

CARACTERIZACION GEOMORFOLOGICA DE LA LLANURA DELTAICA DEL RIO MAGDALENA CON ENFASIS EN EL SISTEMA LAGUNAR DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA, COLOMBIA

Gladys Bernal

RESUMEN

La llanura localizada entre el río Magdalena y la Sierra Nevada de Santa Marta ha sido subdividida en cinco unidades geomorfológicas: llanura de inundación del río Magdalena; sistema lagunar del delta actual; sistema lagunar marginal; playa e isla barrera y llanura aluvial de piedemonte. Los rasgos que se presentan en cada una son producto de eventos específicos en el tiempo. El sistema lagunar marginal y su isla barrera conforman un esquema de laguna costera - barra - mar. La costa de Salamanca es dominada por olas y está sometida a procesos recesivos. El perfil generalizado de la isla comprende mar - playa - dunas - planicie vegetada - salar - planicie vegetada - bosque de mangle - laguna. El sistema lagunar marginal (que incluye la Ciénaga Grande) es fuertemente dependiente de la vegetación. Hacia el noroeste domina la desertificación y hacia el noreste (planicie aluvial de piedemonte) domina la progradación de deltas menores con el subsecuente crecimiento vegetal.

ABSTRACT

Geomorphologic characterization of the Magdalena river deltaic plain with emphasis in the lagoonal system of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. The plain located between Magdalena river and Sierra Nevada de Santa Marta has been divided into five geomorphic units: Magdalena floodplain; present delta lagoon system; marginal lagoon system; beach and barrier island and alluvial foothill plain. The features of each one are product of specific events in time. The marginal lagoon system and its barrier island conform a scheme of lagoon - barrier - sea. Salamanca shore is dominated by waves and is subjected to recession. A general cross section of the island includes sea-beach-dunes-plain with vegetation-salt pan-plain with vegetation-mangrove-lagoon. The marginal lagoon system (which includes Ciénaga Grande) is strongly dependent of vegetation. Toward northwest desertification is the dominant process and toward northeast (alluvial foothill plain) it's important the minor deltaic progradation with vegetal growth.

INTRODUCCION

El río Magdalena, el más largo e importante del país, corre a lo largo de la mayor parte de los Andes Colombianos y desemboca al norte,

en el Mar Caribe, en una boca principal ubicada al oriente de la ciudad de Barranquilla (Bocas de Ceniza) y una secundaria al sur de Cartagena (canal del Dique). Al oriente del cauce principal actual, sobre la llanura deltaica, se extiende un sistema cenagoso conformado por la ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), la ciénaga de Pajarales y otras lagunas menores (figura 1).

Debido a la importancia económica, cultural y natural del área, existen numerosos trabajos relacionados con el sistema lagunar (Botero y Botero, 1989; CIOH, 1989; González y Malagón, 1991; Inderena-Sodeic, 1987; Prociénaga, 1994; Universidad del Norte, 1993 y Wiedemann, 1973 entre otros), la zona costera (Laboratoire Central d'hydraulique de la France, 1972; Martínez y Molina, 1992; Von Erffa, 1973) y la plataforma

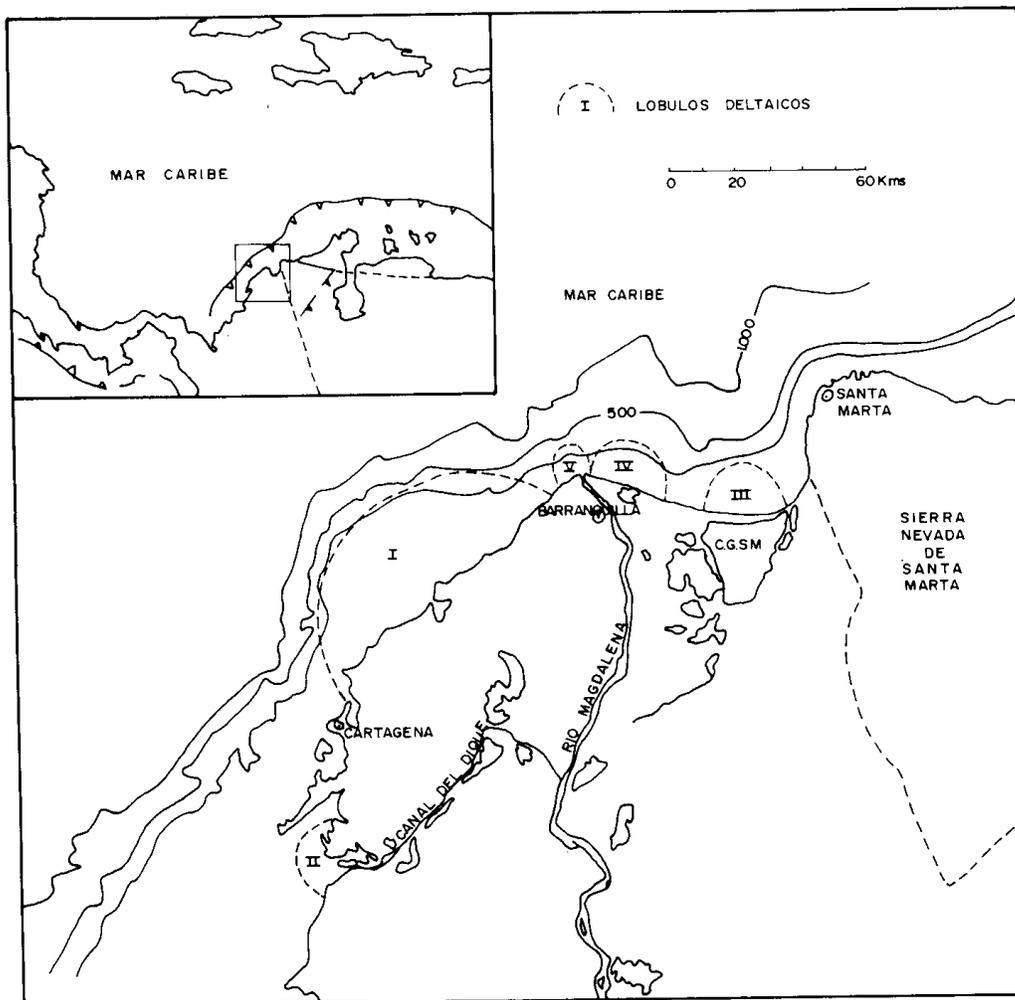


Figura 1. Región del delta del Magdalena. Ubicación y lóbulos deltaicos (I, II, III, IV: diferentes deltas del río Magdalena desde el Plioceno hasta hoy.

continental (Heezen, 1956; Lorin et al., 1973; Vernet et al., 1992).

Este trabajo surge de la necesidad de establecer un inventario sobre las condiciones geomorfológicas básicas del sistema que sirva como apoyo en el monitoreo de cambios posteriores. Se intenta definir y caracterizar las unidades que conforman el área, establecer su desarrollo geomorfológico reciente y concluir sobre su interacción.

METODOLOGIA

Se revisaron 267 fotografías aéreas pertenecientes a vuelos entre 1948 y 1987, con cubrimiento y escalas variables, que fueron comparadas con una imagen pancromática del satélite SPOT tomada en diciembre de 1993. Además se hicieron recorridos de campo en toda el área de estudio; mediciones de perfiles de playa y perfiles transversales en canales; un levantamiento batimétrico de la ciénaga de Pajarales y medición puntual de profundidades en la CGSM.

En las fotografías e imágenes se mapearon límites agua-tierra, cambios de vegetación, hidrografía y geoformas. Posteriormente se igualaron escalas en una cámara fotomecánica, lo que permitió el estudio comparativo en diferentes épocas y la estandarización para un mapa geomorfológico final 1:100.000. Los perfiles de playa se midieron tomando diferencias de nivel cada 2 m con un clinómetro diseñado para este efecto y los perfiles de canales desde una embarcación con medidas cada 1.5 m a lo largo de una línea referenciada a la horizontal. Para complementar la información de perfiles transversales de canales se incluyeron datos de los perfiles medidos durante dos campañas hechas por la Universidad del Norte para CORPAMAG - Proyecto PROCIENTAGA en septiembre y diciembre de 1993. En todos los perfiles (61 en total) se calcularon los parámetros morfológicos ancho máximo (w), profundidad media (d), profundidad máxima (dm), área ($A=w d$) y factor de forma ($F=w/d$).

El levantamiento batimétrico de la ciénaga de Pajarales se realizó desde una canoa con motor fuera de borda que permitió el acceso a todas las áreas de la laguna a pesar de su escasa profundidad. Se hicieron transectos orientados con binóculos y compás, espaciados entre si 100 metros. En cada transecto se tomaron medidas cada 100 m, controladas con la velocidad constante de la embarcación, cronómetro y GPS. Las estaciones se ubicaron con GPS y la medición de profundidad se hizo con un profundímetro manual ya que no se encontró una ecosonda con la precisión requerida (0.2 m). Las medidas para la Ciénaga Grande se obtuvieron utilizando la misma metodología pero una red mucho más amplia (500 m)

coincidente con el muestreo sedimentológico.

EL DELTA DEL RIO MAGDALENA

La región del delta del Magdalena se extiende desde el canal del Dique hasta la Ciénaga Grande de Santa Marta (figura 1). En esta región han divagado las desembocaduras principales del río desde el Plioceno (Verne et al., 1992; Von Erffa, 1973; Vargas y Arango, 1993). El curso principal y las estribaciones occidentales de la Sierra Nevada de Santa Marta (expresión montañosa de 5.700 m de altura), limitan en tierra el llamado delta reciente del Magdalena, que de oeste a este puede dividirse en dos zonas (Bernal y Betancur, 1994):

- Un delta en fase constructiva cerca a la boca actual, de progradación lenta debido a las características geológicas regionales que condicionan la entrada del río al mar sobre fuertes pendientes, haciendo que las corrientes de turbidez erosionen cañones submarinos (Heezen, 1956). De acuerdo con Lorin et al. (1973) habría que esperar un relleno del cañón occidental para un nuevo desarrollo "normal" del delta del Magdalena.

- Un delta en fase destructiva, determinado por el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta. La evidencia de retroceso deltaico está dada por la formación de la isla barrera de Salamanca y un gran cuerpo de agua en el lugar donde existían pantanos y por la existencia de depósitos deltaicos antiguos sumergidos en la plataforma al frente del sistema lagunar (Bernal y Betancur, 1994; Scruton, 1960; Cohen y Wiedemann, 1973; Wiedemann, 1973).

El delta subacuático se caracteriza por una plataforma de extensión variable y un talud cortado por cañones submarinos o valles típicos de frente de delta, con colinas anticlinales y valles sinclinales al occidente, y bloques fallados y diapiros de lodo al norte y noreste (Shepard, 1973). El delta subaéreo reciente corresponde a la llanura deltaica o plano deltaico y comprende el área de estudio (figura 2).

SUBDIVISION GEOMORFOLOGICA DE LA LLANURA DELTAICA DEL RIO MAGDALENA

Teniendo en cuenta criterios geomorfológicos, hidrológicos, y de procesos actuantes, la llanura deltaica del río Magdalena puede subdividirse en varias unidades geomorfológicas (Bernal y Betancur, 1994) que se aprecian en la figura 2: llanura de inundación del río Magdalena (I), sistema lagunar del delta actual (II), sistema lagunar marginal (III),

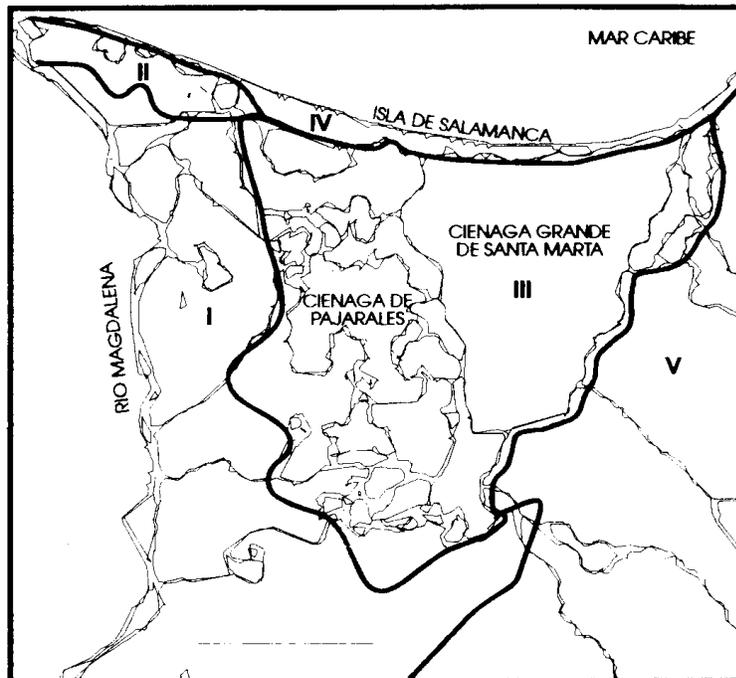


Figura 2. Subdivisión de unidades geomorfológicas en la llanura deltaica del río Magdalena. I. Llanura de inundación del río Magdalena. II. Sistema lagunar del delta actual. III. Sistema lagunar marginal. IV. Playa e isla barrera. V. Llanura de inundación de piedemonte.

playa e isla barrera (IV) y llanura aluvial de piedemonte (V).

