



Libertad y Orden

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
INGEOMINAS

***INVESTIGACIÓN DE DIAPIRISMO DE LODO Y EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA  
DE COSTA DEL CARIBE COLOMBIANO, FASE II***

***Evaluación morfodinámica de la línea de costa entre los sectores de  
Bocatocino (departamento del Atlántico) y Ciénaga (departamento del  
Magdalena)***

**Bogotá, diciembre de 2010**

República de Colombia  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA



Libertad y Orden

**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCIÓN DE GEOLOGÍA BÁSICA  
PROYECTO GEO-0902**

***INVESTIGACIÓN DE DIAPIRISMO DE LODO Y EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA  
DE COSTA DEL CARIBE COLOMBIANO, FASE II***

***Evaluación morfodinámica de la línea de costa entre los sectores de  
Bocatocino (departamento del Atlántico) y Ciénaga (departamento del  
Magdalena)***

**Por  
Ingeniero Gabriel Ruge  
Geólogo Juan Felipe Gómez  
Geóloga Carmen Rosa Castiblanco**

**Coordinación  
Geólogo José Henry Carvajal**

**Bogotá, Diciembre de 2010**

## CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| RESUMEN.....  | 8  |
| 1. INTRODUCCIÓN.....  | 10 |
| 1.1 OBJETIVOS .....   | 11 |
| 1.1.1 Objetivos generales .....   | 11 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos .....   | 11 |
| 1.2 METODOLOGÍA.....  | 12 |
| 1.2.1 Monitoreo con perfiles de Playa .....   | 12 |
| 1.2.2 Evaluación morfodinámica Meso temporal con fotografías aéreas   | 15 |
| 1.2.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS .....  | 16 |
| 1.2.1 Temperatura .....   | 17 |
| 1.2.2 Vientos .....   | 17 |
| 1.2.3 Lluvia .....  | 18 |
| 1.3 CONDICIONES OCENOGRÁFICAS Y DINÁMICA COSTERA.....   | 18 |
| 1.3.1 Descripción oceanográfica .....   | 18 |
| 1.3.2 Dinámica Costera .....  | 20 |
| 1.4 AGRADECIMIENTOS.....  | 22 |
| 2. EVALUACIÓN MESOTEMPORAL DE CAMBIO DE LÍNEAS DE COSTA .....   | 23 |
| 2.1 EVALUACIÓN SECTOR DE COSTA 1.NORESTE DEL RÍO CÓRDOBA (982612E-1712833N) – CIÉNAGA (976820E - 1707490N) .....  | 23 |
| 2.2 EVALUACIÓN SECTOR DOS (2) CIÉNAGA (976820E/1707490N) – TAJAMAR ORIENTAL RÍO MAGDALENA (915776E/1719915N)..... | 26 |
| 2.3 EVALUACIÓN SECTOR TRES (3). TAJAMAR OCCIDENTAL RÍO MAGDALENA – PUNTA SABANILLA (908515E/1713280N).....        | 33 |
| 2.4 EVALUACIÓN SECTOR CUATRO (4) PUNTA SABANILLA – PRADOMAR (904386E/1709107N).....                               | 36 |
| 2.5. EVALUACIÓN SECTOR CINCO (5). PRADOMAR (904386E - 1709107N) – CERRO FURÚ (890321E - 1695846N).....            | 39 |
| 2.6. EVALUACIÓN DEL SECTOR SEIS (6). CERRO FURÚ (890321E- 1695846N) – BOCATOCINO (875418E - 1686910N) .....       | 45 |
| 3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....  | 47 |
| 4. CONCLUSIONES.....  | 49 |
| 5. RECOMENDACIONES .....  | 52 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....  | 54 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figura 1.</b> Localización del mojón en la playa trasera, sector al norte de Bocatocino.....  | <b>13</b> |
| <b>Figura 2.</b> Vista de la toma de datos topográficos de perfiles con dirección perpendicular a la línea de costa. ....  | <b>13</b> |
| <b>Figura 3.</b> Mapa de ubicación de los puntos de tomas de perfil dentro del sector dos de estudio.....  | <b>14</b> |
| <b>Figura 4.</b> Vista de las rompientes tipo de desparramen o Spilling y cabeceo, característicos durante la época de verano, en las playas de la barra del Parque Isla de Salamanca en el Departamento del Magdalena. Nótese la intensidad y la amplitud; de las rompiente en dirección N-S, indicador local de una pendiente suavemente inclinada en la zona..... | <b>20</b> |
| <b>Figura 5.</b> Cambios en los perfiles de playa de acuerdo al periodo climático (Tomado de Komar, 1998). ....  | <b>21</b> |
| <b>Figura 6.</b> Vista zona de toma de datos en el perfil 159.....   | <b>24</b> |
| <b>Figura 7.</b> Muelle adjunto al Río Córdoba y a perfiles 158 y 159.....   | <b>25</b> |
| <b>Figura 8.</b> Vista zona de la línea de costa en el sector urbano de Ciénaga Departamento del magdalena. Nótese la fuerte pendiente del frente de playa.  | <b>26</b> |
| <b>Figura 9.</b> Vista del casco urbano del Corregimiento de Tasajera, población que está en amenazada por un proceso de erosión costera significativo.....  | <b>27</b> |
| <b>Figura 10.</b> Terraplén de la vía Santa Marta-Barranquilla en inmediaciones del perfil 132 (ver base de datos anexa). ....   | <b>28</b> |
| <b>Figura 11.</b> Espolón destruido parcialmente, visto en direcciones EW y WE en inmediaciones de los perfiles 114 y 113 Parque Isla de Salamanca (ver base de datos anexa).....  | <b>29</b> |
| <b>Figura 12.</b> Árboles de mangle cubiertos por arena en inmediaciones del perfil 123 (ver base de datos anexa). ....  | <b>31</b> |
| <b>Figura 13.</b> Troncos de árboles enraizados hasta a 15 metros hacia adentro de la línea de costa. Perfil 127 (base de datos anexa).....  | <b>31</b> |

