

CARACTERIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE FACIES SEDIMENTARIAS EN LA BAHÍA DE CARTAGENA, COLOMBIA

Franco Arias, D.A.¹; Restrepo López, J.C.²; Sanabria Ruíz, N.Y.¹, Gutiérrez J.C.³

RESUMEN

En el análisis sedimentológico de 253 muestras de sedimentos de fondo y borde de playa de la Bahía de Cartagena, se identificaron 26 facies sedimentarias. Las muestras fueron tomadas con draga tipo Van Veen para el fondo, multimuestreador de sedimento tipo Beeker y apiques para los bordes de playa. Las muestras fueron tamizadas y se obtuvieron 15 categorías de acuerdo al tamaño de grano, posteriormente se realizó el análisis de carbonato de calcio (CaCO_3) usando el calcímetro de Bernard. Los sedimentos fueron clasificados de acuerdo con el tamaño medio de grano y el contenido de CaCO_3 , para definir las facies sedimentarias existentes, donde la facies lodo litoclástico es la más representativa y se distribuye en la bahía interna y externa; al norte y sur de la Isla de Tierra Bomba. Se encontró que durante los últimos 30 años la distribución de las facies sedimentarias ha experimentado variaciones significativas: en la bahía interna ha disminuido el contenido de CaCO_3 y al suroeste ha disminuido el tamaño de grano y el contenido de CaCO_3 ; como resultado del creciente aporte de sedimentos del Canal de Dique y las condiciones oceanográficas presentes. Estas condiciones hidrodinámicas favorecen la meteorización y erosión de las formaciones coralinas presentes en el Caribe Colombiano.

Palabras Clave: Sedimentos, Facies, Bahía de Cartagena, Caribe Colombiano

CHARACTERIZATION AND DISTRIBUTION OF SEDIMENTARY FACIES OF CARTAGENA BAY, COLOMBIA.

ABSTRACT

In the sedimentological analysis of 253 sediment samples from the edges and the bottom of the Cartagena bay, we identified 26 sedimentary facies. Samples were taken with Van Veen dredge for the bottom sediment Beeker multisampler and test pits for shorelines. Using the Bernard calcimeter we carried out the calcium carbonate (CaCO_3) analysis in every sieved sample. Sediments were classified according to the average grain size and content of CaCO_3 , to define the existing sedimentary facies, where mud lithoclast facies was the most representative and distributed to the north and south of the Tierra Bomba in the internal and external bay. We found that during the past 30 years the distribution of sedimentary facies has experienced significant changes: in the inner bay the content of CaCO_3 has decreased and in the southwest the grain size and content of CaCO_3 have decreased, as a result of the sediments contribution from Canal del Dique and present oceanographic conditions. These hydrodynamic conditions contribute to the weathering and erosion of coral formations present in the Colombian Caribbean

Keywords: Sediment, Facies, Cartagena bay, Colombian Caribbean.

E-mail: dfrancoarias@criba.edu.ar, restrepocj@uninorte.edu.co

¹ Grupo de Investigación en Estratigrafía, Instituto Colombiano del Petróleo ECOPEPETROL-Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia.

² Universidad del Norte (Uninorte), Instituto de Estudios Hidráulicos y Ambientales (IDEHA) – Grupo de Física Aplicada, Departamento de Física, Barranquilla - Colombia

³ Área de Manejo Integrado de Zonas Costeras, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH – Dirección General Marítima, Cartagena – Colombia

INTRODUCCIÓN

La Bahía de Cartagena está ubicada en el noroeste de Suramérica, en el Mar Caribe. Está conformada por la bahía interna; ubicada al norte y la bahía principal o externa, conectada al Mar Caribe por los estrechos de Bocachica y Bocagrande (FIGURA 1). La bahía ha sido considerada un depósito de ambiente sedimentario moderno, influenciado por procesos continentales de tipo fluvial (Canal del Dique) y oceánicos (energía del oleaje, mareas y deriva litoral del Mar Caribe). Se ha encontrado que estos procesos han generado una depositación con variaciones espaciales significativas en la composición y la clasificación textural de los sedimentos (Vernette, 1982; Andrade *et al.*, 2004; Restrepo *et al.*, 2013).

En los últimos 40 años Cartagena se ha posicionado como un centro de desarrollo económico, urbanístico, turístico y portuario en el Caribe Colombiano. Este desarrollo ha estado estrechamente relacionado con la evolución de la Bahía de Cartagena (SPRC, 2009). Por lo tanto, ésta ha sido motivo de varios estudios sedimentológicos y ambientales. Solé De Porta (1960) describió las asociaciones palinológicas del Plioceno; Vernet *et al.* (1984) estudiaron la evolución morfológica y sedimentológica de la flecha litoral del Laguito entre los años 1632 y 1774; Klingebiel y Vernet (1978) analizaron la composición sedimentológica en la plataforma continental entre Cartagena y la desembocadura del río Magdalena; Martínez *et al.* (2010) discutieron el origen geológico de las terrazas de Tierrabomba y su efecto en los ciclos de sedimentación de la bahía. Recientemente, Andrade *et al.* (2004) y Restrepo *et al.* (2013) destacaron los cambios en la distribución de los sedimentos superficiales y la creciente influencia del Canal del Dique sobre la sedimentación de la Bahía de Cartagena.

Las facies se definen como un cuerpo de sedimentos que presentan características litológicas, estructurales y orgánicas apreciables en campo, que operan con parámetros físicos, químicos y biológicos en un ambiente sedimentario (Boggs, 1987), permiten definir las características de los procesos geológicos del sistema depositacional desarrollado. La sedimentación de la plataforma continental del Caribe colombiano está influenciada por la mezcla de aportes terrígenos y alquímicos afectados por la dinámica marina, Vernet (1982) estandarizó los

criterios sedimentológicos de clasificación de sus fondos utilizando parámetros de tamaño de grano y valores de contenido de CaCO_3 . Al determinar las características y la distribución de los sedimentos de fondo se puede contribuir al entendimiento de los procesos de sedimentación en la Bahía de Cartagena, ejemplo de un sub-ambiente de depositación, en la que además se presentan modificaciones a los procesos típicos de este tipo de sub-ambientes en cortos lapsos de tiempo como resultado de la actividad portuaria y marítima. Las características geológicas de la cuenca, resultado del continuo aporte de sedimentos de origen continental transportados a través del canal del Dique (Urbano *et al.*, 1992), el diapirismo de lodo presente en el Caribe, el progresivo deterioro de las formaciones arrecifes (Cendales, *et al.*, 2002) y la dinámica de los sedimentos como resultado de la acción de las corrientes fluviales y marinas, permiten la identificación de características sedimentológicas que pueden ser utilizadas en estudios posteriores basados en la aplicación del principio del actualismo (Boggs, 1987). Otros factores importantes que afectan la dinámica de las facies en los últimos 30 años, son las continuas actividades de dragado e intervención costera y portuaria que se han presentado en la bahía (LEH-MINTRANSPORTE, 1988; Cormagdalena, 2004; Universidad Nacional, 2007).

