuras poligonales. B) Alpha-petees. C) Extensión cubierta por beta petees (domos), las fracturas de los domos observadas en los laterales tienen dirección ONO congruentes con mayor desecación en la dirección del viento. La flecha de la esquina superior derecha indica la posición del N. D) Beta-petees con predominancia de pliegues.

Fig. 3.- Observed petees in La Playa lake. A) Gamma-petees describing polygonal structures. B) Alpha-petees. C) Extension covered by beta-tepees (domes), the fractures located on the sides of the domes have a WNW direction, consistent with a higher desiccation according the wind direction. The arrow located on the top right corner points North. D) Beta-tepees with predominance of folds.

con el desarrollo de matas colonizando el sedimento (Figura 2). Los resultados de la difracción de rayos X (roca total) de la muestra LB-1 se muestran en la Tabla I, donde se observa que el yeso primario, la halita y la muscovita son los minerales principales.

Estudio de las estructuras

Las estructuras más abundantes son los domos. Generalmente aparecen cubriendo grandes extensiones dentro de la zona a de la Figura 1 y localmente transicionan a pliegues, sin que haya podido identificar la pauta de cambio. En la salada, ambas estructuras se encuentran muy afectadas por los procesos evaporíticos, y en múltiples ocasiones presentan fracturas en su superficie, por lo tanto, se identificaron como beta-petees (Figuras 3C y 3D).

En el extremo SE (zonas b y c de la Figura 1) se observan los gamma y alfa-petees (Figuras 3A y 3B) de forma mucho menos abundante. Estas morfologías se

presentan en la transición hacia una superficie sedimentaria plana, donde las únicas deformaciones detectadas fueron huellas de zancudas, que coincide con las zonas donde la lámina de agua superficial permaneció por más tiempo.

Discusión

El crecimiento de las matas microbianas está intrínsecamente relacionado con el patrón hidrodinámico del lugar en el que se desarrollan (Noffke, 2010). Para el caso de La Playa, la aparición de una lámina de agua sobre su superficie depende de las lluvias de los últimos 180 días (Castañeda y Herrero, 2005). Tras las lluvias la laguna se inunda, pero por el clima semiárido se deseca rápidamente, empezando por la zona NO y desecándose progresivamente hacia el SE. La superficie del sedimento queda expuesta hasta que se vuelve a producir otro evento lluvioso en un proceso cíclico, en el que durante los episodios secos queda expuesta a la acción eólica.

Fase mineral	Contenido (%)
Yeso	36
Halita	11.3
Muscovita	34
Calcita	8.2
Dolomita	3.3
Cuarzo	1.2
Bloedita	5.6

Tabla I.- Resultado de la difracción de rayos X para la muestra LB-1.

Table I.- X-ray diffraction results for LB-1 sample.

Según los registros del último año (desde Enero de 2022 hasta Marzo de 2023; estación meteorológica Bujaraloz-Petris, localizada a 3,7 km al NE de la salada), desde el 1 de Enero hasta la visita (28/4) hubo un total de 136,7 mm de precipitación de las cuales el 95% cayeron antes del 25/2 y posteriormente sólo hubo dos precipitaciones menores el 9/3 y el 1/4. En ese período de tiempo el cierzo sopló 7 días, 4 de ellos en el mes de Abril (6/4, 8/4, 21/4 y 28/4) en los que alcanzó rachas máximas de 13,3 y 9,7 m/s (datos de la estación meteorológica Zaragoza-Aeropuerto).

Según estos datos, durante invierno se produjeron la mayoría de las precipitaciones, lo que provocó variaciones en la lámina de agua que inundaba la salada y que a su vez afectaron a la actividad microbiana. De tal manera que durante los períodos en los que la superficie estuvo descubierta la actividad microbiana se mantuvo activa en las zonas húmedas subsuperficiales, liberando gases por debajo de la mata microbiana superficial y provocando el levantamiento de los domos y los pliegues (Gutiérrez y Gutiérrez, 2014).

Este fin invierno-comienzo primavera (2023), al reducirse las precipitaciones considerablemente, la zona de estudio quedó expuesta durante períodos de tiempo más prolongados, lo que produjo el secado de las matas microbianas de la superficie y la formación de los minerales evaporíticos propios de la salada; yeso, halita y muscovita. Durante el secado se produjeron además las fracturas observadas en la superficie de los petees, debidas a la acción eólica y a la formación de las evaporitas. Las fracturas de origen eólico se producen en los laterales y tienen una dirección preferente ONO mientras que las fracturas que se producen en la cresta de los pliegues y los domos están re-

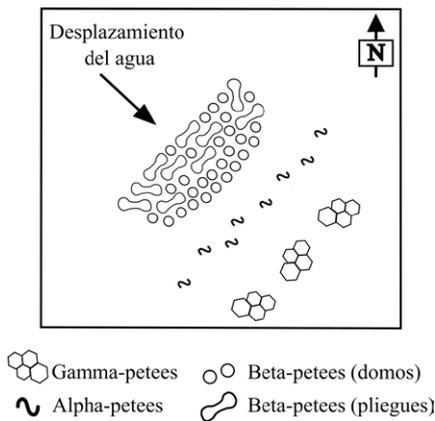


Fig. 4.- Esquema de la distribución de las estructuras en la zona de estudio.