- Figura 14.** Evolución del tramo Ciénaga Cuatro Bocas-Tajamar oriental del río Magdalena entre 1968 y 2005. .... **33**
- Figura 15.** Vista de sectores de playa afectados por la acumulación de materiales de tipo continental, arenas y vegetación y aportes de deslizamientos en zonas acantiladas. Sector cercano a Punta Sabanilla. .... **34**
- Figura 16.** Vista de espiga aledaña al tajamar occidental del Río Magdalena en su sector SW; esta unidad tiene un carácter temporal de acuerdo con la estación climática respectiva; no obstante comienza a ser mayor la sedimentación que el transporte. .... **35**
- Figura 17.** Fotografía aérea de Punta Sabanilla tomada en febrero de 1947. Nótese la saliente rocosa de la plataforma arrecifal cubierta d dunas tipo parabólico y longitudinal, que localmente remontan la geoforma pre existente; igualmente la fuente de sedimentos asociada con la barra espiga de Mayorquín..... **36**
- Figura 18.** Playa estrecha entre El Castillo y Punta Sabanilla. La erosión es un proceso evidente a pesar del conjunto de espolones, dado por el déficit de sedimentos. .... **37**
- Figura 19.** Vista del sector aledaño a El Castillo; nótese como la acción erosiva ha socavado gran parte de los antiguos muros de protección del talud adyacente a la línea de costa. .... **37**
- Figura 20.** Detalles del acantilado en inmediaciones del perfil 84 (905456E/1710225N), en rocas calcáreas de la Formación La Popa afectada localmente por fallamiento con desplazamiento normal N40W/52SW. Nótese las obras de protección del talud totalmente deterioradas. .... **38**
- Figura 21.** Vista de las Playas de Sabanilla y Puerto Colombia bajo el efecto del temporal ocurrido el doce de Enero de 2010 (Fotos tomadas de El Tiempo y El Heraldó)..... **39**
- Figura 22.** Evolución del sector de línea de costa entre Salgar-Puerto Colombia entre 1947 y 2005. Nótese la espiga existente en 1947 al norte de Puerto Colombia..... **40**
- Figura 23.** Vista de imagen de satélite georeferenciada a escala 1:25000 del sector Puerto velero – Playa Mendoza. Nótese la progradación de la espiga de Puerto Velero hacia el SW, cuyo avance en la actualidad continúa, siguiendo la tendencia a formar una laguna trasera de consideración. (Tomada de Mendivelso y Pinzón 2010). .... **42**
- Figura 24.** Variaciones de la línea de costa en el sector de Puerto Colombia, basada en la interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite, Línea

punteada azul y roja corresponden al año 1956, línea color verde corresponde al año 1976, línea color azul corresponde al año 1973 y la línea de color negro del año 2005, que corresponde a la línea de costa actual. Tomada de Mendivelso y Pinzón 2010. .... **43**

**Figura 25.** Estado del muelle de Puerto Colombia luego de la tormenta del siete de marzo de 2009..... **43**

**Figura 26.** Aspecto de las playas de Santa Verónica afectadas actualmente por extracción de material para la construcción. Nótese la gran cantidad de troncos y material vegetal traídos por las corrientes litorales desde el río Magdalena y acumulados en estas playas por su disposición ortogonal con la dirección de deriva litoral. .... **44**

**Figura 27.** Aspecto de las Playas entre Cerro Mahates y Punta de Piedra en dirección N50E (883574E/1692105N). Perfil 28. Nótese el alineamiento del sector costero correspondiente con un control estructural determinado por varios autores..... **45**

**Figura 28.** Detalles de los afloramientos en arenisca fina intercalada con lodolita perteneciente a la formación San Cayetano, localizados al NE Bocatocino. Estratificación N74E/74SE. (879889E - 1689669N). Nótese el alto grado de fracturamiento y fallamiento que afecta la secuencia sedimentaria..... **46**

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO-1: Consolidado análisis granulométrico para cada uno de los perfiles de playa.

