



NOTA / NOTE:

## Arrecifes de arenisca en el golfo de Salamanca, plataforma continental del Caribe colombiano

### Sandstone reefs in the Gulf of Salamanca, continental shelf of the Colombian Caribbean

Sven Zea<sup>1</sup>, Gladys Bernal<sup>2</sup>, Gloria López<sup>3</sup>, Marion Weber<sup>2</sup> y Rocío del Pilar García-Urueña<sup>4</sup>

0000-0002-5657-4877 0000-0001-6333-6028 0000-0002-7884-6204 0000-0002-4071-6877 0000-0002-9667-3386

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia – Sede Caribe, Instituto de Estudios en Ciencias del Mar—CECIMAR, c/o INVEMAR, Calle 25 2-55, Rodadero Sur, Playa Salguero, Santa Marta, Colombia. [sezeas@unal.edu.co](mailto:sezeas@unal.edu.co)

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas, Medellín, Colombia. [gbernal@unal.edu.co](mailto:gbernal@unal.edu.co), [mweber@unal.edu.co](mailto:mweber@unal.edu.co)

<sup>3</sup> Laboratorio de Datación por Luminiscencia, Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana, CENIEH, Burgos, España. [lopezgi.phd@gmail.com](mailto:lopezgi.phd@gmail.com), [gloria.lopez@cenieh.es](mailto:gloria.lopez@cenieh.es)

<sup>4</sup> Grupo de Investigación en Ecología y Diversidad de Algas Marinas y Arrecifes Coralinos, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. [rgarciau@unimagdalena.edu.co](mailto:rgarciau@unimagdalena.edu.co)

#### RESUMEN

En los mares tropicales hay fondos duros sumergidos que albergan corales pero que no son de origen coralino. Este es el caso del sector del Banco de las Ánimas, en la plataforma continental del golfo de Salamanca, mar Caribe colombiano. En su parte superior (14–16 m de profundidad) hay montículos bajos de bloques y lascas de arenisca, a manera de arrecifes, colonizados por biota coralina y corales dispersos. Para confirmar su litología, se realizó un primer análisis petrográfico, que mostró que las rocas están conformadas por arenas de grano muy fino, maduras en textura, cementadas por dolomita. Se propone que estos arrecifes fueron formados en un sistema playa–duna–laguna de un antiguo nivel del mar, similar a la actual barra costera de Salamanca. En estos ambientes supramareales salinos de alta evaporación, se pudieron formar como rocas de playa o como eolianitas, por cementación de aragonita, que fue convertida posteriormente en dolomita. Falta determinar si el basamento de las formaciones coralinas de mayor profundidad del Banco también es de arenisca, o es efectivamente coralino.

**PALABRAS CLAVE:** Rocas de playa, Arrecifes de arenisca, Cambios del nivel del mar, Banco de Las Ánimas, Caribe suroccidental.

#### ABSTRACT

In tropical seas there are submerged hard bottoms that harbor corals but that are not coralline in origin. This is the case for the “Banco de las Ánimas” sector in the continental shelf of the Gulf of Salamanca, Colombian Caribbean. In its upper portion (14–16 m in depth), there are low mounds of sandstone blocks and slabs, conforming reefs, colonized by coralline biota and sparse corals. To confirm their lithology an initial petrographic analysis was carried out, which showed the rocks are made up of fine-grained sands, mature in texture, cemented by dolomite. It is proposed that these reefs were formed in a beach–dune–lagoon system during an ancient sea level, similar to the recent coastal bar of Salamanca. In these high-evaporation, supratidal saline environments, they could have been formed as beach rocks or as eolianites, by aragonite cementation, modified later into dolomite. Whether the foundation of the deeper coral formations of the bank is also sandstone or in fact coralline, remains to be determined.

