

SEDIMENTOLOGIA DE LAGUNAS COSTERAS: CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA Y CIENAGA DE PAJARALES

Gladys Bernal y Juliet Betancur

RESUMEN

La Ciénaga Grande de Santa Marta y la ciénaga de Pajarales hacen parte del sistema lagunar marginal del plano deltaico del río Magdalena en la costa Caribe de Colombia. Se realizó un muestreo superficial sistemático en las lagunas y la costa de Salamanca y puntual en el resto de la llanura deltaica. Se presentan resultados sobre análisis granulométricos, mineralógicos, de materia orgánica, calcimetría, difracción de rayos X y química de sales en los sedimentos. La información se procesó con el fin de elaborar mapas sedimentológicos del sistema, conocer la distribución de cada parámetro y las posibles áreas fuentes de los sedimentos.

ABSTRACT

Sedimentology of coastal lagoons: Ciénaga Grande de Santa Marta and Ciénaga de Pajarales. Ciénaga Grande de Santa Marta and Ciénaga de Pajarales are the two main lagoons of the marginal lagunar system at the deltaic floodplain of Magdalena river, Caribbean coast of Colombia. A systematic surficial sampling was carried out in such lagoons and Salamanca coast. A sporadic sampling was done in other places of the deltaic plain. This paper presents results about grain size, mineralogy, organic matter contents, CaCO₃ contents, X ray diffraction and chemical analysis of salts for sediments. Sedimentologic charts, distribution schemes and provenience notes are presented.

INTRODUCCION

Muchas de las lagunas costeras del mundo se encuentran asociadas con grandes sistemas deltaicos. Debido a los procesos hidráulicos, químicos y biológicos que en ellas ocurren, los estudios sedimentológicos de estos cuerpos de agua pueden revelar aspectos como proveniencia de sedimentos, procesos de depositación, precipitación de agregados minerales, resuspensión y tendencias de flujo. La distribución sedimentaria de los fondos de las lagunas costeras asociadas con deltas es producto de la interacción compleja entre aguas marinas, aguas continentales, biota e intercambios atmósfera-agua que ocurren en estos sistemas transicionales.

La ciénaga Grande de Santa Marta es la laguna costera más grande de Colombia y está localizada en la Llanura deltaica del río Magdalena (figura 1). Junto con la ciénaga de Pajarales y otras lagunas conforma el llamado sistema lagunar marginal de la llanura deltaica del Magdalena. Estudios sedimentológicos anteriores en esta área incluyen, entre otros, los trabajos de Wiedemann (1973), INVEMAR (1988), Von Erffa (1973), Lorin et al. (1973) y Vargas y Arango (1993). Muchos de ellos están enfocados a la plataforma continental. Los estudios de Wiedemann (1973) e INVEMAR (1988), se refieren principalmente a la Ciénaga Grande de Santa Marta y constituyen un excelente material para comparar las condiciones actuales con las descritas por dichos autores.

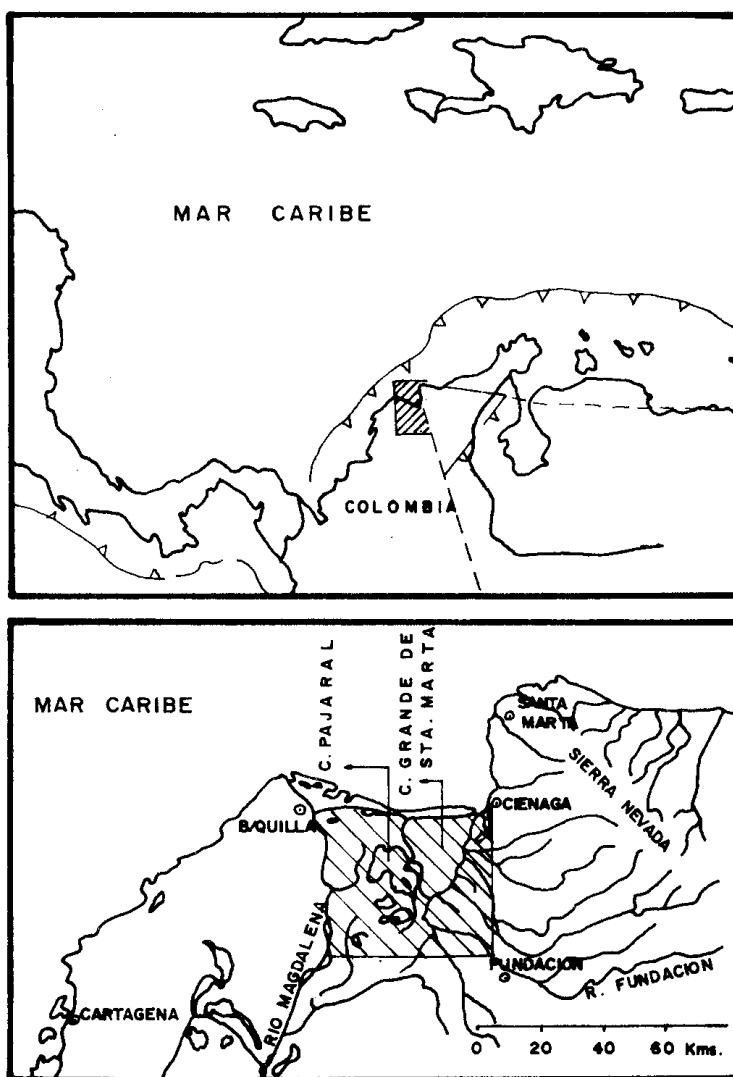


Figura 1. Localización del área de estudio.

En un esfuerzo por establecer las condiciones geomorfológicas y sedimentológicas actuales del área, se realizó un proyecto de investigación (COLCIENCIAS - INVEMAR - UNIVERSIDAD EAFIT) donde se incluyeron, además de la Ciénaga Grande de Santa Marta y Salamanca, la ciénaga de Pajarales (no estudiada anteriormente) y consideraciones sobre otras unidades geomorfológicas. El propósito fundamental de este artículo es presentar los resultados obtenidos sobre aspectos como granulometría, mineralogía, rayos X, calcimetría y materia orgánica de las dos principales lagunas del sistema deltaico del río Magdalena, la barra de Salamanca y zonas evaporíticas aledañas.

El estudio granulométrico de los sedimentos permite identificar zonas de depositación, tendencias de flujo y energía del medio, mientras que la mineralogía es un indicador de proveniencia. La información sobre el contenido de carbonato de calcio permite diferenciar zonas sometidas a procesos biogénicos y ayuda en la clasificación del tipo de fondo en las lagunas. Los sedimentos de una laguna costera se clasifican según criterios granulométricos y calcimétricos, haciendo posible diferenciar áreas.

Los rayos X son usados particularmente en análisis de material finogranular, el cual es difícil de estudiar por otros medios. De acuerdo con Hardy y Tucker (Tucker et al., 1988) existen algunos métodos para realizar análisis cuantitativos a partir de la difracción de rayos X, basados principalmente en que la intensidad del patrón de difracción (estimado como altura o área del pico) de una mezcla mineral, es proporcional a su concentración. Sin embargo, estos métodos son imprecisos debido a las diferentes "habilidades difractantes" de minerales de diferentes sistemas cristalinos.

La materia orgánica en los sedimentos es un precipitado bioquímico derivado de la descomposición de restos de plantas y animales en el ambiente sedimentario. Su presencia o abundancia es resultado de la productividad orgánica del ambiente, en contraposición a la capacidad de descomposición oxidante del mismo o a la presencia de partículas biológicas altamente resistentes a la oxidación, tales como esporas y otros materiales (Pettijohn et al., 1972). Los bosques de manglar han sido considerados como una importante fuente local de materia orgánica en áreas costeras de mares tropicales, asumiéndose que su productividad en lugares de continuo crecimiento es tan alta o incluso superior a la que se presenta en bosques tropicales húmedos (2-10 Kg /cm²). (Romankevich, 1984).

Se considera que los estudios de distribución de los parámetros mencionados logran caracterizar la sedimentología actual del área y por tanto son indicadores de los procesos físicos que la afectan. Los resultados servirán como base de investigaciones y monitoreos posteriores.

muestras. En los aspectos sedimentológicos se siguieron procedimientos de Tucker et al. (1988), Pettijohn et al. (1972), Corrales et al. (1977), con la asesoría del equipo de Geomorfología de Costas de la Universidad EAFIT.

Granulometría: Para muestras de arenas se siguió el procedimiento de tamizado en seco y para sedimentos finos una combinación de tamizado e hidrómetro. Se separaron a través de malla 200 (0.074 mm) los contenidos de arenas y lodos. El material retenido se analizó por tamizado en seco. Del material más fino (lodos) se seleccionaron 50 g que fueron analizados por hidrómetro, previa determinación de su gravedad específica. Total de muestras analizadas: 90.

Mineralogía: Se seleccionaron 22 muestras que presentaron el tamaño de grano apropiado para su estudio mineralógico. Por cuarteo se tomaron porciones de las mallas 170 y 200 (0.088 y 0.074 mm) que fueron lavadas al calor con detergente y limón. Se elaboraron placas para ser analizadas en el microscopio petrográfico, determinando cada mineral y su proporción en la muestra por medio de un conteo de puntos. La determinación de los minerales densos presentes estuvo basada en Mange y Maurer (1992). Algunas muestras se estudiaron también con lupa binocular y las proporciones se determinaron por comparación visual con diagramas de estimación de porcentajes.