ANEXO-2: Perfiles de playa

## RESUMEN

Este documento contiene un informe detallado de la información de las playas de la región del Caribe Central Colombiano entre las localidades de Bocatocino, departamento del Atlántico y Ciénaga en el departamento del Magdalena, en el que, se han involucrado variables del estudio de Perfiles de Playa, las cuales generaron el conocimiento tanto a nivel multitemporal como micro temporal. En este estudio se realizó un análisis fisiográfico del sector mencionado, con el objetivo de lograr interpretar de manera adecuada las características morfodinámicas de las playas, basados en el conocimiento de las variables físicas que actúan sobre el medio. Tales como: las características geológicas, geomorfología, cobertura y uso del suelo, aspectos climáticos y oceanográficos y algunas consideraciones de tipo demográfico para el área de estudio.

Las actividades se basaron en una evaluación bibliográfica y de fotografías aéreas, una campaña de reconocimiento de campo para la época de verano y toma de datos de las variables involucradas dentro del estudio, amojonamiento (postes de concreto de 1.50 m) de más de 150 puntos de toma de perfiles y recolección de aproximadamente 490 muestras de sedimentos de playas en cada sitio de toma de datos.

Se llevó a cabo la granulometría de 126 muestras de arena representativas de las playas del sector costero en estudio, posterior a lo cual, los datos obtenidos se introdujeron en programa que permitió caracterizar los materiales para su posterior análisis sedimentológico.

Complementariamente a la actividad descrita, se realizó una base de datos (Excel) con la que se plasma la mayor cantidad de información tomada tanto en campo como de análisis bibliográficos, la cual genera los perfiles topográficos para cada uno de los sitios de toma de datos entre otros. El objetivo futuro es el de establecer un **Sistema de Información Costero (SIC)** utilizando la herramienta ArcGIS para el total del proyecto Andén Caribe Colombiano; estos datos se enmarcan en: Ubicación mediante GPS del sitio de toma de perfil

- Hora de inicio de la toma del perfil para cada uno de los puntos de toma
- Pendiente del frente de playa
- Dirección de la playa
- Direcciones del viento, el oleaje y las corrientes de deriva litoral
- Tipo de rompiente, periodo y longitud en el oleaje



- Comentarios sobre lo observado en campo
- Fotografías del sitio de toma del perfil, para cada una de las etapas de campo
- Formato diligenciado con los resultados del análisis granulométricos realizados a las muestras tomadas en campo (para cada una de las muestras tomadas en cada perfil) y sus correspondientes histogramas y distribuciones granulométricas.
- Clasificación sedimentológica para cada una de las muestras tomadas en cada perfil y en lo que refiere a la Media, Asimetría, Sorting o selección, Curtosis o agudeza y la caracterización de la frecuencia granulométrica.

Mediante el tratamiento de los datos en el software ArcGIS, se implementó el despliegue gráfico de los datos de manera puntual y para cada uno de los perfiles tomados ubicados en una cartografía a escala 1:25000 para el sector en estudio.

Paralelamente con la ejecución de las actividades referidas, se procedió a hacer una evaluación de la cartografía IGAC a escala 1:25000 producida para el sector de estudio e imágenes de satélite, aspecto liderado por el Geólogo Domingo Mendivelso; este aspecto permitió evidenciar los cambios en la línea de costa durante los periodos 1950-1960, 1970, 1990 y la línea de costa actual partir de la imagen Google earth reciente.

Una vez obtenidos los anteriores productos implementados a partir de un trabajo sistemático en su consecución, se procedió en la elaboración del informe de análisis correspondiente a partir de los datos colectados, organizados y seleccionados.

En esta actividad coordinada por el Geólogo José Henry Carvajal Perico, participaron el Geólogo Juan Felipe Gómez en el reconocimiento de campo y evaluación morfodinámica meso temporal del sector de estudio; la Geóloga Carmen Rosa Castiblanco, participó en el reconocimiento de campo y digitación de datos en el archivo Excel destinado para la actividad y el Ingeniero geógrafo Gabriel Ruge Díaz, quien estuvo en el reconocimiento de campo, análisis granulométrico y sus resultados, generación de la base de datos de los perfiles de playa y la evaluación morfodinámica.