METODOLOGÍA

Se diseñó una malla con una resolución espacial de 0.5 km para recolectar 234 muestras de sedimento superficial de la Bahía de Cartagena (FIGURA 1). La campaña de recolección de muestras fue efectuada entre octubre de 2008 y junio de 2009. Las muestras fueron obtenidas por medio de una draga tipo Van Veen operada desde una embarcación equipada con un sistema GPS/Garmin con una precisión de ± 5.0 m. Con el fin de obtener una representación de los sedimentos en el borde y controlar la extensión de las unidades, se recolectaron 19 muestras de borde de playa con un multi-muestreador de sedimento fino tipo Beeker y apiques. Las muestras fueron caracterizadas macroscópicamente usando lupas binoculares y posteriormente se determinó el contenido de CaCO_3 .

La preparación de las muestras para los análisis incluyó el secado de 200 gr a 70°C durante 24 horas para remover el contenido de humedad y la aplicación de 0.25 g de $(\text{NaPO}_3)_6$ para evitar la floculación de

partículas. La distribución del tamaño de grano elaborada mediante el tamizaje permitió discriminar la fracción gruesa ($\geq 63 \mu\text{m}$) de la fracción lodosa (tamaños menores a $63 \mu\text{m}$), y obtener 15 categorías de clasificación de acuerdo con el tamaño de grano (TABLA 1). Para lograr una mayor discriminación de la fracción lodosa se requiere de la aplicación de técnicas que superan el alcance de este estudio, en tanto que con la clasificación aplicada es posible realizar una comparación con los resultados propuestos por Vernet (1982). Sin embargo se logra identificar muestras de composición textural de lodos como arcilla, debido al menor tamaño de la partícula que permiten clasificarlos en este grupo, sabiendo que es una subdivisión de los lodos (Folk, 1974). El contenido de CaCO_3 se determinó a partir de 0.25 g de muestra de sedimento normalizada con 4 ml de HCl (10%), utilizando el calcímetro de Bernard, SJ, Gutiérrez y Bernuil (2004).

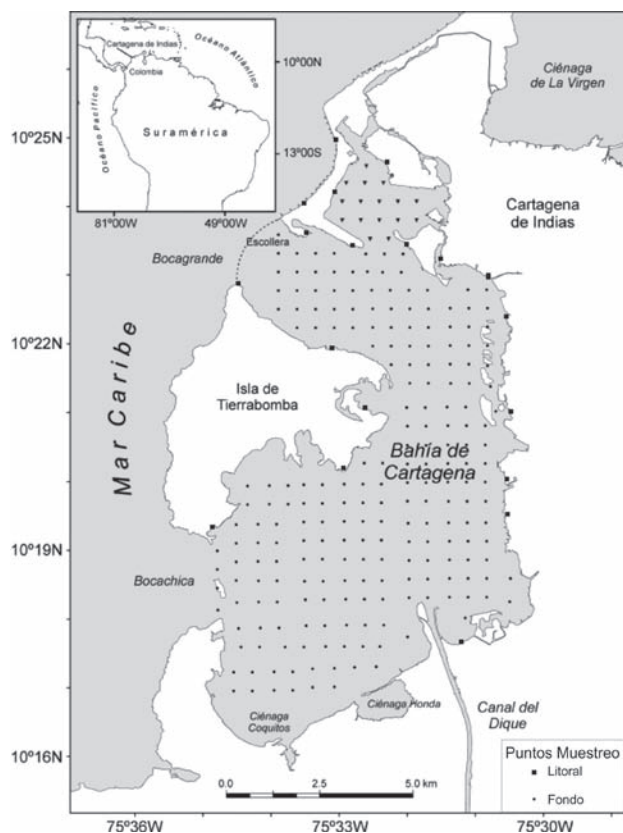


FIGURA 1. Ubicación del área de estudio y puntos de muestreo. Los cuadrados de mayor tamaño (■) hacen referencia a las muestras de la zona litoral y los círculos (●) a las muestras de fondo .

TABLA 1. Nomenclatura para describir sedimentos propuesta por Folk, (1974).

Clase textural	Clase textural mayor	Clase textural específica
G	Grava	Grava de guijarros.
Gs	Grava arenosa	Grava de guijarros arenoso.
Gsm	Grava arenosa lodosa	Grava de gránulos arenolodosa.
Gm	Grava lodosa	Grava de cantos limosa.
Sg	Arena gravosa	Arena gruesa guijosa.
Smg	Arena lodo gravosa	Arena fina limo guijosa.
Mg	Lodo gravoso	Lodo guijarroso.
S(g)	Arena ligeramente gravosa	Arena media ligeramente granular.
Sm(g)	Arena lodosa ligeramente gravosa.	Arena media lodosa ligeramente guijosa.
Ms(g)	Lodo arenoso ligeramente gravoso.	Lodo arenoso fino ligeramente granular.
M(g)	Lodo ligeramente gravoso	Arcilla ligeramente guijosa.
S	Arena (especificar calibrado)	Arena fina bien calibrada.
Sm	Arena lodosa	Arena muy fina limosa bien calibrada.
Ms	Lodo arenoso	Arcilla arenosa fina
M	Lodo	Limo

El análisis textural de las muestras de sedimento se realizó por medio del programa GRADISTAT (Blott, 2008), que calcula mediante los métodos de Folk y de momentos los estadísticos de tamaño de grano (i.e. media, clasificación, asimetría y curtosis). Estos datos fueron utilizados para agrupar los sedimentos dentro de la clasificación textural basada en el diagrama triangular (FIGURA 2) y la nomenclatura para sedimentos no consolidados propuesta por Folk (1974) (TABLA 1). Por su parte, la clasificación composicional se determinó a partir del contenido de CaCO_3 (%), siguiendo el esquema propuesto por Vernet (1982) (TABLA 2). Se definieron 26 facies sedimentarias de acuerdo con la clasificación textural (gravas, arenas, lodos y arcillas) y composicional (litoclástico, litobioclástico, biolitoclástico y bioclástico) de las muestras de sedimento. El límite espacial de las facies se determinó a partir de la información sedimentológica (TABLA 3), la configuración

batimétrica e información hidrodinámica de la bahía suministrada por el CIOH para el año 2009 y la extrapolación de puntos de control, siguiendo la metodología propuesta por Tearpock and

Bischke (1990). Se utilizaron 254 puntos de control distribuidos cada 0.5 km en el fondo de la bahía, y 19 en la zona litoral (FIGURA 1).