**KEY WORDS:** Beach rock, Sandstone reef, Sea level changes, Banco de las Ánimas, Southwestern Caribbean.

DOI: 10.25268/bimc.invemar.2019.48.1.762

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC

Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

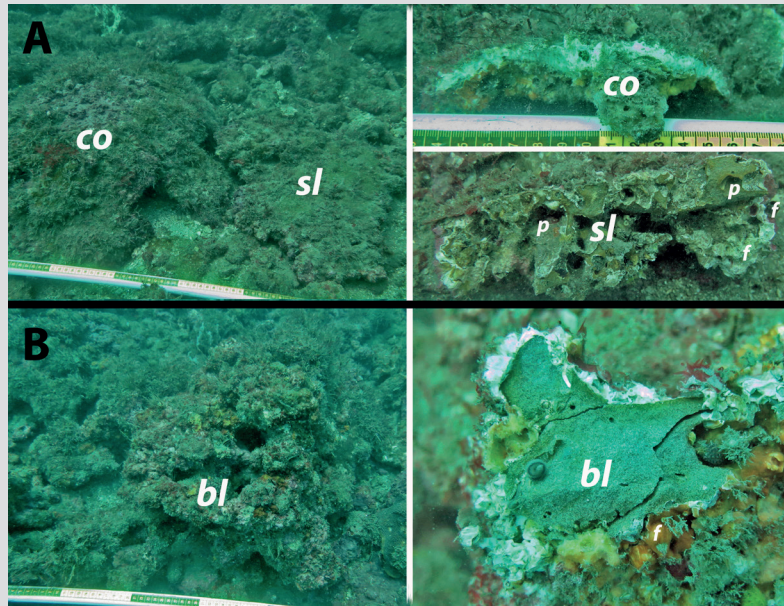
This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

El Banco de las Ánimas es una formación arrecifal con desarrollo coralino incipiente, ubicada sobre la plataforma continental del Caribe colombiano, en el golfo de Salamanca, mar afuera de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Blanco *et al.*, 1994; Díaz *et al.*, 2000). La formación tiene unos 8 x 2 km de área, y se encuentra a una profundidad entre 26 y 30 m, en el borde de la plataforma continental. Esos autores consideraron que el banco fue formado hace menos de 1000 años en el antiguo delta del río Magdalena, y que los organismos hermatípicos y fauna y flora asociadas colonizaron y consolidaron las areniscas a medida que la línea de costa retrogradaba hasta su posición actual (Blanco *et al.*, 1994). Estudios recientes muestran que la parte alta del exterior de la plataforma por encima del banco (<20 m) consiste en fondos blandos bioturbados, con parches de fondos duros esparcidos, tanto de escombros de coral como de lascas de arenisca, colonizadas por biota arrecifal (Jerez *et al.*, 2017; Navas *et al.*, 2017). Con el objetivo de caracterizar las formaciones duras y determinar su litología, en septiembre de 2016 y mayo de 2017 se hicieron observaciones y recolecta de rocas y cascajo suelto, mediante buceo autónomo, entre 14 y 16 m de profundidad, en la Zona 1 de Jerez *et al.* (2017) (11° 02' 4,02"–12,768" N; 74° 24' 22,787"–26,037" W). A las muestras obtenidas se les realizaron análisis petrográficos estándar de secciones delgadas con luz transmitida, haciendo descripciones mineralógicas y texturales y cuantificación visual estadística de los porcentajes de los minerales presentes.

Los arrecifes estudiados están formados por montículos de decenas a centenares de metros de extensión, elevados hasta 1–2 m sobre el fondo arenoso plano (Figura 1). Observaciones detalladas y fragmentación de rocas con cincel y martillo *in situ* mostraron que estos montículos no están contruidos por corales sino conformados casi exclusivamente por bloques y lascas de arenisca, colonizados por algunos corales y abundante biota arrecifal. Los bloques están fuertemente erosionados en forma laberíntica y son comunes las perforaciones recientes por bivalvos; las superficies expuestas al agua están recubiertas por una costra de hasta 1 cm de espesor de algas calcáreas y otras incrustaciones, mientras que las enterradas están parcialmente desnudas. Las lascas sueltas dominan el paisaje, las más pequeñas diseminadas por el oleaje alrededor de los montículos, a pesar de estar parcialmente adheridas entre sí por esponjas y algas calcáreas. También hay formas de cilindros y ramas con núcleo de arenisca (Figura 2). De una muestra de 22 fragmentos de cascajo suelto, de entre 2 y 11 cm de longitud mayor, 50% era arenisca, 23% era conchas de moluscos y 27% era rodolitos; ninguno era de origen coralino. Se observaron corales masivos, vivos y muertos, de hasta