La recopilación de informes parciales y la presentación de este informe estuvo a cargo del Ingeniero geógrafo Gabriel Ruge Díaz; se contó de igual manera con la participación de los funcionarios de la regional Valledupar José Joaquín Beltrán y Jorge Bohórquez, quienes apoyaron la investigación durante el reconocimiento de campo y en laboratorio llevaron a cabo la granulometría en seco por tamizado de las muestras de arena recolectadas.

## 1. INTRODUCCIÓN

La zona litoral comprende un sector donde se manifiestan la interrelación entre el mar, la tierra y el aire asociado con las condiciones climáticas generando un equilibrio dinámico con características únicas; no obstante la presencia del hombre, genera un impacto importante en esta unidad fisiográfica, afectando esta zona notablemente en contradicción con la naturaleza en su proceso de búsqueda del equilibrio impacta de manera significativa las obras establecidas por el hombre.

El INGEOMINAS dentro de sus actividades concernientes con el proyecto ANDEN CARIBE COLOMBIANO desde la Subdirección de Geología Básicas, desarrollo un estudio de Investigación que permitiera establecer el conocimiento de las características morfodinámicas del sector costero en el Mar Caribe en dos sectores de análisis a saber: el primero comprendido entre la Punta Barú en el Departamento de Bolívar y Galerazamba en el Departamento de Bolívar; un segundo sector comprendido entre Galerazamba en el Departamento de Bolívar y El Municipio de Ciénaga en el Departamento del Magdalena.

Este trabajo corresponde con lo elaborado para el segundo sector de estudio el cual se comenzó a realizar a partir del mes de febrero del año dentro del proyecto GEO-0902; para tal efecto se ejecutó la primera fase del levantamiento de perfiles de playa en campo durante la época de verano; este trabajo se realizó desde el 23 de abril hasta el 15 de mayo de 2009, recorriendo la franja de costa que abarca desde el Municipio de Galerazamba (Bolívar), hasta el Municipio de Ciénaga (Magdalena). Cubre los municipios de Ciénaga, Pueblo Nuevo y Sitio Nuevo en el Departamento del Magdalena; Barranquilla, Puerto Colombia, Tubará, Juan de Acosta, Piojó y Luruaco en el Departamento del Atlántico.

El presente trabajo tiene como objetivo el análisis, caracterización y definición del comportamiento morfodinámico del sector costero, comprendido entre la Bocacocino en el (Departamento del Atlántico) y Ciénaga en el Departamento del Magdalena. Se recorrieron 155 kilómetros lineales sobre la Línea de Costa y se tomaron 152 perfiles de playa aproximadamente.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivos generales

Obtener un conocimiento sobre la morfodinámica actual del sector costero, basado en la toma de datos puntuales con el objetivo de establecer los diferentes cambios en los perfiles de playa durante las épocas de invierno y verano con carácter multitemporal; de igual manera establecer las características granulométricas, sedimentológicas y posteriormente mineralógicas en el establecimiento de las características por posible aporte de material producto del diapirismo de lodos presente en la plataforma del área de estudio.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Verificar la ubicación de los perfiles propuestos sobre las imágenes de Google Earth y su localización de coordenadas con GPS.
- Identificar zonas de acrecimiento y erosión a lo largo de línea de costa en esta franja.
- Obtener información geológica para la caracterización de las playas y recolectar muestras de sedimentos para su posterior análisis sedimentológico y granulométrico.
- Obtener información que permita hallar alguna relación, si es que existe, entre la dinámica de la línea de costa y el fenómeno de diapirismo de lodo existente en la Costa Caribe.
- Obtener información básica para la futura evaluación y cuantificación de las amenazas asociadas a los fenómenos de cambios en la morfología costera y el fenómeno de diapirismo de lodos.
- Caracterizar morfológicamente y granulométricamente las playas del área de estudio.

## 1.2 METODOLOGÍA

### 1.2.1 Monitoreo con perfiles de playa

En el desarrollo de la comisión de elaboración de perfiles de playa, se empleó la siguiente metodología:

Dada la extensión del sector, para el levantamiento de los perfiles de playa, comprendido entre la localidad de Boca Tocino (Bolívar) y el Municipio de Ciénaga (Magdalena), se determinaron tres grupos de trabajo acompañados cada uno dos auxiliares en la toma de datos, transporte de los mojones y recolección de muestras.

Previo reconocimiento de campo y trabajo de oficina, se determinaron lugares adecuados para la toma de datos y sedimentos, observando la amplitud de la playa, la incidencia del oleaje y morfología entre otros; una vez en campo y en cada uno de ellos se ubicó un mojón georeferenciado en la parte posterior de la playa trasera con GPS manual; asumiendo como nivel de referencia el cero en el sitio del mojón, como se muestra en la **Figura 1**.