Materia orgánica: El material disponible al sustraer lo necesario para otros análisis limitó el número de pruebas de materia orgánica a 30. Cada muestra se secó a 80° C con el fin de extraer la humedad hidrosférica. Posteriormente un peso conocido de la muestra se colocó por duplicado a 500° C durante 8 horas, se dejó enfriar, se pesó y se repitió el procedimiento con intervalos de 2 horas hasta obtener un peso constante.

Calcimetría: En 94 muestras se determinó el contenido de CaCO_3 de la matriz, por medio de un calcímetro tipo Bernard (Vatan, 1967) construido en el laboratorio de química de la Universidad EAFIT.

Rayos X: Se seleccionaron 12 muestras de sedimentos finos, teniendo cuidado de que su distribución abarcara la mayor cantidad de ambientes de la llanura deltaica (figura 3). Estas muestras fueron enviadas al laboratorio de química de INGEOMINAS Medellín para análisis de difracción de rayos X.

Análisis de sales: Se eligieron 4 muestras de sedimentos con sales de diferentes localidades para determinar sodio, potasio, calcio, hierro y magnesio por el método de absorción atómica (figura 3). Las muestras fueron enviadas al laboratorio de química de INGEOMINAS Medellín donde se hicieron dichos análisis. Además en el laboratorio de química de INVEMAR se midió el contenido de calcio y magnesio con el método de complexometría con EDTA y el contenido de hierro utilizando colorime-

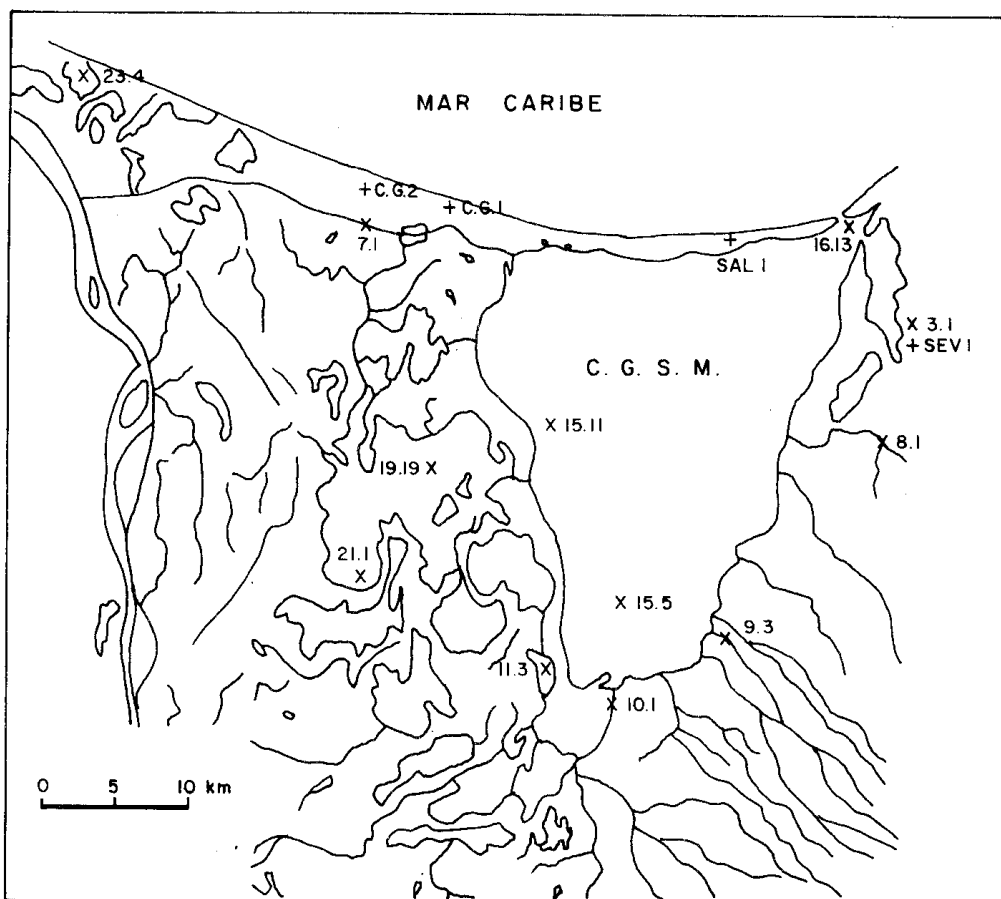


Figura 3. Ubicación de las muestras analizadas por rayos X (x) y sales (+).

tría con O-fenantrolina en sales disueltas.

Los datos granulométricos fueron representados en curvas de porcentaje peso y frecuencia acumulada vs tamaño de grano y los datos de porcentajes, mediana, media, moda, selección, asimetría, y kurtosis fueron determinados por el método gráfico. Las muestras se clasificaron según los intervalos de la escala de Wentworth y diagramas de tres componentes (Tucker et al., 1988; Pettijohn et al., 1972; Inmaculada et al., 1977; Shepard, 1967). Los resultados de los análisis y clasificación de las muestras fueron representados en mapas para analizar su distribución espacial.

Para la elaboración de mapas sedimentológicos de fácil interpretación y comparables con los anteriores, se siguió el siguiente criterio de clasificación de composición-granulometría: Todas las muestras se clasificaron en el diagrama textural de sedimentos de Shepard (1967) con lo cual se indican las proporciones de arena, limo y arcilla en cada una. Se

determinó el porcentaje de conchas y fragmentos de conchas. Muestras con más de 40% de conchas se clasificaron como conchas en matriz (arenolimo-arcillosa de acuerdo con la clasificación textural). Muestras con menos de 40% conchas, pero con éstas presentes se denominaron (arena limo-arcilla de acuerdo a la clasificación textural) con conchas. Muestras sin conchas fueron denominadas de acuerdo con la clasificación textural. Además las arenas fueron clasificadas en gruesas, medias, finas, etc según el valor de su media en la escala granulométrica de Wentworth (Pettijohn et al., 1972).

Para comparar el mapa sedimentológico de la Ciénaga Grande con el realizado por Wiedemann (1973), se hizo una clasificación "simplificada" de las muestras con el fin de obtener las mismas denominaciones dadas por dicho autor: Lodo suave = todas las muestras con arcillas o limos aunque contengan algo de arena (LaA, LAa, L, La, aL). Arena y arenas limosas = muestras con arenas sin arcilla (A, LA, AL). Concentrados de conchas = Muestras con contenidos de conchas mayores al 10%.

Se seleccionaron 5 muestras representativas de toda el área para su clasificación por criterio de composición según cuarzo - feldespato - fragmentos de roca (Pettijohn et al., 1972, fig. 5.3). Se analizaron bajo lupa binocular para buscar las proporciones de fragmentos de roca - minerales félsicos (cuarzo-feldespato) y otros en varias fracciones granulométricas. La diferenciación entre cuarzo y feldespato se obtuvo con base en datos aportados por el microscopio petrográfico. Encontrado el nombre del sedimento se le colocó el prefijo "bio" a aquellas muestras que presentaron componentes orgánicos (material vegetal, conchas y fragmentos, foraminíferos o restos óseos) mayores del 25%.

GEOMORFOLOGIA

Los planos de la plataforma continental entre Cartagena y Santa Marta están cubiertos por gruesos depósitos terrígenos del Plioceno y Cuaternario, los cuales resultaron de sucesivas divagaciones del río Magdalena (Verette et al., 1992). La cuenca del bajo Magdalena no sólo es extensa sino profunda, habiéndose estimado un espesor de estratos del Terciario de más de 4.000 m (Case y McDonald, 1973).

La llanura o plano deltaico del río Magdalena ha sido subdividida en 5 unidades geomorfológicas (Bernal y Betancur, 1994; Bernal, 1995): Llanura de inundación del río Magdalena; Sistema lagunar del delta actual; Sistema lagunar marginal; Playa e Isla barrera y Llanura aluvial de piedemonte.

La llanura de inundación del río Magdalena es una zona plana que

se extiende hacia el este del canal principal del río, cortada por canales de desagüe del mismo y sujeta a inundaciones periódicas. El sistema lagunar del delta actual es un conjunto de lagunas al noroccidente de la llanura deltaica que incluye las ciénagas El Torno, Poza Verde, Cuatro Bocas y la Atascosa, conectadas directamente con el río.

El sistema lagunar marginal está constituido por la Ciénaga Grande de Santa Marta, el sistema lagunar de Pajarales al occidente de ésta (ciénaga de Pajarales, La Luna, Juncal, y La Aguja entre otras) y la ciénaga del Chino al oriente, interconectadas por un sistema de caños que discurren entre pantanos de manglar. Los bosques de manglar están compuestos por tres especies: Mangle rojo o colorado (*Rhizophora mangle*), mangle amarillo (*Laguncularia racemosa*) y mangle negro o salado (*Avicennia germinans*). Procesos de hipersalinización han deteriorado el manglar dando lugar a un aumento de pantanos y playones salinos (salares). Se han diferenciado dos tipos de salares (Bernal, 1995): -Cubetas salinas o lagos salinos efímeros, en los que sales capilares forman un endurecimiento superficial en sedimentos arenosos y - Cubetas evaporíticas o lagunas y pantanos someros perennes, que corresponden a áreas donde la muerte del manglar ha dado lugar a la formación de sales en capas que recubren los lodos orgánicos del manglar.

