

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE SEDIMENTOS EN LA REGIÓN NORTE DEL CARIBE COLOMBIANO*

Jorge Paramo¹, Luisa Espinosa², Blanca Posada², Samuel Núñez¹ y Seydi Benavides¹

1 Universidad del Magdalena, Grupo de Investigación Ciencia y Tecnología Pesquera Tropical (CITEPT). Carrera 32 No. 22-08 Avenida del Ferrocarril, Santa Marta. jparamog@yahoo.com, jparamo@unimagdalena.edu.co (JP); snunez@unimagdalena.edu.co (SN); cheyo29@yahoo.com.mx (SB).

2 Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Cerro Punta Betún. Santa Marta. lespinosa@invemar.org.co (LE); bposada@invemar.org.co (BP)

RESUMEN

Se describe la distribución espacial de los sedimentos en la plataforma continental, su granulometría (ϕ) y composición (contenido de carbonato de calcio, CaCO_3) y se tiene en cuenta la localización (profundidad, latitud y longitud) para explicar su origen y distribución y establecer su relación con las áreas más productivas en la región norte del Caribe colombiano. Las muestras de sedimentos se colectaron durante dos cruceros llevados a cabo en diciembre de 2005 y febrero de 2006. Se determinó la granulometría con el método de separación por tamices, se calcularon los valores de tamaño medio de los granos de sedimento ($\text{PHI}=\Phi$). Además se determinó el contenido de carbonato de calcio (CaCO_3). Se realizó un análisis de clasificación para caracterizar los grupos de estaciones similares en términos de tipo de sedimento y se hicieron mapas de tipo de sedimento, usando técnicas de geoestadística. Mediante Modelos Aditivos Generalizados, se hizo un análisis de la relación entre el tipo de sedimento según su PHI con la profundidad, latitud y longitud, y del contenido de CaCO_3 con el tipo de sedimento, la profundidad. La distribución espacial de los sedimentos permitió caracterizar tres sectores de acuerdo con los valores de PHI: 1) río Buritaca hasta el río Camarones con arenas finas y lodos, 2) Riohacha hasta Cabo de la Vela con arenas muy gruesas y arenas finas, 3) Cabo de la Vela hasta Puerto Estrella con arenas finas y lodos.

PALABRAS CLAVES: Sedimentología, Geoestadística, Modelos Aditivos Generalizados, La Guajira, Magdalena.

ABSTRACT

Spatial distribution of sediments in the northern zone of the Colombian Caribbean. The spatial distribution of sediments in the continental shelf, their granulometry (ϕ) and composition (content of calcium carbonate, CaCO_3) is described, taking into account the localization (depth, latitude and longitude) to explain their source and distribution and to establish their relationship with the more productive areas in the northern Colombian Caribbean region. Sediment samples were collected in 68 stations during two surveys carried out in December 2005 and February 2006. Granulometry was determined with sieving separation method and medium grains values of sediment ($\text{PHI} = \Phi$) were calculated. Additionally calcium carbonate (CaCO_3) contents were determined. Cluster analysis was performed to characterize groups of similar stations

* Contribución No. 1099 del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR.

in terms of sediment types and sediment type maps were made using geostatistical techniques. Analysis of relationship between sediment types, according to their PHI, with depth, latitude and longitude, and CaCO₃ content with sediment types and depth, was made with Generalized Additive Models (GAM). According to spatial distribution of sediments was possible characterize three sectors in agreement with the values of PHI: 1) from Río Buritaca to Río Camarones with fine sands and muds, 2) from Riohacha to Cabo de la Vela with very coarse sands and sands, 3) from Cabo de la Vela to Puerto Estrella with fine sands and muds.

KEY WORDS: Sedimentology, Geostatistic, GAM (Generalized Additive Models), La Guajira, Magdalena.

INTRODUCCIÓN

Las plataformas continentales son las áreas más explotadas y utilizadas de los océanos del mundo y sostienen los mayores niveles de producción biológica. Además, la ecología de la plataforma continental está influenciada fuertemente por procesos físicos tales como olas, mareas, corrientes, su geomorfología, erosión y entradas de material desde el continente por aporte de ríos y desde la superficie por cambios en la productividad primaria (Kaiser *et al.*, 2005).

La plataforma y talud continental corresponden a uno de los ambientes más dinámicos de la Tierra, registrando gran cantidad de información sobre los procesos ambientales. Además, el límite entre la plataforma y el talud (borde de la plataforma) representa una transición ambiental y fisiográfica dominante en la Tierra (Nittrouer *et al.*, 2007). Los cambios en las características de las facies sedimentarias de las plataformas continentales y su biota asociada son principalmente un reflejo directo de los procesos físicos que actúan sobre éstas. De hecho, la alta productividad encontrada en las plataformas continentales en las regiones de surgencia se ve reflejada en las mayores pesquerías mundiales (Pauly y Christensen, 1995; Paramo *et al.*, 2003; Kaiser *et al.*, 2005; Ward *et al.*, 2006; Allsopp *et al.*, 2009). Este aumento en la productividad se debe a la transferencia de nutrientes desde el fondo marino hacia la superficie y se refleja en el aumento de materia orgánica en el sedimento. Por lo tanto, el bentos marino es un enlace crítico en la transferencia de materia orgánica y nutrientes entre la columna de agua y el fondo del mar (Chester, 1996).

Actualmente, se ha recomendado incluir la ecología de los océanos para un manejo integrado de los recursos marinos, bajo un enfoque ecosistémico (Cury y Christensen, 2005; Cury *et al.*, 2005a, 2005b; García y Cochrane, 2005). En este sentido, la conservación y manejo de los recursos costeros requiere explícitamente el conocimiento de los hábitats marinos y sus comunidades asociadas (Sothoran *et al.*, 1997; Anderson, 2001). Esta información es muy útil incluso para el diseño, implementación y monitoreo de Áreas Marinas Protegidas (AMP), con las cuales se pretende conservar o restaurar la biodiversidad y la productividad de los ecosistemas marinos (Kaiser, 2005; Charles y Wilson, 2009; Fraser *et al.*, 2009; Paramo *et al.*, 2009).

Este estudio pretende contribuir a un conocimiento científico más amplio de la distribución actual de las facies sedimentarias en la zona norte del Caribe colombiano (desde Santa Marta hasta Punta Gallinas). Se describe la distribución espacial de los sedimentos en la plataforma continental, su granulometría (*phi*) y composición (contenido de carbonato de calcio, CaCO₃) y se tiene en cuenta la localización (profundidad, latitud y longitud) para explicar su origen y distribución y establecer su relación con las áreas más productivas en la región norte del Caribe colombiano.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprendió la región norte del Caribe colombiano, entre Santa Marta (11°19'54" N; 74°17'00" W) y Puerto Estrella (12°23'00" N; 71°22'30" W) en la península de La Guajira y entre los veriles de 10 y 100 m de profundidad (Figura 1). Al norte de la península de La Guajira la plataforma continental es muy estrecha, con profundidades de 200 m a unas 10 millas náuticas (mn) de la costa (~18 km) y frente a Punta Gallinas a solo unas 3 mn (~5.4 km). Hacia el suroeste, desde el Cabo de la Vela la plataforma se ensancha y alcanza un máximo de unas 25 mn (~45 km) frente a Riohacha, luego en inmediaciones del río Palomino vuelve a reducirse y prácticamente desaparece en el sector del Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT) y Santa Marta (Anónimo, 1989; Álvarez-León *et al.*, 1995). La zona norte del Caribe colombiano está dividida en tres ecorregiones: Tayrona (acantilados, bahías y ensenadas, surgencia estacional, mosaicos coralinos); Palomino (playas de arenas, ríos, manglares y pastos marinos) y Guajira (área influenciada por la surgencia, elevada productividad primaria, fanerógamas y algas) (Díaz-Pulido, 1997; INVEMAR, 2000; IDEAM *et al.*, 2007).