**Figura 1.** Localización del mojón en la playa trasera, sector al norte de Bocatocino.

Los perfiles de playa objeto de este informe, se levantaron durante la época de verano, para luego ser confrontados con los elaborados para la época de invierno (esta segunda visita de reconocimiento no fue posible de realizar). La medición se realizó en dirección perpendicular a la línea de costa, ver figura 2, llevando a cabo una nivelación en tramos de tres metros mediante el método de las varas de Jacob; los datos fueron registrados en formatos diseñados para este fin, con los siguientes campos para la captura de información: Número de perfil, Profesional quien lo elaboró, Fecha, Plancha IGAC, Localidad, Coordenadas del punto inicial N – E, Altura, Hora de inicio, Hora de finalización, Dirección de línea de playa, Dirección del viento, Dirección del perfil, Dirección de la deriva litoral, Periodo de olas, Pendiente de playa, Tipo de rompiente, Longitud del perfil.

Posteriormente se tomaron fotografías correspondientes a cada uno de los perfiles con vista hacia el sur y hacia el norte abarcando las playas adyacentes al punto de toma.

En cuanto al levantamiento topográfico de los perfiles, se procedió a la medición a partir del punto cero (0) o punto de referencia cero (0) metros sobre el nivel del mar, tomándose datos de altura cada tres metros, desde la zona de playa trasera hasta donde el oleaje y la profundidad lo permitió, como se puede observar en la **Figura 2**.



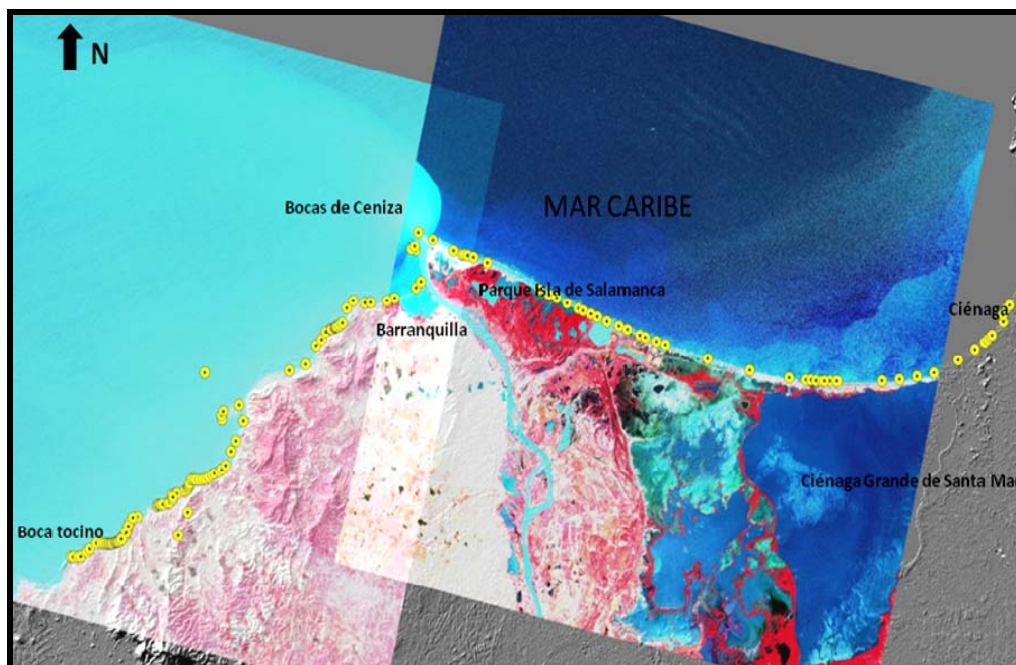
**Figura 2.** Vista de la toma de datos topográficos de perfiles con dirección perpendicular a la línea de costa.



Se colectaron muestras de sedimentos en las zonas de los frentes de playa y al final de cada perfil, lo mismo que en los sectores en donde se observaron cambios morfológicos o sedimentológicos relevantes, con el fin de determinar las características granulométricas y composicionales en una fase posterior de la investigación.

Los resultados se fundamentan en los datos obtenidos en una salida de campo correspondiente a la época de verano, para el mes de mayo de 2009. Igualmente:

- Se hicieron 143 perfiles en donde se tomaron los datos mencionados anteriormente, localizados a intervalos aproximadamente de 3 km, ver **Figura 3**.
- Se tomaron 420 muestras de material en zona de playa.
- Se elaboraron 126 granulometrías en sectores representativos.
- Se tiene elaborada la Base de datos con fines de la generación del SIC (Sistema de Información Costero) utilizando la herramienta SIG.