Llanura de Inundación del Río Magdalena

Incluye el río Magdalena y su llanura de inundación (figura 3). Son zonas jóvenes y planas sujetas a desbordes directos y periódicos del río. González y Malagón (1991), incluyen todas las formas de terreno originadas por procesos directos de sedimentación fluvial (cubetas de desborde, de inundación, de decantación, brazos deltaicos, vega y orillares). Khobzi (1985) define el curso del río Magdalena en esta área: “Desde Pedraza hasta Bocas de Ceniza se presentan meandros de poca amplitud y gran longitud de onda, muy activos (p.e. entre Suan y Salamina se dan desplazamientos de orillas del orden de 100 m/año)”. En las orillas del lado oriental del río se nota una tendencia general a la erosión (socavación de orillas) y en el lado occidental a la depositación (bajos colonizados por plantas acuáticas), ya mencionado por Lorin et al. (1973). Según estos autores, la geomorfología de las orillas y del fondo del río está muy influenciada por un paleorelieve donde las subidas del basamento y la

proximidad de niveles cuaternarios juegan un papel considerable.

La llanura de inundación presenta rasgos geomorfológicos como orillares, canales (a veces truncados), diques, pantanos, lagunas y paleocauces del Magdalena. De acuerdo con Martínez y Molina (1992) está formada por lodos limosos y arenas finas grises oscuras enriquecidos con materia orgánica. Los orillares son acumulaciones en forma sinuosa con

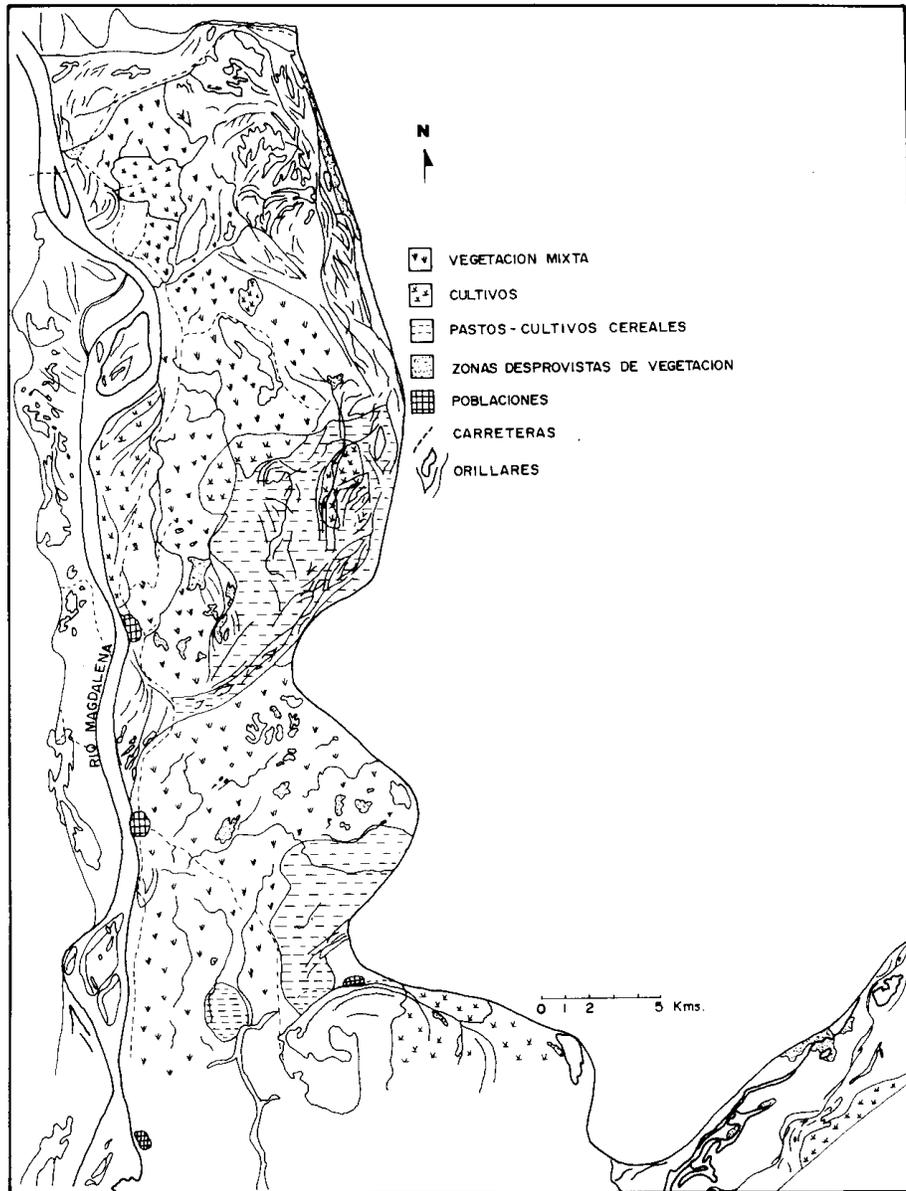


Figura 3. Llanura de inundación del río Magdalena.

diferente amplitud y dirección. En la llanura marcan los paleocauces del río Magdalena. Varios canales y algunas lagunas del sur siguen estos cauces abandonados.

El cubrimiento vegetal es variable. Se presentan zonas de cultivos (melón, maíz, majama, frutas, etc), pastos y cultivos cereales, vegetación mixta que al norte está dominada por el llamado "palmiche" y al centro y sur por vegetación rastrera, arbustos, palmas y árboles.

Los canales llevan aguas desde el Magdalena hacia el sistema lagunar marginal pero con la construcción de la carretera paralela al río, el represamiento de aguas para fincas, taponamiento de canales por vegetación y hasta la presencia de compuertas para controlar la entrada de aguas, muchos canales han quedado inactivos o han limitado considerablemente su flujo. Los perfiles de canales tienen forma de U y no presentan barras. El ancho de los canales varía entre 2.3 y 9.4 m; la profundidad media entre 0.5 y 2 m y la profundidad máxima entre 0.9 y 3.5 m. El área oscila entre 1.5 y 11.5 m² y el factor de forma entre 1.9 y 12.

Sistema Lagunar del Delta Actual

Corresponde al sistema lagunar situado al noroeste de la llanura deltaica, en el área de Salamanca. Está asociado directamente con el río Magdalena y su delta actual (figura 4) manteniendo un intercambio continuo entre el río y el Mar Caribe, con aportes sedimentarios de ambas fuentes. El ingreso de aguas del río Magdalena llega a dulcificar las ciénagas en ciertas épocas del año. Esta unidad consta de pantanos y lagunas (ciénagas de Cuatro Bocas, La Atascosa, El Torno y Pozo Verde entre otras), pantanos de manglar y canales. La vegetación predominante es de bosques de manglar con escasas evidencias de deterioro y árboles muy bien desarrollados. Hacia el río Magdalena encontramos áreas dedicadas a cultivos de plátano o cereales. La línea de costa al frente de esta unidad ha sufrido un retroceso fuerte en los últimos 40 años, por lo que muchas lagunas han disminuído su tamaño y han recibido materiales de playa. Actualmente la separación entre éstas y el mar está constituída por delgadas barras de arena que eventualmente presentan cuerpos de dunas. De acuerdo con Prociénaga (1994), las conexiones con el mar son temporales. Von Erffa (1973) pone de manifiesto la variabilidad de estas barras y bocas.

Los caños ponen en contacto las ciénagas entre sí y las cienagas con el río. Algunos de menor magnitud son producto del drenaje superficial de las aguas de desborde lateral del río sobre su margen derecha (Prociénaga, 1994). Los caños tienen forma de U sin barras, el ancho varía entre 4 y 7

m, la profundidad media entre 0.4 y 1 m, la profundidad máxima entre 0.7 y 1.8 m, el área de la sección transversal entre 1.5 y 5 m² y el factor de forma entre 4 y 13.

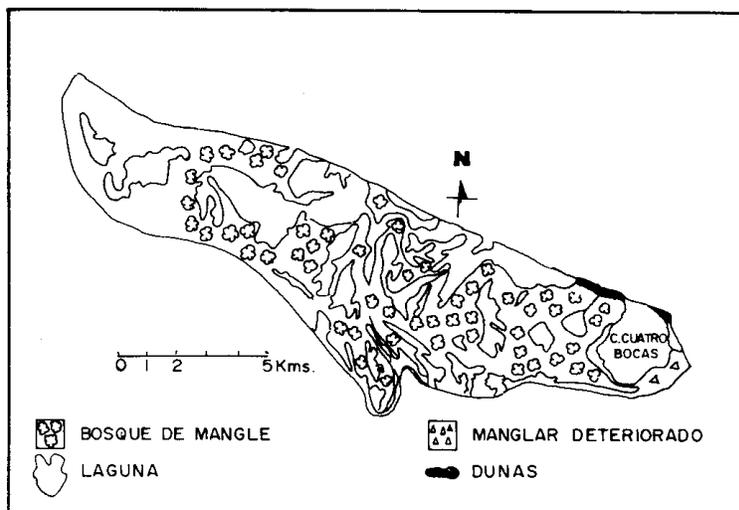


Figura 4. Mapa geomorfológico del sistema lagunar del delta actual.

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, La Aguja, entre otras) y la ciénaga del Chino al oriente. Consta de pantanos y lagunas, pantanos de manglar, salares y canales. Presenta rasgos menores indicadores de procesos físicos locales como espigas, bajos, barras digitadas, deltas embrionarios subacuáticos, playones, líneas de crecimiento de vegetación y otros (figura 5).

Vegetación. La vegetación de esta unidad consta predominantemente de manglar, con bosques mixtos al sur. Los bosques de manglar están compuestos por tres especies que pueden aparecer indistintamente como consociaciones o asociaciones de acuerdo a las condiciones locales (Sánchez, 1988; Botero y Botero, 1989): mangle rojo o colorado (*Rhizophora mangle*), mangle amarillo (*Laguncularia racemosa*) y mangle negro o salado (*Avicennia germinans*).

