

Geometría de los depósitos cuaternarios y actuales de la Bahía de Cartagena de Indias, Colombia

Geometry of quaternary and present deposits on Cartagena de Indias Bay, Colombia

Fecha de recepción: 2012-03-19 / Fecha de aceptación: 2012-10-12

Carlos A. Andrade¹ e **Yves-Francois Thomas**²

¹ **Grupo de Investigación en Oceanología (GIO):** Escuela Naval "Almirante Padilla", Isla de Manzanillo, A.A. 982, Cartagena de Indias, Colombia. Correo electrónico: candrade@costa.net.co

² **Centro Nacional de Investigación Científica (CNRS)** (Laboratorio de Geografía Física) y la Universidad París-1, Unidad Mixta de Investigación (UMR) n° 8591, 1 place Aristide Briand, 92195, Meudon Cedex, Francia. Correo electrónico: thomas@cnrs-bellevue.fr

Andrade, C. y Thomas Y.F. 2012 Geometría de los depósitos cuaternarios y actuales de la Bahía de Cartagena de Indias, Colombia. Bol. Cient. (30): 117-131.

RESUMEN

Se analizan trece perfiles del subsuelo en la Bahía de Cartagena de Indias realizados con un perfilador, utilizando una frecuencia de 10 kHz. Se describen los estratos encontrados en las distintas partes de la bahía. Se encontraron zonas con sedimentos superficiales muy duros que permitieron poca penetración en el área externa de Bocagrande y capas de alrededor de 10 a 12 m de espesor de lodos blandos que se depositaron sobre estructuras de base más duras.

Algunas de las estructuras profundas son viejos arrecifes coralinos y otros presentan estratos con inclinaciones abruptas de sedimentos, medianamente duros que implican antiguos depósitos manejados por dinámicas diferentes a la actual. Los perfiles realizados en la parte sur muestran el prisma sedimentario que ha formado la desembocadura del Canal del Dique en varias direcciones.

Palabras clave: Sedimentología, Geomorfología, Bahía de Cartagena de Indias, Colombia.

ABSTRACT

The description of the stratification found in the different parts of Cartagena de Indias Bay is presented by the analysis of thirteen sub-bottom transects made with a Stratabox 10 kHz sub-bottom profiler. There were zones with very hard superficial sediments that allowed little penetration in the external area off Bocagrande with layers of 10-12m of softer mud deposited over harder bases. Some deep structures are old coral reefs.

Other transects present strata with steep slopes of semi-hard sediments implying old deposits handled by coastal dynamics different from the present. The southern sections show the sedimentary prism forms at the mouth of Canal del Dique in several directions. Topographic anomalies of the shelf seem to be inherited from a former coast line, controlled by structures in NNW direction that define the axes of the current bays, and for a megastructure possibly associated with Oca and Santa Marta fault systems, with an important role in the raising and evolution of the SNSM and the associate basins.

Key words: Sedimentology, Geomorphology, Cartagena Bay, Colombia.

INTRODUCCIÓN

La Bahía de Cartagena de Indias (departamento de Bolívar, Colombia) se sitúa sobre el litoral del Caribe entre 10°15' a 10°25' de latitudes Norte y 75°29' a 75°37' de longitudes Oeste (Figura 1). La evolución sedimentológica e hidrológica reciente de la Bahía de Cartagena se encuentra esencialmente vinculada al desarrollo de la ciudad que fue fundada en 1533, ocupando la parte septentrional (Figura 1).

La defensa de la ciudad contra los ataques por mar condujo muy pronto a la construcción en 1774 de una pared submarina, La Escollera de la Marina, en el canal de Bocagrande, al norte de la bahía [1]. Posteriormente, el deseo de establecer una comunicación directa entre la ciudad y el río

Magdalena estimuló desde 1934, la excavación de un acceso entre la bahía de Cartagena y el canal del Dique por Pasacaballos [2], excavación que ha sido paulatina y mantenida hasta la fecha.

El funcionamiento hidrológico y sedimentológico del sector de Bocagrande en los cuatro últimos siglos se documentó ampliamente [3][4][5]. Asimismo, el mecanismo de evolución reciente del delta interno del Canal del Dique fue precisado por trabajos basados en el análisis de documentos hidrográficos, de imágenes satelitales y el empleo de modelos numéricos [6][7][8].

Sin embargo, el tamaño de los sedimentos, su distribución espacial y el volumen total de los depósitos de materiales acumulados en la Bahía de Cartagena, no están bien documentados hasta

ahora, tanto por falta de reconocimientos directos (perforaciones) como indirectos (sísmica).

La presente investigación fue realizada buscando la zonificación de los fondos por medio de una ecosonda de baja frecuencia, que tuvo por objetivo precisar la distribución y la geometría de las acumulaciones sedimentarias de los principales ámbitos de la Bahía de Cartagena de Indias.

Luego de una presentación del marco geológico y de la dinámica sedimentaria de la bahía, se justifica la localización de los perfiles, la metodología elegida y se discuten los resultados obtenidos.

Estudios similares con Stratabox para determinar el espesor de las capas sedimentarias superficiales, han sido realizados exitosamente en distintas partes del globo y en diferentes ambientes acuáticos, como en el río Shatt AL Arab sobre arenas de 200 hasta 250 micrómetros obteniendo espesores de hasta 10 m [9], en evaluación de paleo-dunas de arenas de hasta 125 micrómetros en Yucatán [10], y en el brazo de Al-Rebat en Basora sobre arenas finas y limos [11].

También se han utilizado e arenas entre 125 y 315 micrómetros en el estuario de la península de Seti (Malasia) con penetraciones de hasta 20 m [12]; en Deep Creek Lake en arenas entre 180 a 220 micrómetros [13] y en Trout Pound en los Estados Unidos [14] para observar paleo-ambientes en Lago Boqueirão en Brasil [15] como ejemplos de la versatilidad de esta metodología.

El marco geológico

Todas las formaciones que aparecen en la región de Cartagena se atribuyen al Neógeno y al Cuaternario. El Mioceno aparece al interior de la región donde constituye las mesetas al Este de la bahía, está formado por arcillas y areniscas que representan facies profundas a turbiditas y facies carbonatadas de ámbitos de plataforma.

El Plioceno está presente sobre todo el perímetro de la bahía y el interior de la isla de

Tierrabomba, está formado por arcillas micáceas y arcillas arenosas superadas por calcáreos arrecifales que forman los relieves. El Cuaternario arrecifal compone la mayor parte de la línea de costa de la bahía, excepto el cordón litoral sobre el cual la ciudad y el puerto de Cartagena se establecen, en la llanura y el delta del Canal del Dique [3].

La dinámica sedimentológica

Hasta el paso de Bocagrande la plataforma litoral es muy desarrollada (Figura 2). La acumulación arenosa que compone los cuerpos sedimentarios tiene por origen los sedimentos del río Magdalena traídos por la deriva litoral (Figura 3). Forman largos cordones y flechas, artificialmente estabilizados por obras de protección detrás de las cuales se alberga la actividad portuaria de Cartagena. Ya al interior de la bahía se encuentran varias clases de sedimentos finos relacionados con distintas descargas que ha recibido este cuerpo de agua en épocas pretéritas y los más recientes que llegan por la desembocadura del Canal del Dique en la parte sur de la bahía. Los lodos finos y limos cubren los fondos más profundos mientras que las partes someras muestran aun su origen coralino que en su mayoría es fósil y que se representa en arenas carbonatadas y detritos de coral. Estas partes someras son los bajos fondos de La Virgen, Manzanillo, Santacruz y los que enfrentan la entrada de Bocachica con Careya e.g. [8][6][7].