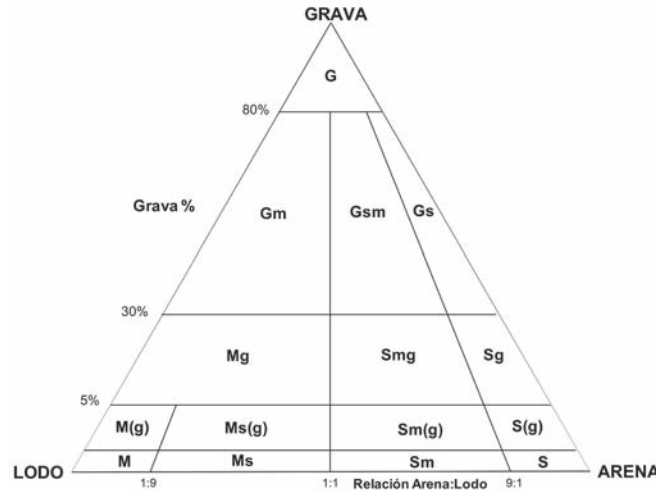


FIGURA 2. Diagrama triangular para la clasificación textural según tamaño de grano, utilizada para sedimentos no consolidados propuesto por Folk (1974).

TABLA 2. Clasificación según el contenido del porcentaje de contenido de CaCO₃ establecido por Vernette (1982).

Nombre	Abreviatura	Contenido de CaCO ₃ (%)
Bioclástico	b	Superior al 85%
Biolitoclástico	bl	Entre 85% y 50%
Litobioclástico	lb	Entre 50% y 15%
Litoclásticos	l	Menor al 15 %

RESULTADOS

Clasificación Textural y Contenido de CaCO₃

En esta sección se comparan los datos de estudio con los resultados de composición textural y contenido de CaCO₃ reportados por el CIOH, 1983. La bahía interna presenta una variación del tamaño de grano de 0.5 a 6 en unidades de Φ (phi) y de contenido de CaCO₃ entre 9 y 50%. En sectores aledaños a la Isla de Manzanillo se observa una disminución del tamaño de grano de 0.5 a 6 en unidades de Φ (phi) con contenido de CaCO₃ superior al 85%. En el borde de playa del sector de Albornoz el tamaño de grano aumenta (8 a 1 Φ) presentando arenas lodosas con contenido de CaCO₃ entre 50 y 90%. En el borde de playa del sector del Bosque se observa un aumento en el tamaño de grano (8 a 1 Φ) y el contenido de CaCO₃ se eleva de

15 a 85%. En el sector de Castillo Grande las variaciones en el tamaño de grano y contenido de CaCO₃ no son significativas; presentando arenas finas con porcentajes menores al 15% de CaCO₃. En el sector norte de la Isla de Tierra Bomba se presenta contenido de CaCO₃ menor al 15%. En el sector este de la Isla de Tierra Bomba se presenta una disminución del tamaño de grano (0.5 a 6 Φ) y un porcentaje menor de 15% en el contenido de CaCO₃. En la parte sur-este de la Isla de Tierra Bomba se presenta una variación en el tamaño de grano de 0.5 a 4 Φ con contenido de CaCO₃ entre 10 y 45%. En el sector de Mamonal se observa una disminución del tamaño de grano de 0.25 a 6 Φ representado en lodos con contenido de CaCO₃ menor al 15%. En el sector de Bocachica se observa una disminución del tamaño de grano (0.5 a 6 Φ) de arenas gruesas a lodo grueso con contenidos de CaCO₃ similares. Se observan cambios notorios en los sedimentos de tamaño gránulos especialmente en la parte suroeste; donde antes se presentaban gránulos bioclásticos y ahora se presentan lodos acompañado de una disminución del contenido de CaCO₃.

Debido a la influencia de la deriva litoral y las corrientes oceánicas, se observa una diferencia en los análisis de los sedimentos de la bahía interna y la bahía principal. En la bahía interna (FIGURA 3a); se observa la ausencia del tamaño grava y predominio del tamaño lodo, mientras en la FIGURA 3b se observan tamaños entre arenas, gravas y predominio del tamaño lodo.

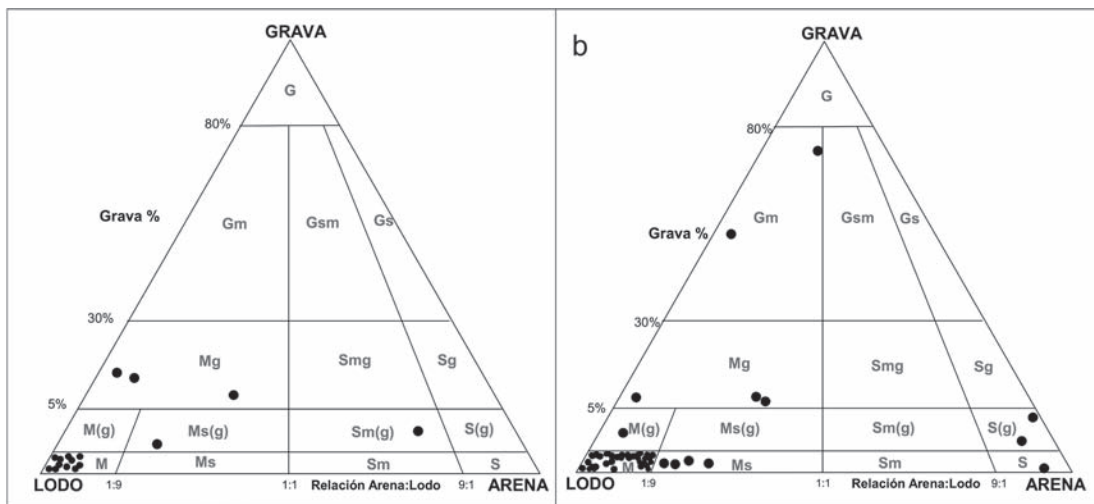


FIGURA 3. Diagrama triangular para la clasificación textural según tamaño de grano de las muestras de sedimento no consolidado tomadas en la Bahía Interna (a) y en la Bahía Principal (b).