Debido a procesos de hipersalinización los bosques de manglar han ido desapareciendo dando lugar a pantanos y playones salinos (salarés), por lo tanto se diferencian tres tipos: manglar vivo, manglar con bajo grado de defoliación (áreas donde el manglar ha comenzado a afectarse) y manglar en estado avanzado de defoliación (áreas donde la muerte del

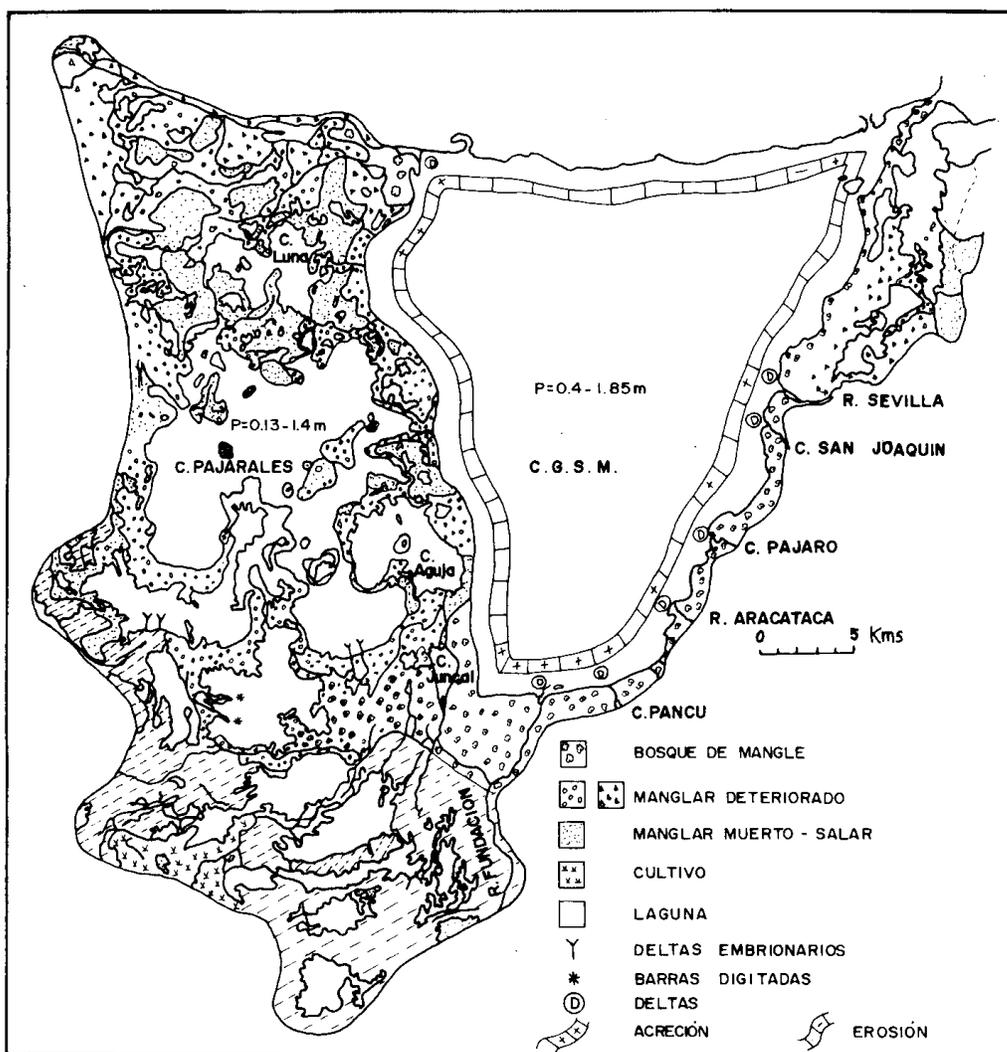


Figura 5. Mapa geomorfológico del sistema lagunar marginal.

manglar está dando paso al establecimiento de salares). Esta muerte masiva ha ocasionado un aumento de las áreas de salares en el sistema lagunar marginal (figura 6).

El papel de la vegetación -específicamente el manglar- en la modelación del paisaje es muy importante. La colonización de los bajos y playones en los bordes de ciénagas por manglares es un mecanismo que ayuda a la progradación de orillas en la Ciénaga Grande como lo comprueban las líneas de crecimiento de manglar presentes. Igualmente el establecimiento del manglar es básico para el desarrollo de barras y deltas.

Lagunas. La Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) es una laguna de unos 450 km² separada del mar por una isla barrera, la isla de

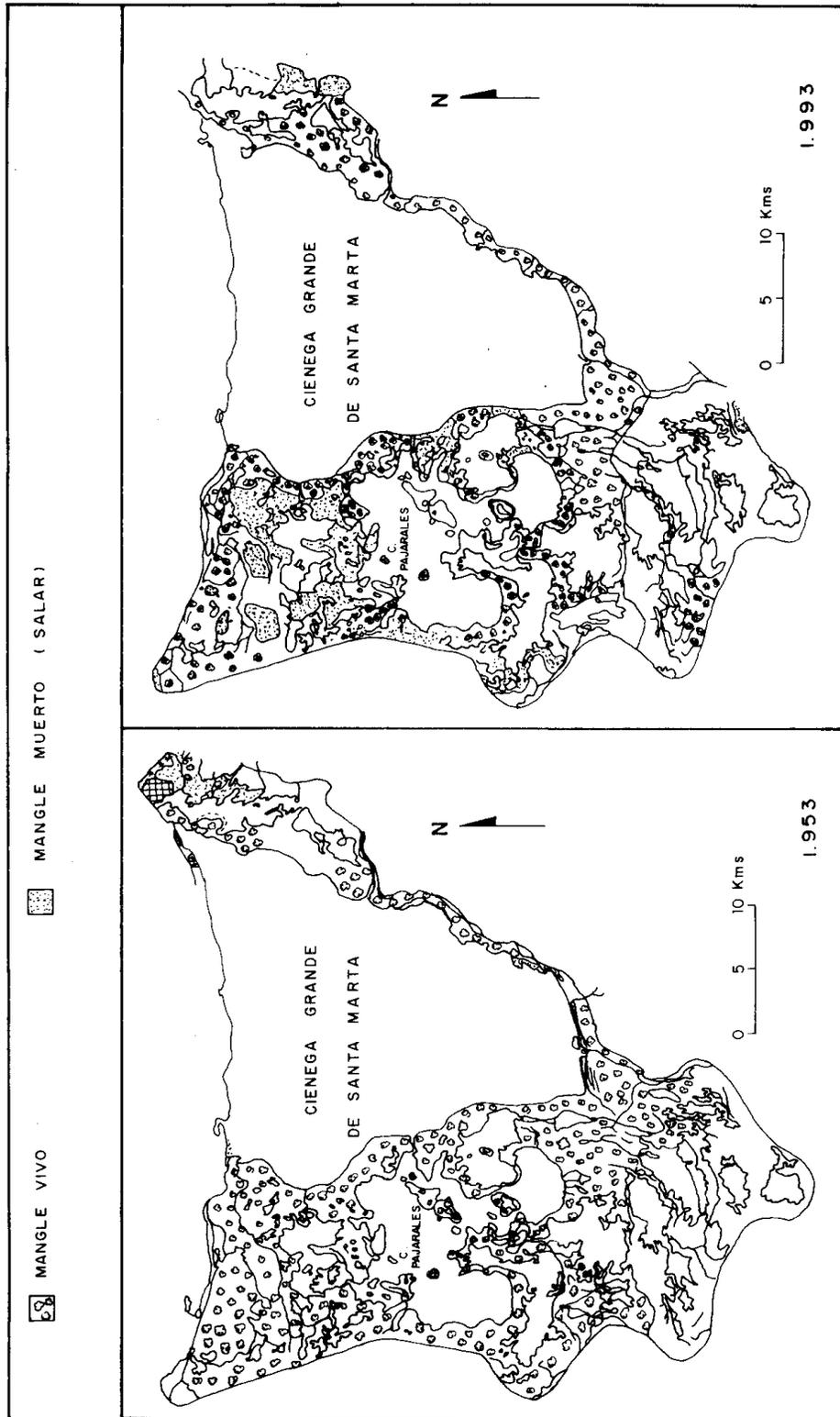


Figura 6. Estado general de la vegetación del sistema lagunar marginal en 1953 y en 1993.

Salamanca, con una única y permanente comunicación con el mar Caribe, la Boca de la Barra. Su forma es triangular con la base en el Norte; cada uno de sus lados está influenciado por una de las tres áreas fuentes: el mar Caribe al norte; el sistema lagunar de Pajarales y por su intermedio el río Magdalena al oeste; y los ríos que llegan desde la Sierra Nevada de Santa Marta al este.

Desde 1970 se han hecho 5 levantamientos batimétricos de la CGSM. En la figura 7 se observan 4 de estas batimetrías y en la figura 8 los perfiles comparativos correspondientes. Un análisis objetivo de estos levantamientos se dificulta por sus escalas originales diferentes, el nivel de mareas en el cual se hizo cada levantamiento y la precisión de los instrumentos utilizados. Las batimetrías de Wiedemann (1973) y Bernal y Betancur (1994) no son detalladas (escalas originales aproximadas 1:300.000 y 1:250.000 respectivamente) pero son comparables y dan una idea de las tendencias morfológicas de los fondos de la ciénaga en dos épocas extremas. En contraste, la batimetría del CIOH (1989) es muy detallada (escala 1:50.000) pero es difícil de comparar con otra. Por tanto no es posible diferenciar tendencias de evolución de los fondos de la Ciénaga, por lo menos a través de comparaciones directas. En general, parece existir una tendencia a la disminución de los valores de profundidad en la ciénaga en los últimos 20 años. En 1973 se reportaron profundidades de hasta 2.3 m mientras que actualmente la profundidad máxima medida fue de 1.75 m. Comparando las dos batimetrías extremas notamos una similitud en la morfología pero una diferencia de profundidades casi constante de 25 cm. Esta diferencia se refuerza con la batimetría del CIOH que reportó profundidades máximas de 2 m. Sin embargo, siendo menor que el rango mareal del Caribe (25-40 cm) es necesario un análisis más profundo de estos datos. En la morfología actual (figura 7 IV) se refleja la tendencia a la depositación en el lado oriental de la ciénaga, 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 como se verá posteriormente. Igualmente se notan los trazos subacuáticos de los ríos Sevilla y Aracataca. Resalta la depresión al frente del río Aracataca que es el único canal con fondo arenoso en el área, indicando mayor energía de transporte. Las mayores profundidades de la ciénaga se encuentran al Noroccidente, con una depresión de extensión considerable (se excluye el área de la Boca de la Barra).

El sistema lagunar de Pajarales se encuentra al Occidente de la CGSM entre ésta y el río Magdalena. Está conformado por la ciénaga de Pajarales y otras ciénagas menores como son La Aguja, La Luna, Juncal y Alfandoque (indicadas en la figura 5). Hasta hace algunos años éste era el

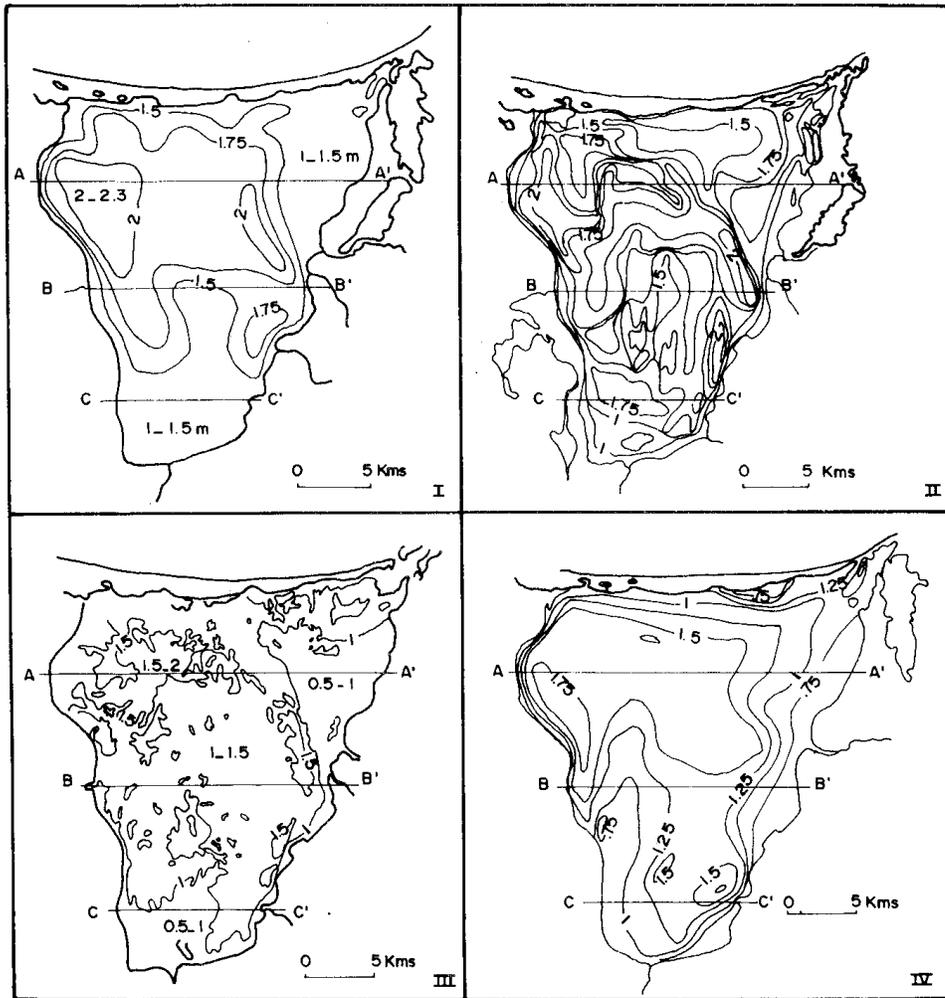


Figura 7. Distintas batimetrías de la Ciénaga Grande de Santa Marta. I. Según Wiedemann, 1973. II. Según Invemar, 1988. III. Según el CIOH, 1989. IV. Según Bernal & Betancur, 1994.

sistema que ponía en contacto las aguas del río Magdalena con la CGSM, recibiendo aportes de agua de ambas fuentes. Estas lagunas no tienen intercambio directo con el mar Caribe. Cuando se frenó el paso de aguas desde el Magdalena la circulación se restringió y cambiaron las condiciones físico químicas y biológicas de las lagunas. Morfológicamente parece que hubo cambios drásticos en la profundidad de los cuerpos de agua con disminuciones de hasta 1 m (según pobladores, Bernal y Betancur, 1994). En la figura 9 se presenta la batimetría detallada de la ciénaga de Pajarales, con valores de profundidad entre 0.2 y 1.3 m. El límite externo no corresponde al valor de profundidad 0 sino al límite de la vegetación que puede colonizar aguas someras.