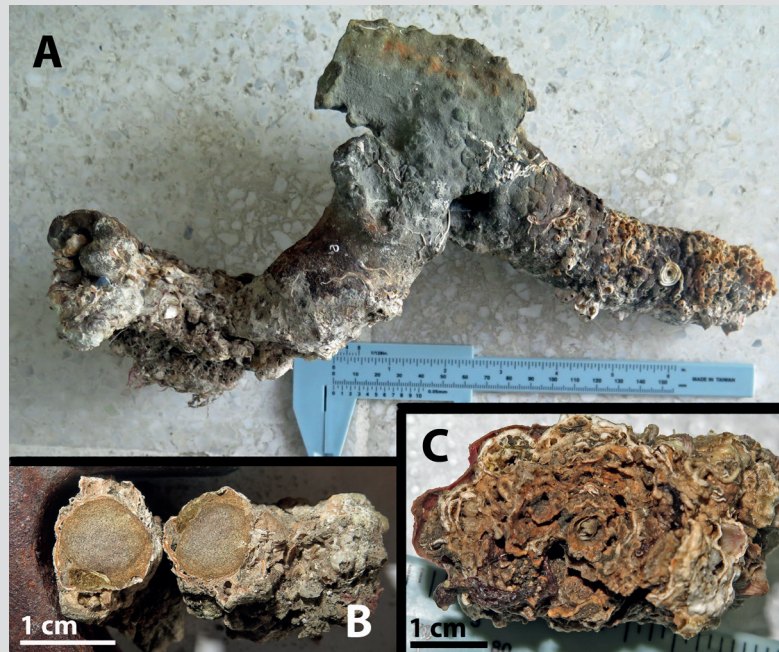
“Banco de las Ánimas” is a reef formation with incipient coral development, located on the Colombian Caribbean continental shelf, in the Gulf of Salamanca, off Ciénaga Grande de Santa Marta (Blanco *et al.*, 1994; Díaz *et al.*, 2000). The formation has about 8 km x 2 km in area, at a depth of 26–30 m, on the edge of the continental shelf. These authors considered it was formed less than 1000 years ago in the ancient delta of the Magdalena River, and that the hermatypic organisms and associated flora and fauna consolidated the sandstones as the coastline recessed to its current position (Blanco *et al.*, 1994). Recent studies show that the upper outer shelf above the bank (<20 m) consists of bioturbated soft bottoms with interspersed hard bottom patches of coral rubble and sandstone slabs, colonized by reef biota (Jerez *et al.* 2017; Navas *et al.*, 2017). With the aim of characterizing the hard formations and to determine their lithology, in September 2016 and May 2017, observations and collection of rocks and loose rubble were carried out by SCUBA diving between 14 and 16 m in depth, in Zone 1 of Jerez *et al.* (2017) (11° 02' 4.02"–12.768" N; 74° 24' 22.787"–26.037" W). Standard petrographic analyses of sample thin sections under transmitted light were undertaken, with mineralogical and textural descriptions and visual statistical quantification of minerals percent occurrence.

The studied reefs are formed by mounds of tens to hundreds of meters in extension, elevated up to 1–2 m above the flat sandy bottom (Figure 1). Detailed *in situ* observations and fragmentation of rocks with hammer and chisel showed that these mounds are not built by corals but formed almost exclusively of blocks and slabs of sandstone, colonized by a few corals and by abundant reef biota. The blocks are heavily eroded in a labyrinth fashion and often show recent bivalve perforations; the surfaces exposed to the water column are encrusted with crustose coralline algae and other fouling organisms, up to 1 cm in thickness, whereas the buried parts are partly clean. Loose slabs dominate the landscape, the smaller disseminated around the mounds by waves, despite being partially attached to each other by sponges and calcareous algae. There are also cylindrical and finger-shaped forms with a sandstone core (Figure 2). From a sample of 22 rubble loose pieces, 2 to 11 cm in the largest size, 50% were sandstone, 23% were mollusk shells, and 27% were rhodoliths; none were of coral origin. Massive corals were found, live and dead, up to 1–2 m in diameter, but rather low and quite sparse; when dead, they were easily distinguished by being convex, compared to the flat slabs and the irregular and labyrinthine blocks.