La unidad de Playa e Isla Barrera está conformada por una barra arenosa principal, la isla de Salamanca, que separa el sistema lagunar marginal del mar Caribe, y por la zona costera del sistema lagunar del delta actual o playas del sector occidental. La línea de costa de Salamanca puede considerarse como una costa dominada por olas, con fuerte influencia eólica (Bernal, 1995). Son evidentes los signos erosivos producto de la recesión de la isla barrera. La comunicación actual entre la Ciénaga Grande y el mar Caribe se da a través de la Boca de la Barra, una abertura de 200 m en su parte más estrecha.

La llanura aluvial de piedemonte está localizada al este de la Ciénaga Grande de Santa Marta, conformada por las llanuras aluviales de los ríos que descienden desde la Sierra Nevada de Santa Marta hasta la Ciénaga Grande. Es una zona importante de cultivos, especialmente banano.

En la figura 4 se observan las batimetrías de la Ciénaga de Pajarales y de la Ciénaga Grande de Santa Marta. En la morfología actual de la Ciénaga Grande se refleja la tendencia a la depositación en el lado oriental, con isóbatas paralelas al mismo y profundidades someras. Este lado está directamente influenciado por la llegada de los ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta que forman deltas progradantes (Bernal, 1995). Las mayores profundidades de la ciénaga se encuentran al noroccidente, con una depresión de extensión considerable. La ciénaga de

Pajarales presenta profundidades entre 0.2 y 1.3 m. El límite externo corresponde al límite de la vegetación que puede colonizar aguas someras. Ambas lagunas están comunicadas por el Caño Grande, un canal de hasta 6 m de profundidad.

HIDROLOGÍA

Las aguas que alimentan la red de drenaje de la llanura deltaica del Magdalena provienen de cuatro fuentes principales (figura 2):

(1) Río Magdalena: Aporta aguas a la llanura deltaica por desbordamiento superficial en niveles de aguas relativamente altos. Las crecientes cíclicas del Magdalena generan cambios plurianuales en los niveles de agua de las lagunas (Ecólogos ltda, 1992). Kaufmann y Hevert (1973) encontraron cada 6 a 7 años promedios anuales máximos y cada 6 a 7 años promedios anuales mínimos del río. En aguas bajas y medias sólo se produce estancamiento y luego la evaporación reduce progresivamente la extensión y profundidad de las ciénagas y caños temporales. Según los niveles de inundación, el sentido de la corriente puede invertirse y, especialmente las lagunas del sector sur y oeste pueden alimentar antiguos brazos del Magdalena en lugar de recibir agua de ellos. Actualmente los desbordamientos periódicos del Magdalena están siendo controlados por la carretera Palermo - Sitionuevo - El Piñón; por la construcción de trinchos como protección para la agricultura y la desecación de suelos entre otros (Prociénaga, 1994). En 1994 se comenzaron obras para reabrir flujos de agua desde el río Magdalena hacia el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta con miras a su recuperación ambiental. Estas obras comenzaron con la reapertura del caño Clarín que será monitoreado cuidadosamente.

(2) Ríos que bajan de la Sierra Nevada de Santa Marta y desembocan en la Ciénaga Grande: De acuerdo con Ecólogos ltda (1992) estos ríos son la influencia más importante para la variación estacional del nivel del agua en los cuerpos lagunares. En un estudio hidráulico de la Ciénaga realizado por la Universidad de los Andes en 1978 se afirma que “en épocas húmedas los caudales de la Sierra Nevada a pesar de tener una distribución temporal no uniforme exceden los volúmenes de intercambio de la ciénaga Pajaral entre 2 y 5 veces, exceptuando el período de inundaciones del Magdalena durante el cual la contribución de la Sierra es excedida por el volumen aportado por la ciénaga Pajaral”. Esto da una idea de la importancia de los aportes de agua de los ríos de la Sierra para mantener un equilibrio hidráulico en el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Sin embargo, los caudales que llegan actualmente por

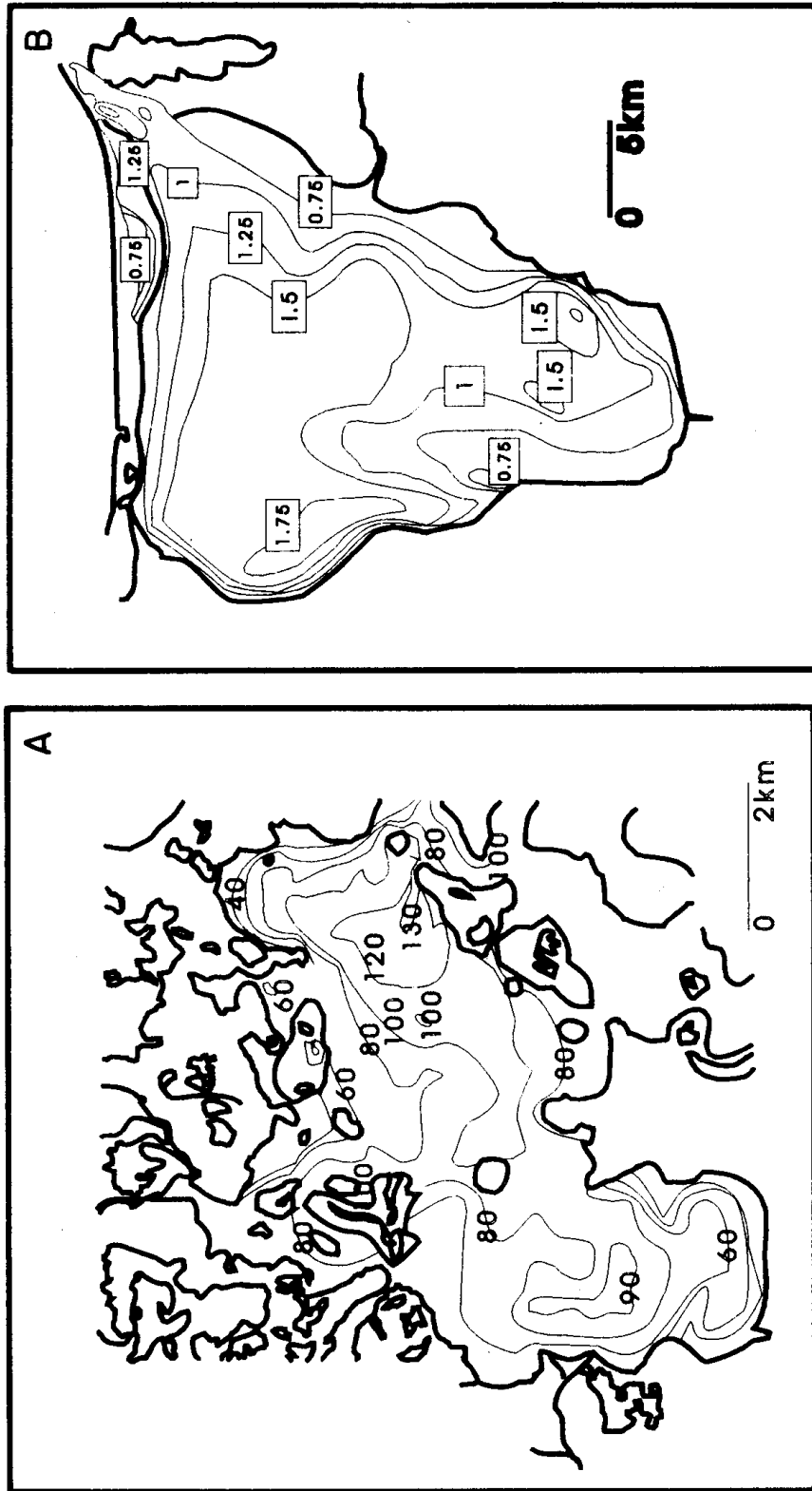


Figura 4. Mapa batimétrico de la Ciénaga de Pajarales (A: profundidad en centímetros) y Ciénaga Grande de Santa Marta (B: prof. en metros).

estos ríos han disminuído notablemente. Incluso algunos presentan influjo de agua salada desde el sistema lagunar. Las causas de esta disminución incluyen deterioro de las cuencas, captación de aguas para riego en la zona bananera y taponamientos. Según Inderena - Sodeic Ltda (1987) en la zona bananera se capta 80% del caudal medio de los ríos durante los meses de Diciembre a Abril y cerca de 20% para los meses restantes. Sólo el 40% del volumen captado regresa a los drenajes naturales, cargado con fungicidas y fertilizantes.

(3) El mar: El intercambio de aguas con el mar se realiza en la Ciénaga Grande a través de la Boca de la Barra, que es el paso para corrientes de marea y otras corrientes generadas por viento (Wiedemann, 1973). Las corrientes de flujo y reflujo en la boca son las encargadas de mantener abierto el canal, sin embargo, el desbalance generado por la escasez de agua dulce en el sistema lagunar ha afectado las mismas. Otro mecanismo de intercambio de aguas con el mar se presenta a lo largo de la isla de Salamanca como depósitos subsuperficiales condicionados por la permeabilidad del sustrato y los flujos subterráneos (Prociénaga, 1994).