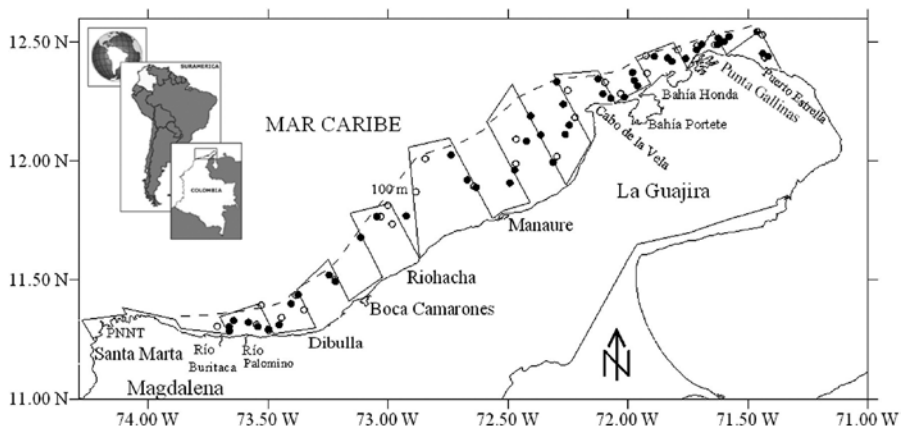


Figura 1. Área de estudio. Estaciones de muestreo: círculos vacíos crucero diciembre de 2005, círculos llenos crucero febrero de 2006. Línea de trazos muestra el veril de 100 m de profundidad.

El Caribe colombiano está influenciado por los vientos alisios del noreste que hacen que las corrientes superficiales tengan direcciones oeste y sur-oeste casi paralelas a la costa. Ha sido ampliamente demostrado que la orientación de los vientos alisios es responsable de la surgencia de aguas frías y salinas (Agua Subsuperficial Subtropical, ASS) que promueven un aumento en la productividad principalmente en la costa de La Guajira (Bula-Meyer, 1990; Andrade y Barton, 2000; Andrade *et al.*, 2003; Paramo *et al.*, 2003, 2009). La distribución de las olas muestra un ciclo anual bimodal asociado con el comportamiento de los vientos alisios del noreste presentando dos períodos de vientos y oleajes intensos (época seca de bajas precipitaciones) entre diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto. El otro ciclo corresponde a dos períodos de vientos y oleajes más débiles (época húmeda de altas precipitaciones) entre marzo-abril-mayo y septiembre-octubre-noviembre (Thomas, 2006a, 2006b, 2006c; Osorio *et al.*, 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de muestreo

Se realizaron dos cruceros de investigación durante la época seca, el primero en diciembre de 2005 (23 estaciones) y el segundo en febrero de 2006 (45 estaciones) para un total de 68 estaciones de muestreo, por un período de 10 días cada uno, a bordo del B/I ANCÓN. La toma de muestras de sedimento se realizó en dos estratos de profundidad: <50 m y 50-100 m. El diseño del crucero correspondió a un muestreo sistemático, con transectos paralelos y perpendiculares a la costa, espaciados regularmente cada 10 mn (~18 Km) (Figura 1). Se utilizó una draga Van Veen (0.07 m²) para la recolección de muestras de sedimento (Holme y McIntire, 1984).

El sedimento secado en estufa a 40 °C se hidrató con solución dispersante de hexametafosfato de sodio (NaPO₃) 6N. La fracción retenida en el tamiz se secó nuevamente y se tamizó en un set de tamices de 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125 y 0.063 mm, por 10 min. Cada fracción se pesó y se calculó el porcentaje relativo al peso inicial de la muestra (Tucker, 1988). Con estas fracciones se calcularon los valores de tamaño medio de los granos de sedimento (PHI= Φ) en la escala Udden (1914) y Wenworth (1922):

$$\Phi = - \text{Log}_2 d$$

Donde d= Diámetro medio del sedimento. Los valores de PHI se obtuvieron entre -1 a 0: arenas muy gruesas; 0 a 1: arenas gruesas; 1 a 2: arenas medias; 2 a 3: arenas finas; 3 a 4: arenas muy finas; >4: lodos. Así mismo, basándose en el porcentaje relativo de arenas y lodo, se clasificaron los sedimentos en: arenas (A, >90 %), arenas lodosas (AL, 50-90 %), lodos arenosos (LA, 10-50 %) y lodos (L, 0-10 %) (Buchanan, 1984).

Adicionalmente, se calcularon parámetros estadísticos del PHI: desviación estándar (clasificación o *sorting*) con el fin de medir el grado de dispersión en un solo o en varias clases de tamaño medio de grano (PHI), asimetría y curtosis (Folk y Ward, 1957). Asimetría y curtosis miden lo cerca que la distribución de tamaños de grano está a la curva normal de probabilidad (Gaussiana). La asimetría va de +3 a -1, indica si en las muestras predomina la fracción gruesa (positivamente asimétricas), o la fracción fina (negativamente asimétricas). Asimetría y curtosis permiten definir si hay dominio de un sedimento fuente sobre los otros o si las cantidades de sedimentos fuente son similares (Folk y Ward, 1957). Además, permiten diferenciar ambientes depositacionales (playas, dunas, ambientes fluviales, entre otros) (Selley, 2000).

Se seleccionaron 14 muestras al azar para realizar análisis de carbonato de calcio. El porcentaje de carbonato de calcio (CaCO_3) se realizó con la técnica gasométrica de Bernard (Garzón-Ferreira *et al.*, 2002), se basa en la determinación del CO_2 que se desprende cuando se atacan los carbonatos de la muestra con HCL 1:1, en un dispositivo de vidrio cerrado que está a presión y temperatura constante. Para calcular la cantidad de CaCO_3 equivalente, se utilizó la ecuación:

$$\% \text{CaCO}_3 = 4.677 (\text{DV}) - 7.169 / w * 100$$

Donde: DV= cambio en volumen en mililitros; w= peso de la muestra en miligramos.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de clasificación (clúster) para caracterizar los grupos de estaciones similares en términos de tipo de sedimento con los valores PHI, mediante el procedimiento de agrupamiento jerárquico aglomerativo (Agglomerative Hierarchical Clustering) (Gotelli y Ellison, 2004). También se hizo una modelación espacial con geoestadística utilizando como variable regionalizada los valores del tamaño medio de grano (PHI), para así obtener un mapa estadísticamente más robusto de la distribución espacial del tipo de sedimento en el área de estudio (Cressie, 1993; Petitgas, 1996; Rivoirard *et al.*, 2000). Esta herramienta de modelación espacial es comúnmente utilizada en minería (Cressie, 1993), incluso en hidrología y en problemas marinos tales como batimetría, hidrografía, mapeo de temperatura superficial del mar (TSM), estimación de cambios espaciales en la abundancia de los recursos marinos (crustáceos, huevos de peces, plancton, peces, comportamiento cardumen) (Rivoirard *et al.*, 2000; Paramo y Roa, 2003; Cubillos *et al.*, 2008; Paramo *et al.*, 2009). Para analizar la autocorrelación espacial del tipo de sedimento (PHI) se calculó un variograma experimental $\hat{\gamma}(h)$.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Donde h representa la distancia entre estaciones de muestreo, N es el número de pares de datos separados por una distancia h (Cressie, 1993).