**Figura 1.** Fotografías submarinas de los arrecifes de areniscas del golfo de Salamanca. (A) Coral masivo muerto (convexo, *co*) y laja (plana, *sl*). (B) Bloque irregular (*bl*), fuertemente erosionado. Las imágenes de la derecha corresponden a fragmentación realizada *in-situ* con cincel y martillo para determinar la composición interna (blanco para esqueleto coralino y recubrimiento de algas costrosas coralinas, gris para arenisca). Nótese la fuerte incrustación externa por algas e invertebrados (*f*), y la perforación interna por gusanos y bivalvos (*p*). Para escala ver el tubo medrado en algunas de las fotos.

**Figure 1.** Underwater photographs of the sandstone reefs of Gulf of Salamanca. (A) Massive dead coral (convex, *co*) and slab (flat, *sl*). (B) Irregular block (*bl*), strongly eroded. The images on the right correspond to fragmentation carried out *in-situ* with hammer and chisel to determine internal composition (white for coral skeleton and overgrowth by crustose coralline algae, gray for sandstone). Notice the strong external fouling by algae and invertebrates (*f*), and the internal perforation by worms and bivalves (*p*). For scale use the metered rod in some of the photos.



**Figura 2.** Formas cilíndricas y rodolitos en el cascajo entre las areniscas del golfo de Salamanca. (A) Lado inferior de un cilindro irregular; este lado, semienterrado entre el sustrato arenoso, tiene pocas incrustaciones biológicas (para escala véase el calibrador). (B) Cilindro en forma de dedo, reminiscente de un coral ramificado, pero que fragmentado mostró el núcleo de arenisca. (C) Rodolito, conformado por capas sucesivas de algas costrosas calcáreas.

**Figure 2.** Cylindrical forms and rhodoliths in rubble among Gulf of Salamanca sandstones. (A) Inferior side of an irregular cylinder; this side, partially buried in the sandy substratum, has little fouling (for scale see the caliper). (B) Finger-shaped cylinder, reminiscent of a branching coral, but when broken it showed its sandstone core. (C) Rhodolith, made up of successive layers of crustose calcareous algae.

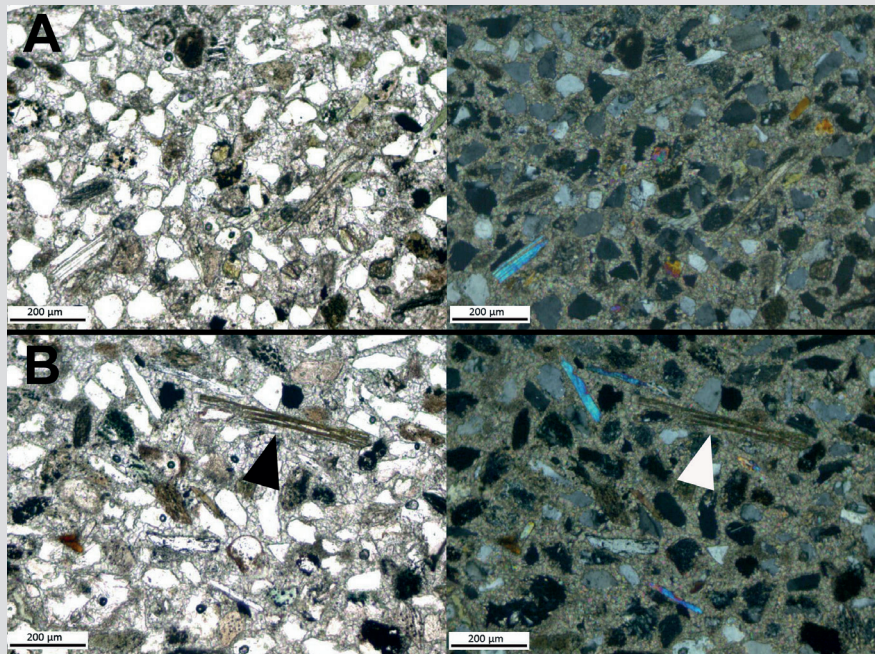
1–2 m de diámetro, pero bajos y muy dispersos, y aquellos encontrados muertos se distinguieron por ser convexos, comparados con las lajas planas y los bloques irregulares y laberínticos.