**Figura 3.** Mapa de ubicación de los puntos de tomas de perfil dentro del sector de estudio.

### 1.2.2 Evaluación morfodinámica meso temporal con fotografías aéreas

Para realizar el análisis meso temporal de la evolución de la línea de costa en las últimas décadas, se dividió la zona de estudio en seis tramos a saber:

- Tramo 1. Noreste del Río Córdoba - Ciénaga, Departamento del Magdalena.
- Tramo 2. Ciénaga - Tajamar Oriental Río Magdalena. Departamento del Magdalena.
- Tramo 3. Tajamar Occidental Río Magdalena - Punta Sabanilla. Departamento del Atlántico.
- Tramo 4. Punta Sabanilla – Pradomar. Departamento del Atlántico.
- Tramo 5. Pradomar - Cerro Furú. Departamento del Atlántico.
- Tramo 6. Cerro Furú – Bocatocino. Departamento del Atlántico.

Los límites entre los tramos están definidos por cambios en la morfología costera, por la presencia o no de actividades antrópicas, o por límites físicos tales como salientes y promontorios rocosos que separan sectores de costa contiguos. Además de la descripción de las características geomorfológicas y los procesos inherentes a cada tramo, se tuvieron en cuenta las fotografías aéreas de décadas anteriores para de esta manera establecer la evolución de la línea de costa. En los sectores de mayor dinámica, se procedió a georeferenciar las fotografías aéreas y comparar con una imagen del satélite SPOT, tomada en mayo 30 de 2005.

Para la georeferenciación de las imágenes se utilizó la proyección en metros *transverse mercator* con datum magna Sirgas. El error de la metodología es variable debido a las diferentes fuentes de información y escalas utilizadas, a la variabilidad del estado del mar de acuerdo a la temporada del año en que se hayan tomado las fotografías, y a las imprecisiones cometidas tanto en el trazo de la línea de costa como en la georeferenciación. La línea de costa fue trazada sobre la línea de más alta marea (HHWL), marcada por un contraste en el tono entre la arena húmeda y la arena seca.

Las tablas insertadas en las figuras, correspondientes a la cuantificación de los cambios en transectos lineales, se obtuvieron con el programa *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS, por sus siglas en inglés), desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos. Este programa genera, a partir de las distancia entre una línea base que, se traza paralela a la costa y las diferentes líneas de costa, una salida con la cuantificación de la tasa de cambio anual para cada transecto. La evaluación de los cambios en la línea de costa se determina por diferentes parámetros, los cuales, de acuerdo a Thieler y Danforth (1993), se describen a continuación:

*End Point Rate (EPR)*: Es el resultado de dividir la distancia que existe entre la línea de costa más antigua y la más reciente por el valor del lapso de tiempo en años que existe entre ambas líneas. La simplicidad de su cálculo y el requerimiento de sólo dos líneas de costa para su cuantificación son sus principales ventajas; no obstante esta misma simplicidad hace que su resultado sea muy sensible a errores o cambios temporales en la línea de costa, por ejemplo los ocasionados por tormentas.

*Average of Rates (AOR)*: Es el resultado del promedio del end point rate (EPR por sus siglas en inglés) para todas las combinaciones posibles de líneas de costa. Este método tiene utilidad sólo cuando existen más de dos líneas de costa disponibles para cuantificar los cambios, de lo contrario su resultado será igual al calculado para el end point rate.

*Average of Eras (AOE)*: Se calcula adicionando la tasa de cambio para eras individuales (distancia entre cada par de transectos consecutivos dividido por el lapso de años entre ellos) dividido por el número total de eras. Su resultado es un promedio general para todos los periodos combinados.

## 1.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS

De acuerdo con su posición geográfica, en la parte central del litoral Caribe colombiano, el área es influenciada por La Zona de Convergencia Intertropical, los vientos Alisios del norte, el paso de las Ondas del Este y los frentes fríos tributarios del hemisferio norte (CIOH.2004). De acuerdo con la interacción de estos fenómenos, el clima en general, de la región se puede clasificar como tropical semiárido.

La circulación atmosférica de los vientos alisios (vientos del N y NE), tributarios de los centros de alta presión del Atlántico Nororiental, se presentan con mayor intensidad entre finales de Noviembre y Marzo, modificando substancialmente el clima de los sectores uno y dos del estudio.

Otro fenómeno atmosférico de importancia en la región, lo constituye el paso de Ondas Tropicales del Este, que son sistemas nubosos migratorios que viajan envueltos en la corriente de los vientos alisios, lo que hace que su desplazamiento sea Este-Oeste.

Cuando los frentes fríos del hemisferio norte se desplazan sobre los 15° norte entre, unos 50 o 100 Km de la costa Caribe Colombiana, los vientos que acompañan estos sistemas atmosféricos, luego de su paso, generan un tren de olas que combinado con el "Swell" pueden producir sobre la mayor parte del litoral Caribe un fenómeno oceánico conocido como "mar de leva". Este



fenómeno se produce generalmente en los meses de Enero y Febrero, y algunas veces incluso se extiende hasta Abril.