(4) Las precipitaciones: Son consideradas escasas. En la zona costera varían entre 760 mm anuales en el occidente y 400 mm anuales en el oriente. Existe poca información de la variabilidad de lluvias de Norte a Sur.

De acuerdo con Wiedemann (1973), la Ciénaga Grande de Santa Marta es demasiado somera para establecer gradientes verticales de temperatura o salinidad. Durante la estación seca, aguas saladas pueden penetrar profundo en la laguna. La circulación de las aguas se mantiene en sentido contrario a las manecillas del reloj.

PROCESOS COSTEROS

Vientos: Blanco (1989) considera que los vientos alisios del NE constituyen el factor macroclimático más importante de esta zona aplacando fenómenos como lluvias de tipo convectivo y vientos del SW. Los alisios dominan de noviembre a marzo, período seco. El resto del año hay influencia de vientos del suroeste, que en los meses más húmedos llegan a dominar y en sus mayores frecuencias constituyen los llamados “vendavales”.

Corrientes: De acuerdo con Lorin et al. (1973) la corriente oceánica más importante al frente de la costa Caribe colombiana es la llamada “corriente litoral oceánica” o contracorriente, que va desde las costas de Panamá hasta casi la península de la Guajira. En época de alisios se le

superponen corrientes opuestas que tan solo afectan una capa superficial de las aguas y que constituyen la deriva litoral del área hacia el occidente durante la mayor parte del año (Martínez y Molina, 1992). De acuerdo con Von Erffa (1973) las corrientes transportan sedimentos erosionados de un delta más antiguo y los depositan en la desembocadura del Río Magdalena, donde gran parte va hacia los fondos submarinos. Al frente de la llanura deltaica del Magdalena son especialmente importantes las corrientes de resaca.

Olas y mareas: En período seco la dirección del oleaje es N-NE; en período de transición y lluvias cambia constantemente entre NE y SW; en la isla de Salamanca se da una amplia zona de rompientes con 5 a 6 rompientes; las olas que rompen al W de Tasajera tienen alturas de 0.6 a 1 m; al E de Tasajera tienen alturas entre 15 y 40 cm (Martínez y Molina, 1992). Las mareas son irregulares y débiles, con rango micromareal semi-diurno y una amplitud entre 20 y 30 cm. (Von Erffa, 1973; Martínez y Molina, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSION

Sistema Lagunar

Clasificación de sedimentos. En las figuras 5 y 6 se observan los mapas sedimentológicos superficiales de la Ciénaga Grande de Santa Marta y de la Ciénaga de Pajarales obtenidos. Los fondos de la Ciénaga Grande de Santa Marta son limo arcillosos con contenidos variables de conchas en el área central que llegan a conformar tapices de estos restos orgánicos. Los concentrados de conchas están dominados por ostras, y por conchas de los géneros *Polymesoda* y *Mytilopsis*. En menor proporción se encontraron gasterópodos. Generalmente se presentan conchas vacías y eventualmente fragmentos. En las esquinas noroccidental y nororiental de la ciénaga se presentan limos, probable producto de la influencia de la Boca de la Barra para el caso oriental y del Caño Clarín para el occidental. Los sedimentos más gruesos se encuentran al norte de la laguna, adyacentes a la isla de Salamanca, y consisten en arenas limosas al occidente, arenas finas y arenas medias cerca a la boca. Se consideran producto de la influencia de la isla barrera.

Los fondos de la ciénaga de Pajarales pueden dividirse en dos dominios: Una zona occidental predominantemente limo arcillosa y una zona oriental predominantemente limo areno- arcillosa. Localmente se presentan arcillas limosas. Los agregados de conchas son más extensos en la zona oriental y consisten de gasterópodos (*Marisa cornuarietis*), *Polymesoda* y

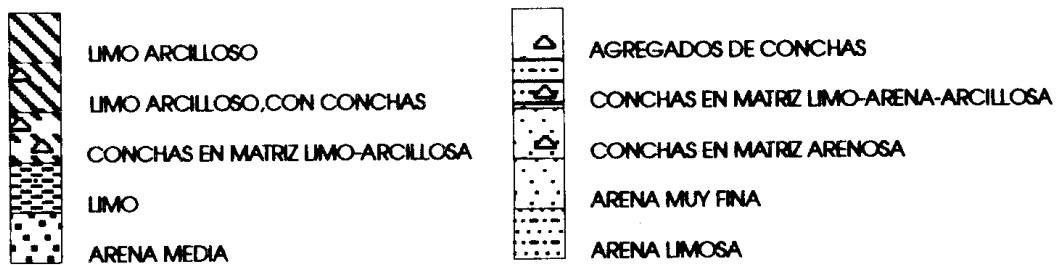
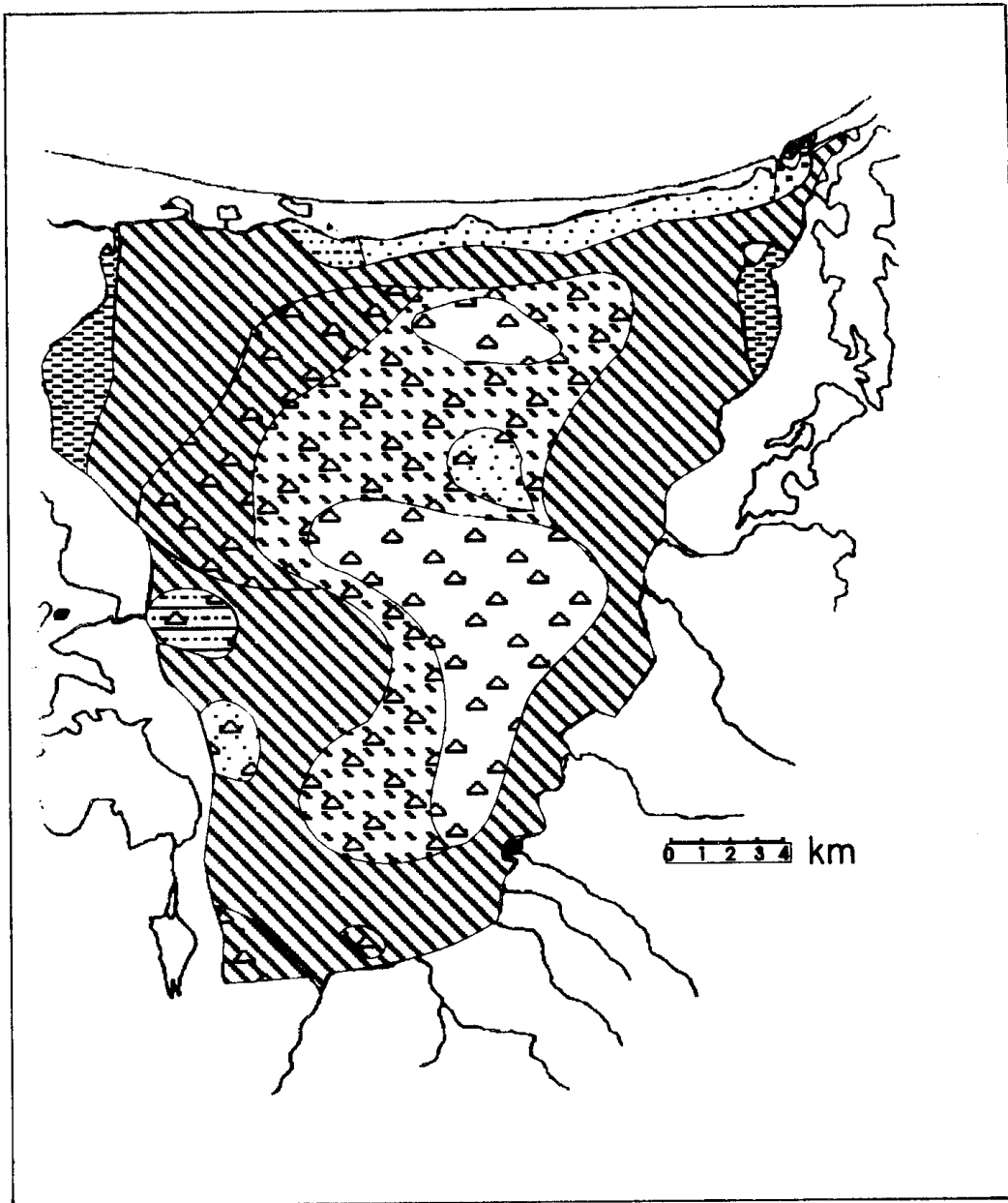


Figura 5. Mapa sedimentológico superficial de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