Fig. 4.- Diagram of the structure's distribution of the study area.

lacionadas con los cambios volumétricos producidos por la deshidratación de las evaporitas (Aref *et al.*, 2014; Reineck *et al.*, 1990).

La localización de las estructuras observadas en la zona de estudio es un reflejo del movimiento de lámina de agua durante las inundaciones en la salada (Figura 4), de tal manera que en la zona donde esta se retiró primero predominan los beta-petees (zona NO) y en aquella donde permaneció por más tiempo se produjeron los gamma-petees (SE). Así, los alpha-petees se sitúan entre las otras estructuras, mostrando un área de transición entre ambas, donde el nivel del agua era más variable durante el invierno.

Conclusiones

Los procesos evaporíticos y la actividad microbiana relacionada con la presencia de matas microbianas actúan en conjunto para formar estructuras se-

dimentarias sobre su superficie. Estas estructuras se han clasificado como diferentes tipos de petees y su distribución en la salada depende de la alternancia entre los procesos de inundación y secado de La Playa en las estaciones lluviosas.

Contribución de los autores

Gisbert, J.J., observó las estructuras y se encargó de la coordinación y revisión del manuscrito. Membrado, I. es responsable de la redacción del manuscrito. Los estudios de campo y la interpretación y clasificación de las estructuras se han realizado de forma conjunta.

Agradecimientos

La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro. Los autores agradecen las aportaciones realizadas por los correctores anónimos.

Referencias

- Aref, M.A.M., Basyoni, M.H. and Bachmann, G.H. (2014) *Facies*, 60, 371-388. <https://doi.org/f5vqwx>
- Castañeda, C. y Herrero, J. (2005) *Journal of Hydrology*, 310, 95-110. <https://doi.org/cmh9dc>
- García Vera, M.A. and Castañeda del Álamo, C. (2005) *Naturaleza Aragonesa*, 14, 52-58.
- Gavish, E., Krumbein, W.E. and Halevy, J. (1985) In: *Hypersaline Ecosystems* (G. M. Friedman y W.E. Krumbein, Eds.). Springer-Verlag, 186-217.
- Gutiérrez, F. and Gutiérrez, M. (2014)

In: *Landscapes and Landforms of Spain* (F. Gutiérrez y M. Gutiérrez, Eds.) Springer, 145- 153.

<https://doi.org/kf54>

Noffke, N. (2010) In: *Geobiology: Microbial Mats in Sandy Deposits from the Archean Era to Today*. Springer.

<https://doi.org/d499nj>

Ortega, M., Sánchez, E., Gutiérrez, C., Molina, M.A. and López-Franca, N. (2022) *International Journal of Climatology*, 43, 1016-1033.

<https://doi.org/kf55>

Ramírez Merino, J.I., Simón, J.L., González, J.C., García Villar, A. y Hernández Samaniego, A. (1991). *Mapa Geológico de España 1:50000, hoja n°413 (Gelsa) y memoria*. IGME. 78 p.

Reineck, H-E., Gerdes, G., Claes, M., Dunajtschik, K., Riege, H. and Krumbein, W.E. (1990) In: *Sediments and Environmental Geochemistry* (D. Heiling, P. Rothe, U. Förstner y P. Stoffers, Eds.). Springer-Verlag, 254-276.

Rodó, X., Baert, E. and Comín, F.A., (1997). *Climate Dynamics* 13, 275-284.

Salvany, J.M., García Vera, M.A. y Samper, J. (1995) *Acta Geológica Hispánica*, 30, 31-50.

Schieber, J., Bose, P.K., Eriksson, P.G., Banerjee, S., Sarkar, S., Altermann, W. and Catuneanu, O. (2007) *Atlases in Geoscience 2. Atlas of Microbial Mat Features Preserved within the Siliciclastic Rock Record*. Elsevier, Amsterdam, 312p.

Solà, J., Costa, J.M., Olivé, A., Simón, J.L., Arlegui, L., Liesa, C., González Llamazares, J.C., García Villar, A. y Hernández Samaniego, A. (1992). *Mapa Geológico de España 1:50000, hoja n°414 (Bujaraloz) y memoria*. IGME. 76 p.