

# Cementación carbonatada cianobacteriana en un caño mareal del Parque Natural de la Bahía de Cádiz

## *Cyanobacterial calcite cementation in a tidal channel of the Bay of Cádiz Natural park*

F.J. Pérez-Outeiral<sup>1</sup>, M.P. Mata<sup>2</sup>, E. García Robledo<sup>1</sup> y A. Corzo<sup>1</sup>

1 Depto. Biología. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz. Campus Rio San Pedro, s/n, 11510 Cádiz

2 Depto. Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz. Campus Rio San Pedro, s/n, 11510 Cádiz

**Resumen:** En este trabajo se han estudiado las concreciones carbonatadas de un caño intermareal cercano a una laguna hipersalina dentro del Parque Natural de la Bahía de Cádiz. Se ha planteado un estudio que engloba tanto el estudio mineralógico y textural de las costras y concreciones del caño, como un estudio que consiste en el muestreo de un periodo mensual, más un ciclo mareal completo, en base a cuatro puntos de muestreo midiendo parámetros físico-químicos del agua y medidas con microelectrodos de O<sub>2</sub> y pH en el sedimento, así como el estudio de la cementación de portas colocados en el lecho del caño. De la información resultante de la composición de las costras y del sedimento, como de la obtenida mediante los microelectrodos de O<sub>2</sub> y pH, se ve claramente como la actividad fotosintética producida por un biofilm fotosintético constituido principalmente por cianobacterias y diatomeas y situado en la parte superior del sedimento es la que parece controlar el proceso de precipitación de calcita en estos sedimentos intermareales. Este estudio demuestra como la actividad fotosintética de la comunidad microbiana del sedimento puede ser un factor importante en la cementación o formación de beachrocks en ambientes intermareales.

**Palabras clave:** calcificación, intermareal, cianobacteria, beachrock, Bahía de Cádiz.

**Abstract:** A study of the carbonated crust located in a tidal channel close to a hypersaline tidal lagoon of the Nature area of the Bay of Cádiz has been done. A textural, mineralogical, and an experimental study, including O<sub>2</sub> and pH measurements have been conducted during a period of a month and a tidal cycle in four different locations along the channel. The results of the mineralogical and textural study and those from the microelectrodes, show how the photosynthetic activity of biofilms dominated by cyanobacteria and diatoms growing in the sediment surface seems to control the calcite precipitation on the intertidal sediments. Although bacterial remains are rarely preserved in beachrocks, this study shows how bacterial activity should be taken into account in beachrock development in coastal environments.

**Key words:** Calcification, intertidal, cyanobacteria, beachrock, Bay of Cádiz.

## INTRODUCCIÓN

La precipitación o cementación de carbonato en zonas intermareales y playas da lugar a lo que se denomina *beachrocks* o playas endurecidas. Se ha descrito en muchos lugares del mundo aunque parece existir un control latitudinal (35°N-35°S), siendo frecuentes en el mar Mediterráneo y en el Caribe (Vousdoukas *et al.*, 2007). En España se han descrito cementaciones similares en Galicia (Rey *et al.*, 2004), Canarias (Calvet *et al.*, 2003) y algunas playas del Levante. Dentro de los procesos que pueden cementar los sedimentos de zonas intermareales, está la actividad microbiana. Neumeier (1998) demostró la importancia del factor biológico en la génesis de las *beachrocks* en base a un experimento de laboratorio que reproducía esas estructuras en presencia de organismos que inducían la precipitación de cristales de CaCO<sub>3</sub> de varias formas y tamaños (1 y 20 µm). En este trabajo se ha estudiado un proceso de cementación por carbonatos que se está produciendo en la actualidad en una parte del caño mareal que une al río San Pedro con unas

lagunas de interés científico en el Parque Natural de la Bahía de Cádiz. El objetivo es determinar el mecanismo de su formación y el papel que tiene los microorganismos en la precipitación de carbonatos en ambientes intermareales

## SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El estudio se centra en un caño mareal artificial ubicado dentro del Parque Natural Bahía de Cádiz, el cual une el río San Pedro con dos lagunas mareales hipersalinas (Fig.1), que ocupan una superficie de 3 Ha y son: la Laguna Proximal y la Laguna Distal (García de Lomas *et al.*, 2005). La extensión del caño mareal es de aproximadamente unos 220 m, de tipo sinuoso en su contacto con la laguna proximal y prácticamente rectilíneo en el resto. Presenta un régimen mareal de tipo semidiurno, aunque existe una pequeña desigualdad diurna, por lo que presenta dos pleamares y dos bajamares. El medio se ubica sobre una depresión mareal de origen antrópico, como consecuencia de una

antigua excavación para la extracción de áridos (Fernández-Palacios *et al.*, 1988).