En el área de estudio, como en casi todo el Caribe, se identifican dos periodos climáticos principales conocidos como época de lluvias y época de vientos o época húmeda y seca respectivamente. Algunos estudios señalan la existencia de un tercer periodo, llamado época intermedia o de transición.

La época seca comprende desde Diciembre hasta mediados de Abril y se caracteriza por vientos continuos y fuertes provenientes del sector Norte Noreste con lluvias escasas y débiles. Se presenta un periodo de transición o época intermedia está comprendida entre los meses de Junio y Julio, caracterizado por la irregularidad de las lluvias y los vientos, los cuales no sólo varían su intensidad sino su dirección. Por considerarse una época de relativa poca lluvia, en medio de la denominada época Húmeda entre los meses de Abril a Noviembre), es denominado por algunos como “El veranillo de San Juan”.

La época de invierno o de lluvias se extiende desde Abril a Noviembre, con la interrupción ya señalada para los meses de Junio y Julio y se caracteriza por vientos débiles de orientación variable y un régimen de abundantes lluvias, siendo octubre el mes más lluvioso.

### **1.2.1 Temperatura**

La variación de la media mensual de la temperatura ambiente en el área de estudio oscila entre los 26.5 y 29° C con variaciones para la estación ubicada en la Isla Naval de las Islas del Rosario, mientras que en la estación del Aeropuerto Rafael Núñez varía entre 26 y 28°C y entre 26.3 y 28.2° C para la estación meteorológica del IDEAM ubicada en el CIOH. Los valores extremos registrados son de 33.6 y 17.2° C, de acuerdo con los datos estadísticos de la información colectada por el HIMAT/CIOH entre 1953 y 1994.

Las variaciones de la temperatura media no superan los tres grados centígrados. Esto se debe parcialmente al efecto estabilizador del océano que presenta fluctuaciones mínimas. La temperatura media anual tomada a partir de los datos de los años de 1992, 1993 y 1994 es de 27.9° C. El mes más caluroso es Junio y el de menor temperatura promedio es Enero.

### **1.2.2 Vientos**

En el régimen de los vientos es característico el predominio de los vientos Alisios del Norte y Noreste en la época seca y de los vientos del Sur Suroeste en la época húmeda; durante la época seca la ZCIT (zona de confluencia

intertropical), se encuentra en posición sur, los sistemas subtropicales de alta presión se encuentran al sur de su posición normal como consecuencia los vientos del norte y Noreste (Alisios) soplan con una intensidad más uniforme y pronunciada en toda la región (Walters, 1989).

Durante la época seca la intensidad de los vientos presenta valores medios entre 2.0 y 5.4 m/seg, lo que corresponde en la escala BEAUFORT a viento débil; si embargo los valores máximos llegan a 13.8 y 16.6 m/seg, que corresponden en la misma escala a viento muy fuerte (CIOH.1997). Los valores máximos de viento se registran en las mediciones entre las 13:00 horas y las 19:00 horas, indicando la intensificación de los mismos hacia las horas de la tarde. El promedio anual de viento para las 13:00 horas es de 4.2 m/s, mientras que los de las 07:00 horas es de 2.5 m/seg. y las de las 19:00 es de 3.5 m/seg. (CIOH, 1997)

Cuando la zona de confluencia intertropical ZCIT se encuentra al norte del país (latitud entre 8° y 11°) en la época húmeda, el viento en la mayor parte del sector de estudio predomina sur sudoeste. Las velocidades de los vientos son débiles aunque alcanzan valores medios de hasta 4.1 m/seg en algunos casos, pero con una corta duración; esto sucede principalmente cuando la zona se ve afectada por una Onda del Este, precediendo la ocurrencia de precipitaciones (Climatología Descriptiva de Colombia Kenneth Walters, 1989).

### **1.2.3 Lluvia**

Para el sector de estudio las lluvias presentan un promedio de 762 mm al año para el transecto comprendido entre Bocatocino y Puerto Colombia en el Departamento de Atlántico, y de 865 a 965 en el transecto comprendido desde Puerto Colombia y hasta Ciénaga en el Departamento del Magdalena, destacándose los meses de septiembre y octubre como los más lluviosos con promedios de 111 y 132 mm respectivamente. El promedio de números de días con lluvia es de 76. El brillo solar es de 2408.9 horas lo que equivale de 6 a 7 horas de sol diarias (Anuario Meteorológico publicado por el HIMAT en 1990).

## **1.3 CONDICIONES OCENOGRÁFICAS Y DINÁMICA COSTERA**

### **1.3.1 Descripción oceanográfica**

Las mareas, las olas y las corrientes determinan la dinámica costera y definen la morfología e las playas. Las corrientes litorales determinan aspectos como la deriva litoral y la posible trayectoria de cualquier contaminante.