Canales. Los canales ponen en contacto las diferentes lagunas

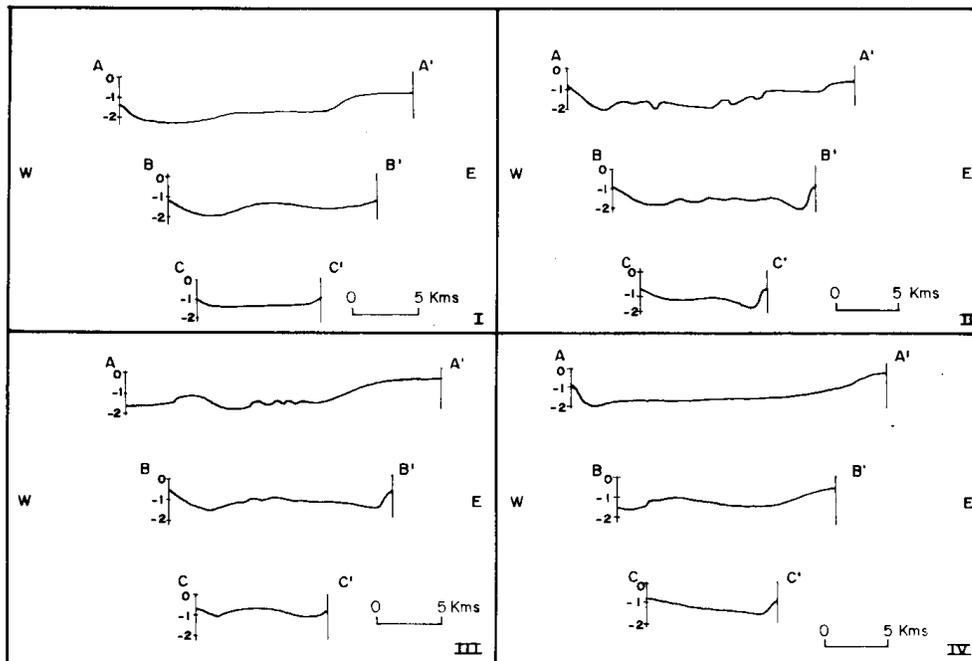


Figura 8. Perfiles comparativos de los diferentes levantamientos de la CGSM.

entre sí, con anchos entre 5.7 y 148 m, profundidades medias de 0.2 a 4.2 m, profundidades máximas de 0.4 a 6.5 m, el área de la sección transversal varía entre 5.4 y 302 m² y el factor de forma entre 5.7 y 148. Hay canales en forma de U y de V y pueden o no presentar barras de fondo o puntuales. La red de canales en el sistema lagunar marginal es producto de la circulación de aguas desde y hacia el Magdalena según el ciclo de inundación del río. Actualmente se han interrumpido los flujos superficiales desde el Magdalena y varios de estos canales están inactivos.

Deltas. Los deltas más importantes en el sistema lagunar marginal son los correspondientes a los ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta y el que forma el Caño Clarín al llegar a la CGSM. En las figuras 10, 11, 12, 13 y 14 encontramos mapas que muestran su evolución según fotografías aéreas de diferentes épocas. Esta está determinada por la formación de barras de boca de canal o playones que son colonizados por manglar. Las barras pueden terminar unidas a la línea costera y la progradación de orillas queda marcado por líneas de crecimiento en la vegetación. Deltas como el del río Sevilla, caño San Joaquín y caño Pájaro muestran formas de “trompeta” o de “rosario” por lo menos en algún momento de su historia. De acuerdo con relatos de pobladores, el caudal de todos los ríos ha disminuído considerablemente. En la mayoría hay taponamientos por vegetación y algunos como el caso del caño Pancú reciben más agua de la ciénaga que en sentido contrario. En las bocas del-

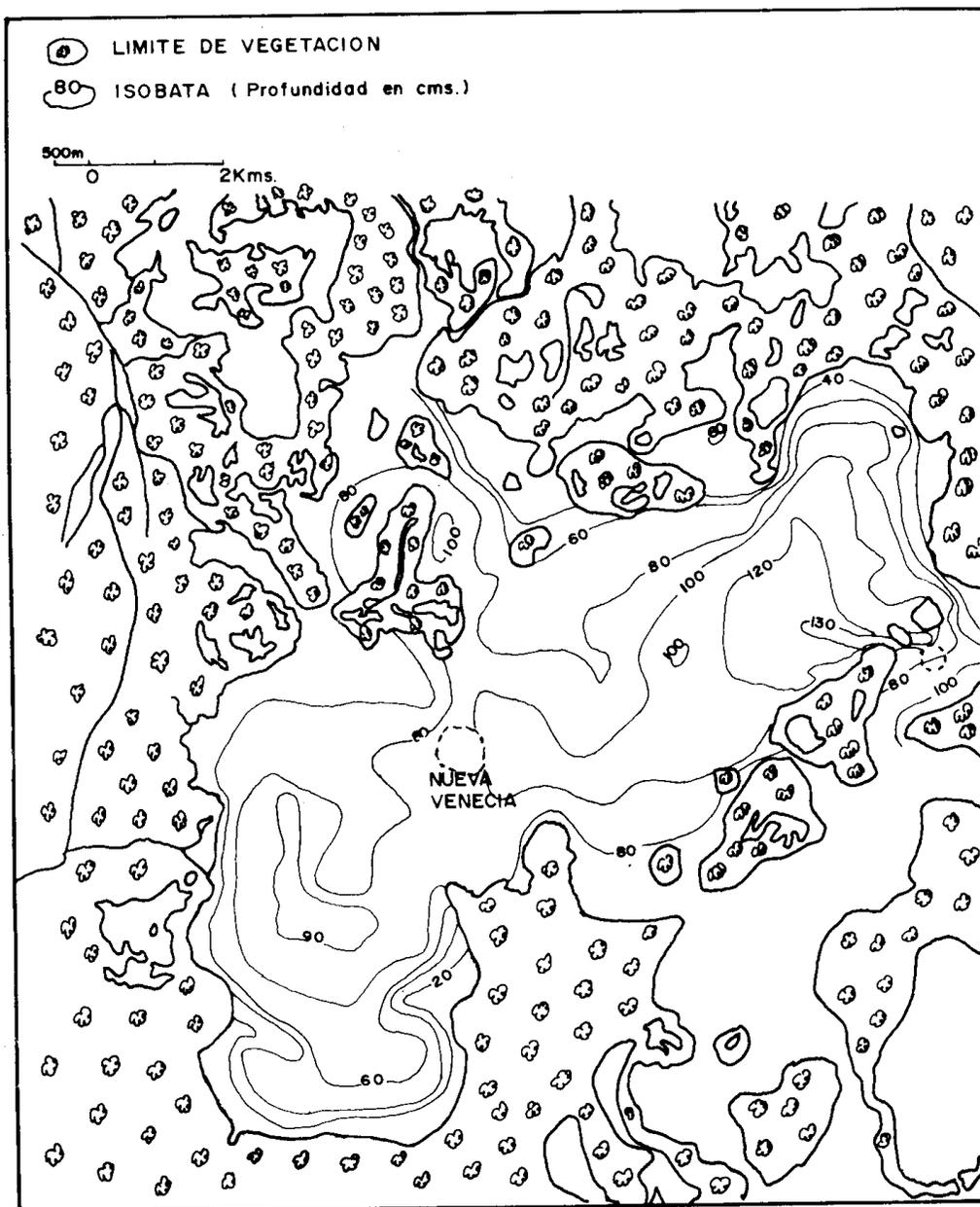


Figura 9. Batimetría de la Ciénaga de Pajarales.

río Aracataca se ha localizado una población, hoy parcialmente palafítica, por tanto la progradación del delta ha sido natural pero con influencias antrópicas ya que se han hecho rellenos artificiales.

Salares. Los salares son amplias zonas desprovistas de vegetación con formación superficial de sales por capilaridad. En el sistema lagunar marginal hay salares que según fotografías aéreas existen desde antes de

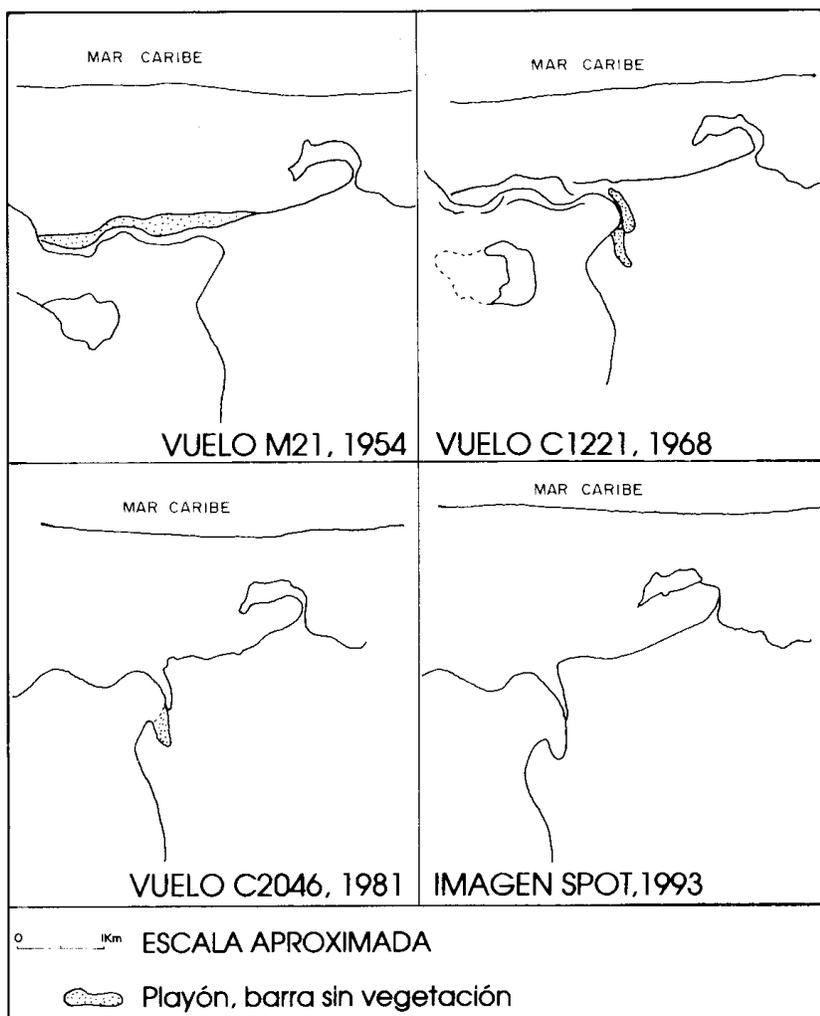


Figura 10. Delta del caño Clarín en la CGSM a través del tiempo según fotografías aéreas.

1953, localizados en el sector nororiental, en cercanías a la ciénaga el Chino. Las sales en estos casos forman un endurecimiento superficial de sedimentos arenosos de 3 mm de espesor (“caliche”). Se forman también costras y grietas de desecación. Estos salares corresponden al subambiente de lago salino efímero o cubetas salinas, características de cuencas áridas, que Lowenstein y Hardie (1985) definen como “depresiones planas y someras tapizadas con sales en capas que están normalmente secas excepto cuando un flujo de tormenta convierte la cubeta y los pantanos alrededor en lagos temporales”. Los demás salares mapeados corresponden a áreas donde la muerte del manglar ha dado lugar a cubetas evaporíticas. En estos casos la formación de sales forma una capa de 0.3 a 2 cm que recubre los lodos orgánicos del manglar.