FIGURA 1. Situación de los puntos de muestreo y control (R,X,C y L) a lo largo del caño intermareal que alimenta las lagunas proximal y distal.

## METODOLOGÍA

Para determinar el origen de este proceso de cementación se ha planteado un estudio que engloba tanto el estudio de las costras y concreciones fósiles del caño, como un estudio que consiste en el muestreo de un periodo mensual, más un ciclo mareal completo, en base a cuatro puntos de muestreo (Fig.1). Se ha monitorizado el proceso de precipitación de carbonato mediante la colocación y estudio de portas de vidrio durante dos meses, así como la determinación de las variaciones físico-químicas del agua en esa parte del caño. Así mismo se han realizado perfiles verticales de oxígeno y pH, mediante microelectrodos en el sedimento del caño y en sus paredes siguiendo el mismo sistema realizado por García de Lomas *et al.* (2005). En los precipitados de los portas y en las muestras del fondo y bordes del caño se ha determinado la mineralogía y textura de las muestras por difracción de Rayos X y microscopía óptica y electrónica de barrido.

## RESULTADOS

Las muestras presentan diferentes aspectos, tanto pequeñas placas endurecidas que cubren gran parte del caño, como placas de tamaño decimétrico y poco espesor (Fig. 2). El fondo del caño está recubierto de fragmentos de varios tamaños de estas concreciones que se reparten irregularmente por diferentes zonas hasta las cercanías de las lagunas hipersalinas. Tanto las paredes del caño como el sedimento mas arenoso que existe en sus bordes están colonizados por una comunidad microbiana formada principalmente por cianobacterias filamentosas y diatomeas con actividad fotosintética.

El experimento de instalación de portas en diferentes puntos del caño demostró que estos fueron colonizados

rápidamente por el mismo tipo de organismos que aparecen en los bordes del caño.



FIGURA 2. Aspecto de las costras y cementaciones del caño intermareal.

En las imágenes de microscopía electrónica de barrido se pudieron observar cristales autígenicos de calcita euhédrica con una distribución de tamaños uniforme y del orden de la micra sobre los filamentos cianobacterianos y los exopolímeros (Fig.3). La densidad de calcita aumentaba a medida que pasaron los días de muestreo y control. De estas imágenes se deduce que la formación de calcita parece estar directamente relacionada con la presencia de estas comunidades cianobacterianas. Por el contrario las muestras mas endurecidas situadas en el lecho del caño tienen una textura ligeramente diferente, mostrando principalmente mayor tamaño y variedad de texturas los cristales de calcita.

Los resultados obtenidos con las medidas efectuadas con microelectrodos de  $O_2$  y pH en los sedimentos de los márgenes del caño, muestran un nivel de actividad fotosintética considerable y por tanto diferencias importantes en la distribución de oxígeno en el sedimento entre las condiciones de luz y oscuridad. En el perfil de luz se observa que al penetrar en el sedimento aumenta considerablemente la concentración de  $O_2$ , como consecuencia de la elevada actividad fotosintética. Al profundizar en el sedimento, comienzan a dominar los procesos de respiración de la

materia orgánica, por parte de heterótrofos aeróbicos, consumiendo todo el oxígeno presente en el sedimento, de modo que por debajo de 3 mm ya se dan condiciones anóxicas. En oscuridad, la profundidad de penetración del O<sub>2</sub> fue mucho menor (aprox. 0.5 mm).

En el sedimento arenoso debido a su mayor porosidad la penetración del O<sub>2</sub> fue mucho mayor hasta superar los 16 mm en un caso. En las muestras de sedimento arenoso se observa un incremento rápido del pH al aumentar la profundidad en la zona fótica del sedimento hasta alcanzar valores cercanos a 9.