En esta misma categoría se encuentran la gran cantidad de diapiros fósiles que son hoy pináculos carbonatados que se presentan en el Sur de la bahía, cuyos mayores exponentes sobresalen casi hasta la superficie. En la parte exterior, limos finos frente a Bocagrande separan las arenas de la deriva litoral del Magdalena de las arenas carbonatadas y los arrecifes de coral frente a Tierrabomba, donde empieza un gran complejo arrecifal costero que va hacia el sur, pasando por la boca profunda de Bocachica y la somera de Varadero.



Figura 1. Localización de la Bahía de Cartagena de Indias: Imagen multiespectral WorldView-2 '1030010012728000' del 28 de febrero de 2012, © DigitalGlobe Inc.

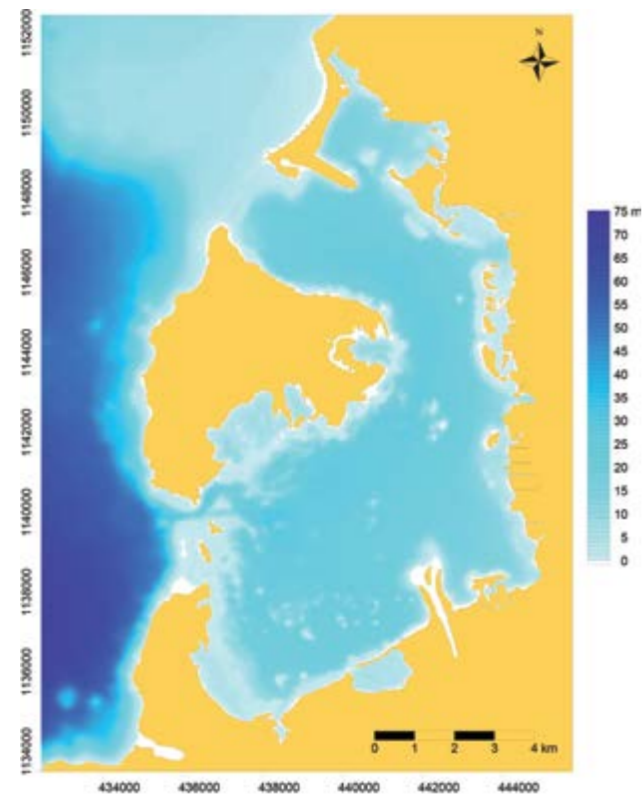


Figura 2. Mapa batimétrico de la Bahía de Cartagena de Indias. Los sondajes batimétricos fueron obtenidos entre 2000 y 2004 por el CIOH [8].

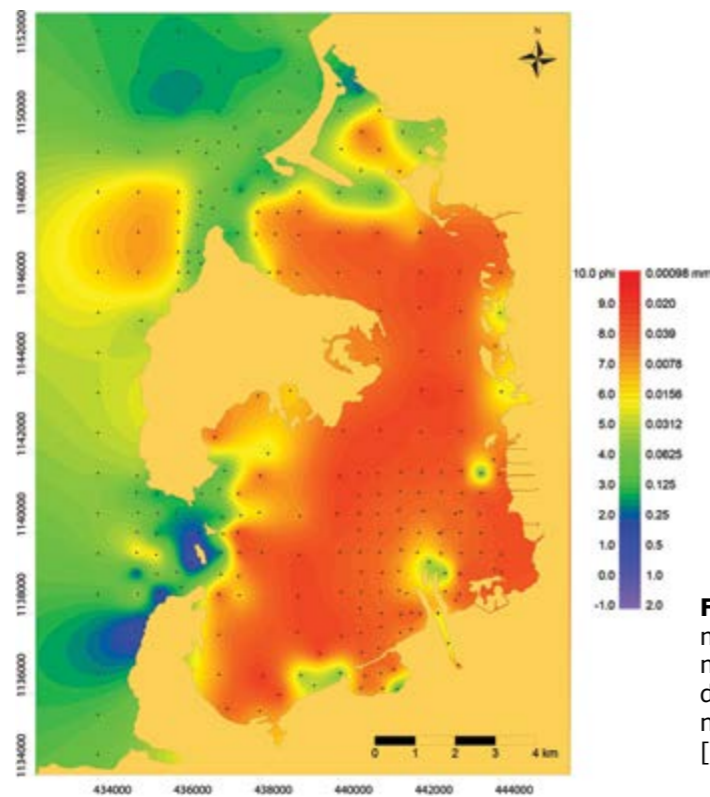


Figura 3. Mapa del tamaño del grano medio, expresado en unidades "φ" y en milímetros, de los sedimentos de superficie de la Bahía de Cartagena de Indias. Los muestreos se efectuaron en 2003 y 2004 [8].

ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía de Cartagena de Indias se sitúa al Suroeste del litoral del Caribe. Su superficie es de 82 km². De orientación norte-sur, su relativo cierre se debe a la presencia de la isla de Tierrabomba que deja dos pasos, Bocagrande y Bocachica, de carácter sedimentológico muy contrastado. El Norte de la bahía alberga las instalaciones portuarias de Cartagena que suceden hacia el Sur al manglar que coloniza una gran parte del litoral Este. Al Sur se sitúa la desembocadura del Canal del Dique abastecido por el río Magdalena y que constituye el único drenaje permanente de la bahía. El manglar, a veces separado por estrechas playas vuelve a empezar hasta

Bocachica y continúa sobre la parte meridional de la isla de Tierrabomba (Figura 1).

METODOLOGÍA

Estrategia de adquisición de datos

La imposibilidad material para cubrir la totalidad de los fondos de la bahía condujo a utilizar una estrategia para estudiar las zonas donde se sospechaba la presencia de estructuras subyacentes (Figura 4), teniendo en cuenta la dinámica en las bocas, los estrechos y demás rasgos de la bahía.

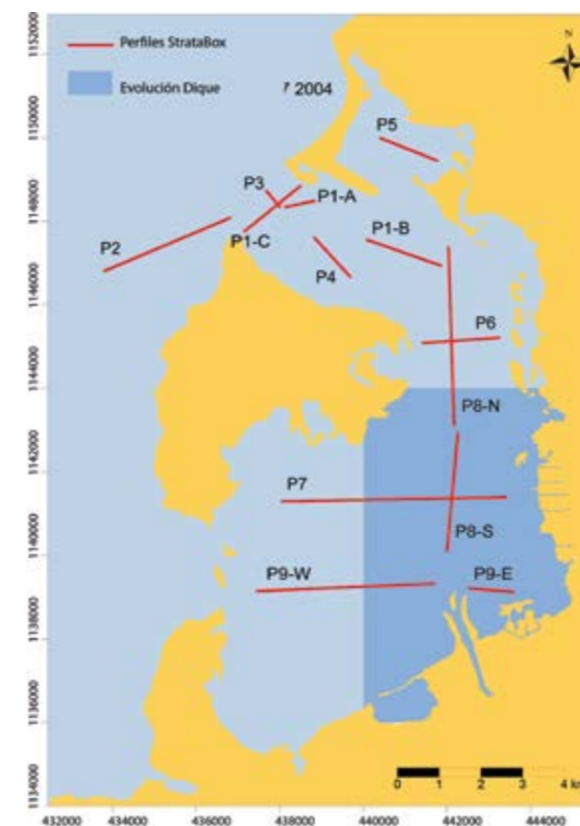


Figura 4. Mapa de localización (1) de los transectos efectuados con la ecosonda de baja frecuencia y (2) del mapa de velocidad de sedimentación del delta del Dique (cf. Figura 17).