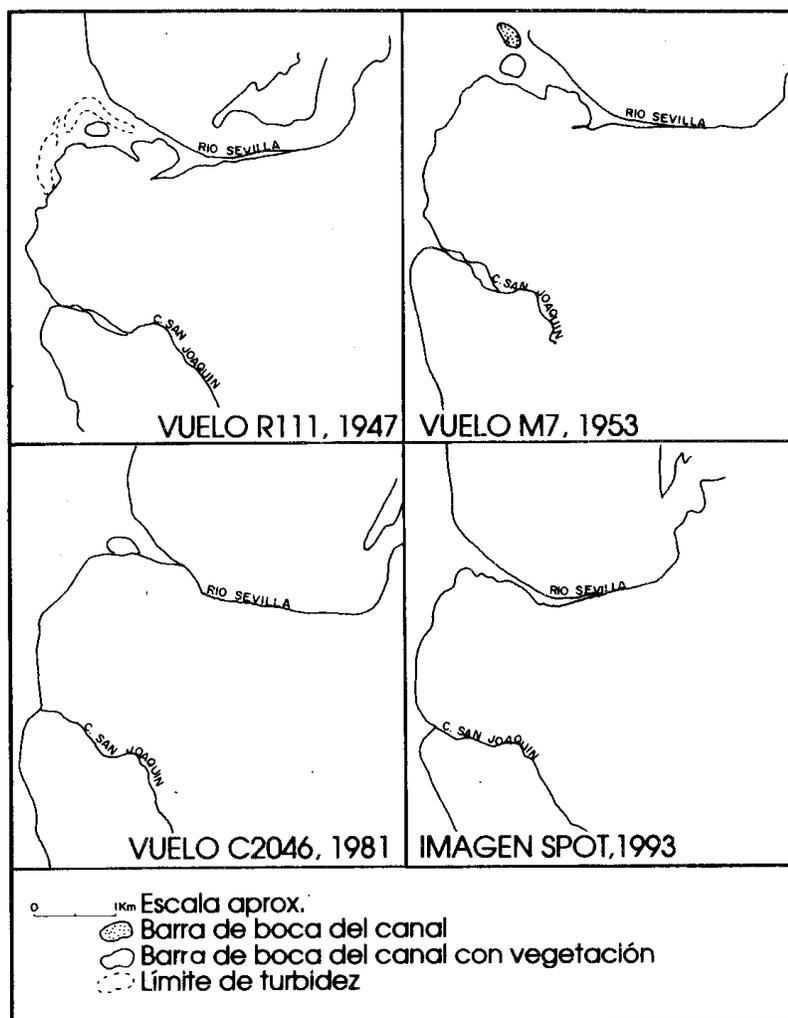


Figura 11. Delta del río Sevilla y caño San Joaquín según fotografías aéreas de diferentes épocas.

Playa e Isla Barrera

Conformada por una barrera 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 (figura 15). La zona costera al frente del sistema lagunar del delta actual está constituida por playas, playas barrera entre el mar y las lagunas interiores y dunas. Esta zona se encuentra en claro retroceso con registros de erosión de hasta 750 m en los últimos 40 años, con tasas promedio de 17 m/año (Martínez y Molina, 1992; verificado con las fotografías aéreas analizadas en este trabajo). Las barreras se mueven hacia tierra por efecto del sobrelavado de las olas de tormenta y el arrastre de las dunas por

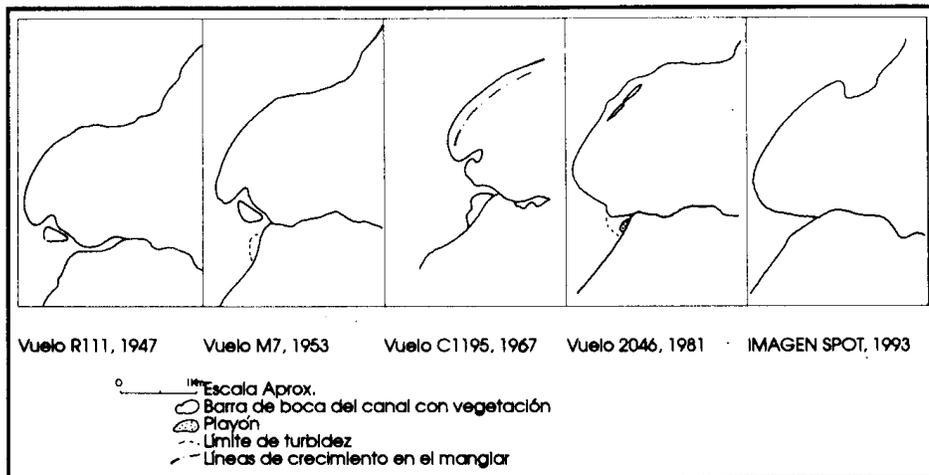


Figura 12. Delta del caño Pájaro según fotografías aéreas de diferentes épocas.

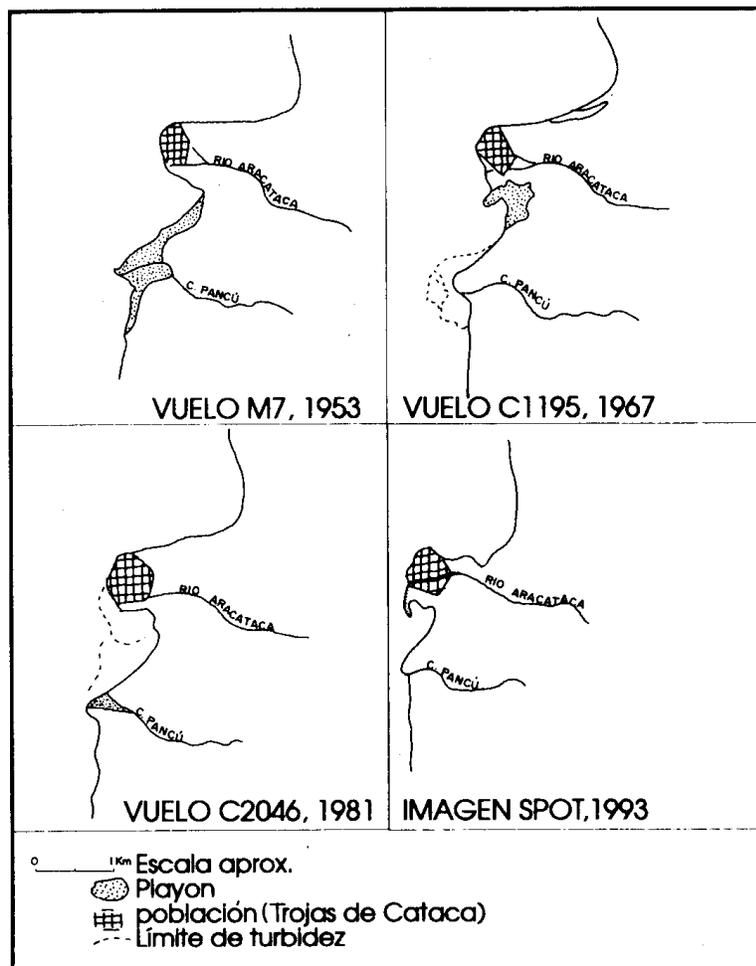


Figura 13. Delta del río Aracataca y caño Pancú según fotografías aéreas de diferentes épocas.

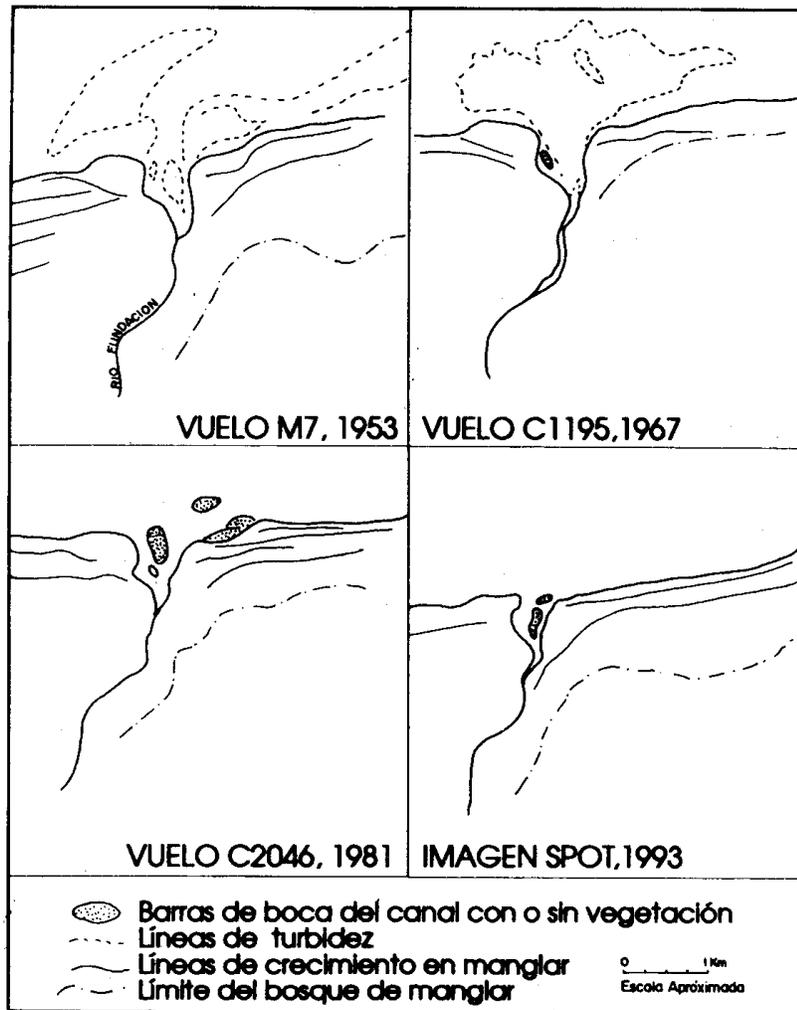


Figura 14. Delta del río Fundación según fotografías aéreas de diferentes épocas.

vientos. Según Martínez y Molina (1992) el material de playa contiene una fracción anormalmente lodosa posiblemente por la incorporación de sedimentos cenagosos en respuesta al retroceso costero; igualmente se presentan delgadas acumulaciones de arena gruesa parduzca atribuidas a socavamientos en antiguos canales fluviales. Se encuentran escarpes de erosión y árboles de manglar derribados. La llamada isla barrera de Salamanca (isla barrera por su origen y configuración con respecto a la CGSM) tiene 43 km de línea costera y anchos entre 500 y 2.500 m, presenta diversos ambientes y rasgos morfológicos como son playas, dunas, salares (playones salinos), lagunas y pantanos de manglar.

Vegetación. Hay dos unidades principales de vegetación de acuerdo con la figura 15: -Vegetación mixta: Consiste en vegetación escasa de

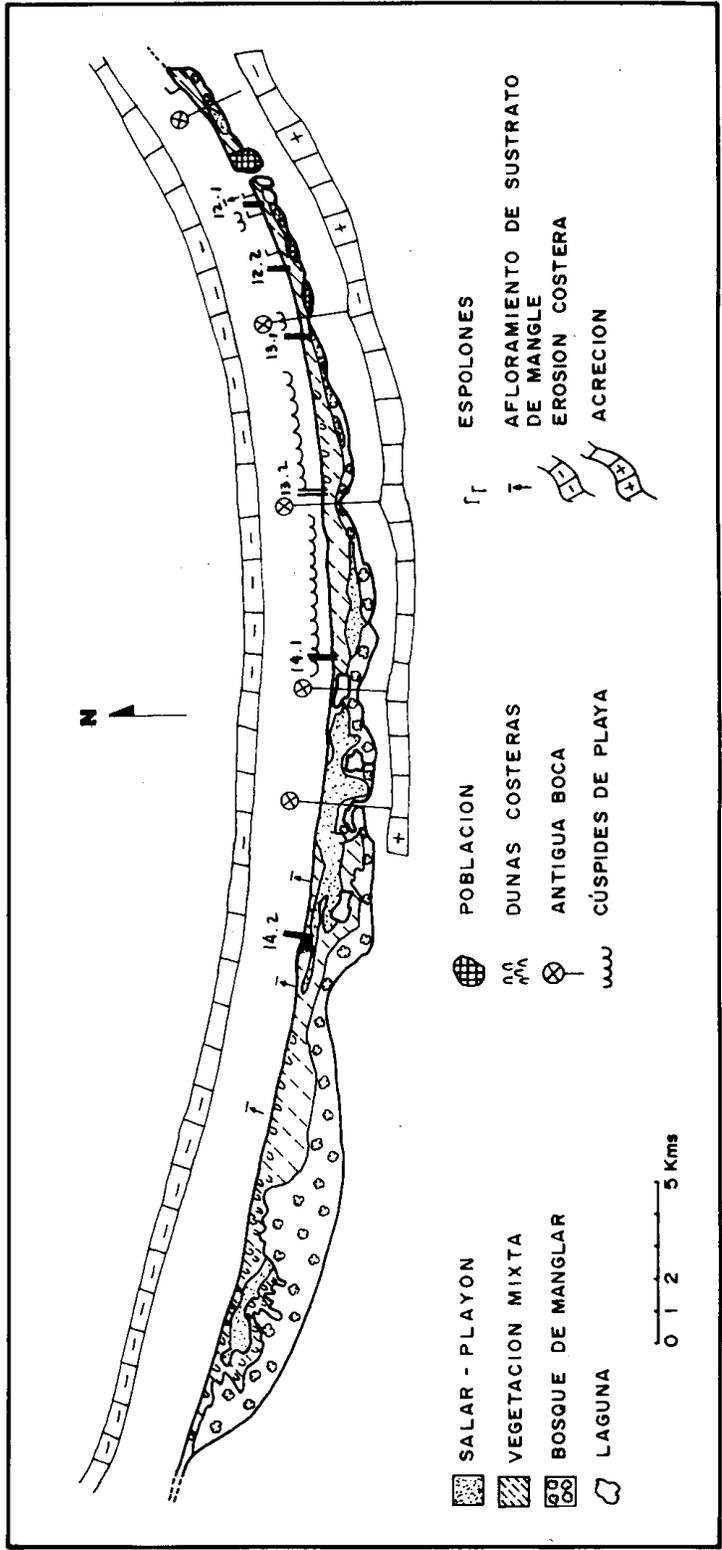


Figura 15. Mapa geomorfológico de la unidad Playa e Isla barrera.