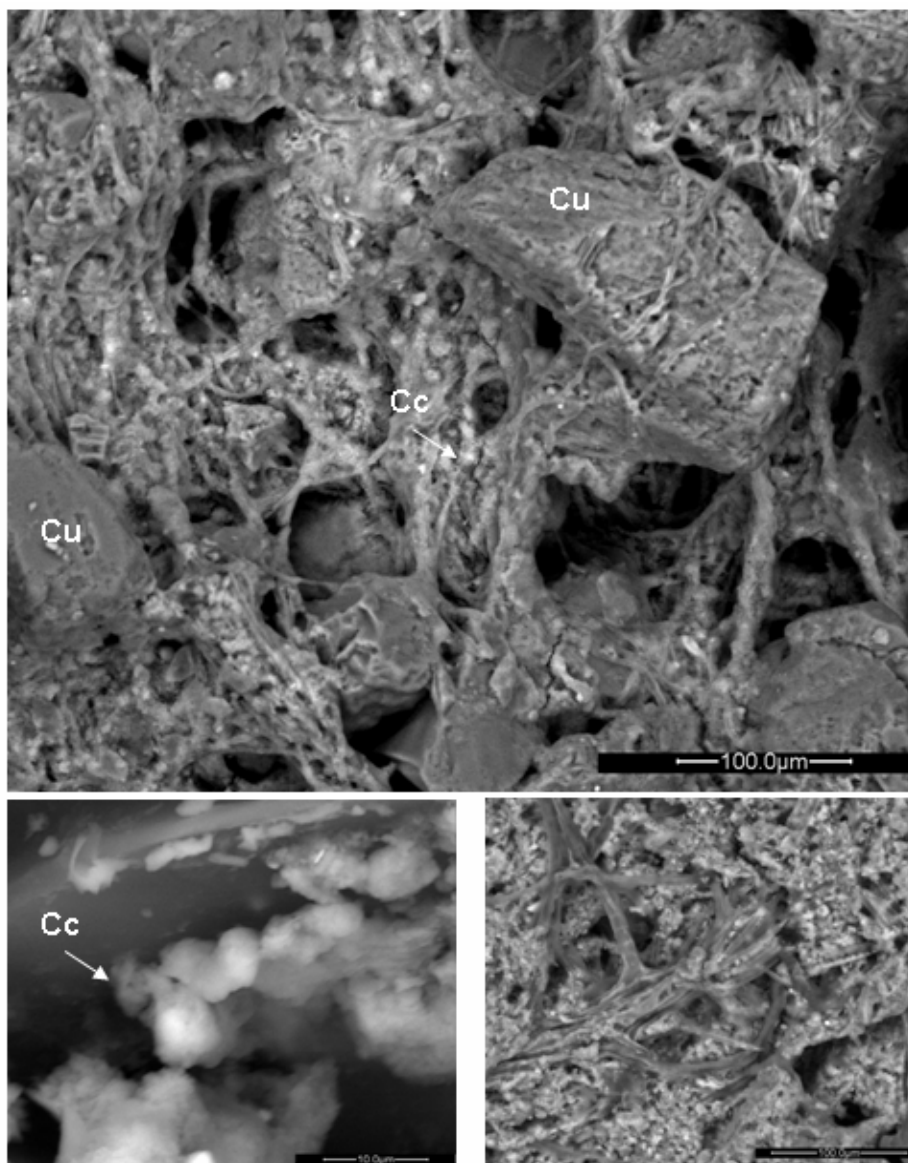


FIGURA 3. Imágenes de microscopía electrónica de barrido en modo de electrones retrodispersados: arriba, cianobacterias tapizadas por carbonatos (Cc), junto con la presencia de sustancias extracelulares poliméricas que rodean granos de cuarzo (Cu). Abajo: detalles de cristales de carbonatos (5μm) y filamentos con cristales de calcita.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Acoplando la información resultante de las imágenes de microscopía electrónica de barrido del sedimento de las paredes del caño y la obtenida mediante los microelectrodos de O<sub>2</sub> (Fig. 4) se ve claramente como la actividad fotosintética está restringida a la capa superior del sedimento, densamente ocupada por un biofilm fotosintético constituido principalmente por cianobacterias y diatomeas. El proceso de cementación de calcita coincide con esa parte del perfil donde esta el biofilm.

El incremento de pH asociado a la actividad fotosintética es un hecho bien conocido y su implicación en la precipitación de carbonatos ha sido previamente estudiada en muchos sistemas distintos (McConnaughey y Whelan 1997) y ha sido repetidamente citado en la bibliografía como mecanismo principal de cementación en relación con las cianobacterias (Reid *et al.*, 2000; Riding, 2006).

Las diferencias de grosor entre las distintas costras encontradas en el caño podría estar relacionada con la diferente extensión que presenta en profundidad la capa fotosintética del sedimento en función de su porosidad,



es decir del contenido relativo en arena. En etapas posteriores al desarrollo de estas comunidades, estas costras caerían sobre el caño donde podrían producirse procesos de diagénesis y consolidación de las cementaciones dando lugar a las concreciones fósiles encontradas en el lecho del caño (Fig. 2). Un gran número de estas estructuras se encuentran repartidas a lo largo del caño, lo cual puede deberse a procesos de excavación generados por el paso del agua y su redistribución con las corrientes de marea.