Caracterización de facies sedimentarias

A partir del análisis de 234 muestras de fondo y 19 muestras del borde de playa se lograron identificar 26 facies sedimentarias que varían desde arcillas (FIGURA 4a) hasta grava areno lodosa bioclástica (FIGURA 6l). Destacando que la facies lodosa se presenta en mayor porcentaje (68%), se caracterizan por presentar tonos oscuros, indicadores de composición con minerales máficos de origen continental procedentes de corrientes fluviales. Las facies arenosas presentan una variación entre tonos oscuros y claros, los claros

se deben a la presencia de restos de composición calcárea resultado de la meteorización y deterioro de las formaciones coralinas presentes en los alrededores de la bahía, texturalmente los granos tienen un grado de redondez que varía entre redondeados, subredondeados y subangulares, con restos de conchas, bivalvos, caracoles y corales de la especie *Acropora cervicornis*, entre otros. A continuación se resumen las características examinadas en las muestras (TABLA 3); en especial la litología y el contenido de $CaCO_3$ para determinar las facies y su distribución en el área.

TABLA 3. Resumen de las facies y sus principales características.

Facies	Color	Contenido de $CaCO_3$	Ubicación
Arcillas litoclásticas FIGURA 4a.	Oliva grisáceo 10Y4/2	Bajo	Desembocadura del canal del Dique hasta frente al sector de Albornoz formando la pluma de turbidez sobre la bahía.
Lodo Litoclástico FIGURA 4b.	Amarillo grisáceo 5Y8/4	Bajo; con fragmentos de conchas de bivalvos.	Bahía interna, parte norte y sur de la Isla de Tierra Bomba, cerca de Isla Brujas y el sector de Mamonal parte este de la bahía.
Lodo litobioclástico FIGURA 4g.	Oliva grisáceo 10Y4/2	Entre 15 y 50%	Bordes de la bahía interna, parte sur-oeste de Manzanillo y cerca de Isla Abanico.
Lodo arenoso ligeramente gravoso litoclástico FIGURA 4h.	Oliva grisáceo 10Y4/2	Bajo	Bocachica y parte oeste de la desembocadura del Canal del Dique.
Lodo arenoso ligeramente gravoso litobioclástico FIGURA 4i.	Negro N1 y amarillo moderadamente verdoso 10Y7/4	Entre 15 y 50%	Bahía interna sector de Isla Diablo (parte Norte de la Isla Manzanillo), Isla Cocosolo, cerca de Barú y Bocachica.

Facies	Color	Contenido de CaCO ₃	Ubicación
Lodo arenosos ligeramente gravoso biolitooclástico	Negro N1 y amarillo moderadamente verdoso 10Y7/4	Entre 50 y 85%	Sector de Isla Cocosolo y Bocachica.
Lodo ligeramente gravoso litoclástico	Oliva grisáceo 10Y4/2 opaco	Menor al 15%	Parte sur de la bahía sector sur-este de Caño de Oro.
Lodo ligeramente gravoso litobioclástico FIGURA 4j.	Oliva grisáceo 10Y4/2 oscuro	Entre 15 y 50 %	En la bahía interna (parte norte de la Isla Manzanillo), parte sur de El Bosque, cerca al Caño de Oro e isla Barú.
Lodo ligeramente gravoso biolitooclástico	Oliva grisáceo 10Y4/2	50 y 85%,	En la bahía interna (parte norte de la Isla de Manzanillo).
Lodo gravoso litoclástico FIGURA 4k.	Oliva grisáceo 10Y4/2 opaco	Menor al 15% con restos de conchas de tamaños menores a 2 cm	Al este de la isla de Tierra Bomba cerca de Caño de Oro, en Mamonal y Barú.
Lodo gravoso litobioclástico FIGURA 4l.	Oliva grisáceo 10Y4/2 opaco	Entre 15 y 50%, restos de conchas, madera y arrecife coralino <i>Acropora cervicornis</i> tamaños menores a 2 cm.	Aleatoriamente en toda la bahía, en sectores como Albornoz, Bocachica y Barú.
Lodo gravoso biolitooclástico FIGURA 5a.	Amarillo grisáceo 5Y8/4	Entre 50 y 85%, con de conchas de varias especies, materia orgánica como madera y corales	Sector de Albornoz, bahía interna, Bocachica y Barú
Lodo gravoso bioclástico FIGURA 5b.	Oliva grisáceo 10Y4/2	Superior al 85%, con restos de coral <i>Acropora cervicornis</i> , conchas de bivalvos y gasterópodos	Aleatoriamente en la bahía interna y cerca de Manzanillo y el Bosque, en la parte sur al este de la desembocadura del Canal del dique.
Arenas litoclásticas FIGURA 5c.	Gris oliva 5y3/2	Menor al 15%, con pocos restos de conchas	Borde de playa del sector de Bocagrande y Mamonal.
Arenas ligeramente gravosa litoclásticas FIGURA 5d.	Amarillo grisáceo 5Y8/4	Menor a 15%	Borde de playa del sector el Laguito y Castillo Grande, al norte de la isla de Tierra Bomba y en Caño de Loro.
Arena ligeramente gravosa litobioclástica	Oliva grisáceo 10Y4/2	Entre 15 y 50%	Borde este de la bahía cerca a la isla Cocosolo, al norte de Mamonal.
Arena lodosa ligeramente gravosa litoclástica FIGURA 5e.	Oliva grisáceo 10Y4/2	Menor al 15%	Cerca al laguito, Castillo Grande y entre isla Draga e Isla Abanico.
Arena lodosa ligeramente gravosa biolitooclástico FIGURA 5f.	Oliva grisáceo 10Y4/2	Entre 50 y 85%, con fragmentos de conchas y corales tamaños menores a 1cm	Bahía al sur de la isla de Tierra Bomba cerca al fuerte de San Fernando y Bocachica.
Arena lodosa ligeramente gravosa bioclástica	Oliva grisáceo 10Y4/2	Mayores al 85%	Bahía interna cerca al sector de Castillo Grande.
Arena gravosa litoclástica	Amarillo grisáceo 5Y8/4	Menor al 15%,	Sur de la isla de Tierra Bomba y en la Ensenada Salada.