La zonificación de los fondos

La ecosonda de baja frecuencia utiliza las propiedades acústicas del subsuelo marino para hacer "visible" la geometría de este último. La onda emitida por el transductor se propaga en los fondos sedimentarios sufriendo modificaciones vinculadas a las características físicas de las capas de materiales sucesivamente atravesadas [16].

Para este estudio se utilizó una ecosonda StrataBox™ de SyQwest Inc. La frecuencia de operación de la sonda fue de 10 kHz, la potencia transmitida fue de 300 w. La profundidad máxima de la exploración realizada con la sonda fue del orden de 40 m. La resolución o separación mínima entre dos reflectores ofrecida por el sistema varía con la profundidad de exploración escogida y es

del orden del decímetro. El instrumento indica la señal de la sonda según la profundidad (z) y las coordenadas geográficas fueron adquiridas por medio de un receptor DGPS.

La adquisición de los datos y parte de su tratamiento inicial fueron realizados mediante el uso del software SyQwest StrataBox versión 3.2. Las grabaciones se adquirieron en el formato propietario de Ocean Data Equipment Corp (ODC). La embarcación utilizada fue una embarcación con propulsión fuera de borda cuya velocidad media de desplazamiento estuvo entre 1,25 y 1,5 ms⁻¹.

El post-tratamiento de los datos.

La restitución de la geometría de las imágenes adquiridas, el análisis de su dinámica y la puesta de evidencia de las estructuras fue realizada con programas informáticos de tratamiento de imagen disponibles en el mercado. En particular, para efectuar el proceso de corrección por expansión dinámica y filtraje. La interpretación de los perfiles, es decir, la delineación de los

estratos sedimentarios y de las estructuras importantes encontradas fue realizada con un software de dibujo.

RESULTADOS

Perfil 1-A

Transecto de orientación ESE-WSW, realizado el 29 de marzo de 2007 a las 15 h 07 min UTC. Comenzó en la proximidad inmediata de la costa con poca profundidad, del orden de 4 m (10,3890° N, 75,5589° W) al sur de Castillogrande y con rumbo 247° sobre 700 m hacia las playas de Bocagrande, donde las profundidades observadas fueron mayores del orden de 18 m (10,3877° N, 75,5651° W). El perfil, de forma convexo-cóncava, no muestra ninguna variación significativa del relieve, su pendiente de caída es de 2,1 % (Figura 5). Se destaca la muy débil penetración de la señal, que atraviesa el fondo apenas de 5 a 10 m. El substrato atravesado es "muy duro", debido a la presencia de un depósito de sedimento arenoso (ver Figura 3) aportado por la deriva litoral [3].

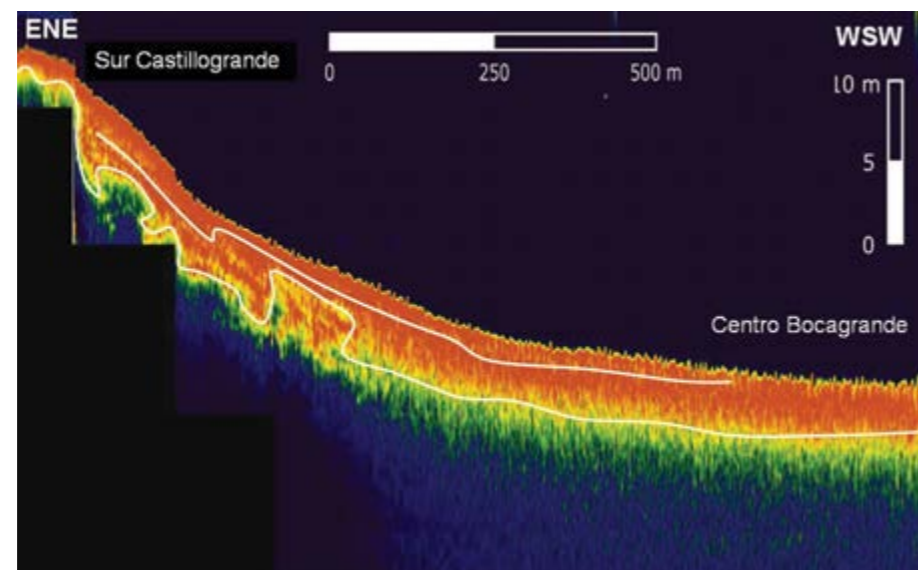


Figura 5. Perfil 1-A, empezando en Castillogrande en dirección WSW frente a Bocagrande.

Perfil 1-B

Transecto de orientación WNW-ESE, realizado el 29 de marzo de 2007 a las 16 h con 50 min UTC. Comenzó cerca del centro del Canal de Bocagrande en 26 m de profundidad (10,3806° N, 75,5473° W) y se llevó a cabo en dirección 112° sobre 1800 m hacia el sur del bajo Manzanillo, donde las profundidades observadas fueron

ligeramente menores, del orden de 24 m (10,3751° N, 75,5313° W). El perfil, de forma cóncava, no está marcado por ninguna variación significativa del relieve, su pendiente de caída fue de 0,1 % (Figura 6).

En la parte central de este sitio de la bahía se evidencia una estratigrafía muy quebrada por debajo de las capas de sedimentos recientes de

unos 8 m de espesor. Se trata de estratos con altas pendientes que alcanzan a detectarse hasta alrededor de 20 m de espesor en el subsuelo,

antes de llegar a la formación coralina del bajo de Manzanillo.

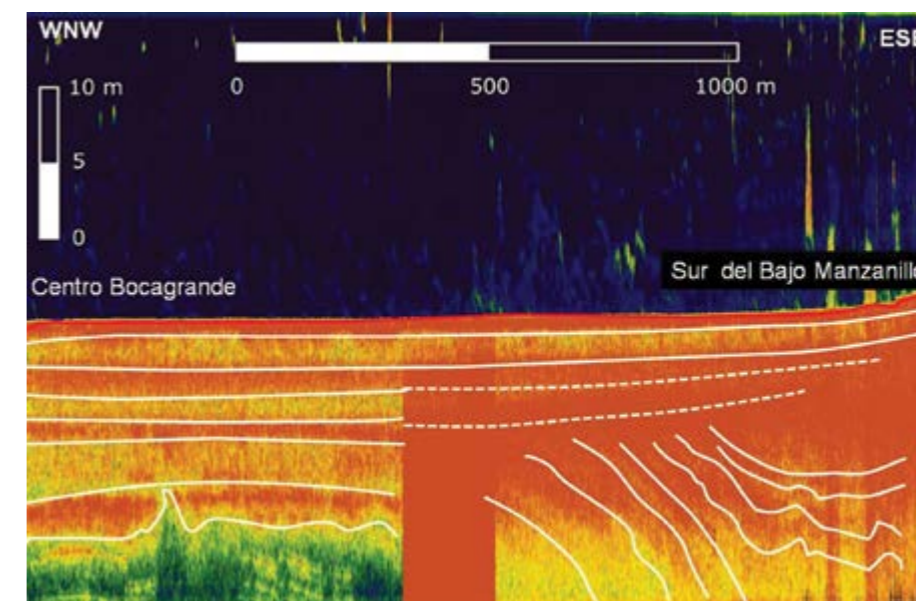


Figura 6. Perfil 1-B, desde el centro de Bocagrande hasta el Sur del bajo Manzanillo.