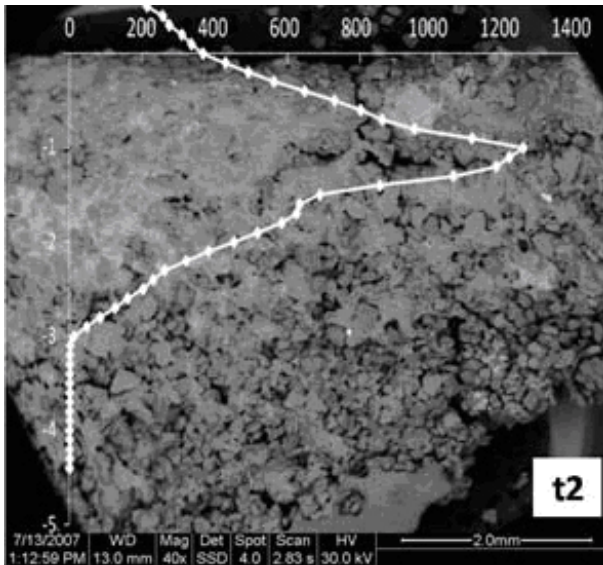


FIGURA 4. Perfiles de  $O_2$  acoplados a imágenes tomadas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). Escala vertical en milímetros.

En este estudio se demuestra que las cementaciones con una fuerte influencia de la actividad biológica pueden ser frecuentes en ambientes litorales y mareales. A pesar de que los datos de este trabajo indican que se trata de calcita, no se descarta que pudieran existir pequeñas cantidades de calcita con alto contenido en Magnesio, aragonito o dolomita. La estrecha relación entre el desarrollo de estos tapices, la precipitación de calcita y las costras más endurecidas del caño indican procesos de diagénesis que dan lugar al desarrollo de cristales mas grandes a partir probablemente de pequeños cristales de origen bacteriano como los observados durante el experimento de este estudio.

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el proyecto MICROBENTOS (CTM2006-04015/MAR) del Ministerio de Educación y Ciencia.

#### REFERENCIAS

- Calvet, F., Cabrera, M.C., Carracedo, J.C., Mangas, J., Pérez-Torrado, F.J., Recio, C., y Travé, A. (2003): Beachrocks from the island of La Palma (Canary Islands, Spain). *Marine Geology*, 3308: 1-19.
- Fernández-Palacios, A., Fernández-Palacios, J. y Gil Gómez, B.J. (1988). Guías naturalistas de la provincia de Cádiz, I: El Litoral. Libros de la Diputación de Cádiz. 352 pp.
- García de Lomas, J., Corzo, A., García, C.M. y van Bergeijk, A. (2005): Microbenthos in a hypersaline tidal lagoon: factors affecting microhabitat, community structure and mass exchange at the sediment-water interface. *Aquatic Microbial Ecology*, 38: 53-69.
- McConnaughey, T.A. y Whelan, J.F. (1997): Calcification generates protons for nutrient and bicarbonate uptake. *Earth-Science Reviews*, 42: 95-117.
- Neumeier, U. (1999): Experimental modeling of beachrock cementation under microbial influence. *Sedimentary Geology*, 126: 35-46.
- Reid, R.P., Visscher, P.T., Decho, A.W., Stolz, J.F., Bebout, B.M., Dupraz, C., Macintyre, I.G., Paerl, H.W., Pinckney, J.L., Prufert-Bebout, L., Stepe, T.F., y Des Marais, D.J. (2000): The role of microbes in accretion, lamination and early lithification of modern marine stromatolites. *Nature* 406: 989-992.
- Rey, D., Rubio, B., Bernabeu, A.M., y Vilas, F. (2004): Formation, exposure, and evolution of a high-latitude beachrock in the intertidal zone of the Corrubedo complex (Ria de Arousa, Galicia, NW Spain). *Sedimentary Geology*, 169: 93-105.
- Riding, R., (2006): Cyanobacterial calcification, carbon dioxide concentrating mechanisms, and Proterozoic-Cambrian changes in atmospheric composition. *Geobiology*, 4: 299-316.
- Vousdoukas, M.I., Velegrakis, A.F., y Plomaritis, T.A., (2007): Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. *Earth-Science Reviews*, 85: 23-46.