Con el fin de explorar si la autocorrelación espacial varía de acuerdo a una dirección particular (anisotropía), se calcularon variogramas experimentales en cuatro direcciones (0°, 45°, 90° y 135°). Una vez obtenido el variograma experimental omnidireccional, se ajustó un modelo para caracterizar la estructura espacial de los valores de tipo de sedimento. El modelo de variograma que mejor se ajustó al variograma experimental isotrópico fue el Gaussiano, una vez comprobado otros modelos (e.g. esférico, exponencial) mediante mínimos cuadrados ponderados. El modelo Gaussiano, con un *rango* práctico igual a 1.73r:

$$\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-|h|^2 / r^2\right) \right]$$

El modelo de variograma obtenido se utilizó junto con los datos del muestreo para calcular las ponderaciones óptimas atribuibles en cada estación y para estimar los valores PHI (Z^*) en localidades no muestreadas (interpolación mediante modelación espacial, kriging).

$$Z^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$$

Donde N es el número de muestras, λ_i es la ponderación atribuida a la muestra x_i , y $\sum \lambda_i = 1$, $Z = \text{PHI}$ medido. Los N ponderadores λ_i se calculan para asegurar que el estimador no presente sesgo y que la varianza de estimación sea mínima (Journel y Huijbregts, 1978; Petitgas, 1996).

En este estudio se hizo un análisis de la relación entre el tipo de sedimento según su tamaño medio de grano (PHI) con la profundidad, latitud y longitud, y del contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) con el tipo de sedimento y la profundidad, mediante Modelos Aditivos Generalizados (GAM, por sus siglas en inglés, Generalized Additive Models) (Hastie y Tibshirani, 1990). La modelación GAM es una técnica moderna de estadística no paramétrica que libera al investigador del concepto limitante de una estricta forma paramétrica (Hastie y Tibshirani, 1990; Katsanevakis y Maravelias, 2009). Un modelo aditivo es una extensión de

los modelos lineales, pero permite que las funciones lineales de los predictores (profundidad, latitud, longitud y tipo de sedimento) sean reemplazados por funciones de suavizamiento, no requiere supuestos de las formas funcionales (Agenbag *et al.*, 2003) y permite el ajuste de modelos estadísticos que están de acuerdo con la teoría ecológica (Katsanevakis y Maravelias, 2009):

$$y = \alpha + \sum_{i=1}^n f_i(X_i) + \varepsilon$$

Donde y es la respuesta, X_i son los predictores, α es una constante y ε es el error. Los f_i son estimados usando suavizadores. En este estudio se utilizó un suavizador *spline* (s) para estimar las funciones no paramétricas y una familia Poisson. El procedimiento de diagnóstico del GAM incluyó el valor de significancia (p), el cálculo del porcentaje de devianza explicada por el modelo. La devianza es análoga a la varianza y la devianza nula es análoga a la varianza total. Por lo tanto, la razón entre devianza nula menos la devianza residual y la devianza nula es la varianza explicada por el modelo.

$$\text{Devianza explicada} = \frac{\text{Devianza nula} - \text{Devianza residual}}{\text{Devianza nula}}$$

También se utilizó el criterio de información Akaike (AIC), que es una medida de la devianza del modelo corregida para el número de predictores y se escogió el modelo con el AIC más bajo (Burnham y Anderson, 2002).

RESULTADOS

El análisis clúster mostró la existencia de dos grandes asociaciones de sedimentos basado en la proporción relativa de arenas y lodos (Figura 2), un grupo conformado principalmente por arenas (A) [que contiene dos subgrupos, uno de arenas lodosas (AL) y otro de arenas (A)] y el otro grupo (lodos, L) conformado por lodos arenosos (LA) y lodos (L), con un coeficiente aglomerativo de 0.90.

De acuerdo con los tipos de sedimento se estableció que la mayor parte del área de estudio estuvo conformada por sedimentos de tipo arena (A), principalmente entre Riohacha y Manaure (Figura 3). En el Cabo de la Vela y Bahía Honda los sedimentos fueron del tipo arenas lodosas, lodo arenoso y en Punta Gallinas se encontraron sedimentos de tipo lodo. En Boca Camarones y los ríos Buritaca y Palomino los sedimentos fueron de tipo lodo y más hacia fuera de la costa lodo arenoso, frente a Dibulla arenas lodosas.

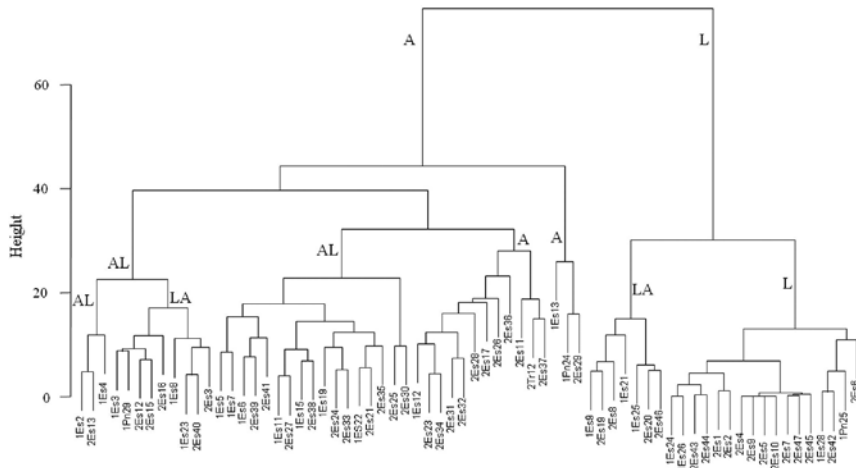


Figura 2. Dendrograma de similitud entre las estaciones de muestreo de acuerdo con la clasificación de sedimentos según la proporción relativa de arenas y lodos. A: arenas; AL: arenas lodosas; LA: lodos arenosos y L=lodos.

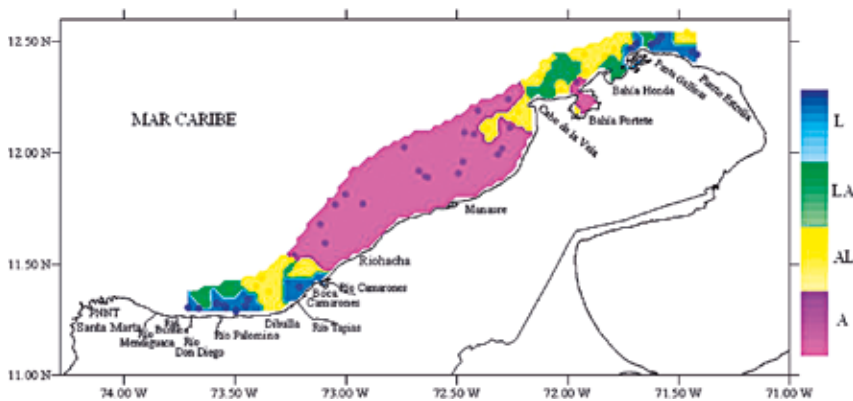


Figura 3. Clasificación de sedimentos según la proporción relativa de arenas y lodos. A: arenas; AL: arenas lodosas; LA: lodos arenosos y L=lodos.