Facies	Color	Contenido de CaCO ₃	Ubicación
Arena gravosa bioclástica FIGURA 5g.	Amarillo grisáceo 5Y8/4	Mayores al 85% con restos de arrecife coralino, conchas de gasterópodos y bivalvos	Parte norte de Barú y la Ensenada Salada.
Grava lodosa litoclástica FIGURA 5h.	Amarillo grisáceo 5Y8/4	Menor al 15%, con restos de conchas de bivalvos y corales	Frente a Caño de Oro y Mamonal.
Grava lodosa litobioclástico FIGURA 5i.	Amarillo grisáceo 5Y8/4	Entre 15 y 50%, con conchas de bivalvos y restos de arrecife coralino	Al sur de la bahía al este de la Desembocadura del canal del Dique.
Grava lodosa biolitoclástico FIGURA 5j.	Marrón oscuro a amarillento 10YR4/2	Entre 50 y 85%, presenta conchas de bivalvos de varias formas y tamaños, restos de materia orgánica como madera	Sur de la isla de Tierra Bomba cerca a isla Draga y cerca de Albornoz.
Grava lodosa bioclástica FIGURA 5k.	Amarillo grisáceo 5Y8/4	Mayor a 85%, presenta restos de arrecife coralino, cnidarios y conchas de bivalvos	Sur de la isla de Tierra Bomba cerca a isla Draga.
Grava areno lodosa bioclástica FIGURA 5l.	Amarillo grisáceo 5Y8/4	Mayor a 85%, presenta restos de arrecife coralino y conchas de bivalvos	Borde de playa al sureste de la isla de Tierra Bomba cerca de Caño de Oro.

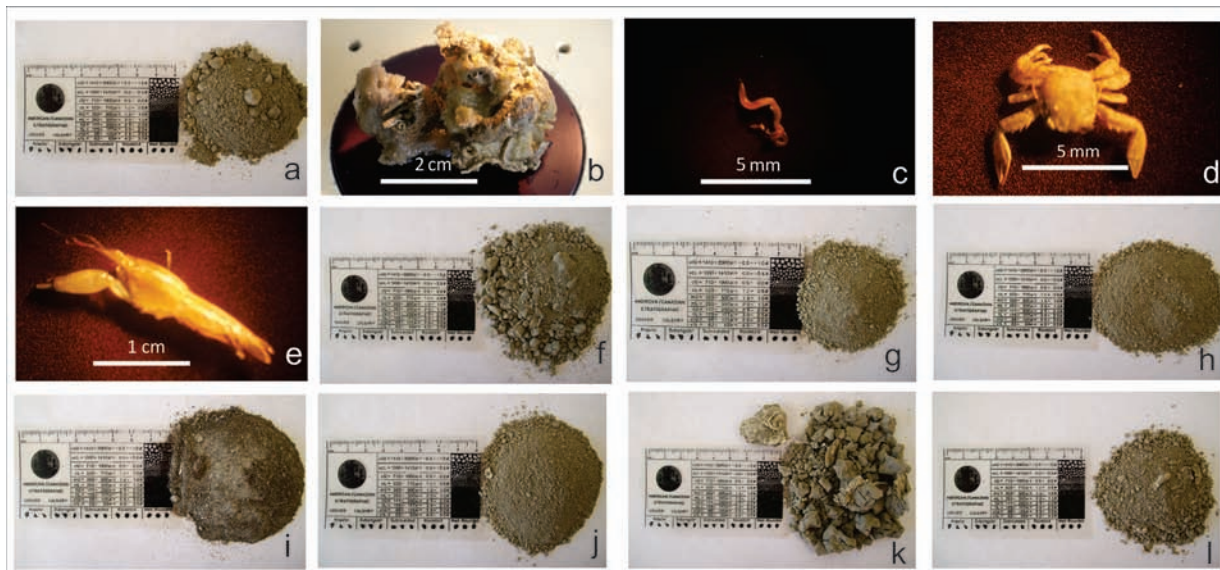


FIGURA 4. Muestra representativas: (a) Facies arcilla litoclástica; ubicada en la parte sur de la bahía cerca a la desembocadura del Canal del Dique, se presentan organismos artrópodos y anélidos. (b) Coral vivo en donde se desarrolla el hábitat del poliqueto, (c) Poliqueto Sedentario (d) Cangrejo vivo y (e) Langostino vivo. (f) Facies lodo litoclástico; con restos de conchas de tamaños menores a 1 cm, ubicada en la parte sur de la bahía cerca de Punta Barú. (g) Facies lodo litobioclásticos. (h) Facies lodo arenoso ligeramente gravoso litoclástico; ubicada en la salida de Bocachica. (i) Facies lodo arenoso ligeramente gravoso litobioclástico; con restos de madera ubicado cerca a la Isla de Barú. (j) Facies lodo ligeramente gravoso litobioclástico: ubicada cerca del Caño de Oro. (k) Facies lodo gravosa litoclástica; presenta restos de arrecife coralino como hábitat de poliquetos, ubicada frente al sector de Mamonal. (l) Facies lodo gravoso litobioclástico; presenta restos de madera y conchas de varios tamaños con texturas de líneas de crecimiento y costillas, ubicada en la parte sur de la Bahía cerca al sector de Albornoz.