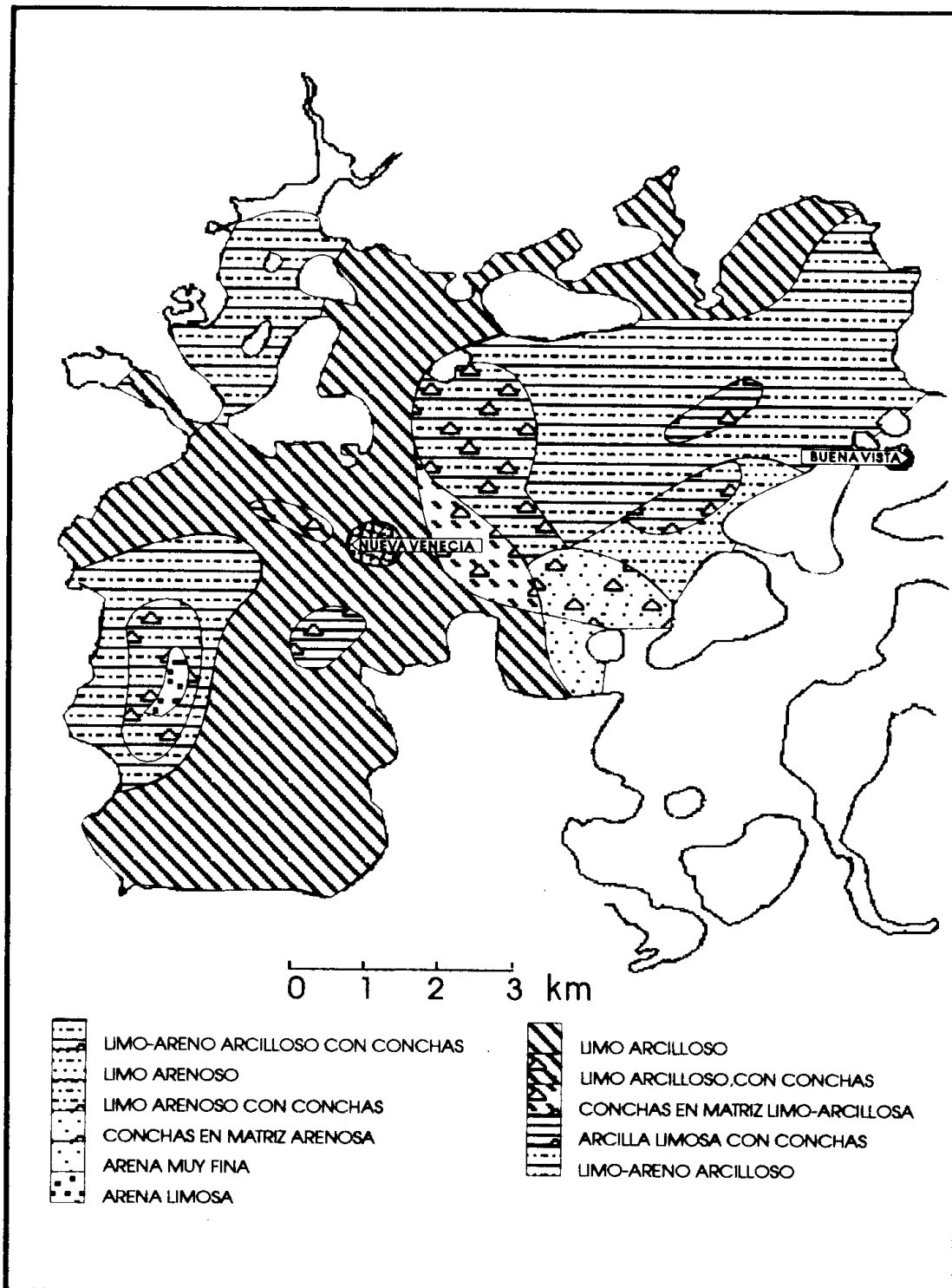


Figura 6. Mapa sedimentológico superficial de la Ciénaga de Pajarales.

Mytilopsis, con ocurrencia local de otros restos (p.e balánidos). Los sedimentos más gruesos (limo arenoso y arena muy fina) se encuentran al sur de la zona oriental cerca de islas de mangle alineadas en dirección NE. En términos generales, los sedimentos de la ciénaga de Pajarales tienden a ser más finos que los de la ciénaga Grande.

En la figura 7 se observan el mapa sedimentológico superficial levantado por Wiedemann en 1973 y el mapa sedimentológico superficial simplificado de la Ciénaga Grande de Santa Marta levantado en 1994. La principal diferencia entre los dos es la extensión de los concentrados de conchas, que actualmente cubren un área mayor. Esta diferencia puede deberse a los criterios de clasificación, al tipo y densidad del muestreo o al retrabajamiento y redistribución de las conchas ya que no se ha registrado un crecimiento en la población de las mismas, como es el caso de *Polymesoda*, género que según Díaz y Puyana (1994) desapareció de la laguna hacia 1978.

Análisis mineralógico. En la tabla 1 se observan los resultados de la clasificación mineralógica según cuarzo-feldespato-fragmentos de roca de 5 muestras representativas de los sedimentos. Los fragmentos de roca más comunes son esquistos. En menor proporción hay fragmentos de

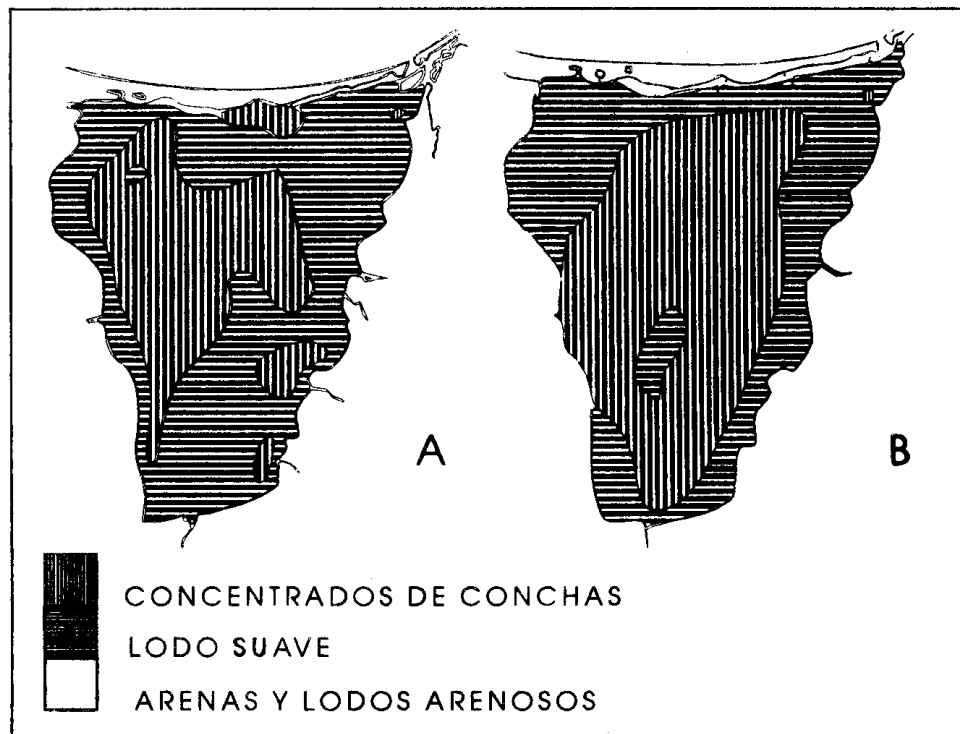


Figura 7. Mapas sedimentológicos de la Ciénaga Grande de Santa Marta: (A) presentado por Wiedemann (1973) y (B) mapa simplificado realizado por las autoras en 1994.

rocas ígneas o sedimentarias. Casi la totalidad del cuarzo y feldespato en las muestras corresponde a fragmentos de rocas con cuarzo o de venas de cuarzo. Los sedimentos clasificados en el diagrama Q-F-FR son arcósicos, al igual que algunos de los sedimentos terciarios del piedemonte occidental de la Sierra Nevada. El contenido de feldespato es mayor en el Río Aracataca, debido a una menor madurez del sedimento (arena arcósica). Las demás muestras presentan contenidos de feldespato similares (subarcosas) y el aporte orgánico es mayor en las muestras lagunares interiores (bio subarcosas).

Tabla 1. Clasificación de cinco muestras del sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta según cuarzo - feldespato - fragmentos de roca (Pettijohn, 1972), teniendo en cuenta contenidos de matriz y biodetritos.

Muestra	Ubicación	% Matriz	% Biodetritos	% Cuarzo (al 100%)	% Feldespato (al 100%)	% Frag. roca (al 100%)	Clasificación
8.3	R. Aracataca	0	0	49.5	35.9	14.6	Arena Arcósica
15.9	Ciénaga Grande	0	42.5	78	22	0	Bio Subarcosa
16.13	Ciénaga Grande	2.3	20	81	17	2	Subarcosa
19.18	Ciénaga Pajaral	0	26.5	78.5	19.5	2	Bio Subarcosa
13.1	Salamanca	0	9	69.6	21.4	9	Subarcosa

En la figura 8 se muestra la distribución espacial de los principales grupos minerales estudiados. El contenido de cuarzo es mayor para los sedimentos interiores del sistema lagunar (valores entre 39.5 y 59.8%) que para los sedimentos costeros (17 - 26.6 %). La misma situación ocurre con el contenido de feldespato total (valores entre 14 y 30 % para el interior del sistema y entre 5.7 y 8.7 % para la isla barrera y la Boca de la Barra). El comportamiento de los minerales opacos es contrario a lo anterior, siendo más ricos en opacos los sedimentos costeros (8.7-32.5 %) que los interiores (1.8-5.6 %). El contenido de hornblenda separa los sedimentos cercanos a Salamanca (incluyendo sedimentos lagunares) con contenidos más altos de hornblenda (16.8-27.7 %) y los sedimentos interiores con contenidos bajos (7-10 %). La distribución de piroxenos en los sedimentos estudiados no muestra dominios especiales.