Los variogramas unidireccionales mostraron similitud espacial en sus características de modelación espacial (Figura 4a). De hecho, la razón de anisotropía entre el máximo y mínimo valor de los ámbitos de correlación espacial en los variogramas unidireccionales fue menor que 2 (Tabla 1), lo cual sugiere ausencia de anisotropía. Por lo tanto, la estructura espacial de los sedimentos superficiales se estudió a través de un variograma experimental isotrópico (Figura 4b), al cual se ajustó un modelo Gaussiano. El variograma modelo mostró una estructura no resuelta por el diseño de muestreo que consideró un 24.76 % de la varianza total, es

decir, la fracción de la varianza no explicada por el diseño de muestreo (el *nugget* como un porcentaje del *sill*). El rango de autocorrelación fue de 30.09 Km.

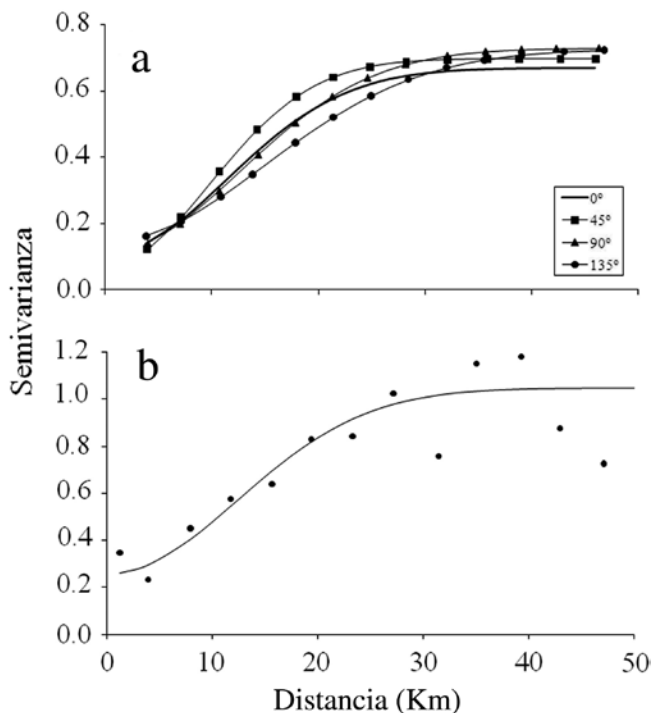


Figura 4. a) Variogramas experimentales direccionales mostrando un proceso isotrópico en los datos de tipo de sedimento. b) Modelo de variograma Gaussiano omnidireccional ajustado al variograma experimental para los datos de sedimentos. Distancia en kilómetros (Km).

Tabla 1. Valores de los variogramas unidireccional y omnidireccional de los datos de tipo de sedimento. RA= razón de anisotropía.

Parámetro	0°	45°	90°	135°	Omnidireccional
Nugget	0.01	0.01	0.01	0.01	0.26
Sill	0.56	0.62	0.62	0.59	0.79
Rango	27.48	23.84	30.70	36.28	30.09
RA	1.32	1.52	1.18	1.00	-

La distribución espacial de los sedimentos permitió caracterizar tres sectores de acuerdo con los valores de PHI (Figura 5): 1) río Buritaca hasta río Camarones (RB-RC) con arenas finas y lodos, 2) Riohacha hasta Cabo de la Vela (R-CV) con arenas muy gruesas y arenas finas, 3) Cabo de la Vela hasta Puerto Estrella (CV-PE) con arenas finas y lodos.

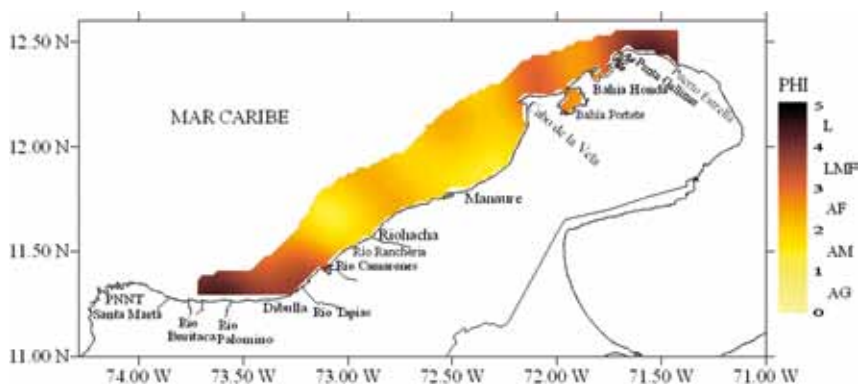


Figura 5. Distribución espacial de sedimentos según su tamaño (PHI) obtenida por interpolación mediante *kriging* puntual ordinario.

Los valores promedio de los parámetros estadísticos del tamaño de grano muestran que la plataforma continental del sector Riohacha-Cabo de la Vela está cubierta por arenas medias (PHI= 1.80). Los sectores río Buritaca-río Camarones y Cabo de la Vela-Puerto Estrella presentan sedimentos de tamaño de arenas muy finas (PHI= 3.8 y 3.4, respectivamente). La presencia de sedimentos más gruesos (asimetrías positivas) sugieren que, en promedio, el sector Riohacha-Cabo de la Vela (R-CV) presenta mayor energía ambiental (mayores velocidades de corrientes) que los otros dos sectores (RB-RC y CV-PE) (Figura 6, Tabla 2). El sector de Riohacha-Cabo de la Vela muestra los valores más bajos de curtosis, está principalmente cubierto por sedimentos que muestran curvas mesocúrticas con asimetría hacia las fracciones gruesas, mientras que el sector del Cabo de la Vela-Puerto Estrella muestra los valores promedios más altos de curtosis.

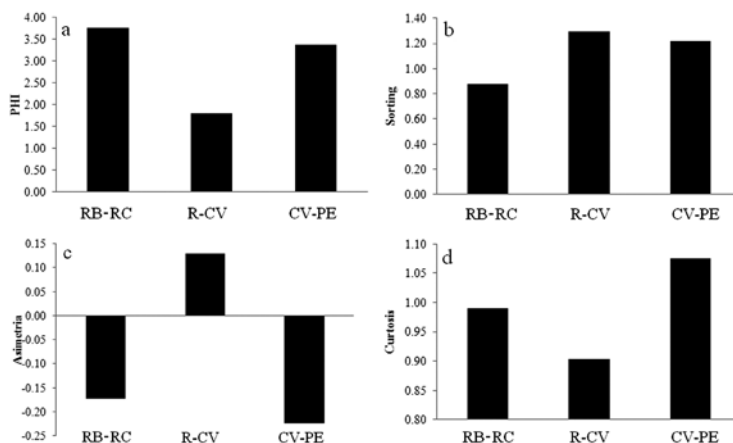


Figura 6. Valores promedio de los parámetros estadísticos del tamaño de grano para cada sector: a) PHI; b) *Sorting*; c) Asimetría; d) Curtosis.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos (Media, Desviación estándar-DE, Máximos-Max. y Mínimos-Min.) de los parámetros del tamaño de grano en la zona norte del Caribe colombiano (Río Camarones-Río Buritaca; Riohacha-Cabo de la Vela y Cabo de la Vela-Puerto Estrella). Tamaño medio (PHI): AG (Arena Gruesa); AM (Arena Media); AF (Arena Fina); AMF (Arena Muy Fina); L (Lodo). *Sorting*: MBC (Muy Bien Clasificado); BC (Bien Clasificado); MoBC (Moderadamente Bien Clasificado); MoC (Moderadamente Poco Clasificado); MPC (Muy Poco Clasificado); EPC (Extremadamente Poco Clasificado). Asimetría: AMG (Asimetría Muy Gruesa); AG (Asimetría Gruesa); S (Simetría); AF (Asimetría Fina); AMF (Asimetría Muy Fina). Curtosis: MP (Muy Platicúrtico); P (Platicúrtico); M (Mesocúrtico); L (Leptocúrtico); ML (Muy Leptocúrtico); EL (Extremadamente Leptocúrtico).