Perfil 1-C

Transecto de orientación NNE-SSW, realizado el 29 de marzo de 2007 sobre la cuenca profunda de Bocagrande, a lo largo de 4500 m de distancia desde cerca de El Laguito (10,392041° N 75,5632° W) hasta el frente de la isla de Tierrabomba (10,3804° N, 75,5720° W) (Figura

7). El perfil se caracteriza por ser casi plano sobre 23 m de profundidad, con depósitos de limos finos recientemente depositados en los primeros 11 m de espesor, situados sobre una superficie de sedimentos inclinada, claramente diferente en naturaleza a la de los depósitos recientes a lo largo de todo el perfil.

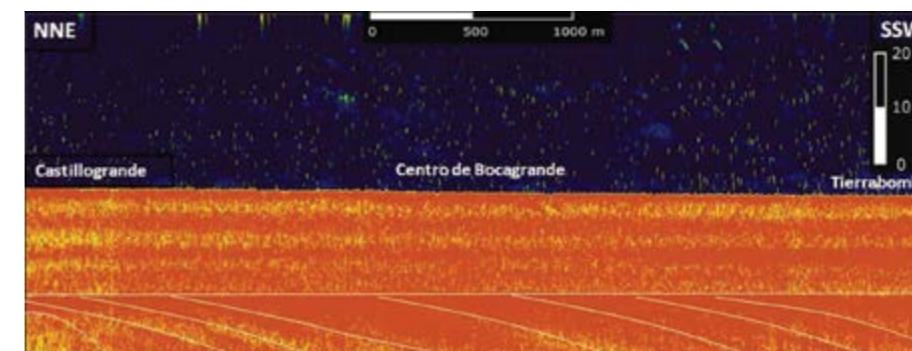


Figura 7. Perfil 1-C, desde Castillogrande hasta Tierrabomba.

Perfil 2

Transecto de orientación NNE-SSW, realizado el 10 de abril de 2007 a las 12 h 47 min UTC. Comenzó al nivel de La Escollera con poca

profundidad, del orden de 6 m (10,3853° N, 75,5773° W) y se llevó a cabo sobre un rumbo 157° a lo largo de 3000 m hacia mar abierto, hasta donde las profundidades observadas alcanzaron 50 m (10,3738° N, 75,6046° W).

El perfil se caracteriza por una continuación de cuatro segmentos cóncavos de longitudes y de pendientes diferentes que son, respectivamente,

de 660, 1330, 650 y 610 m, 0,6, 2,2, 0,9 y 0,8° (Figura 8).

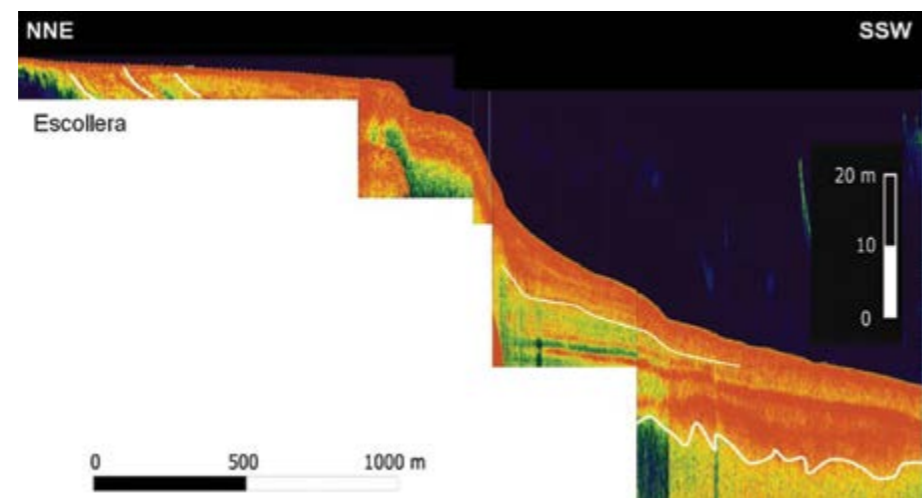


Figura 8. Perfil 2, al exterior de la Bahía de Cartagena, frente a Bocagrande, la travesía se realizó desde La Escollera en dirección SSW.

Perfil 3

Transecto de orientación WNW-ESE, realizado el 29 de marzo de 2007 a las 15 h 23 min UTC. Comenzó en la bahía en profundidades del orden de 15 m (10,3878° N, 75,5665° W) y se adelantó en un rumbo 112° sobre una distancia de 500 m hacia La Escollera, donde las profundidades observadas no sobrepasan 5 m (10,3911° N,

75,5693° W). El perfil, de forma lineal, no está marcado por alguna variación significativa del relieve, su pendiente de caída es de 1.9 % (Figura 9). Se observa la muy débil penetración de la señal que no atraviesa los fondos más de 5 m. La respuesta de las cortezas sedimentarias es similar a aquella observada en el perfil 1-NW, realizado en el mismo sector bajo una orientación diferente (ver Figura 6).

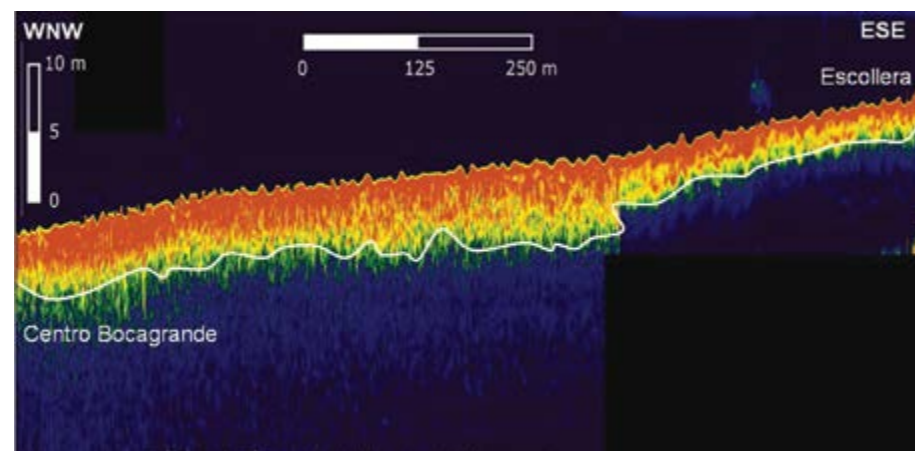


Figura 9. Perfil 3, a la salida de la bahía de Bocagrande, desde La Escollera dirección hacia el WNW.