Con el análisis petrográfico se encontró que las muestras de rocas están compuestas por arena muy fina (granos de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro, con micas de hasta 500  $\mu\text{m}$ ), cementada por dolomita, que le da un aspecto cristalino. La proporción clastos–cemento estimada fue de 50–50% (Figura 3). Los clastos eran angulares, algunos euhedrales, con composición inmadura, lo que sugiere que estuvieron sometidos a poco transporte. Su composición fue de cuarzo y feldespato potásico (60%), plagioclasa (10%), anfíboles (10%), opacos (algunos eran piritoides) (8%), moscovita y biotita (5%), partículas orgánicas (4%) y otros (fósiles, clinzoicita, zircón, epidota) (3%). Las biotitas no estaban deformadas, confirmando la cementación química (Figura 3B). El cemento consistió principalmente de cristales poligonales (95%), en ocasiones con hábitos fibrosos radiales alrededor de puntos de nucleación (5%).

Los arrecifes de arenisca han sido descritos en diferentes partes del mundo como Brasil (De Oliveira-Soares *et al.*, 2016), Estados Unidos (Garrison *et al.*, 2016) y Grecia (Moissette *et al.*, 2013). Las areniscas pueden ser o bien

From the petrographic analyses, it was found that rock samples are composed of very fine grain sand (grains of 100  $\mu\text{m}$  in diameter, with micas up to 500  $\mu\text{m}$ ) cemented by dolomite, which gives them a crystalline appearance. The estimated clasts–cement proportion was 50–50% (Figure 3). The clasts were angular, some euhedral, with immature composition, which implies little transport. Their composition was quartz and potassium feldspar (60%), plagioclase (10%), amphiboles (10%), opaque (some were pyritoids) (8%), muscovite and biotite (5%), organic particles (4%), and other (fossils, clinzoisite, zircon, epidote) (3%). The biotites were not deformed, confirming the chemical cementation (Figure 3B). The cement composition was mainly polygonal crystals (95%), and rarely with a fibrous–radial habit around the nucleation points (5%).

Sandstone reefs have been described from different parts of the world such as Brazil (De Oliveira-Soares *et al.*, 2016), USA (Garrison *et al.*, 2016) and Greece (Moissette *et al.*, 2013). The sandstones can either be beach rocks or eolianites (cemented sand dunes), in both cases formed in coastal supratidal environments. In recessing coasts, such as Salamanca, these formations are then submerged, and once within the continental shelf, they can outcrop as reefs,



**Figura 3.** Fotografías de secciones delgadas de areniscas del golfo de Salamanca al microscopio petrográfico, mostrando en (A) la alta selección, la forma de los clastos y la proporción 50–50% de clastos–cemento; y en (B) la presencia de biotitas no deformadas (flechas). Las fotos de la izquierda fueron tomadas con Nícoles paralelos, y las de la derecha con Nícoles cruzados.

**Figure 3.** Petrographic microscope photographs of thin sections of Gulf of Salamanca sandstones, showing in (A) the high selection, the clasts shape and the 50–50% clasts–cement proportion; and in (B) the presence of non-deformed biotites (arrows), confirming chemical cementation. Photos on the left were taken under plane-polarized light, and on the right under cross-polarized light.

rocas de playa (beach rocks) o eolianitas (arenas de duna cementadas), en ambos casos formadas en el supramareal costero. En costas retrogradantes, como la de Salamanca, estas formaciones posteriormente se sumergen, y estando en la plataforma continental pueden aflorar como arrecifes, sirviendo de sustrato para el crecimiento de corales y algas (Turner, 2005). Las rocas de playa y eolianitas se forman en las costas tropicales y subtropicales, principalmente micromareales, a través de la cementación rápida de los sedimentos (meses a años, Turner, 2005), por precipitación intersticial de carbonatos (Vousdoukas *et al.*, 2007; Erginal, *et al.*, 2012), en ambiente supramareal para las rocas de playa (Kelletat, 2006), y en condiciones de inundación o enterramiento costa adentro para las eolianitas (Copper and Green, 2016). Los clastos de estas rocas pueden ser terrígenos (cuarzo, chert, feldespato, minerales densos, material volcánico), biogénicos (ooides, conchas de moluscos, restos esqueléticos) o incluso antropogénicos (cerámica, basura); pueden ser arenas o gravas arenosas masivas (Vousdoukas *et al.*, 2007). El cemento de carbonato de calcio se puede precipitar por mezcla de aguas meteóricas y marinas, degasificación de CO<sub>2</sub> en agua subterránea somera, evaporación de agua de mar, o por actividad microbiológica (Turner, 2005; Erginal *et al.*, 2012). Los cementos pueden ser calcíticos o aragoníticos, dependiendo de la temperatura, salinidad, pH y abundancia de Mg, predominando el aragonito en ambientes cálidos, que con el tiempo se puede dolomitizar (reemplazamiento de calcio por magnesio y cambio de la estructura) (Vousdoukas *et al.*, 2007).