Sector	Parámetros de tamaño de grano				
		Tamaño medio (Φ)	<i>Sorting</i>	Asimetría	Curtosis
Río Camarones-Río Buritaca	Media	3.77 (AMF)	0.88 (MoC)	-0.17 (AF)	0.99 (M)
	DE	0.83	0.57	0.21	0.37
	Max.	4.47 (L)	1.67 (PC)	0.12 (AG)	2.11(ML)
	Min.	2.37 (AF)	0.30 (MBC)	-0.65 (AMF)	0.68(P)
Riohacha-Cabo de la Vela	Media	1.80 (AM)	1.30 (PC)	0.13 (S)	0.90 (M)
	DE	0.62	0.28	0.21	0.29
	Max.	2.97 (AF)	1.74 (PC)	0.66(AMG)	1.93(ML)
	Min.	0.73 (AMG)	0.82 (MoC)	-0.13(AF)	0.65(MP)
Cabo de la Vela-Puerto Estrella	Media	3.37 (AMF)	1.22(PC)	-0.22(AF)	1.08(M)
	DE	0.88	0.55	0.29	0.61
	Max.	4.48 (L)	1.83(PC)	0.33(AMG)	2.97(ML)
	Min.	1.88 (AM)	0.30(MBC)	-0.67(AMF)	0.56(MP)

La modelación entre la relación del tipo de sedimento (PHI) con la profundidad, latitud y longitud (Figura 7, Tabla 3) muestra que los mayores valores de PHI (arenas muy finas y lodos) se encuentran entre 40 y 70 m de profundidad y los valores más bajos de PHI (arenas medias a gruesas) se encuentran en profundidades menores de 30 m. Cuando se utiliza la latitud como predictor del tipo de sedimento se muestra que los valores menores de PHI (arenas medias) se encuentran entre 11.6 y 12.1° de latitud, que coincide con el sector donde la plataforma continental es más ancha y más somera (~ 30 m). Las arenas muy finas (PHI 3 a 4) y lodos (PHI > 4) se encuentran principalmente hacia el sur de 11.4° de latitud y hacia el norte de 12.3° de latitud, donde la plataforma continental es más estrecha. En sentido este-oeste las arenas finas a medias se encuentran entre 73.3° y 72.2° W, las arenas muy finas y lodos se encuentran más hacia el oeste y este de éstas longitudes.

La profundidad y el tipo de sedimento (PHI) fueron las variables que predijeron mejor la cantidad de carbonato de calcio (CaCO₃) en el sedimento (Figura 8, Tabla 4), las cuales mostraron mayor porcentaje de devianza y menor AIC. Los mayores

contenidos de CaCO_3 se encontraron en valores de PHI entre 1 y 2 (arenas medianas) y los menores valores de CaCO_3 en arenas finas, muy finas y lodos. Cuando se utilizó la profundidad como predictor de la cantidad de CaCO_3 en el sedimento, se mostró que los mayores contenidos de CaCO_3 se encontraron entre 30 y 45 m, los cuales disminuyeron considerablemente a más de 60 m de profundidad. Espacialmente los mayores contenidos de CaCO_3 se encontraron entre 11.6 y 12.3° N y entre 72.4 y 73.2° W (Figura 8), lo cual coincide con el sector donde se encontró el sedimento tipo arena.

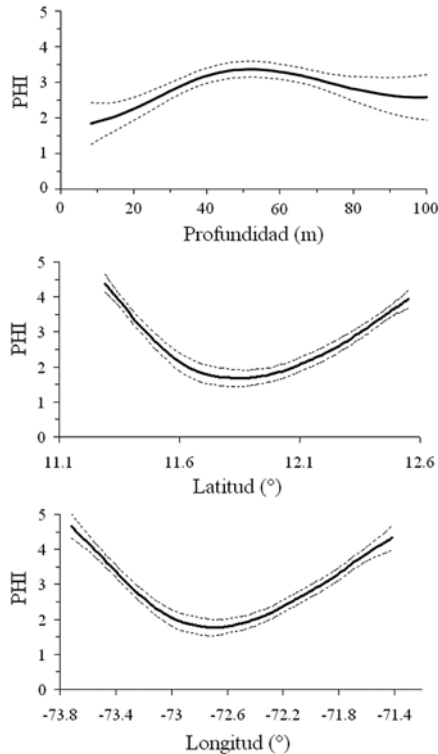


Figura 7. Resultados de la modelación GAM entre la relación del tipo de sedimento con los predictores profundidad, latitud y longitud. Las líneas punteadas indican los intervalos de confianza (95 %).

Tabla 3. Estadísticos de la modelación GAM entre el tipo de sedimento con los predictores profundidad, latitud y longitud. Se muestra el porcentaje de devianza explicada (Dev. Exp.), los grados de libertad (g.l.) y el criterio de Akaike (AIC).

Característica	Dev.Exp.(%)	g.l.	valor p	AIC
Profundidad (m)	13.02	66.00	0.06	86.35
Latitud (°)	59.66	66.00	0.00	46.47
Longitud (°)	57.36	66.00	0.00	48.44

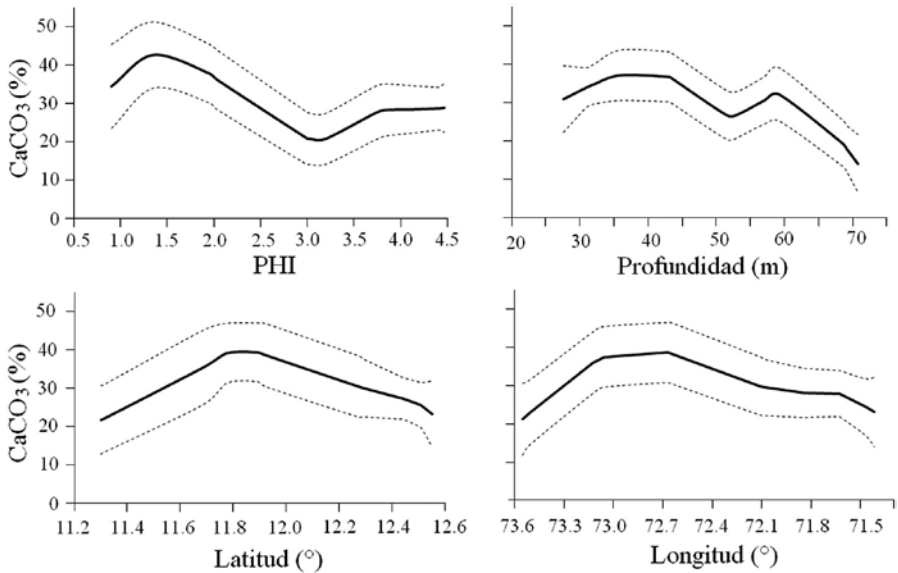


Figura 8. Resultados de la modelación GAM entre la relación del porcentaje de carbonato de calcio (CaCO_3) en el sedimento con los predictores de profundidad, tipo de sedimento, latitud y longitud. Las líneas punteadas indican los intervalos de confianza (95 %).