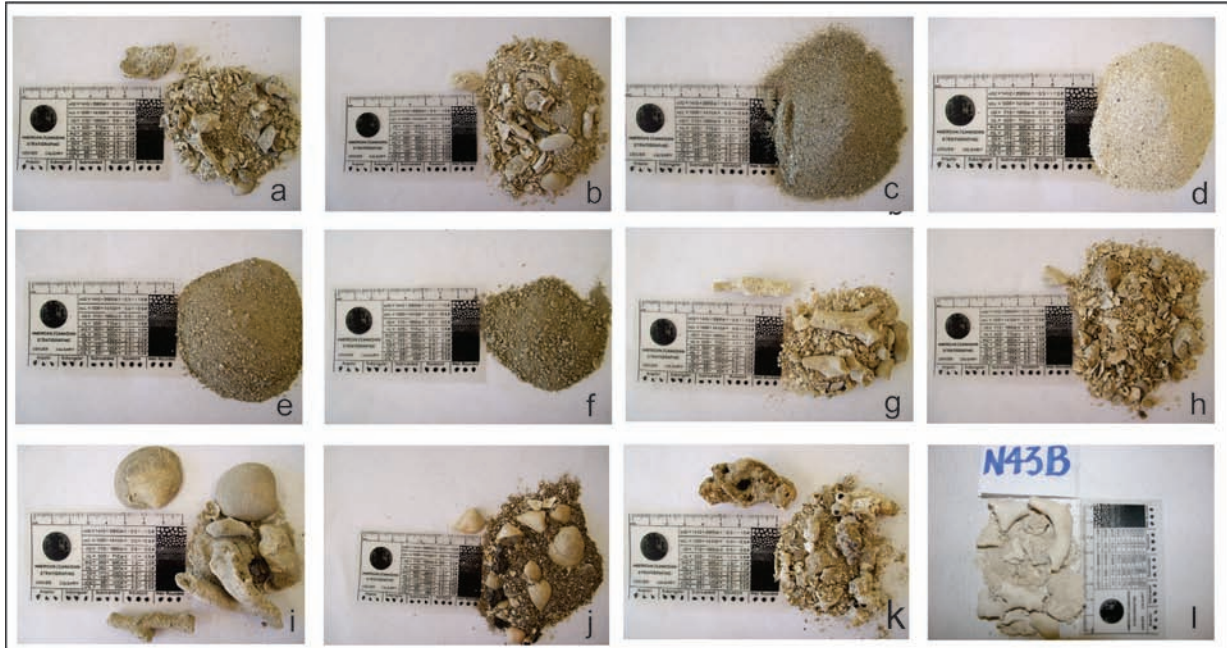


FIGURA 5. Muestras representativas (a) Facies lodo gravoso biolitoclástico; presenta restos de conchas y arrecife coralino. Las conchas son de varios tamaños; inequivalvas y equivalvas con textura crenulada y costillas. Los restos de arrecife coralino *Acropora cervicornis* son de tamaño variado, ubicada en el sector de Alborno. (b) Facies lodo gravoso bioclástico; ubicada cerca a la Isla de Barú. (c) Facies arenas litoclásticas; presenta minerales máficos con pocos restos de conchas, ubicada entre Bocagrande y El Laguito. (d) Facies arenas ligeramente gravosa litoclástica; con pocos restos de conchas, ubicada en el borde de costa de la parte norte de Tierra Bomba. (e) Facies arena lodosa ligeramente gravosa litoclástica; ubicada cerca a Isla Draga. (f) Facies arena lodosa ligeramente gravosa biolitoclástica; presenta fragmentos de conchas y de corales *Acropora cervicornis* de tamaños menores a 1 cm., ubicada cerca al sector de Bocachica. (g) Facies arena gravosa bioclástica; presenta restos de conchas de gasterópodos, bivalvos y arrecife coralino tipo colonial y tabulado, ubicada cerca de Alborno. (h) Facies grava lodosa litoclástica; con restos de conchas de bivalvos y corales, ubicada frente a Mamonal. (i) Facies grava lodosa litobioclástica; presenta conchas de bivalvos de tamaños variados y restos de corales con estructuras cerioide, ubicada al este de la desembocadura del Canal del Dique. (j) Facies grava lodosa biolitoclástica; presenta conchas de varios tamaños menores a 2 cm y variación en las estructuras de las bivalvas, algunas rellenas de sedimento. (k) Facies grava lodosa biolitoclástica; presenta restos de arrecife coralino y conchas de varias texturas. (l) Facies grava areno lodosa bioclástica; ubicada cerca de Caño de Loro.

En algunos sectores de la bahía se encuentran especies vivas indicadoras de la actividad biológica actual, entre ellos arrecifes coralinos (FIGURA 4b) hábitat de gusanos marinos como el poliqueto sedentario (FIGURA 4c), y otras especies de crustáceos como cangrejos (FIGURA 4d) y langostinos (FIGURA 4e) cuyo hábitat es en la profundidad de aguas dulces o saladas someras de climas templados.

Distribución espacial de las Facies Sedimentarias de la Bahía de Cartagena

Con las facies definidas anteriormente se genera el mapa de distribución facial de los sedimentos, dicho mapa ha sido elaborado utilizando los parámetros de distribución de contenido de CaCO_3 , granulometría, la batimetría y la circulación de las corrientes del área de estudio (FIGURA 6). La facies de lodos litoclásticos

se encuentra en mayor porcentaje (~51,2%) en toda la bahía, se observa fundamentalmente un sentido norte-sur en la parte central de la bahía externa y dominando la bahía interna. Las arcillas litoclásticas están distribuidas desde la desembocadura del canal hasta la parte norte de la bahía, siguiendo el patrón trazado por la pluma de turbidez del Canal del Dique. La facies arena gravosa litoclástica se encuentra distribuida en los bordes de las áreas correspondientes a la parte este y sureste de la Isla de Tierra Bomba y en la parte aledaña a la península de Barú. Facies como arena lodosa ligeramente gravosa biolitoclástica, arena gravosa biolitoclástica, arena litoclástica, grava lodosa litoclástica; se encuentran distribuidas localmente en sectores aledaños a Bocachica, parte este de la península de Barú, sector aledaño a Bocagrande y en la parte central de la bahía (Albornoz y Caño de Loro) respectivamente. (FIGURA 6).