Perfil 4

Transecto de orientación NNE-SSW, realizado el 30 de marzo de 2007 a las 16 h 41 min

UTC. Empieza al Sur del Bajo de La Virgen en profundidades del orden de 25 m (10,3810° N, 75,5588° W) y se llevó a cabo sobre un rumbo 202° a lo largo de una distancia de 2100 m hacia

la isla de Tierrabomba, donde las profundidades observadas permanecieron del mismo orden de magnitud (10,3727° N, 75,5511° W). El perfil, de forma cóncava, no se encuentra marcado por ninguna variación significativa del relieve, muestra una pendiente constante de 0,3 % sobre 1800 m antes de que los fondos se levanten ligeramente en las inmediaciones de la isla (Figura 10).

En el centro de la bahía y por debajo de los diez primeros metros de sedimento, se volvió a evidenciar estratificación muy inclinada de la misma naturaleza y apariencia a la vista en el perfil 1-S, llegando al bajo de Manzanillo en la misma zona. Esta estratificación se evidenció hasta alrededor de 20 m de profundidad en el sedimento.

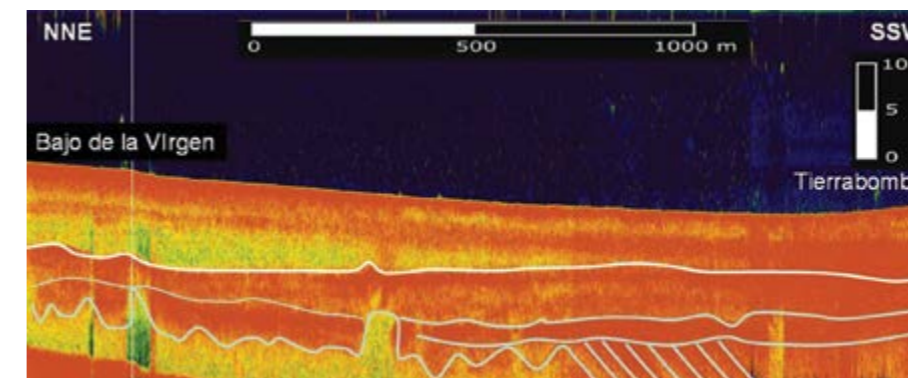


Figura 10. Perfil 4, desde el banco de la Virgen sobre el canal de Bocagrande en dirección SSW.

Perfil 5

Transecto de orientación W-E, realizado el 10 de abril de 2007 a las 16 h 32 min UTC. Inició en el sector cercano a Muelles El Bosque, en profundidades del orden de 11 m (10,3978° N, 75,5322° W) y se desarrolló a lo largo de un rumbo 90° sobre una distancia de 1400 m

hacia el norte del banco de La Virgen, donde las profundidades observadas alcanzan 16 m (10,3727° N, 75,5511° W). El perfil, de forma lineal, es marcado por numerosos accidentes de altura inferior a 1 m, muestra una pendiente descendiente de 0,6 % sobre los 300 primeros metros y de 0,3 % sobre los 300 últimos metros (Figura 11).

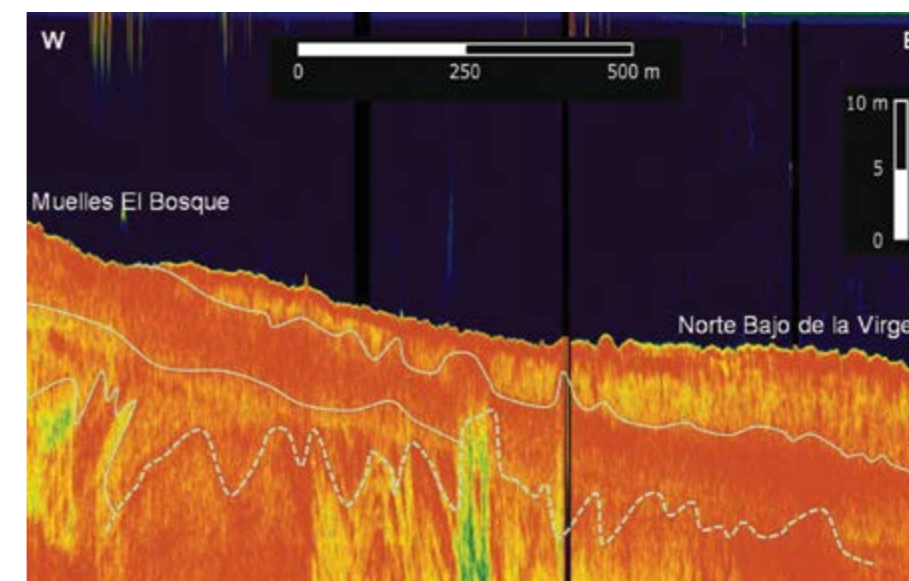


Figura 11. Perfil 5, a través de la bahía interna desde el muelle portuario del Bosque hasta el norte del banco de la Virgen.

Perfil 6

Transecto de orientación W-E, realizado el 30 de marzo de 2007 a las 15 h 54 min UTC. Se inició en el norte de la isla de Tierrabomba con profundidades del orden de 18 m (10,3583° N, 75,5351° W) y se realizó sobre un rumbo 090° a lo largo de una distancia de 1800 m hacia las islas

Albornoz, donde las profundidades observadas alcanzaron 13 m. El perfil está compuesto de una zona plana que corresponde al fondo de la bahía, la cual tiene insertados dos resaltos de una altura inferior a 5 m, entre dos sectores más pendientes que corresponden a los bordes de las dos islas (Figura 12).

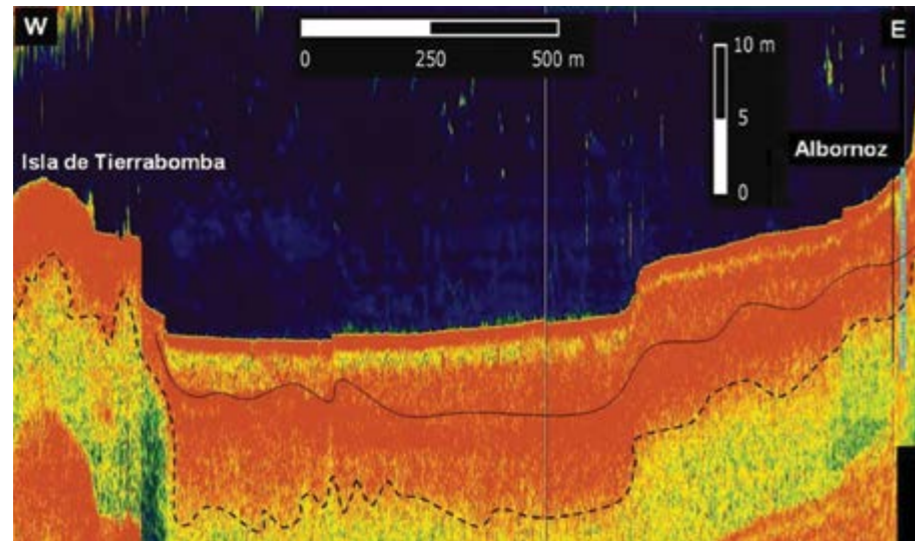


Figura 12. Perfil 6, a través de la bahía interior desde la isla Tierrabomba hasta las islas de Albornoz.

Perfil 7

Transecto de orientación E-W, realizado el 30 de marzo de 2007 a las 13 h 56 min UTC. Empezó al nivel del sector industrial de Mamonal en profundidades del orden de 15 m (10,3250° W, 75,5170° W) y se desarrolló sobre un rumbo 270° en una distancia de 5400 m hacia el canal

de Bocachica, donde las profundidades después de haber bajado hasta 30 disminuyen a 15 m, antes de aumentar nuevamente (10,3240° N, 75,5658° W). El perfil, extremidades apuestas aparte, no está marcado por ninguna variación significativa del relieve y muestra una pendiente constante de 0,4 % hacia el Oeste (Figura 13).