Tabla 4. Estadísticos de la modelación GAM entre el porcentaje de carbonato de calcio (CaCO_3) en el sedimento con los predictores profundidad, tipo de sedimento, latitud y longitud. Se muestra el porcentaje de devianza explicada (Dev. Exp.), los grados de libertad (g.l.) y el criterio de Akaike (AIC).

Característica	Dev.Exp.(%)	g.l.	valor p	AIC
Profundidad (m)	47.28	13	0.000	99.257
PHI	32.96	13	0.000	110.065
Latitud (°)	24.81	13	0.000	117.330
Longitud (°)	24.52	13	0.000	116.778

DISCUSIÓN

Los sedimentos marinos son depósitos de componentes particulados que provienen principalmente de la fragmentación de las rocas y son transportados desde las áreas terrestres al océano por el viento, el hielo y los ríos. También pueden provenir de los restos de organismos marinos, de la actividad volcánica submarina, o de la precipitación química de componentes del agua de mar (Broecker y Peng, 1982; Chester, 1996). Los sedimentos representan el principal sumidero para materiales que dejan el reservorio océano, y su composición y tamaño de grano pueden proporcionar información valiosa sobre la fuente, dispersión y acumulación de

contaminantes, razón por la cual, cada vez se están estudiando más para monitorear el medio acuático (Mear *et al.*, 2006).

Las arenas gruesas a finas que predominan entre Riohacha y Manaure se encuentran en un área de mar abierto, en donde las condiciones hidrodinámicas son de gran energía, propiciadas por los vientos alisios del noreste con una velocidad de 5 a 7 ms⁻¹ (Andrade *et al.*, 2003), las cuales incrementan hasta 12-15 m/s cuando hay tormentas y huracanes en el Caribe. Además, las corrientes predominan hacia el oeste y suroeste alcanzando velocidades entre 0.26 y 0.49 m/s, con alturas de olas que superan los 1.8 m el 50 % del tiempo y los 2.8 m en la temporada de huracanes del Caribe (Aqua y Terra, 2006) que son capaces de movilizar una carga importante de sedimentos. Condiciones adicionales de alta energía se dan por la presencia del río Ranchería, que representa el drenaje permanente principal y único del sector. El caudal medio mensual multianual de este río es 13.8 m³/s, con un pico máximo de 28 m³/s en la época de lluvias en mayo y en septiembre-octubre y un caudal mínimo, casi seco, de 0.4 m³/s entre enero y marzo, en julio y en agosto (Aqua y Terra, 2006). El río Ranchería constituye una de las fuentes principales de sedimentos, con aportes de 0.3 kton/día en las épocas secas, mientras que en los meses lluviosos los aportes promedio ascienden a 0.5 kton/día (Aqua y Terra, 2006). El cañón submarino frente a la desembocadura del río Ranchería podría ser el responsable de la presencia de arenas terrígenas de tamaños medio a fino a profundidades de 50 m (Romero, 2006). Sin embargo, Krause (1971) menciona que los sedimentos transportados por el río Ranchería son llevados a través del cañón hacia afuera de la plataforma para ser depositados directamente en el talud continental. Los sedimentos terrígenos también son aportados desde el continente por los fuertes vientos, que barren extensas áreas de suelo con baja cobertura vegetal (semidesnudo), provenientes del desierto de La Guajira. La presencia de las algas rojas y otras comunidades bióticas en el área genera un porcentaje mayor al 90 % de los sedimentos carbonatados de tamaño arena entre 10 y 40 m de profundidad y de un 40-50 % a 50 m aproximadamente (Javelaud, 1987; Romero, 2006). El transporte de los sedimentos que provienen de las comunidades bióticas es casi nulo, es decir son arenas que se producen *in situ*, mientras que los aportes terrígenos han presentado un largo transporte en la cuenca del río Ranchería, por lo cual el tamaño de las arenas es más fino que el de los aportes bioclásticos. El mayor contenido de carbonato de calcio, entre 30 y 45 m, también concuerda con la fuente de los sedimentos localizada a esta profundidad (Romero, 2006).

En el Cabo de la Vela y Bahía Honda los sedimentos encontrados son del tipo areno lodoso, lodo arenoso que muestran la persistencia de las condiciones de mar abierto, con una alta dinámica marina, que permite el transporte de material

de tamaño arena. Además, se identifican en la zona dos posibles fuentes de este material, de un lado sigue habiendo material bioclástico, diferente de las algas rojas (Romero, 2006), principalmente en las profundidades de 30 a 45 m que propicia, con su degradación, la formación de sedimentos tamaño arena, con muy poco transporte. Por otro lado, la presencia de formaciones rocosas que constituyen serranías y acantilados, como es el caso del Cabo de la Vela (Posada y Henao, 2008), con muy poca vegetación y sometidas a condiciones climáticas extremas que ocasionan su meteorización y disponen el material para que los fuertes vientos las arrastren formando dunas en tierra y acumulaciones arenosas en el mar. La composición, tanto de las arenas como de los lodos, es en su mayoría producto de la descomposición y precipitación del material bioclástico y en mucha menor proporción corresponde a sedimentos terrígenos (CIOH, 1999; Rangel-Buitrago e Idarraga-García, 2010), también transportados por el viento pero a mayores distancias de la costa y por lo tanto depositados a mayor profundidad. Más al noreste, el tamaño de los sedimentos es más finos, pero hacia Punta Espada y Punta Gallinas predominan los lodos de composición litoclástica y litobioclástica a profundidades mayores de 20-30 m (CIOH, 1999). Al examinar la orientación de la costa con respecto a la del viento, el oleaje y las corrientes predominantes (Andrade *et al.*, 2003; Thomas, 2006a, 2006b, 2006c; Osorio *et al.*, 2009), hace suponer una fuente muy lejana de sedimentos transportados a través del mar abierto por los vientos alisios del noreste y posiblemente por los grandes oleajes y corrientes. Entre el Cabo de la Vela y Puerto Estrella, la distribución del tamaño de los sedimentos se explica por la mayor dinámica marina a profundidades menores de 30 m, en donde además hay mayor abundancia de especies de algas calcáreas que producen materiales de tamaño de arenas medias a finas. A mayor profundidad las condiciones hidrodinámicas permiten la depositación de arenas finas y muy finas.