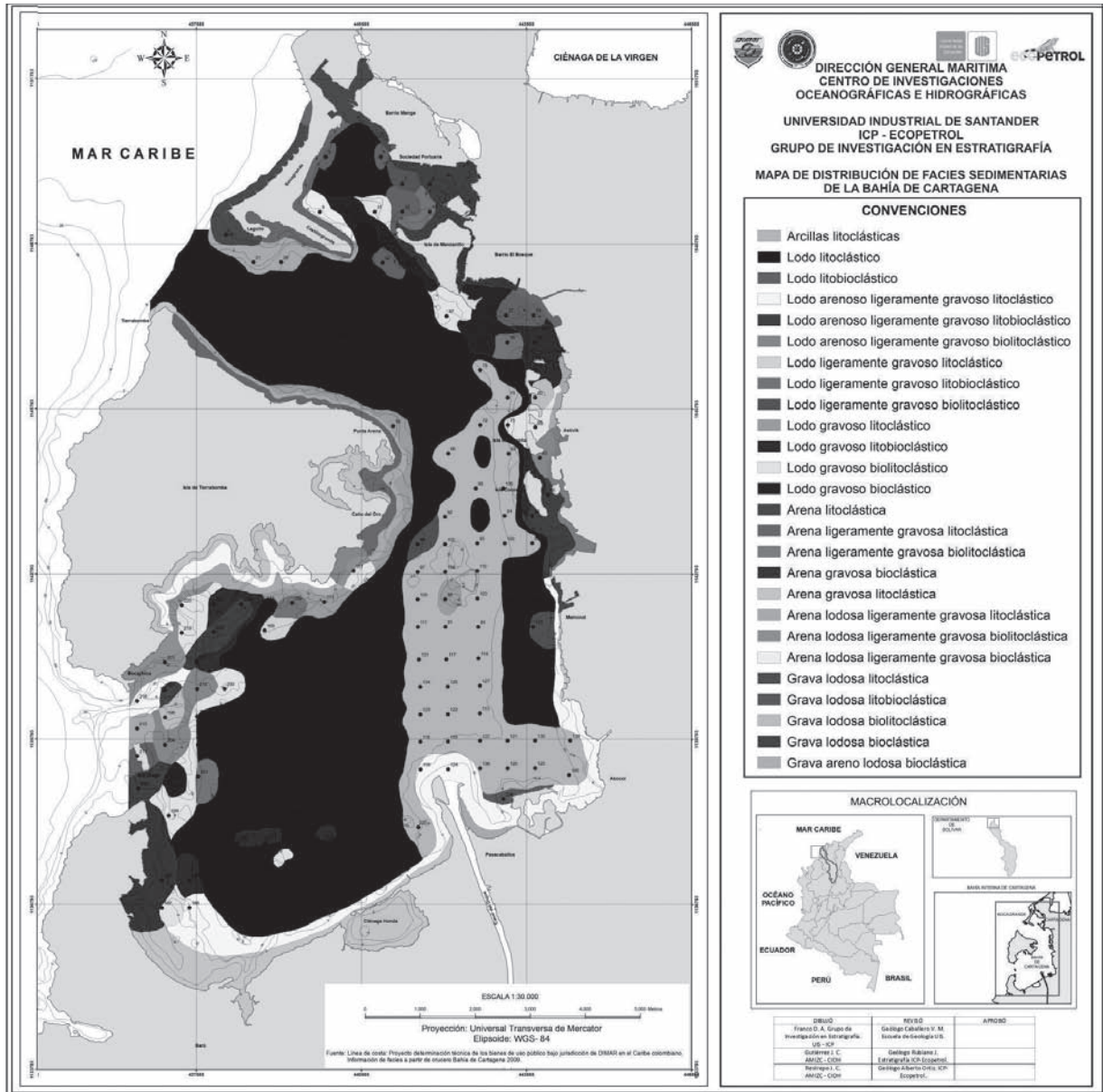


FIGURA 6. Mapa de distribución de facies sedimentarias de la Bahía de Cartagena.

DISCUSIÓN

Se encontró un alto porcentaje de sedimentos de tipo lodo litoclásticos; originados por la dinámica fluvial del Canal del Dique y la actividad de los diapiros de lodo característicos del tectonismo activo de los domos y las chimeneas del Caribe y las formaciones presentes en zonas aledañas. Adicionalmente se encontraron arenas bioclásticas y litoclásticas. Las bioclásticas son resultado de las formaciones coralinas; presentan restos de conchas de bivalvos, gasterópodos y corales de tipo *Porites porites*, *Acropora palmata*, *Acropora cervicornis* y *Agaricia*.

Las litoclásticas constituyen el resultado de procesos geológicos, agentes oceanográficos y la intervención del hombre con la construcción de espolones para estabilizar áreas susceptibles a la erosión. Los procesos geológicos involucrados son la meteorización, erosión, transporte, depositación de los sedimentos y los agentes oceanográficos como la deriva litoral, las mareas, el viento y el clima. La presencia de las facies bioclásticas en la parte sur de la bahía interna, al sur y este de Tierra Bomba, está determinada por el alto porcentaje CaCO_3 proveniente de los procesos de meteorización y erosión de los arrecifes coralinos, fragmentos de moluscos, espículas, foraminíferos

y algas calcáreas que se encuentran en la Isla de Tierra Bomba. De acuerdo con el CIOH (1983) la Bahía de Cartagena estaba conformada por gránulos, arenas gruesas y finas, limos y lodos; con predominio de facies de tipo arenas gruesas litobioclásticas y biolitoclásticas en la parte sur de la Isla de Tierra Bomba, en Bocachica y al norte de Barú; facies de arenas finas litoclásticas en Bocagrande; facies de limos y lodos litobioclásticas y biolitoclásticas en la bahía interna y lodos litoclásticos en la parte norte de la bahía. Posteriormente, Andrade (2004) determinó que la mayor concentración de CaCO_3 se encontraba en la parte norte de la bahía interna, el sector de Bocachica y al norte de la Península de Barú. Lo anterior indica que existen diferencias en la distribución de los sedimentos superficiales y el contenido de CaCO_3 reportados por el CIOH (1983) y Andrade *et al* (2004) en relación con este estudio.

En un periodo de 24 años la Bahía de Cartagena ha pasado de poseer un fondo caracterizado por arenas, lodos y limos con dominio de las facies limo biolitoclástico, lodo litoclástico y litobiolitoclástico (CIOH, 1983) a presentar un dominio marcado por las facies arcillas y lodo litoclástico identificadas en este estudio. Las posibles causas de este cambio en la distribución de facies superficiales pueden ser: 1. Las condiciones climáticas han generado mayor aporte de aguas de origen continental con sedimentos litoclásticos; provenientes del río Magdalena, 2. El diapirismo de lodo y formaciones con sedimentos litoclásticos; transportados por el Canal del Dique y depositados en la bahía. 3. Las condiciones oceanográficas han desarrollado una turbidez de bajo grado; que permite una mayor selección y depósito de partículas finas formadas por arcillas con partículas de composición coralina. 4. El dragado y el continuo movimiento de los sedimentos como resultado del funcionamiento del puerto marítimo presente en la bahía. 5. Los cambios químicos y biológicos presentes en el fondo de la bahía.

El cambio en la distribución facial de los sedimentos del fondo de la bahía está influenciado por la desembocadura del Canal del dique; por lo tanto, las características químicas y biológicas de la bahía continuarán generando la meteorización y erosión de las formaciones coralinas durante los próximos años.