Varios de los rasgos de las areniscas de Salamanca como el alto grado de selección y el tamaño fino de los clastos, son indicativos de eolianitas. Las formas de cilindro hacen pensar en túneles supramareales de cangrejos, rellenos por arenas transportadas por el viento. El ambiente de formación de los arrecifes de arenisca del golfo de Salamanca sería similar al que existe actualmente en la barra costera de Salamanca, esto es, un sistema micromareal cálido playa–duna–laguna, con sedimentos predominantemente terrígenos, y con salares supramareales en los que pueden darse procesos de evaporación que produzcan cementación de las arenas depositadas por viento, y que posteriormente se dolomitizan.

Para entender el proceso de formación y la evolución de estos arrecifes de arenisca, sería necesario hacer estudios en la barra actual de Salamanca, así como en los arrecifes del golfo, para determinar cómo se pueden formar allí las rocas de playa/eolianitas, las litofacies asociadas a la formación, y su edad. Además, se debe revisar en detalle el propio Banco de Las Ánimas (26–30 m de profundidad) para determinar

becoming substratum for coral and algal growth (Turner, 2005). Beach rocks and eolianites are formed in tropical and subtropical coasts, mainly microtidal, through the fast cementation of sediments (months to years, Turner, 2005), by interstitial deposition of carbonates (Vousdoukas *et al.*, 2007; Erginal *et al.*, 2012), in supratidal environments for beach rocks (Kelletat, 2006), and in inundation or burial ashore conditions for eolianites (Copper and Green, 2016). Their clasts can be terrigenous (quartz, chert, feldspar, dense minerals, volcanic material), biogenic (ooids, mollusk shells, skeletal debris) or even anthropogenic (ceramic, trash); they could be sands or massive sandy gravels (Vousdoukas *et al.*, 2007). The calcium carbonate cement can precipitate by mixing of meteoric and marine waters, CO<sub>2</sub> degassing in shallow underground water, sea water evaporation, or from microbial activity (Turner, 2005; Erginal *et al.*, 2012). The cements can be calcitic or aragonitic, depending on temperature, salinity, pH and Mg abundance, aragonite being predominant in warm environments, which can later dolomitize (replacement of calcium by magnesium, and change of structure (Vousdoukas *et al.*, 2007).

Several features of Salamanca sandstones, such as the high degree of selection and the fine clast size, are indicative of eolianites. The cylindrical shapes are reminiscent of crab supratidal burrows filled by wind-transported sand. The formational environment of Gulf of Salamanca sandstone reefs would be similar to that existing nowadays in the coastal bar of Salamanca, i.e., microtidal warm beach–dune–lagoon system of predominantly terrigenous sediments, and with supratidal salt flats, in which the evaporation processes can produce cementation of the wind-deposited sand, with later dolomitization.

To understand the process of formation and evolution of these sandstone reefs, it would be necessary to carry out studies in the current bar of Salamanca, as well as in the Gulf reefs, to determine how beach rocks/eolianites can be formed therein, the associated lithofacies to their formation, and their age. Additionally, the “Banco de las Ánimas” proper (26–30 m in depth) should be explored in detail to determine if its basement is coralline or sandstone. This knowledge would allow a more precise reconstruction of the relative sea-level changes in the Magdalena river delta.

si su basamento es realmente coralino o de arenisca. Este conocimiento permitiría además hacer una reconstrucción más precisa de los cambios relativos del nivel del mar en el antiguo delta del río Magdalena.

## AGRADECIMIENTOS

Las salidas de campo se hicieron en el marco del proyecto “El Bajo de las Ánimas: Una formación coralina casi desconocida”, financiado a R.G.-U. por la Universidad del Magdalena (Fonciencias VIN2016111). Se agradece al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR, por acceso a la información en el marco del proyecto “Viabilidad de un proyecto de restauración coralina en el Banco de las Ánimas, Departamento del Magdalena”, convenio de cooperación no. 005–2016 PNSA–INVEMAR. También a la Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por las secciones delgadas y análisis de laboratorio. Contribución 478 del Instituto de Estudios en Ciencias del Mar–CECIMAR, Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe.