El sector sur del área de estudio, entre Riohacha y el río Buritaca, se caracteriza por la presencia de arenas muy finas y lodos. A profundidades menores de 40 m predominan las arenas medias a finas, mientras que los lodos arenosos y los lodos son más abundantes a mayores profundidades. En este sector, al igual que en los otros dos descritos anteriormente, predominan las condiciones de mar abierto, con alta dinámica marina, cuyos efectos se sienten especialmente a poca profundidad y que determinan que allí haya un mayor contenido de arenas. El oleaje tiene una amplia zona de rompiente y genera unas corrientes de deriva de alta velocidad y componente sur-suroeste. A medida que se alejan de la costa, los sedimentos que permanecen en la columna de agua son más finos y se van precipitando principalmente por gravedad, lo que explica que a mayor profundidad los sedimentos sean más finos. La fuente de los sedimentos en este sector es básicamente terrígena, y los

aportes se hacen por corrientes estacionales que drenan extensas llanuras costeras y terrazas bajas, conformadas por materiales sedimentarios de tamaño fino, o por los ríos que bajan de la Sierra Nevada de Santa Marta. Los ríos drenan rocas ígneas y metamórficas y remueven el material arcilloso o arenoso, respectivamente, producto de su meteorización, lo que explica también el predominio de material fino. Hay depositación *in situ* de detritos biogénicos que incrementan el contenido de materiales carbonatados de tamaño de arenas lodosas principalmente. En los alrededores de Palomino, boca Camarones y los ríos Buritaca y Palomino, se encuentran sedimentos lodosos más cerca de la costa y lodo arenosos más hacia fuera de la misma. De un lado hay corrientes permanentes, con caudales que llegan a ser muy importantes en épocas de lluvias e incluso forman pequeños deltas y playas más o menos amplias, que indican la presencia de abundantes sedimentos arenosos, cuyo transporte se ve frenado por la entrada del río al mar, los cuales se precipitan en una amplia franja cercana a la línea de costa (Andrade *et al.*, 2003; Thomas, 2006a, 2006b, 2006c; Osorio *et al.*, 2009). Las condiciones de alta energía, representadas por el oleaje y las fuertes corrientes, se desarrollan en una amplia franja cerca de la costa, creando condiciones aptas para la depositación de materiales más gruesos y restringen la depositación de materiales finos. Los sedimentos más finos, como arenas finas y lodos, viajan en suspensión durante más tiempo y es normal que se depositen más lejos de la línea de costa, incluso estudios anteriores los registran a más de 50 m de profundidad (CIOH, 1999). La plataforma continental de La Guajira se considera un modelo de plataforma carbonatada de zonas tropicales, con porcentaje de carbonato de calcio entre 80 y 90 % y aportes terrígenos bajos (Javelaud, 1987; Romero, 2006). El hecho de encontrar sedimentos que representan los tamaños *phi* desde 0.73 hasta >4, pone de manifiesto la existencia de ambientes con una variada energía, diferentes grados de transporte de sedimentos desde el área fuente y la presencia de distintos tipos de materiales. En la zona de estudio estas tres condiciones se combinan entre sí y por tal razón es normal encontrar representación de todos los tamaños descritos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” (Colciencias), a la Universidad del Magdalena, al Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER), al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”-INVEMAR, al Institut de Recherche pour le Developpment, France (IRD), por el apoyo financiero, técnico y logístico para el desarrollo del proyecto “Las Áreas Marinas Protegidas (AMP): Una herramienta de manejo para las pesquerías demersales en la zona norte

del Caribe colombiano” código 020309-16652. Durante la elaboración del artículo el primer autor fue financiado por una beca del Programa ALECOL DAAD en la Universidad de Bremen (Alemania).

BIBLIOGRAFÍA

- Agenbag, J. J., A. J. Richardson, H. Demarcq, P. Fréon, S. Weeks y F. A. Shillington. 2003. Estimating environmental preferences of South African pelagic fish species using catch size and remote sensing data. *Prog. Oceanog.*, 59: 275-300.
- Allsopp, M., R. Page, P. Johnston y D. Santillo. 2009. *State of the world's oceans*. Springer. Londres. 256 p.
- Álvarez-León, R., J. Aguilera-Quiñonez, C. A. Andrade-Amaya y P. Nowak. 1995. Caracterización general de la zona de surgencia en La Guajira colombiana. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 19 (75): 679-694.
- Anderson, J. T. 2001. Classification of marine habitats using submersible and acoustic seabed techniques. *Spatial Processes and Management of Marine Populations*, 1: 377-393.
- Andrade, C. A. y E. D. Barton. 2000. Eddy development and motion in the Caribbean Sea. *J. Geophys. Res.*, 105 (26): 191-201.
- Andrade, C. A., E. D. Barton y C. N. K. Mooers. 2003. Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean Coast. *J. Geophys. Res.*, 108: 3185-3196.
- Anónimo. 1989. *Prospecciones de los recursos pesqueros de la áreas de plataforma entre Surinam y Colombia*. Institute of Marine Research. NORAD/UNDP/FAO Programe. Bergen, Noruega. 260 p.
- Aqua y Terra Consultores Asociados S.A. 2006. *Diseño de las obras de protección costera en la franja litoral de 1 kilómetro y medio, colindante con el lado occidental del espolón 1 ubicado en el casco urbano del municipio de Riohacha*. Informe técnico, Corporación Minuto de Dios. Riohacha. 300 p.
- Broecker W. S., y T. H. Peng. 1982. *Tracers in the sea*. The Lamont-Doherty Geological Observatory, Columbia University, Nueva York. 690 p.
- Buchanan, J. B. 1984. Sediment analysis. 41-45. En: Holme, N. A. y A. D. McIntyre (Eds.). *Methods for the study of marine benthos*. Blackwell. Londres. 400 p.
- Bula-Meyer, G. 1990. Oceanografía. 51-66. En: Reichel-Dolmatoff, G. (Ed.). *Caribe Colombia*. Fondo José Celestino Mutis-FEN, Bogotá. 280 p.
- Burnham, K. P. y D. R. Anderson. 2002. *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. Springer-Verlag, Nueva York. 496 p.
- Charles, A. y L. Wilson. 2009. Human dimensions of Marine Protected Areas. *ICES J. Mar. Sci.*, 66: 6-15.
- Chester, R. 1996. *Marine geochemistry*. Primera edición, Blackwell Science. Londres. 528 p.
- CIOH. 1999. *Carta de repartición de facies sedimentarias*. Escala 1:300000. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, Cartagena.
- Cressie, N. A. C. 1993. *Statistics for spatial data*. Wiley, Nueva York. 928 p.
- Cubillos, L., J. Paramo, P. Ruiz, S. Núñez y A. Sepúlveda. 2008. The spatial structure of the oceanic spawning of jack mackerel (*Trachurus symmetricus murphyi*) off central Chile (1998-2001). *Fish. Res.*, 90: 261-270.