CONCLUSIONES

Durante los últimos 24 años el fondo de la Bahía de Cartagena ha mostrado variaciones en la distribución sedimentológica. Se observó una disminución de tamaño

medio de grano en sectores como La bahía interna, Manzanillo, sur- este de Tierra Bomba, Mamonal y Bocachica. El tamaño medio de grano aumentó en el sector de Albornoz y mientras que en los alrededores del sector Castillo Grande parte norte de la bahía se observa que el tamaño fino es constante, mostrando que en general para el año 2009 se presenta mayor presencia de arcillas, lodos y arenas finas en la parte central y sur. Esto último se manifiesta por la formación de una pluma de sedimentos en el Canal del Dique que se extiende hasta el norte de la bahía; formada básicamente por detritos de tamaño arcilla y tamaño lodo.

El aporte de sedimentos con composición calcárea se debe a la alta presencia de formaciones arrecifales en el subsuelo del Caribe Colombiano, los cuales han sufrido procesos de meteorización y erosión producto de la dinámica fluvial y las condiciones oceanográficas de la bahía generando depósitos que incluyen restos de conchas de bivalvos, gasterópodos, corales de varios tipos y material detrítico. La presencia de las formaciones coralinas y el delta del Canal del Dique han generado una variación lateral de las facies, debido a que estas dos fuentes de sedimentación presentan diferente génesis y por tanto difieren en las condiciones y agentes oceanográficos que permiten su sedimentación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a Juan D. Colegial y Alberto Ortiz F., Directores del Grupo de Investigación en Estratigrafía (GIE) – Universidad Industrial de Santander; Convenio 005 de la Unidad de Investigación del Instituto Colombiano del Petróleo y a los CN Juan M. Soltau y CN Esteban Uribe, Directores del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, por su impulso a los acuerdos de Cooperación Académica entre estas instituciones. Se destaca la contribución del personal del Área de Manejo Integrado de Zonas Costeras del CIOH y del Laboratorio DRX del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP). Se agradece al geólogo Nelson Rangel por sus valiosos comentarios en las etapas iniciales, así mismo al geólogo Omar Camilo Montenegro y otro revisor anónimo por sus sugerencias para la culminación de este manuscrito.

REFERENCIAS

Andrade, C., Thomas, Y. F., Lonin, S., Parra, C., Kunesch, S., Menanteau, L., Andriau, A., Piñeres, C., y Velasco, S. 2004. Aspectos morfodinámicos de la Bahía

- de Cartagena de Indias. (Colombia). Boletín Científico CIOH, 22: 90-104.
- Blott S.J. 2008. GRADISTAT. A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments by sieving or laser granulometer. Version 6.0. Kenneth Pye Associates Ltd.
- Boggs, S, Jr. 1987. Principles of sedimentology and stratigraphy. A Bell and Howell Company. Merrill publishing Company, pp 5-105.
- CIOH, 1983. Mapa de repartición de las facies sedimentarias - Bahía de Cartagena, Armada de la república de Colombia. Dirección General Marítima y Portuaria. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas y Misión Técnica Francesa. Cartagena. Colombia.
- Cendales, M.H., Zea, S., y Díaz, J.M. 2002: Geomorfología y unidades ecológicas del complejo de arrecifes de las Islas del Rosario e Isla Barú (Mar Caribe, Colombia). Rev. Acad. Colom. Cienc. 26 (101): 497-510.
- Cormagdalena, 2004. Actualización del Plan de Manejo Ambiental de los dragados de relimpia y mantenimiento del Canal del Dique. Cormagdalena – Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de las Flores. Documento E –063–032-04. Reporte Técnico, 73p.
- Folk, R.L. 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Company Austin, Texas, pp 26-32.
- Klingebl, A., y Vernet, G. 1978. Estudio Batimétrico y sedimentológico en la plataforma continental entre Cartagena y la desembocadura del Río Magdalena (Colombia). Boletín Científico CIOH. 6: 55-70.
- Laboratorio de Ensayos Hidráulicos. 1988. Ministerio de Obras Públicas y del Transporte de Colombia (LEH-MINTRANSPORTE). Memoria Anual de Trabajos Desarrollados en el Laboratorio. Reporte Técnico. Bogotá.
- Martínez, J.I., Yokoyama, Y., Gómez, A., Delgado, A., Matsuzaki, H., and Rendón, E. 2010. Late Holocene marine terraces of the Cartagena región, southern Caribbean: The product of neotectonism or a former high stand in sea-level?. Journal of South American Earth Sciences, 29: 214-224
- Gutiérrez, S.J., y Bernuil, C. 2004. Manual Sedimentológico. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas - CIOH. ENAP. Dimar. Cartagena.
- Restrepo L.J.C., Franco A.D.A., Escobar, J., Correa, I.D., Otero, L., y Gutiérrez B.J. 2013. Bahía de Cartagena (Colombia): Ambientes Sedimentarios y distribución de los sedimentos superficiales. Latin American Journal of Aquatic Research, 41(1): 99-112
- Solé De Porta. 1960. Observaciones palinológicas sobre el Plioceno de Cartagena Colombia. Boletín de Geología, UIS, 4: 1-32
- Sociedad Portuaria Regional de Cartagena (SPRC). 2009. Actualidad Portuaria – Estadísticas. Reporte Técnico. Cartagena de Indias, D.T. y C. (Septiembre de 2009). Consultado diciembre de 2010. <http://albatros.puertocartagena.com/opadmco.nsf/ustRefLinkDoc/6AA2E250E46E9B2F052573B006C9702>
- Tearpock, D.J., and Bischke, R.E. 1990. Mapping throw in place of vertical separation. A costly subsurface mapping misconception. Oil and Gas Journal.
- Universidad Nacional de Colombia, 2007. Estudios e investigaciones de las obras de restauración ambiental y de navegación del Canal del Dique. Informe de Hidrología. Universidad Nacional de Colombia – Cormagdalena, 44p.
- Urbano, J., Thomas, Y.F., Parra C., y Genet P.Y. 1992. Dinámica de la pluma de turbidez del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena – Colombia. Boletín Científico CIOH, 11: 3-14.
- Vernet, G. 1982. Cartografía de los Fondos en la plataforma continental; estandarización de los criterios sedimentológicos. Boletín Científico CIOH, 4: 3-13.
- Vernet, G., Lesueur, P., y Klingebiel A. 1984. Evolución morfológica y sedimentológica de la flecha litoral del Laguito, (Bahía de Cartagena- Colombia). Boletín Científico CIOH, 5: 3-23.

Trabajo recibido: octubre 16 de 2012
Trabajo aceptado: abril 19 de 2013