## ACKNOWLEDGMENTS

Field trips were made under the Project “Bajo de las Ánimas: a little known coral formation”, funded to R.G.-U. by Universidad del Magdalena (Fonciencias VIN2016111). The Marine and Coastal Research Institute – INVEMAR is thanked for granting access to the information of the project “Viability of a project of coralline restoration in the Banco de las Ánimas, Magdalena Department”, cooperation agreement Nr. 005 – 2016 PNSA-INVEMAR. The Faculty of Mines of Universidad Nacional de Colombia, Medellín Campus, is also thanked for the thin sections and the laboratory analyses. Contribution 478 of “Instituto de Estudios en Ciencias del Mar” – CECIMAR, Universidad Nacional de Colombia, Caribbean Campus.

## BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Blanco, J.A., J.M. Díaz, G. Ramírez y M.L. Cortés. 1994. El Banco de las Ánimas: una amplia formación arrecifal desarrollada sobre un antiguo delta del río Magdalena. *Bol. Ecotropica*, 27: 10-18.
- Cooper, J.A.G. and A.N. Green. 2016. Geomorphology and preservation potential of coastal and submerged aeolianite: Examples from KwaZulu – Natal, South Africa. *Geomorphology*, 271: 1-12.
- De Oliveira-Soares, M., S. Rossi, F.A. Santos-Martins and P. Bastos de Macedo. 2016. The forgotten reefs: benthic assemblage coverage on a sandstone reef (Tropical South-western Atlantic). *J. Mar. Biol. Ass. UK*, 97(8): 1585-1592.
- Díaz, J.M., L.M. Barrios, M.H. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. López-Victoria, G.H. Ospina, F. Parra-Velandia, J. Pinzón, B. Vargas-Ángel, F.A. Zapata y S. Zea. 2000. Áreas coralinas de Colombia. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales 5, Santa Marta. 176 p.
- Erginal, A.E., N.G. Kiyak, M.Z. Ozturk, M. Avcioglu, M. Boczu and E. Yigitbas. 2012. Cementation characteristics and age of beachrocks in a fresh – water environment, Lake Iznik, NW Turkey. *Sed. Geol.*, 243-244: 148-154.
- Garrison, E.G., J.C. Hale, C.S. Cameron and E. Smith. 2016. The archeology, sedimentology and paleontology of Gray’s Reef National Marine Sanctuary and nearby hard bottom reefs along the mid continental shelf of the Georgia Bight. *J. Archaeol. Sci. Rep.*, 5: 240-262.
- Jerez S., D., Morales-Giraldo, S. Millán, P. Quintero y C. Ricaurte. 2017. Anexo 1. Caracterización de los fondos marinos del Banco de las Ánimas, departamento del Magdalena. Informe Técnico Final Convenio de Cooperación No. 005-2016 PNSA–Invemar, Santa Marta. 43 p.
- Kelletat, D. 2006. Beachrock as a sea level indicator? Remarks from a geomorphological point of view. *J. Coast. Res.*, 22(6): 1558-1564.
- Moissette, P., E. Koskeridou, J.J. Cornée and J.P. André. 2013. Fossil assemblages associated with submerged beachrock beds as indicators of environmental changes in terrigenous sediments: Examples from the Gelasian (Early Pleistocene) of Rhodes, Greece. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 369: 14-27.
- Navas, R., A. Acosta, L. Sánchez, J. González, M. Ontiveros, J.A. Rodríguez-Rodríguez y P. Obando. 2017. Anexo 4. Caracterización del ecosistema asociado al sector de las Ánimas, departamento del Magdalena. Informe Técnico Final, Convenio de Cooperación No. 005-2016 PNSA–Invemar. 61 p.
- Turner, R.J. 2005. Beachrock. 183-186. In: Schwartz, M.L. (Ed.). *Encyclopedia of coastal science*. Kluwer, Dordrecht, Netherlands. 1213 p.
- Vousdoukas, M.I., A.F. Velegrakis and T.A. Plomaritis. 2007. Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. *Earth – Sci. Rev.*, 85: 23-46.