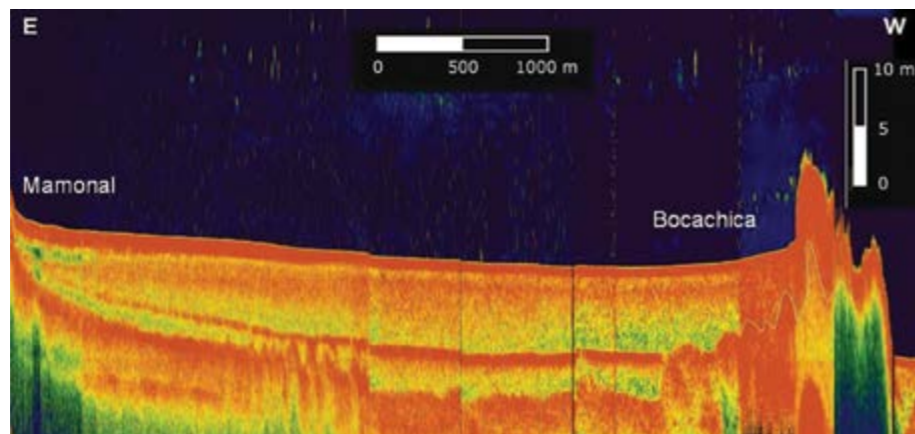


Figura 13. Perfil 7, a través de la bahía interior desde el sector de Bocachica, al sur de la isla de Tierrabomba, hasta la zona industrial de Mamonal.

Perfil 8-N

Transecto de orientación N-S, realizado el 29 de marzo de 2007 a las 17 h 46 min UTC. Empezó inmediatamente al sur del banco de Manzanillo en profundidades del orden de 18 m (10,3790° N, 75,5296° W) y se adelantó sobre un rumbo 180° en una distancia de 4400 m hacia

el banco Santacruz, donde las profundidades son 22 m (10,3407° N, 75,5283° W). El perfil muestra un flanco Norte poco pendiente (0,6 % sobre 950 m), un fondo inclinado hacia el Oeste sin variaciones significativas del relieve (0,1 % sobre 2350 m) después un flanco Sur más inclinado (1,2 % sobre 550 m) (Figura 14).

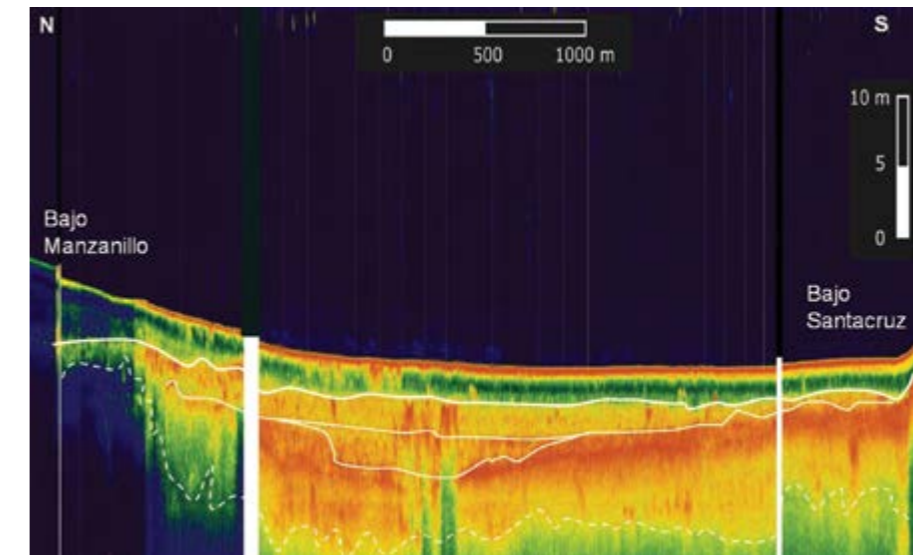


Figura 14. Perfil 8-N, desde el sur del Bajo Manzanillo hasta el norte del Bajo Santacruz.

Perfil 8-S

Transecto de orientación N-S, realizado el 29 de marzo de 2007 a las 19 h 06 min UTC. Empezó sobre el extremo sur del banco de Santacruz en profundidades de 5 m (10,3388° N, 75,5275° W)

después 25 m en las cercanías del banco y se desarrolló sobre un rumbo 180° en una distancia de 2800 m hacia el delta del Dique, donde las profundidades fueron de 20 m (10,3135° N, 75,5298° W).

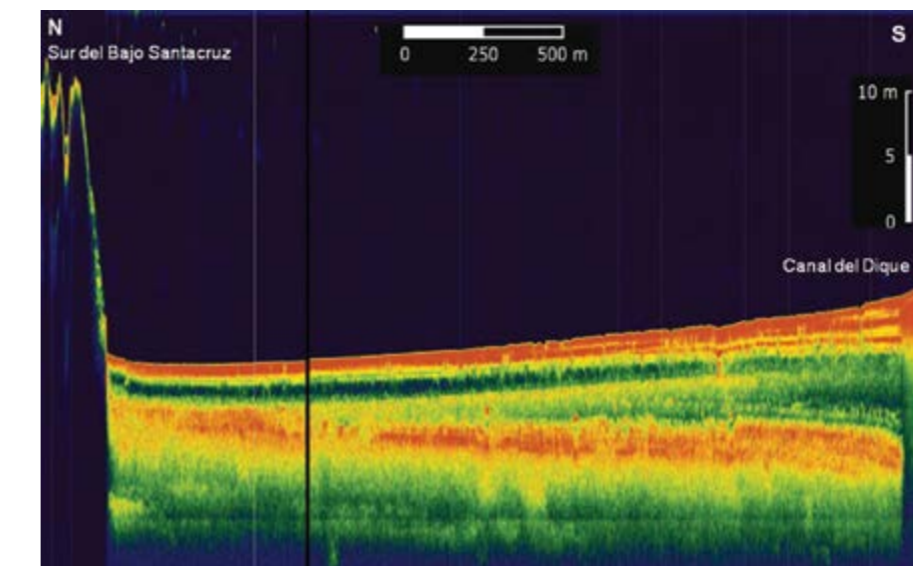


Figura 15. Perfil 8-S, desde el sur del bajo Santacruz hasta la desembocadura del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena.

El perfil, en el extremo Norte puesto aparte, no está marcado por ninguna variación significativa del relieve y muestra una pendiente constante de 0,25 % hacia el Sur (Figura 15).

Las capas de sedimentos finos frente a la desembocadura del Canal del Dique muestran la forma de deposición más recientes y el efecto de pérdida de profundidad en el Sur.

Perfil 9-E

Transecto de orientación E-W, realizado el 29 de marzo de 2007 a las 13 h 32 min UTC. Cubrió la zona comprendida entre la isla de Ahorcazorra

y la desembocadura del Canal del Dique, en la Bahía de Cartagena, sobre una distancia de 2600 m (coordenadas: 10,3045°, -75,5154° hasta 10,3053°, -75,5250°) (Figura 16).