leguminosas (trupillo), cactáceas (cardón) y gramíneas alófilas. -Bosques de manglar: Compuestos por las tres especies de mangle presentes en la zona (rojo, amarillo y salado), con diferentes grados de defoliación. En la isla el proceso de desertificación y crecimiento de salares mencionado en el sistema lagunar marginal también se presenta.

Frente costero, dunas y frentes de playa. En la figura 16 se muestran los perfiles de playa medidos en la isla de Salamanca en julio de 1994 comparados con perfiles de los tipos de playa más comunes en islas barrera. Las playas en la isla de Salamanca son variadas presentándose dunas truncadas y sección escalonada hacia el este y dunas truncadas y playas planas hacia el centro.

En la figura 17 se observa un perfil de playa ideal de la isla de Salamanca con sus partes constituyentes. En la playa anterior (offshore) se observan cordones litorales o dorsales paralelos a la playa. El frente de playa mide alrededor de 10 m, dimensión controlada por el rango mareal (35-40 cm), la fuerte pendiente y la altura de las olas. La zona de vaivén (swash-backswash) a menudo presenta pliegues romboidales, interpretados como marcas de "backswash". La berma no presenta un escarpe continuo, y puntualmente (cerca a espolones) es doble. El nivel de tormenta tampoco es continuo, marcado por la presencia de troncos. En la zona costera, la playa trasera limita con amplias zonas de salares, bosques de manglar o eventualmente pantanos o lagunas, observándose pequeños abanicos de sobrelavado hacia estos últimos.

Las playas son rectilíneas, apenas modificadas por algunos espolones en el sector oriental que crean desniveles de hasta 25 m en la línea de costa. En casi toda su extensión presentan cúspides de playa con amplitud entre salientes de 20 m. Según Shepard (1963) éstas están relacionadas con la altura de las olas; de acuerdo con Guilcher (1957) no todos los sistemas de grandes olas producen cúspides, más todas las cúspides requieren grandes olas y pendientes de playa fuertes; de acuerdo con Pethick (1984) las cúspides se forman en una división del swash que selecciona el material de playa, mientras el backswash retorna como una pequeña resaca, y la regularidad depende de ondas de borde que causan ondulaciones en las crestas de las olas. En la isla se observaron sectores donde las salientes de grandes cúspides encierran líneas de cúspides más estrechas, reflejando probablemente la acción de varios trenes de olas. Igualmente se pudo observar una relación entre las cúspides de playa y las corrientes de resaca que se manifiestan en la superficie del agua.

Las dunas en la isla de Salamanca presentan dimensiones variables, con alturas entre 0.7 y 5 m. Los cuerpos de dunas más extensos se presentan al este de la Ciénaga Cuatro Bocas. Son dunas longitudinales y paralelas, orientadas en dirección noreste y separadas por zonas de

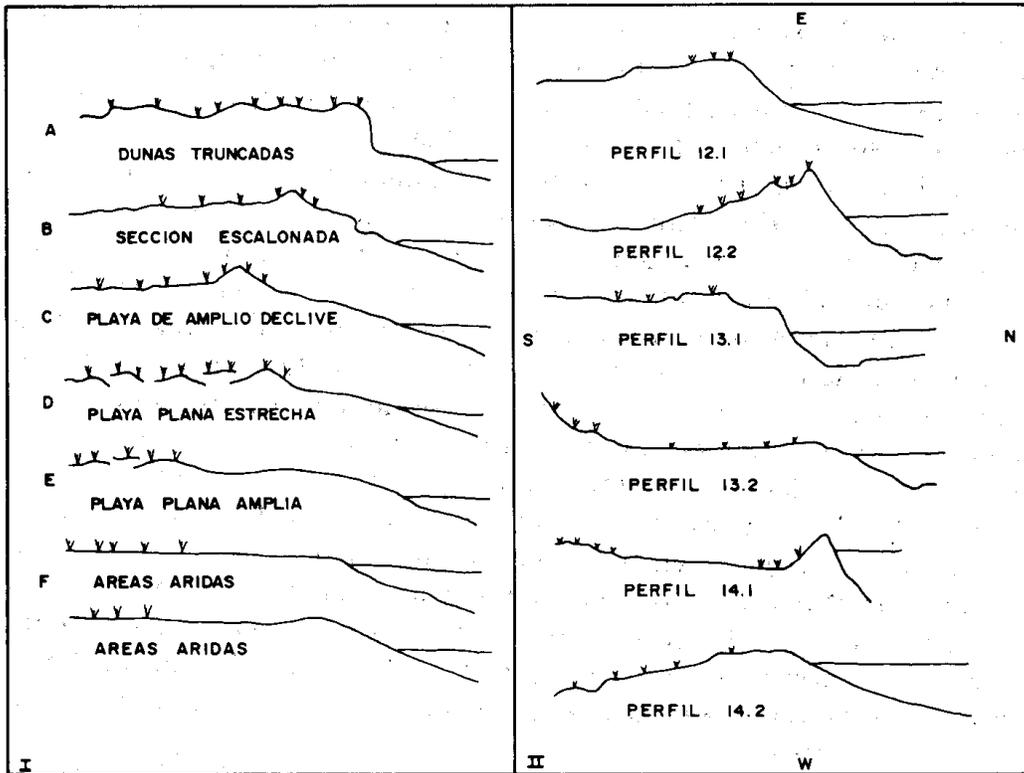


Figura 16. Perfiles de playa en la isla de Salamanca versus perfiles de playa más comunes reportados en islas barrera.

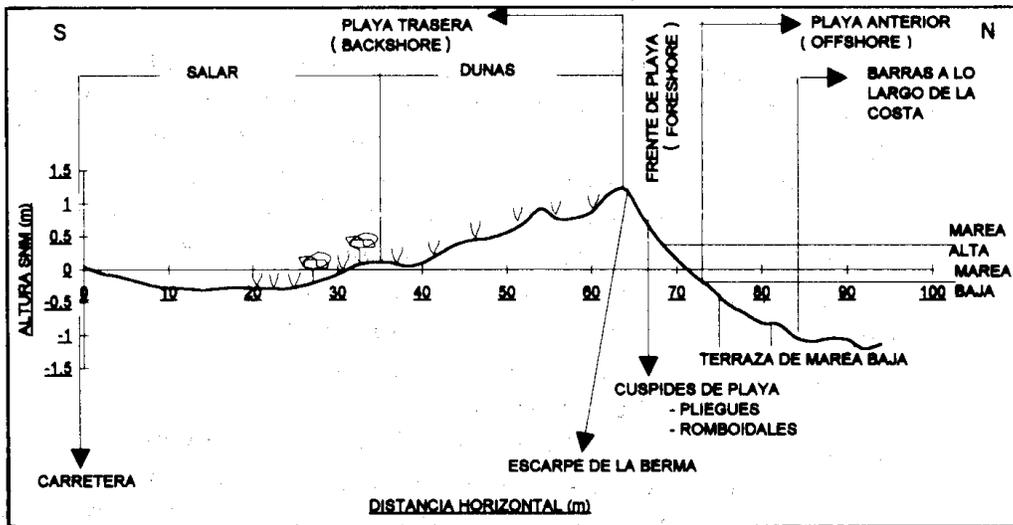


Figura 17. Perfil de playa en la isla de Salamanca: Subdivisión y rasgos predominantes.

sobrelavado. Estos cuerpos son los principales indicadores de la fuerte dominancia eólica en la zona costera de Salamanca. En algunos lugares las dunas han sido invadidas por agua formando acumulaciones casi circulares que sobresalen en playones inundables.

A lo largo de la línea de costa predominan signos de erosión como escalones erosionales, dunas truncadas, árboles en playas, zonas de manglar destruídas o invadidas por arenas de playa y construcciones derribadas, que indican una tendencia de retroceso en el lado costero de la isla. Al frente del sistema lagunar marginal se han medido retrocesos de 80 m con tasas de erosión promedias de 2 m/año (Martínez y Molina, 1992). Debe tenerse en cuenta la posibilidad de que el retroceso no haya sido paulatino, con algunos meses de gran erosión y otros estables. Entre los casos de escalones se destacan dos capas que han quedado puntualmente sometidas a la erosión: una capa de conchas, parte del relleno de la antigua carretera, y una capa de suelo orgánico pardo oscuro que ha sido definida por Martínez y Molina (1992) como "sustrato de manglar". La primera capa es un buen registro histórico de un evento actualmente sometido a la acción del mar; la segunda es el indicio del avance del mar sobre una zona cenagosa durante una etapa trasgresiva anterior al ciclo actual de retroceso.

No se han determinado con exactitud ciclos de erosión-depositación a pesar de que Lorin et al. (1973) manifiestan la existencia de intervalos de incremento y retroceso; los últimos son asociados por los autores con la acción de la corriente litoral oceánica y la ocurrencia de sismos. Sería importante la determinación de estos ciclos así como el seguimiento de perfiles de playa durante el año para observar su variabilidad estacional (dinámica verano - invierno).

En términos generales la línea de costa de Salamanca puede considerarse como una costa dominada por olas, con fuerte influencia eólica. De acuerdo con Davis y Hayes (1984) las líneas de costa en ambientes dominados por olas se caracterizan por barras largas y suaves con pocas entradas; deltas de reflujo pobremente desarrollados y cuerpos de sedimentos elongados paralelos a la costa como barras a lo largo de la costa, todas ellas características de la costa de Salamanca. Para los mismos autores el rango mareal estrecho no es una condición para costas dominadas por olas, sin embargo es más común encontrar este tipo de costas en rangos micromareales como el de Salamanca.

Salares. Gran parte de los salares de la isla de Salamanca son de capilaridad (es decir, el agua salina sube por los materiales permeables desde el nivel freático hasta la superficie y la intensa evaporación hace que las sales se depositen en la capa superficial) y existen hace más de 40 años como una unidad constante de la isla, eventualmente localizada bajo

el nivel medio del mar. En estos playones salinos se presentan grietas de desecación que indican inundaciones estacionales; las sales son superficiales y constituyen una "costra" de 3 a 5 mm de espesor de tonalidades rosadas. Los demás salares, formados por la hipersalinización del sistema tras la disminución de intercambios río - barrera - mar y la subsecuente muerte del manglar, muestran costras de sal y costras ferruginosas de espesor variable (0.3 - 2 cm), de acuerdo con su posición en lagunas o altos arenosos (relicto de dunas antiguas antes invadidas por manglar). En salares por mangle muerto se encontraron evidencias de erosión (descubrimiento de raíces de mangle, troncos antes enterrados o alguna loza de cemento), atribuibles a la acción combinada del viento y el agua, con pérdida de suelos de 15 cm en los altos arenosos y valores menores en otras zonas del salar.