Otros minerales comunes encontrados en las muestras son: biotita (presente en todo el sistema con valores <2%; en la isla de Salamanca alcanza hasta 7%); circón (presente en la Ciénaga Grande, Isla de

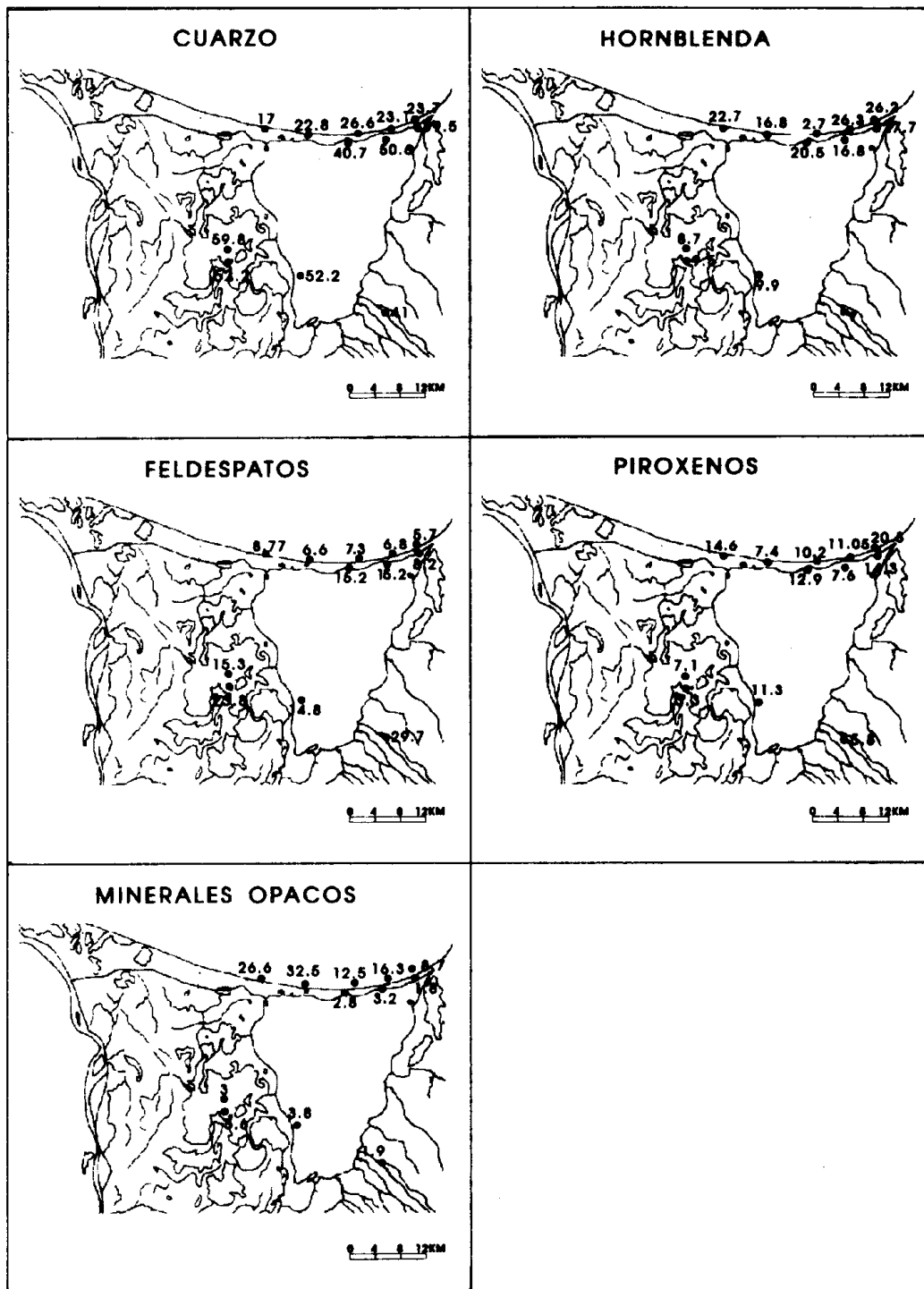


Figura 8. Distribución mineralógica en los sedimentos del sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta (% peso) de acuerdo con análisis de las fracciones 170 y 200 en microscopio petrográfico.

Salamanca y algunas muestras de la Ciénaga de Pajara con contenidos <3%; no se encontró en las arenas del Río Aracataca); epidota (presente en todas las muestras del sistema a excepción de algunas de Pajarales con contenidos <2%); esfena (presente en todo el sistema con contenidos <4%, a excepción de algunas muestras de Pajarales); granate (presente en todas las muestras del sistema con contenidos <2%, a excepción del Río Aracataca) y apatito (presente en las muestras del sistema con contenidos <1%; no se encontró en algunas muestras de la Ciénaga Grande ni en el Río Aracataca).

Calcimetría. La formación de Carbonato de Calcio en sedimentos puede ser detrítica o por precipitación química (Pettijohn et al., 1972). En la figura 9 puede verse la distribución de CaCO_3 en los sedimentos del sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta. En la Ciénaga Grande hay contenidos de CaCO_3 entre 0 y 50 % y en Pajarales entre 0 y 23%; su distribución está directamente relacionada con los fondos de conchas de las ciénagas, lo que permite suponer que el carbonato de calcio en los sedimentos superficiales de los cuerpos de agua es biogénico. Los contenidos en otras ciénagas son menores de 5%; en los caños del sur (Condazo, Palenque y del Cojo) menores de 1%; en el caño Clarín se encontró un valor de 14%; y en los sedimentos de la isla de Salamanca o cercanos a la costa se presentaron valores menores de 2%. En los ríos de la

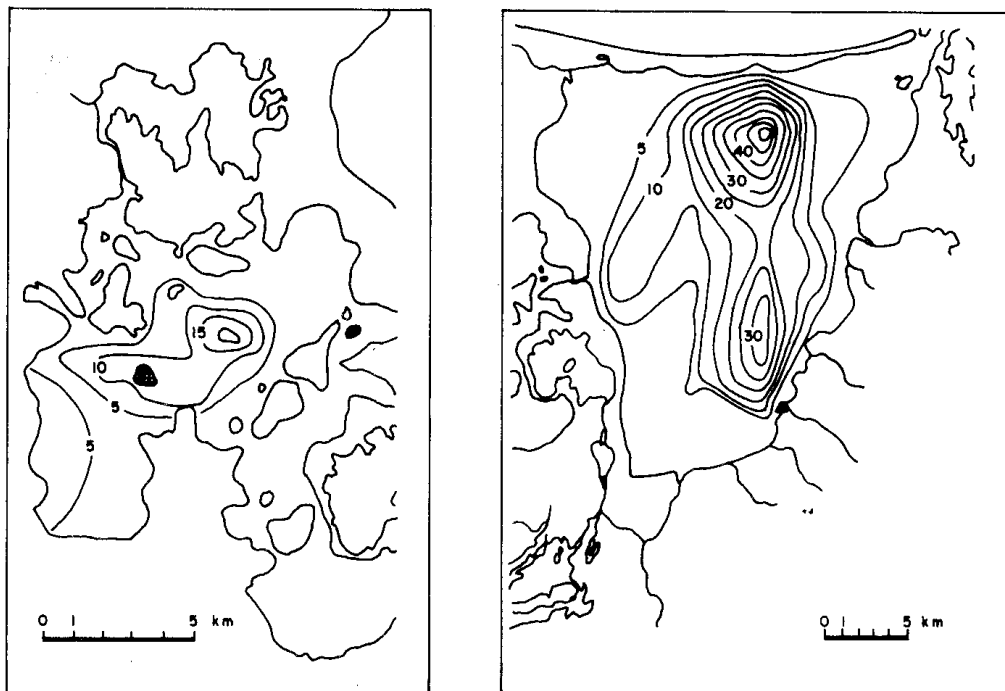


Figura 9. Contenidos de CaCO_3 (%) en la Ciénaga de Pajarales y Ciénaga Grande de Santa Marta.

Grande al sur de Caño Grande y una de las muestras de la ciénaga de Pajarales). En la Ciénaga Grande se dan valores entre 5 y 10 % en las cercanías a los bordes y menores de 5% por la Boca de la Barra. El valor de 14.68 cerca al río Fundación es anómalo a los límites generales de los intervalos y podría deberse a la entrada de materia orgánica desde el río (no se descarta la posibilidad de error). Las muestras tomadas en el sistema lagunar del delta actual están dentro del límite normal. En el sistema de caños se presentan valores <5% al Norte (caño Clarín) y centro (ciénaga Alfandoque), y entre 5 y 10% al Sur (ciénaga Juncal, caño Condazo).

Rayos X. Los análisis de rayos X realizados en muestras del sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta son semicuantitativos (tabla 2). De acuerdo con el informe de análisis químico “la baja intensidad de las señales en la mayoría de las muestras indican que éstas contienen materia amorfa pues la difracción de rayos X sólo afecta a compuestos cristalinos”.