Perfil 9-W

Transecto de orientación E-W, realizado el 29 de marzo de 2007 a las 12 h 01 min UTC. Cubrió la zona comprendida entre la desembocadura del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena y el canal del Varadero, sobre una distancia de 2600m (coordenadas: 10,3046°, -75,5711° hasta 10,3063°, -75,5326°) (Figura 17).

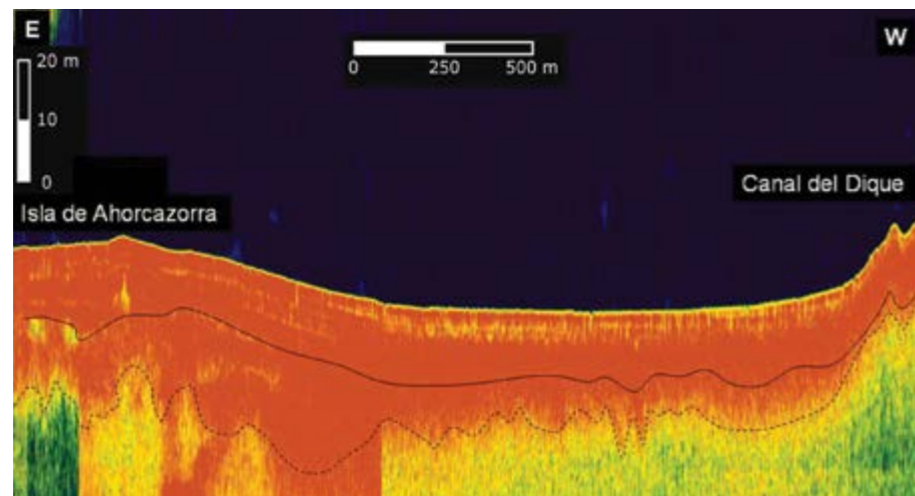


Figura 16. Perfil 9-E, desde la isla de Ahorcazorra hasta la desembocadura del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena.

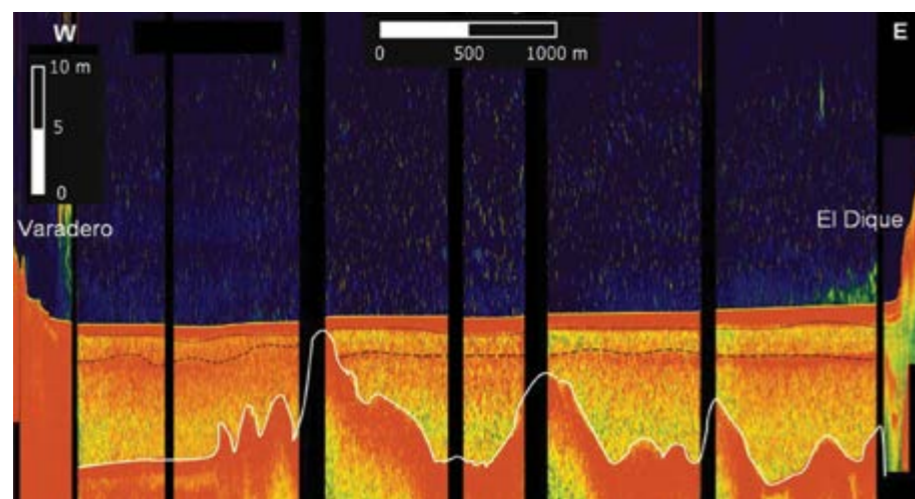


Figura 17. Perfil 9-W, desde la desembocadura del Canal del Dique, en la Bahía de Cartagena, hasta el sector del canal del Varadero.

DISCUSIÓN

El perfil 1-NW (Figura 5) así como el perfil 3 (Figura 9), no permitió mayor penetración en el subsuelo de Bocagrande en la parte interna. El perfil 2 (Figura 8) en cambio, si bien tiene la misma característica sobre La Escollera en la parte somera, afuera de la bahía al término de la pendiente más fuerte, en el centro del perfil muestra un depósito de material lodoso que alcanza a verse hasta en más de 20 m de penetración.

El perfil 1-S (Figura 6) y el perfil 4 (Figura 10) muestran una repartición de sedimentos del subsuelo muy horizontal y homogénea hacia el área entre Castillogrande y Tierrabomba, frente a La Escollera, pero en la medida que se acerca al centro de la bahía, cerca del bajo Manzanillo, la estratificación por debajo de los 10 m de sedimentos es abrupta, primero cóncava y luego convexa que se profundiza y asomera en una geoforma particular.

El perfil 5 (Figura 11) muestra que la bahía interna, como se conoce a la parte norte encerrada, entre la punta de Castillogrande y

la isla de Manzanillo, se encuentra ocupada por una capa de alrededor de 15 m de lodos que reposan sobre estructuras irregulares y duras que sugieren ser viejos arrecifes de coral.

Los perfiles 6 (Figura 12) y 7 (Figura 13) son registros transversales (E-W) de la bahía que muestran sedimentos finos en capas de alrededor de 10 a 12 m de espesor, reposando sobre una capa irregular más dura. El perfil frente a Bocachica, muestra como el sustrato coralino al aflorar en ese sitio se conforma en una trampa de sedimento fino dentro de la bahía.

Los perfiles 8-N (Figura 14) y 8-S (Figura 15) muestran la distribución de sedimentos a lo largo del eje Norte-Sur de la bahía, separados por el bajo Santacruz. En la parte norte los sedimentos blandos reposan sobre una geoforma que fue más profunda frente al canal de CONTECAR, justo al sur del bajo Manzanillo, mientras que al sur de la bahía, los depósitos recientes del Canal del Dique, frente a la desembocadura, son evidentes y el perfil muestra la homogeneidad de la distribución de los sedimentos en su alcance hasta el bajo Santacruz.

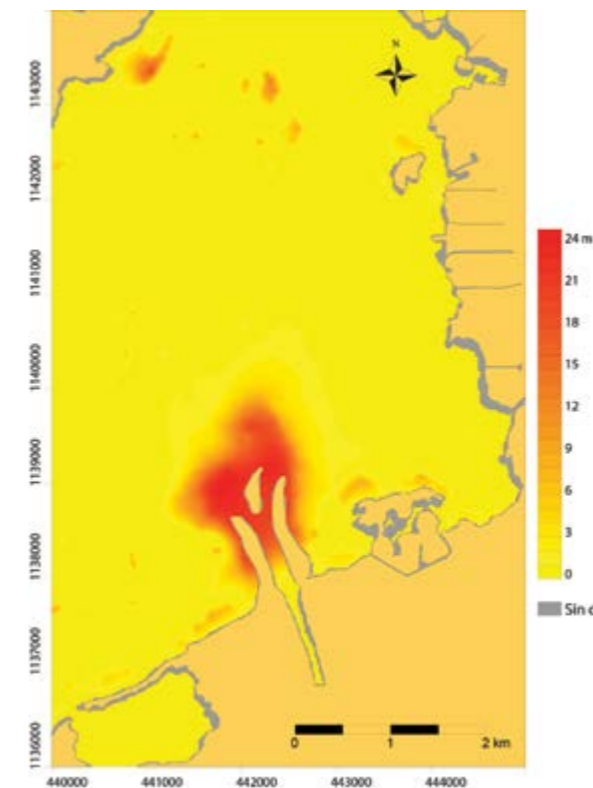


Figura 18. Mapa de la velocidad de sedimentación en el delta del Canal del Dique, Bahía de Cartagena de Indias. Los sondajes fueron obtenidos entre 1977 y 2004 por el CIOH [8].