Aprovechando las altas tasas de evaporación y la permeabilidad de la isla, los pobladores han encontrado en la explotación de sal una fuente de recursos económicos, construyendo piscinas artificiales. En la época de sequía estas salinas se extienden por grandes áreas de la isla. La pregunta de si esta explotación contribuye al proceso de desertificación de la isla queda sin responder; lo que si es claro es que se generan cicatrices perdurables en el terreno como las existentes al este de Tasajera.

Frente trasero - límite con la Ciénaga Grande de Santa Marta. Casi toda la línea costera hacia la laguna está limitada por lodos colonizados por manglar. Al frente de poblaciones como Pueblo viejo, Tasajera, Isla del Rosario y Palmira han destruido mangle para construcción; así mismo han conformado rellenos con conchas y basuras, sobresalen acumulaciones de ostras por explotación del recurso de hasta 2.5 m de altura y extensiones que pueden abarcar toda una población como es el caso de Palmira. En algunos casos se requirieron medidas de protección como líneas de estacones y neumáticos, ya que durante vendavales la acción del agua puede ser muy fuerte y erosionar las costas. La presencia de playas está limitada al área de Caimán y no excede los 200 m.

Variaciones transversales. En la isla de Salamanca encontramos una secuencia de ambientes que se repiten entre el mar y la laguna, como puede verse en la sección en planta y el perfil esquemático correspondiente de la figura 18. Esta secuencia, playa - planicie - salar - planicie - bosque de mangle, puede generalizarse para el frente del sistema lagunar marginal. En la figura 19 se muestran los diferentes casos de progradación y recesión en dunas formadas durante el Holoceno (Bird, 1982). Se puede afirmar que la mayor parte de la isla de Salamanca corresponde al esquema del centro: Avance holoceno, después recesión. El caso inferior (desplazamiento de dunas hacia la laguna) esquematiza probablemente el caso de las costas occidentales, al frente del sistema lagunar del delta

actual.

Boca de la Barra La comunicación actual entre la CGSM y el mar Caribe se da a través de la Boca de la Barra, una abertura de 200 m en su parte más estrecha. En la figura 20 se observan los calcos fotogeológicos de la boca en 1953, 1987 y 1993. La boca natural de la Ciénaga fue cambiada de posición para la construcción de la carretera y desde entonces ha continuado la influencia humana sobre ella. En cuanto al aspecto batimétrico, según el levantamiento del Laboratorio hidráulico de Francia (1972, escala 1:2.000) el canal de entrada alcanza 5 m de profundidad en

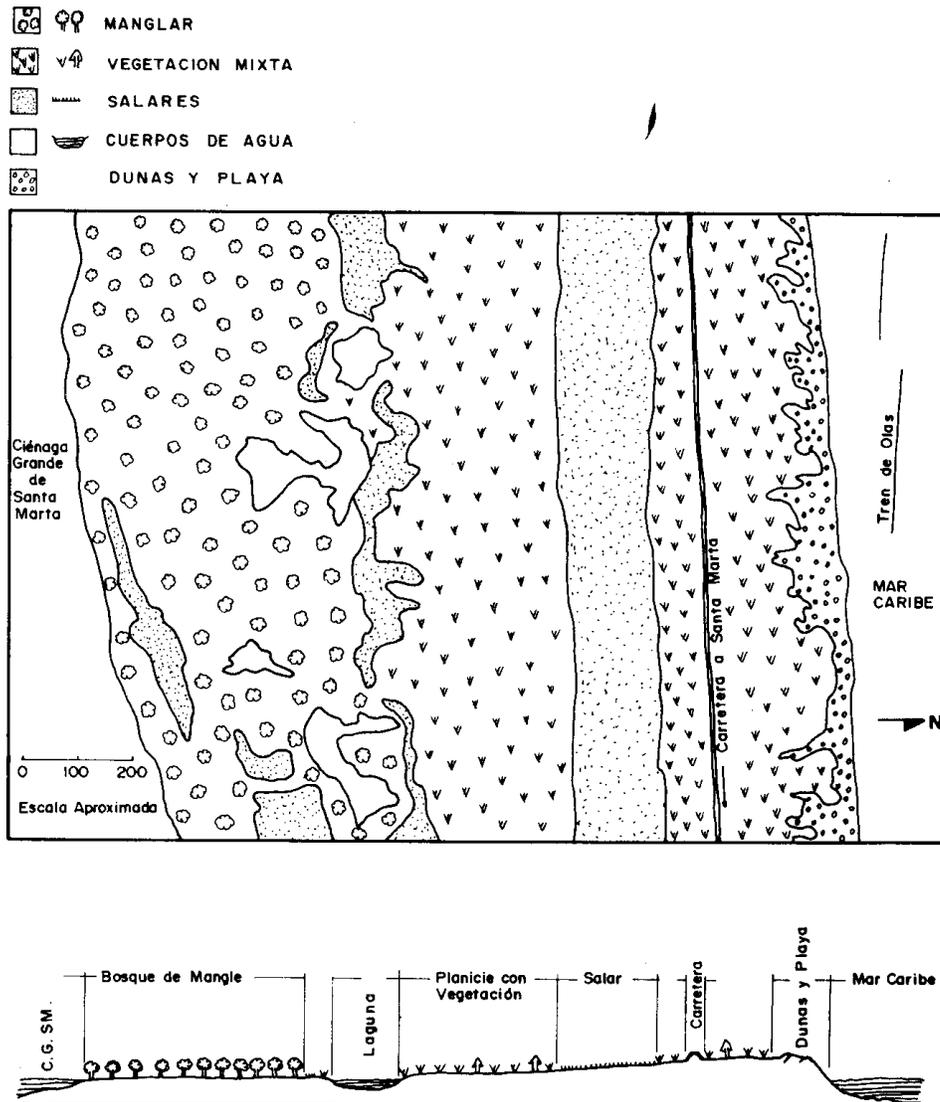


Figura 18. Vista en planta de una sección de la isla de Salamanca según calco fotogeológico del vuelo C777 de 1956 y perfil transversal esquemático de la isla de Salamanca.

el centro. No existe una batimetría de detalle similar más actualizada, lo que no nos permite inferir conclusiones sobre el comportamiento de la boca, la cual según los pobladores tiende a cerrarse. Indicadores morfológicos muestran una tendencia a la erosión del lado occidental, protegido por una barrera de rocas y tendencia a la depositación del lado oriental, donde se presentan playas.

Según Bird (1982) las entradas de lagunas costeras pueden ser persistentes y estacionarias o migratorias. Las entradas persistentes generalmente se encuentran al lado de promontorios rocosos o al abrigo de islas o arrecifes donde la acción de las olas es debilitada y las corrientes de flujo y reflujo son suficientes para mantener un vacío. En el caso de la Boca de la Barra, la entrada es persistente; el muro de roca al Occidente

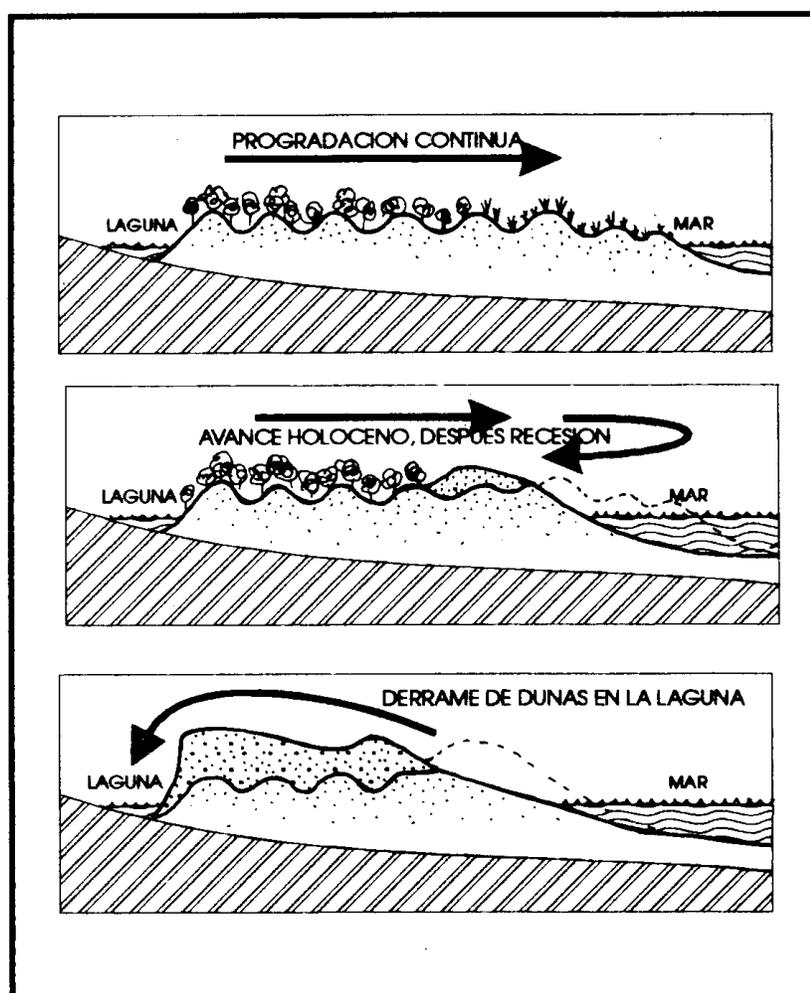


Figura 19. Casos de progradación y recesión en dunas formadas en tiempos holocenos de acuerdo con Bird, 1982.

actúa como promontorio rocoso artificial y los bajos que se forman cerca del canal debilitan la acción de las olas; sin embargo las corrientes de flujo y refluo podrían estar debilitadas en relación con 1972.

Llanura Aluvial de Piedemonte

Localizada entre la Sierra Nevada de Santa Marta y el sistema lagunar marginal (figura 21), en el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta. Estrictamente no hace parte de la llanura deltaica del Magdalena ya que está conformada por los depósitos aluviales terminales de los ríos de la vertiente occidental de la Sierra (Río Sevilla, Río Aracataca, Río Fundación y otros canales menores). Sin embargo se considera en este trabajo ya que tiene influencia directa sobre el sistema lagunar de la CGSM, y en tiempos pre-holocenos afectó la historia deposicional del delta del Magdalena (Wiedemann, 1973; Van der Hammen y Noldus, 1984). Las cuencas en las cabeceras de los ríos que conforman esta llanura tienen una dirección general NO discurriendo en un relieve

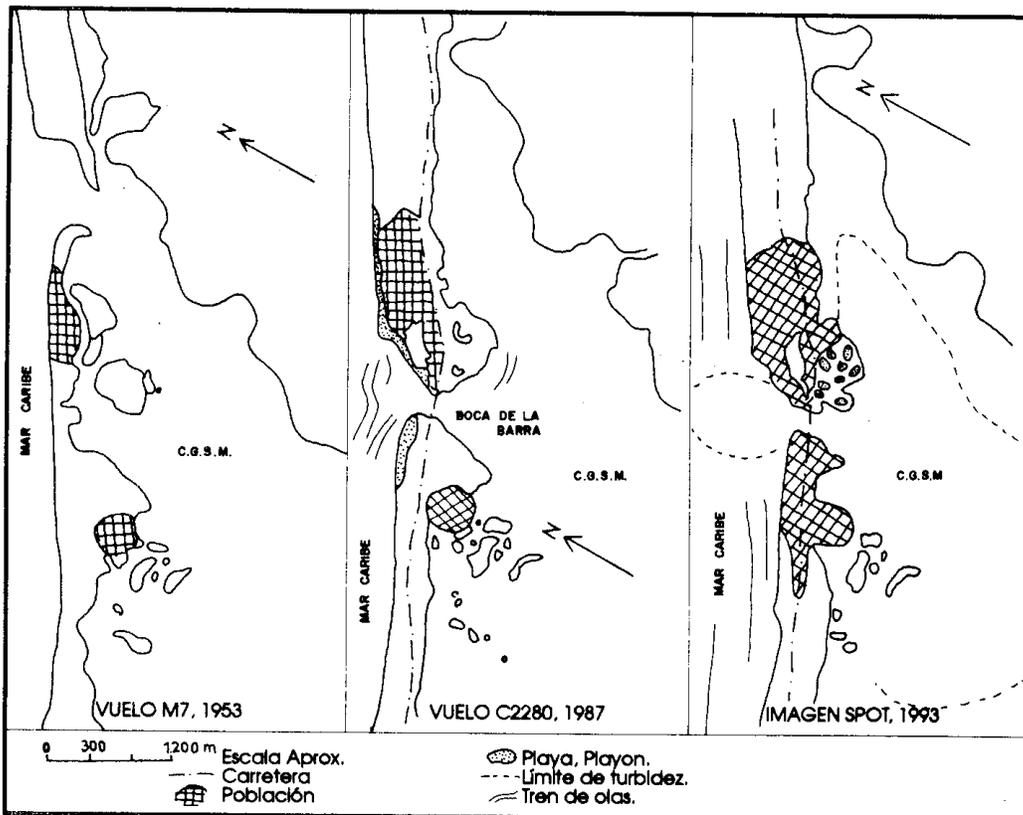


Figura 20. La Boca de la Barra según fotografías aéreas de 1953, 1987 y 1993.