Cuarzo: Presente en todas las muestras siendo el mineral de mayor proporción en las mismas. Los contenidos más altos se presentan en zonas cercanas a la costa (Boca de la Barra y ciénaga El Torno). La zona entre el Río Magdalena y la Ciénaga Grande presenta contenidos medios, mientras que en la Ciénaga Grande y ríos de la Sierra Nevada dominan contenidos bajos con excepción del playón de Sevillano.

Feldespato: Otro mineral presente en todas las muestras analizadas. Los contenidos son medios para la Ciénaga El Torno, Boca de la Barra y playón de Sevillano. Para el resto del área el contenido de feldespato es muy bajo o hay apenas indicios.

Halita: No se presenta en las muestras costeras (sitios de mayor energía). En general el contenido es muy bajo a excepción de las muestras de Pajarales y una muestra en la Ciénaga Grande. La presencia de picos de halita muy pronunciados en la muestra 21.1 (sector suroccidental de Pajarales) indica condiciones favorables para su precipitación en un sector de muy baja energía sometido a condiciones confinantes y de colmatación (ambientes evaporíticos de lagunas someras perennes). En general, los contenidos de halita en las muestras analizadas reflejan el proceso de hipersalinización de la cuenca.

Mica: La muestra de el playón de Sevillano presenta contenidos bajos de este grupo mineral. El resto de las muestras analizadas contienen apenas indicios de mica. Se resalta la ausencia de la misma en la Boca de la Barra y en la Ciénaga de Pajarales.

Anfíbol: En contraste con los sedimentos gruesos que mostraron altas cantidades de anfíboles, en los sedimentos analizados por rayos X, cuando se presentan, son únicamente indicios. El mayor contenido se da

Tabla 2. Análisis de rayos X en 12 muestras del sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Contenido: +++ Alto; ++(+) Medio-Alto; ++ Medio; +(+) Medio-Bajo; + Bajo; (+) Bajo-Bajo; ? Indicios.

Muestra	Ubicación	Cuarzo	Feldespato	Halita	Mica	Anfibol	Caolinita	Clorita	Yeso
3.1	Playón Sevillano	++	+(+)	(+)	+	?	?		
7.1	Caño Clarín Viejo	++	?	(+)	?	?	(+)	?	
8.1	R. Sevilla	+	?	(+)	?	?	?		?
9.3	Caño Mengajo	+(+)	(+)	(+)	?	?	?		?
10.1	R. Fundación	+	?	(+)	?	?	?		
11.3	C. Juncal	++	?	(+)	?	?	?		?
15.5	C. Grande	+	?	(+)	?	?	?		?
15.11	C. Grande	+	?	++	?	?	?	?	
16.13	Boca de la Barra	+++	+(+)						
19.19	C. Pajaral	+(+)	?	++		?	?		
21.1	C. Pajaral	+(+)	?	++(+)			?		
23.4	C. El Torno	++(+)	++		?	(+)	?		

en la Ciénaga El Torno (muy bajo).

Caolinita: Cuando se presenta, son indicios, a excepción de Caño Clarín que muestra un contenido muy bajo. Clorita: Sólo indicios en Caño Clarín y en la muestra de la Ciénaga Grande más cercana a éste. Yeso: Sólo indicios en el Río Sevilla, Caño Mengajo, Ciénaga Juncal y en la muestra más al sur de la Ciénaga Grande.

Costa de Salamanca

Los sedimentos de la isla de Salamanca son de grano medio con excepción de la zona de rompientes donde se encontraron arenas gruesas y gránulos. Están compuestos por cuarzo, feldespato (principalmente feldespato potásico con menores cantidades de plagioclasa), hornblenda, piroxenos (tanto clinopiroxenos como ortopiroxenos, especialmente tipo augita e hiperstena) y opacos. En menor proporción se encontraron biotita, circón, epidota, esfena, granate y apatito. Esporádicamente aparecen cianita, dolomita, tremolita, glauconita, rutilo y actinolita. Los granos son subangulares y euhedrales indicando transporte corto. Los granos redondeados son escasos e incluyen algunos cuarzos, circones y opacos. La hornblenda es verde y en menor proporción parda (en rocas metamórficas la hornblenda café indica metamorfismo de alta temperatura y altos contenidos de TiO_2). Algunos cuarzos son rutilados. Se encontraron granates rosados, incoloros y verdes.

Para observar las variaciones en composición se remite a la figura 11 donde se presentan los diagramas de porcentajes minerales para cada muestra. Los contenidos de cuarzo varían entre 15 y 40% y alcanzan valores muy bajos (menores de 5%) en las muestras con alta concentración de opacos (14.1.c., 14.2.b.). En estas mismas muestras los contenidos de circón son anormalmente altos, debido a su gran peso específico. El feldespato, más inestable, varía entre 5 y 11% con valores menores del 2% en las muestras ricas en minerales densos mencionadas anteriormente. La presencia de plagioclasas a veces tabulares confirman un área fuente cercana. La hornblenda se caracteriza por su abundancia llegando a conformar más del 30% de algunas muestras. Los piroxenos varían entre 3 y 16%. Los opacos son muy variables indicando acumulaciones locales de minerales densos en las playas de la isla de Salamanca.

Salares

En la tabla 3 se presentan los resultados de los análisis de absorción atómica en cuatro muestras de salares del sistema. Las dos primeras (CG1 y CG2) corresponden a cubetas evaporíticas en pantanos de manglar

muerto. Las siguientes (SAL 1 y SEV1) corresponden a salares de capilaridad en ambientes de lago salino efímero. La muestra "Sal-1" fue tomada de un playón en la isla de Salamanca y la muestra "Sev-1" del llamado playón de Sevillano cerca a la ciénaga del Chino (figura 3).

Tabla 3. Contenidos de Sodio, Potasio, Calcio, Hierro y Magnesio en 4 muestras de sales en sedimentos de playones salinos del sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Muestra	%Na	%K	%Ca	%Mg	%Fe
CG1	51.4	0.05	15.3	1.73	0.04
CG2	75.7	0.01	0.04	0.29	0.03
SAL1	30.5	0.09	4.2	4.34	1.66
SEV1	40.4	0.03	0.82	0.84	1.13

Los mayores contenidos de hierro se presentaron en los salares capilares de lago salino efímero donde se da una alternancia de fases de inundación y desecación y dominan los elementos detríticos en los sedimentos. Se destaca el mayor contenido de magnesio en la muestra del playón de Salamanca. En las dos muestras de sales de pantanos de manglar muerto se dan los contenidos extremos de calcio, reflejando la variabilidad en localidades diferentes del mismo ambiente. El contenido de calcio es mayor en el playón de Salamanca que en el de Sevillano. Los contenidos de potasio son muy bajos para todas las muestras. Los altos contenidos de sodio indican que las sales en formación en las áreas estudiadas son principalmente sódicas.

Según Lowenstein y Hardie (1985) este tipo de cubetas salinas son monominerálicas y las cubetas más abundantes son las dominadas por halita (NaCl). Esto permite pensar que la halita es la sal dominante en los medios evaporíticos estudiados, sin descartar la formación de otras sales de sodio (mirabilita, thenardita y trona), magnesio (epsomita) y calcio (yeso). Perthuisot (1980) destaca la geoquímica particular de los lagos intermitentes donde las paragénesis pueden presentar sales rarísimas en las series de origen marino como son los carbonatos y sulfatos de sodio en grados diversos de hidratación (mirabilita, natron, trona, thenardita, etc).

Origen de los Sedimentos

Los sedimentos que se depositan en el sistema lagunar del plano deltaico del Magdalena son transportados hasta allí por dos medios: agua y aire. El transporte eólico se concentra en extensas dunas de la zona costera y puede llevar materiales desde este sitio hasta las lagunas interiores. El transporte por agua incluye inundaciones y flujos de agua a través de caños desde el Río Magdalena; transporte litoral con intervención de olas, corrientes y mareas; transporte directo desde la Sierra Nevada de Santa Marta hasta la Ciénaga Grande por el drenaje occidental del sistema montañoso y retrabajamiento.

Las fuentes principales de sedimentos para las corrientes litorales del área son el río Magdalena al occidente, la Sierra Nevada al oriente y depósitos cuaternarios marinos tales como lóbulos deltaicos antiguos del río Magdalena y sedimentos costeros provenientes del oriente del sistema.

Características mineralógicas de los sedimentos arenosos estudiados indican un área fuente cercana: Abundancia de hornblenda, presencia de plagioclasa y escaso redondeamiento de los granos, así como ocurrencia de minerales metamórficos atribuibles a rocas de la Sierra Nevada de Santa Marta. La descarga directa de sedimentos desde la Sierra Nevada de Santa Marta hacia la Ciénaga Grande proviene de tres cuencas principales de los ríos Sevilla, Aracataca y Fundación. En conjunto, el área de las cuencas es de 2.700 km²; unas 6 veces mayor que el área de la laguna. El Río Aracataca nace a 5.000 m de altura en las lagunas glaciales de la Sierra y recorre unos 45 km hasta su desembocadura. El Río Sevilla nace a 4.000 m sobre el nivel del mar recorriendo 36 km. El Río Fundación nace a 3.000 m y recorre una distancia de 60 km.