Los perfiles 9-W (Figura 16) y 9-E (Figura 17) muestran la distribución de los sedimentos finos en la parte sur de la bahía. La invasión de sedimentos finos sobre formaciones coralinas es evidente siendo el borde coralino del varadero la trampa del sedimento en el área.

En resumen, se puede observar que el sedimento fino que sale por la desembocadura del Canal del Dique tiene una distribución uniforme a lo largo y ancho en la parte sur de la bahía, como lo muestra el asomeramiento de las capas de lodo en frente de la desembocadura (Figura 18). Los lodos han invadido los sustratos coralinos en espesores de más de 12 m. Las partes someras en las bocas del sur (Bocachica y El Varadero) son trampas naturales que no permiten la repartición de los lodos de manera más importante afuera de las bocas.

La parte central de la bahía, frente a Bocagrande, entre Castillogrande y Tierrabomba, se encuentra ocupada por sedimentos más duros. Enterrada bajo 10 m de lodos, en el área del centro del canal se encuentran capas de sedimentación con inclinaciones importantes cóncavas y convexas que sugieren una dinámica de distribución muy diferente a la actual.

En el área de La Escollera, si bien es claro que el sedimento de las partes someras es arenoso [3], el fondo del talud exterior se encuentra ocupado por sedimentos finos [8] que tienen hasta 20 m de espesor en ese sector.

CONCLUSIONES

Los trece perfiles de sonda de baja frecuencia realizados en la Bahía de Cartagena, muestran la distribución de los espesores de la invasión de los sedimentos finos en las diferentes zonas. La mayoría de los perfiles muestran un estrato duro que se encuentra al final de una capa de entre 10 y 12 m de lodos correspondientes al cambio de un ambiente marino con arrecifes coralinos a uno estuarino, con descargas continentales importantes, especialmente en la parte sur donde la desembocadura del Canal del Dique muestra la acumulación de sedimentos en la cuenca cerrada, ocupando en ocasiones más de 20 m de espesor.

Esto no significa que todos los lodos finos hayan sido aportados por el Canal del Dique actual, pero indudablemente significa que dichos lodos alcanzan a llegar a todos los rincones de la bahía y que las bocas al ser más altas se

conforman en una trampa sin remedio de dichos sedimentos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los señores Stephane Kunesh y Jaime Orejarena por su trabajo y colaboración durante el trabajo de adquisición de los datos. Este trabajo de investigación ha sido realizado en el marco de un proyecto de investigación Franco-Colombiano sostenido por el programa EcosNord. Es el fruto de la cooperación entre el Grupo de Investigación en Oceanología (GIO) de la Facultad de Oceanografía de la Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla" (ENAP), el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) y el Laboratorio de Geografía Física del Centro Nacional de Investigación Científica Francesa (CNRES-UMR 8591).

Los autores quieren agradecer al programa EcosNord, que se maneja desde Colciencias en Colombia, así como a la ENAP, al CIOH y al CNRS por la ayuda que les han concedido para llevar a buen término este trabajo.

LITERATURA CITADA

- [1] Marco Dorta, E. (1988). Cartagena de Indias, puerto y plaza fuerte. Bogotá, Fondo Cultural Cafetero, 3ème édition, 369 pp.
- [2] Leblanc, F. 1985. Approche morphologique et sédimentologique du delta du Dique, côte caraïbe de la Colombie. Thèse de 3ème cycle, Université de Bordeaux I, 244 pp.
- [3] Vernet, G. J., Buitrago, J., Campos, N. y Llano, M. (1977). Variaciones morfológicas de las costas de la Bahía de Cartagena a partir del siglo XVI. Cartagena de Indias, Boletín Científico CIOH, No. 1, pp. 21-40.
- [4] Lesueur, P. (1979). *Sédiments et milieux sédimentaires dans la baie de Cartagena (Colombie)*. Thèse de 3ème Cycle, Université de Bordeaux I, 2 tomes : 144 pp., 73 fig.
- [5] Pagliardini, J.L., Gómez, M.A., Gutiérrez, H., Zapata, S.I., Jurado, A., Garay, J.A. y Vernet, G. (1982). Síntesis del proyecto Bahía de Cartagena. Cartagena de Indias, Boletín Científico CIOH, No. 4, pp. 49-110.
- [6] Andrade, C., Thomas, Y.F., Lonin, S., Parra, C., Menanteau, L., Cesaraccio, M., Kunesch, S., Andrieu, A., Velasco, S., Piñeres, C. (2004). Aspectos morfodinámicos de la Bahía de Cartagena de Indias. Cartagena de Indias, Boletín Científico CIOH, No. 22, pp. 90-104.
- [7] Lonin, S., Parra, C., Andrade, C., Thomas, Y.F. (2004). Patrones de la pluma turbia del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena. Cartagena de Indias, Boletín Científico CIOH, No. 22, pp. 77-89.
- [8] Thomas Y.F., Ménanteau L., Kunesch S., Cesaraccio M., Andrade C., Lonin S. & Parra C. (2006). *Le delta du canal du Dique (baie de Carthage des Indes, Colombie)*. Modélisation géomorphologique et sédimentologique. In: *Colloque international « Interactions Nature-Société, analyse et modèles »*. La Baule, 3-6 mai 2006.
- [9] Ostrowski, R. and Pruszek, Z. 2011. *Relationships between coastal processes and properties of the nearshore sea bed dynamic layer*. *Oceanologia*, 2011, 53 (3): 861-880.
- [10] Cuevas, E. et al., 2013. *Morphological and sedimentological assessment of submarine dune fields on the coast of Yucatan, Mexico*. *Ciencias Marinas*, 2013, 39 (1): 83-99.
- [11] Muttashar, W.R. et al., 2012. *Detection of subsurface layers by Sub Bottom Profiling (SBP) of cross section of Shatt Al-Arab River at Al-Rebat branch, Basrah, southern Iraq*. *Mesopot. Journal of Marine Science*, 2012, 27 (1): 49-58.
- [12] Yaacob, R. and Mohd, Z. M. 2010. *Grain-size distribution and subsurface mapping at the Setiu wetlands, Setiu, Terengganu*. *Environ Earth Science* (2010) 60:975-984.
- [13] Banks, W.S.L. and Johnson, C.D. 2011. *Collection, Processing, and Interpretation of Ground-Penetrating Radar Data to Determine Sediment Thickness at Selected Locations in Deep Creek Lake, Garrett County, Maryland, 2007*. *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011-5223*, 36 p.
- [14] Yackulic, E.O. et Cook, T.L., 2012. *Evaluation of the response and recovery of a forested watershed to human disturbances based on a multi-proxy analysis of sediments in Trout Pond, Lyme, NH. (2012)*, *Geology Theses, Paper 1*, 85 p.
- [15] Zocatelli, R. et al. 2012. *Late Holocene paleoenvironmental changes in Northeast Brazil recorded by organic matter in lacustrine sediments of Lake Boqueirão*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (2012) Volumes 363-364, 20 November 2012, pages 127-134.
- [16] Garlan, Th. (2004). *Apports de la modélisation dans l'étude de la sédimentation marine récente*. *Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et techniques de Lille, France*, 196 pp.