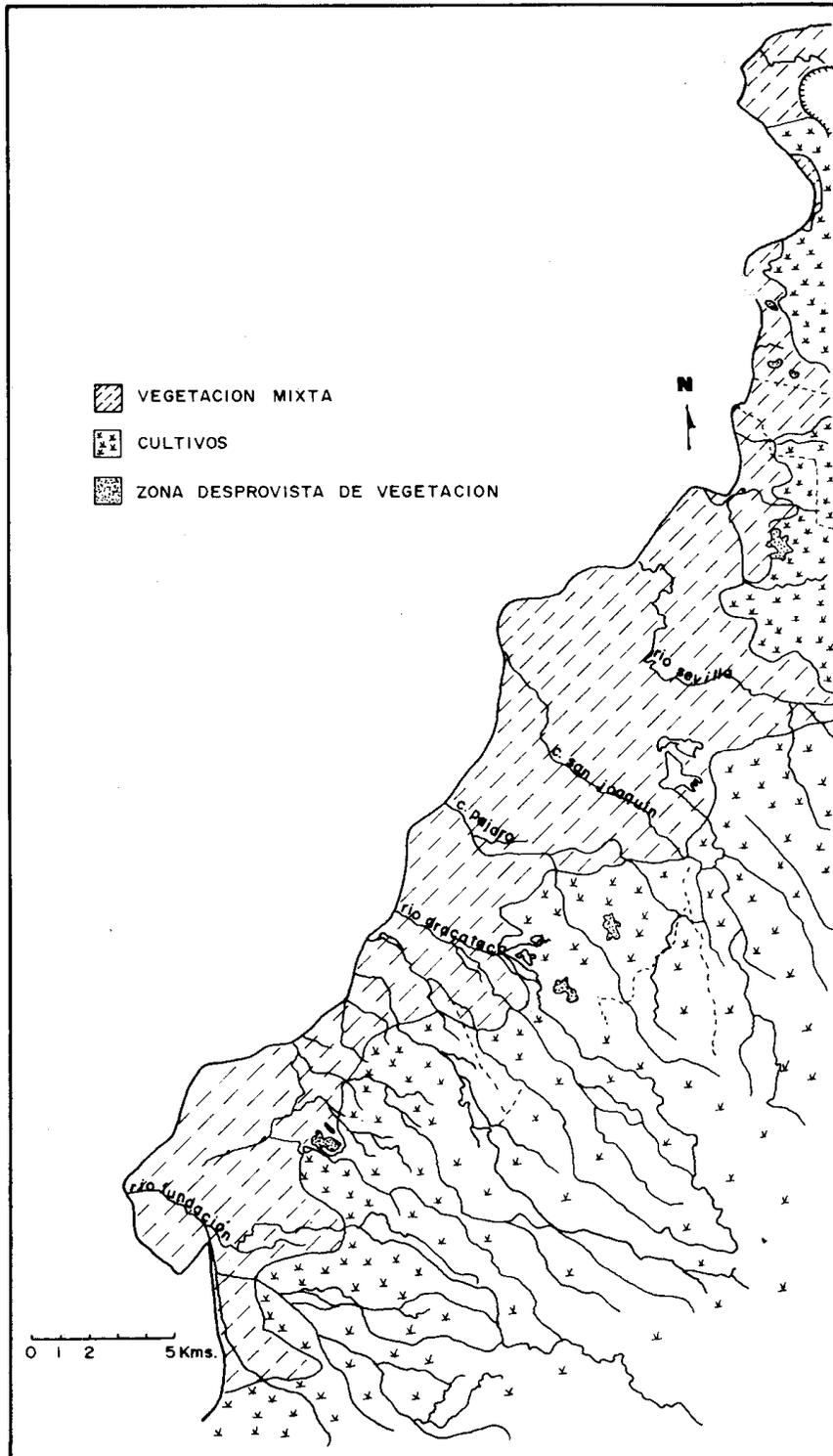


Figura 21. Llanura aluvial de piedemonte.

geomorfológicamente joven, con afluentes cortos (máximo tres km) y fuerte pendiente que permite desarrollar grandes velocidades de flujo (Inderena -Sodeic, 1987). Al entrar al piedemonte las corrientes pierden su capacidad de transporte y depositan mucha de su carga detrítica, desarrollando conos aluviales en la base de la montaña y deltas interiores pantanosos o desparramados (Wiedemann, 1973); es por esto que los cauces de los ríos en la llanura aluvial de piedemonte se entrecruzan formando una red de drenaje característica. Los canales comúnmente presentan barras de fondo y barras puntuales, su forma es de U ó V con anchos entre 11.3 y 56.6 m, profundidades medias de 0.24 a 4.4 m, profundidades máximas entre 0.5 y 6 m, áreas entre 3.5 y 144 m² y factores de forma entre 5.4 y 72. El terreno es plano y homogéneo con ríos, diques artificiales, llanuras y abanicos en el pie de la montaña. La vegetación es de dos tipos: mixta, compuesta por vegetación rala en suelos sujetos a inundaciones con pastos para ganadería o sin uso agropecuario, y cultivos, principalmente de banano y en menor proporción palma al sur.

CONCLUSIONES

La región entre el río Magdalena y la Sierra Nevada de Santa Marta puede subdividirse en cinco unidades geomorfológicas: 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 Magdalena está directamente influenciada por los desbordamientos periódicos del río y está conformada por depositación directa del Magdalena, mostrando los rasgos superficiales de paleocauces del río.

En su historia, el delta del Magdalena ha conformado dos sistemas lagunares diferenciables: uno localizado cerca de la boca actual, que mantiene intercambios de agua con el río y el mar Caribe y es producto de las últimas divagaciones del cauce y la acción marina. El otro, más antiguo y de mayor extensión, ocupa gran parte de la llanura deltaica y es producto de una zona estuarina formada cuando el Magdalena desembocaba en el este de su llanura deltaica. Actualmente los aportes de agua desde el Magdalena hasta este sistema lagunar marginal son muy bajos y se limitan a algunas lagunas occidentales.

Hacia el mar se ha conformado un depósito de barrera con arenas de playa y dunas que separa los sistemas lagunares del mar Caribe. La línea de costa puede considerarse dominada por olas con fuerte influencia eólica, marcada por los extensos depósitos de dunas que se presentan. Actualmente sufre un proceso de degradación por erosión sin pruebas de

que exista migración de la isla barrera de Salamanca.

El sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta (sistema lagunar marginal de la llanura deltaica del Magdalena) muestra rasgos morfológicos variables hacia sus tres áreas adyacentes: Hacia el río Magdalena hay rasgos depositacionales como deltas menores de canales y barras digitadas; hay indicios de disminución en la profundidad de las lagunas y fuerte tendencia a la desertificación por muerte de manglar. Hacia la Sierra Nevada hay signos de progradación de los deltas de ríos que bajan desde la montaña, permitiendo el establecimiento de vegetación y la formación de líneas de crecimiento en las riberas de las lagunas. Hacia el mar Caribe se manifiesta erosión costera y desertificación con crecimiento de salares.

En el área existen dos tipos de salares: un salar de capilaridad anterior a 1953 y uno de cubeta evaporítica por desecación de pantanos de manglar formado en los últimos 40 años.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se realizó dentro del marco del proyecto "Características geomorfológicas y sedimentológicas como indicadores de procesos físicos en el Sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), plano deltaico del río Magdalena, Colombia" (COLCIENCIAS - INVEMAR - Universidad EAFIT, Abril 1994 - Junio 1995). Se agradece a todas las instituciones y personas que colaboraron para el éxito de esta investigación. Entre ellos, muy especialmente a INVEMAR; Universidad EAFIT; COLCIENCIAS; Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de la Armada Nacional (CIOH); INGEOMINAS regional Cartagena, PROCIENAGA; Z y G Delineantes; y Juliet Betancur, investigadora asociada en 1994.

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. Nal. Ciencias Tecnol. Mar, CCO, Bogotá.
- Bird, E.C.F. 1982. Changes on barriers and spits enclosing coastal lagoons. Oceanologica Acta. Proc. Intern. Symp. Coastal Lagoons, SCOR/IABO/UNESCO, Bourdeaux, France: 45-53.
- Botero, J.E. y L. Botero. 1989. Problemática ambiental del sistema Ciénaga Grande de Santa Marta, delta exterior del Río Magdalena. Colombia y el agua. Tres aspectos. Frescol, 5: 11-18.
- CIOH. 1989. Levantamiento hidrográfico de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe Proy., Centro Invest. Oceanogr. Hidrogr. Armada, Cartagena, 11 p.
- Davis, R.A y M.O Hayes. 1984. What is a wave dominated coast? Marine Geology, 60: 313 - 329.
- Gonzalez, F.A. y C, D Malagon. 1991. Estudio general de suelos de las areas de manglar y de

- inundación del Río Magdalena (Noroccidente del departamento del Magdalena). IGAC, Bogotá, 182 p.
- Guilcher, A. 1957. *Morfología litoral y submarina*. Ed. Omega, Barcelona, 183 p.
- Heezen, B. 1956. Corrientes de turbidez del río Magdalena, Colombia. *Bol. Soc. Geogr. Colomb.*, 14:135-140.
- Inderena-Sodeic. 1987. Estudios y diseños complementarios para la construcción de las obras de recuperación de la región deltaico - estuarina del río Magdalena, en especial del área del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca. INDERENA, Bogotá.
- Khobzi, J. 1985. Evolución del río Magdalena entre 1923 y 1981 en relación con el contexto geomorfológico. *Rev. CIAF*, 10 (1): 73-85.
- Laboratoire Central D'hydraulique De La France. 1972. Defensa de playas en Ciénaga. *Inf. Proy.*, Minobras, Bogotá.
- Lorin, J; C. Hernandez; A. Rouault y J. Bottagisio. 1973. Estudio sedimentológico de la plataforma continental entre Bocas de Ceniza y Santa Marta. *Inf. Proy.*, 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.
- Martinez, J.O. y L.H. Molina. 1992. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe colombiano, sector Bocas de Ceniza - Parque Tayrona. *Inf. Proy. Ingeominas*, Bogotá.
- Pethick, J. 1984. *An introduction to coastal geomorphology*. Ed. Edward Arnold, Gran Bretaña, 260 p.
- Prociénaga. 1994. Estudio de impacto ambiental. Proyecto: Reapertura de canales en el delta exterior derecho del río Magdalena. *Inf. Proy.*, INVEMAR, Santa Marta.
- Sanchez, H. 1988. Hacia la salvación del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca. *TRIANEA. Act. Cient. Tecn. Inderena*, 2: 505-527.
- Shepard, F.P. 1963. *Submarine geology*. 2 ed. Ed. Harper & Row, New York, 557 p.
- Universidad del Norte. 1993. Complejo lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta. Campaña de Mediciones No. 1 (septiembre de 1993) y No. 2 (diciembre de 1993). *Inf. Proy.*, Corpamag - Proyecto Prociénaga, Santa Marta.
- Van der Hammen, T. y G.W. Noldus. 1984. Paleoecología de la Ciénaga Grande de Santa Marta. En: *Estudios de Ecosistemas Tropicandinos vol.2, La Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia), transecto Buritaca - La Cumbre*. IGAC, Bogotá: 581-588.
- Vargas, C.A y S. Arango. 1993. Una aproximación a la distribución de litofacies recientes en la plataforma continental frente a la CGSM (Magdalena) y análisis morfoestructural entre Punta La Aguja (Magdalena) y Punta Hermosa (Atlántico). Tesis Prof., Univ. Caldas, Fac. Geol. Minas, Manizales.
- Vernette, G.; A. Mauffret; C. Bobier; L. Briceno 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. Inst. 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 LA AUTORA:

INVEMAR, AA 1016, Santa Marta, Colombia. Dirección actual: Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Tijuana-Ensenada, Baja California, Mexico. E-mail: gbernal@bahia.ens.uabc.mx.