- Cury, P. y V. Christensen. 2005. Quantitative ecosystem indicators for fisheries management. *ICES J. Mar. Sci.*, 62: 307-310.
- Cury, P., L. J. Shannon, J-P. Roux., G. M. Daskalov., A. Jarre., C. L. Moloney y D. Pauly. 2005a. Trophodynamic indicators for an ecosystem approach to fisheries. *ICES J. Mar. Sci.*, 62: 430-442.
- Cury, P., C. Mullon, S. M. García y L. J. Shannon. 2005b. Viability theory for an ecosystem approach to fisheries. *ICES J. Mar. Sci.*, 62: 577-584.
- Díaz-Pulido, G. 1997. Ecosistemas marinos y costeros. 228-314. En: Chávez, M. E. y N. Arango (Eds.). Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad Colombia. Tomo I, Diversidad biológica. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá. 280 p.
- Folk, R. L. y W. Ward. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petr.*, 27: 3-26.
- Fraser, H. M., S. P. R. Greenstreet y G. J. Piet. 2009. Selecting MPAs to conserve roundfish biodiversity: the consequences of failing to account for catchability in survey trawls. *ICES J. Mar. Sci.*, 66: 82-89.
- García, S. M. y K. L. Cochrane. 2005. Ecosystem approach to fisheries: a review of implementation guidelines. *ICES J. Mar. Sci.*, 62: 311-318.
- Garzón-Ferreira, J., C. Reyes-Nivia y A. Rodríguez-Ramírez. 2002. Manual de métodos SIMAC (Sistema de Monitoreo de Arrecifes Coralinos en Colombia). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Santa Marta. 102 p.
- Gotelli, N. J. y A. M. Ellison. 2004. A primer of ecological statistics. Sinauer Associates, Sunderland. 492 p.
- Hastie, T. J. y R. J. Tibshirani. 1990. Generalized additive models. Chapman y Hall, Londres. 352 p.
- Holme, N. A. y A. D. McIntire (Eds.). 1984. Methods for the study of marine benthos. Manual No. 16, Segunda edición, Blackwell Scientific Publications. IBP, Oxford. 334 p.
- IDEAM, IGAC, IAvH, INVEMAR, I. Sinchi y IIAP. 2007. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá. 276 p.
- INVEMAR. 2000. Programa nacional de investigación en biodiversidad marina. Ecorregiones naturales marinas y costeras. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Santa Marta. 230 p.
- Javelaud, O. 1987. La sédimentation du plateau continental de la Colombie Caraïbe au Cours du Quaternaire Terminal. Thèse de Doctorat d'Etat es Sciences. Université Bordeaux. Bordeaux, Francia. 335 p.
- Journel, A. G. y C. J. Huijbregts. 1978. Mining geostatistics. Academic Press, Nueva York. 600 p.
- Kaiser, M. J. 2005. Are marine protected areas a red herring or a fisheries panacea? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 62: 1194-1199.
- Kaiser, M. J., M. J. Atrill, S. Jennings, D. N. Thomas, D. K. A. Barnes, A. S. Brierley, N. V. C. Polunin, D. G. Raffaelli y P. J. Williams. 2005. Marine ecology: processes, systems and impacts. Oxford University Press, Nueva York. 557 p.
- Katsanevakis, S y Ch. D. Maravelias. 2009. Bathymetric distribution of demersal fish in the Aegean and Ionian Seas based on generalized additive modeling. *Fish. Sci.*, 75: 13-23.

- Krause, D. 1971. Bathymetry, geomagnetism and tectonics of the Caribbean Sea North of Colombia. *Geological Society of America Memoir.*, 30: 35-54.
- Méar, Y., E. Poizot, A. Murat, P. Lesueur y M. Thomas. 2006. Fined-grained sediment spatial distribution on the basis of a geostatistical analysis: Example of the eastern Bay of the Seine (France). *Cont. Shelf. Res.*, 26: 2335-2351.
- Nittrouer, Ch., J. Austin, M. Field, J. Kravitz, J. Syvitski y P. Wiberg. 2007. Writing a rosetta stone: Insights into continental-margin sedimentary processes and strata. 1-48. En: Jarvis, I. (Ed.). *Continental margin sedimentation: From sediment transport to sequence stratigraphy*. Special Publication Number 37 of the International Association of Sedimentologists, Oxford. 549 p.
- Osorio, A. F., J. C. Mesa, G. R. Bernal y R. D. Montoya. 2009. Reconstrucción de cuarenta años de datos de oleaje en el mar Caribe colombiano empleando el modelo WWIII™ y diferentes fuentes de datos. *Bol. Cient. CIOH*, 27: 37-56.
- Paramo, J. y R. Roa. 2003. Acoustic-geostatistical assessment and habitat-abundance relations of small pelagic fish from the Colombian Caribbean. *Fish. Res.*, 60: 309-319.
- Paramo, J., R. A. Quiñones, A. Ramírez y R. Wiff. 2003. Relationship between abundance of small pelagic fishes and environmental factors in the Colombian Caribbean Sea: an analysis based on hydroacoustic information. *Aquat. Living. Res.*, 16 (3): 239-245.
- Paramo, J., L. Guillot, S. Benavides, A. Rodríguez y C. Sánchez. 2009. Aspectos poblacionales y ecológicos de peces demersales de la zona norte del Caribe colombiano en relación con el hábitat: una herramienta para identificar Áreas Marinas Protegidas (AMP) para el manejo pesquero. *Caldasia*, 31 (1): 123-144.
- Pauly, D. y V. Christensen. 1995. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, 374: 255-257.
- Petitgas, P. 1996. Geostatistics and their applications to fisheries survey data. 113-142. En: Megrey, B. A. y E. Moskness (Eds.). *Computers in fisheries research*. Chapman y Hall, Londres. 422 p.
- Posada, B. y W. Henao. 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. *Serie Publicaciones Especiales No. 13*, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Santa Marta. 200 p.
- Rangel-Buitrago, N. y J. Idárraga-García. 2010. Geología general, morfología submarina y facies sedimentarias en el margen continental y los fondos oceánicos del mar Caribe colombiano. 29-52. En: INVEMAR (Ed.). *Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano*. Serie de Publicaciones Especiales No. 20, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Santa Marta. 457 p.
- Rivoirard, J., J. Simmonds, K. G. Foote, P. Fernandes y N. Bez. 2000. Geostatistics for estimating fish abundance. *Blackwell Science*, Londres. 216 p.
- Romero, J. 2006. Estudio sedimentológico de la plataforma continental de La Guajira entre los 10 y 50 m de profundidad. Tesis Geólogo. Univ. Nacional de Colombia, Bogotá. 94 p.
- Selley, R. 2000. *Applied sedimentology*. Academic Press. Londres. 523 p.
- Sotheran, I. S., R. L. Foster-Smith y J. Davies. 1997. Mapping of marine benthic habitats using image processing techniques within a raster-based geographic information system. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 44 (Suppl. A): 25-31.

- Thomas, Y. F. 2006a. Climatología de la velocidad y la dirección de los vientos para las aguas territoriales bajo jurisdicción colombiana. 8°-19° N y 69°-84° W. Datos ERS-1, ERS-2 y Quikscat. Laboratoire de Géographie Physique (CNRS), París. 94 p.
- Thomas, Y. F. 2006b. Climatología marina, presión atmosférica, viento y olas para las aguas territoriales bajo jurisdicción colombiana. 8°-19° N y 69°-84° W. Datos ICOADS. Laboratoire de Géographie Physique (CNRS), París. 128 p.
- Thomas, Y. F. 2006c. Climatología de la altura significativa ($h_{1/3}$) de las olas para las aguas territoriales bajo jurisdicción colombiana. 8°-19° N y 69°-84° W. Datos TOPEX-POSEIDON. Laboratoire de Géographie Physique (CNRS), París. 69 p.
- Tucker, M. 1988. Techniques in sedimentology. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 394 p.
- Udden, J. A. 1914. Mechanical composition of clastic sediments. Bull. Geol. Soc. Amer., 25: 655-744.
- Ward, T. M., L. J. McLeay, W. F. Dimmlich, P. J. Rogers, S. McClatchie, R. Matthews, J. Kampf y P. D. Van Ruth. 2006. Pelagic ecology of a northern boundary current system: effects of upwelling on the production and distribution of sardine (*Sardinops sagax*), anchovy (*Engraulis australis*) and southern bluefin tuna (*Thunus maccoyii*) in the Great Australian Bight. Fish. Oceanogr., 15 (3): 191-207.
- Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. J. Geol., 30: 377-392.

FECHA DE INGRESO: 19/08/2010

FECHA DE ACEPTACIÓN: 23/10/2011