Las cuencas de los tres ríos están compuestas por rocas capaces de producir casi la totalidad de los minerales presentes en las arenas del sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta. El río Sevilla es la principal fuente de hornblenda, plagioclasa, apatito y granate en la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta. Algunos minerales, por ejemplo actinolita, únicamente presentes en los sedimentos de las playas de Salamanca parecen provenir de rocas metamórficas en facies esquistos verdes de la provincia de Santa Marta (vía mar).

El aporte actual del río Magdalena aumenta en los sedimentos lodosos del área como lo indican las altas cantidades de cuarzo y la escasez de hornblenda reveladas por los análisis de rayos X. Debe tenerse en cuenta que de acuerdo con Prociénaga (1994) el agua que ingresa al sistema lagunar desde el río Magdalena lleva sedimentos a una concentración promedio de 0.636 kg/m³, aportando unas 100 toneladas anuales, de las cuales el 67% son sedimentos tamaño arcilla, 32% tamaño limo y

apenas el 1% tamaño arena. Los contenidos de hiperstena en los sedimentos de la isla de Salamanca y la plataforma al frente del área fueron considerados por Von Erffa (1973) y Lorin et al.(1973) como característicos de aluviones del río Magdalena; según Vargas y Arango (1993) proveniente de vulcanitas de la Cordillera Central.

No se encontraron nódulos fosfáticos que pudieran haberse generado en la cuenca. El apatito encontrado es subhedral y de tamaño considerable, por tanto se asume que es detrítico.

CONCLUSIONES

- Los fondos de las dos ciénagas estudiadas son limo arcillosos o limo areno arcillosos con contenidos variables de conchas que pueden llegar a ser dominantes. Las arenas se limitan a las cercanías de la isla de Salamanca y a un sector en el sur de la zona oriental de Pajarales.

- La mayoría de los sedimentos superficiales del sistema lagunar son terrígenos con aportes biogénicos en forma de conchas que pueden alcanzar proporciones considerables. El único mineral autógeno reportado es halita, que se forma en las lagunas y se deposita en áreas de poca circulación.

- La depositación de halita en el sector suroccidental de la ciénaga de PajaraI puede indicar un ambiente evaporítico de laguna somera perenne. Junto con la salinización de los pantanos de manglar muerto y la tendencia al confinamiento es síntoma de la hipersalinización del sistema.

- Los sedimentos arenosos del sistema tienden a ser arcósicos y presentan como minerales principales cuarzo, feldespato, hornblenda, piroxenos y minerales opacos; como secundarios biotita, circón, epidota, esfena, granate y apatito.

- El carbonato de calcio presente en la matriz de los sedimentos aparentemente es autógeno y biogénico.

- Se encontraron valores de materia orgánica en sedimentos más altos que los normales reportados para manglares y estuarios.

- Las cuencas de los ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta, con un área seis veces mayor que la Ciénaga Grande, son una fuente importante de sedimentos arenosos para el plano deltaico; pudiendo ser así mismo zonas generadoras, recolectoras y condensadoras de agua.

AGRADECIMIENTOS

Al doctor Humberto González, de INGEOMINAS, Medellín, por su colaboración en la identificación de minerales; al laboratorio de química

del INVEMAR por los análisis de sales; al laboratorio químico de INGEOMINAS Medellín por la realización de los análisis de rayos X y absorción atómica; a nuestros ayudantes de campo por hacer posible la extracción de las muestras; al personal de los laboratorios de suelos y geología de la Universidad EAFIT y al equipo de investigación de Costas y profesorado de la Universidad EAFIT.

BIBLIOGRAFIA

- Bernal, G. y J. Betancur. 1994. El sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta en el contexto deltaico del río Magdalena, Colombia. Mem. IX Congr. Nac. Cienc. Tecnol. Mar., Medellín. CCO, Bogotá, s.p.
- Bernal F., G. 1995. Caracterización geomorfológica de la Llanura deltaica del río Magdalena con énfasis en el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Inf. Proy., INVEMAR - U EAFIT, Santa Marta y Medellín, 52 p.
- Blanco, J.A. 1989. Las variaciones ambientales estacionales en las aguas costeras y su importancia para la pesca en la región de Santa Marta, Caribe Colombiano. Tesis M. Sc. Biol. Mar., Univ. Nacional, Bogotá, 60 p.
- Case, J.E. y W.D. Macdonald. 1973. Regional gravity anomalies and crustal structure in Northern Colombia. Geolog. Soc. Am. Bull., 84: 2905-2916.
- Corrales Z., I.; J. Rosell S.; L.M. Sanchez de la Torre; J.A. Vera T.; L. Villas M. 1977. Estratigrafía. Ed. Rueda, Madrid, 718 p.
- Díaz M, J.M. y M. Puyana H. 1994. Moluscos del Caribe Colombiano. Un catálogo ilustrado. COLCIENCIAS / Fundación Natura / INVEMAR, Bogotá y Santa Marta, 291 p.
- Ecologos Ltda. 1992. Red hidrográfica del delta exterior del Río Magdalena. Inf. Proy., CORPAMAG, Santa Marta.
- Inderena - Sodeic Ltda. 1987. Estudios y diseños complementarios para la construcción de las obras de recuperación de la región deltaico-estuarina del río Magdalena, en especial el área del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca. Bogotá, 22 p.
- INVEMAR. 1988. Estudio ecológico de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Inf. Proy., INVEMAR, Santa Marta, 161 p.
- Kaufmann, R y F. Hevert. 1973. El régimen fluviométrico del río Magdalena y su importancia para la Ciénaga Grande de Santa Marta. Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient., 7: 121-137.
- Lorin, J; C. Hernandez; A. Rouault y J. Bottagisio. 1973. Estudio sedimentológico de la plataforma continental entre Bocas de Ceniza y Santa Marta. MOPT, Puertos de Colombia, Barranquilla, 41 p.
- Lowenstein, T.K. y L.A. Hardie. 1985. Criteria for the recognition of salt-pan evaporites. Sedimentology, 32: 627-644.
- Mange, M.A. y H.F.W. Maurer. 1992. Heavy minerals in colour. Chapman y Hall, New York, 147 p.
- Martinez M, J.O. y L.H. Molina M. 1992. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe colombiano, sector Bocas de Ceniza - Parque Tayrona. Inf. Proy. INGEOMINAS, Cartagena y Bogotá, 80 p.
- Perthuisot, J.P. 1980. Sites et processus de la formation d'évaporites dans la nature actuelle. Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, 4 (1): 207-233.
- Pettijohn, F.J.; P.E. Potter y R. Siever. 1972. Sand and Sandstone. Springer-Verlag, USA, 618 p.
- Prociénaga, 1994. Estudio de impacto ambiental. Proyecto: Reapertura de canales en el delta exterior derecho del río Magdalena. Inf. Proy. PROCIEENAGA, Santa Marta, p.
- Romankevich, E.A. 1984. Geochemistry of Organic Matter in the Ocean. Springer - Verlag, Alemania, 334 p.
- Shepard, F.P. 1967. Submarine Geology. 2 ed. Harper & Row publishers, New York, 557 p.

- Tucker, M; I. Fairchild; J. Graham; R. Hardy; G. Harwood; G. Hendry; J. Mcmanus; J. Miller; M. Quest y N. Trewin. 1988. Techniques in Sedimentology. Blackwell Sci. Publi., USA, 394 p.
- Universidad de los Andes. 1978. Diagnóstico sobre el comportamiento hídrico de la CIÉNAGA GRANDES.M. Inf. Proy. CETIH, INDERENA, Bogotá, 124 p.
- Vargas J, C.A y S. Arango J. 1993. Una aproximación a la distribución de litofacies recientes en la plataforma continental frente a la Ciénaga Grande de Santa Marta (Magdalena) y análisis morfoestructural entre Punta La Aguja (Magdalena) y Punta Hermosa (Atlántico). Tesis Geol., Univ. Caldas, Manizales, 130 p.
- Vatan, A. 1967. Manuel de Sédimentologie. Anexe IV. Etude technique des roches carbonatées. Ed. Technip, París, 385 p.
- Vermette, G.; A. Mauffret; C. Bobier; L. Briceño y J. Gayet. 1992. Mud Diapirism, Fan Sedimentation and Strike - Slip Faulting, Caribbean Colombian Margin. Tectonophysics, 202: 335 - 349.
- Von Erffa, V.A.F. 1973. Sedimentation, transport und erosion an der Nordkuste Kolumbiens zwischen Barranquilla un der Sierra Nevada de Santa Marta. Mitt. Invest. Colombo-Aleman Invest. Cient., 7: 155-209.
- Wiedemann, H.U. 1973. Reconnaissance of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia: physical parameters and geological history. Mitt. Inst. Colombo-Aleman Invest. Cient., 7: 85-119.

DIRECCION DE LAS AUTORAS:

INVEMAR, A.A. 1016, Santa Marta, Colombia.

Direcciones actuales: Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Carretera Tijuana-Ensenada, km 103, Ensenada, Baja California, México; e-mail: gbernal@bahia.ens.uabc.mx (G.B.). Universidad EAFIT, Departamento de Geología, AA. 3300, Medellín, Colombia (J.B.)