El principal agente de modelador de las costas es la energía de las olas, como tal se justifican el estudio como la orientación predominante de los frentes de olas y el máximo alcance costa adentro de las olas de temporal. El análisis de las mareas, permite determinar las líneas de más alta y más baja marea, con las cuales se determina las zonas de bajamar, constituyéndose en líneas de referencia para caracterizar o definir un sector de playa o caracterizaciones de manejos administrativos.

La Costa Caribe de Colombia está influenciada por dos corrientes superficiales denominadas Corriente Caribe y Contracorriente de Panamá, las cuales interactúan a lo largo de nuestras costas en forma variable de acuerdo con la época del año. Esa variación depende básicamente del régimen del viento, a su vez condicionado por la ubicación de la denominada Zona de Convergencia Intertropical.

Estas corrientes según los diferentes estudios, se manifiestan en el sector de estudio y dependiendo de la época del año pueden influir en mayor o menor grado en el comportamiento de las playas. Simultáneamente se presenta una corriente generada por las aguas dulces y fuertemente cargadas de sedimentos que se integran como producto de la desembocadura del Río Magdalena al Mar Caribe.

Según CIOH. (2003), se presentan dos situaciones con las corrientes mencionadas a saber: Una corriente que influye entre diciembre y mayo, en donde predomina la corriente oceánica del Caribe en dirección Suroeste y otra entre junio y noviembre en el que se manifiesta la contracorriente de Panamá.

El oleaje más frecuente y el más fuerte proviene del noreste; se destaca la presencia de un oleaje del norte con igual intensidad al del noreste pero con una menor frecuencia. El oleaje del norte y del noreste es propio de la época seca, es decir, la que se da entre los meses de diciembre y abril. Al llegar a la línea de costa los oleajes son difractados, generando de acuerdo a la pendiente de la playa rompientes de menor a mayor tipo spilling y cabeceo, ver **Figura 4**, igualmente puede ser surgente o de colapso cuando las pendientes son mayores de 11 grados.



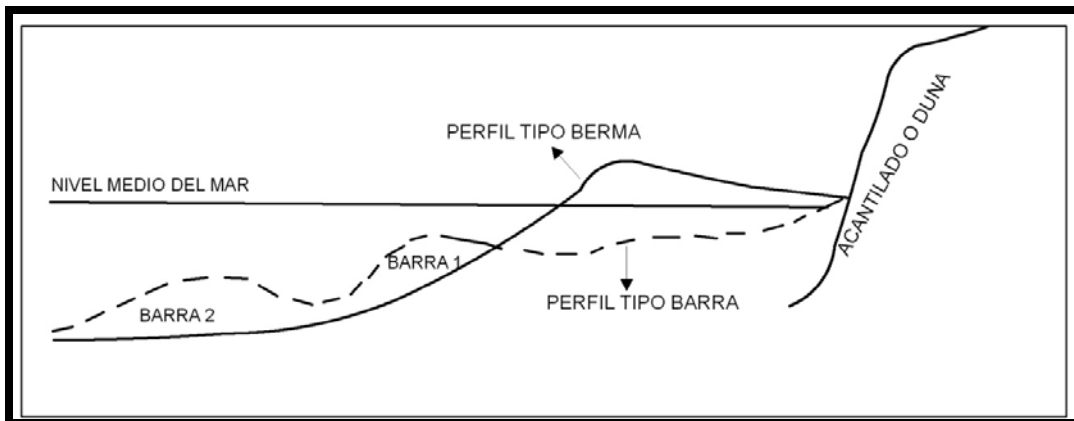
**Figura 4.** Vista de las rompientes tipo de desparramen o Spilling y cabeceo, característicos durante la época de verano, en las playas de la barra del Parque Isla de Salamanca en el Departamento del Magdalena. Nótese la intensidad y la amplitud; de las rompientes en dirección N-S, indicador local de una pendiente suavemente inclinada en la zona.

En lo que resta del año se presentan oleajes de muy variadas direcciones entre el noroeste y el suroeste y en raras ocasiones del oeste. En términos generales este oleaje es de menor intensidad aunque puede presentarse oleajes de intensidades fuertes de corta duración, debidos también a fenómenos meteorológicos extremos de corta duración.

### 1.3.2 Dinámica costera

La línea de costa y su comportamiento dinámico, involucra el material no consolidado que se extiende desde la línea de la más baja marea hasta el lugar donde se presenta un marcado cambio en las condiciones del material y la morfología de la playa, o en donde se inicie la línea de vegetación permanente; usualmente definido como el límite efectivo de las olas de temporal. El estudio realizado, se enfocó en esta última zona, caracterizada por su alta dinámica como consecuencia de los cambios cíclicos asociados con el clima y específicamente de las condiciones del oleaje que, afectan el Caribe colombiano.

Los cambios en las condiciones del oleaje se ven reflejados en los perfiles de las playas, los cuales bajo condiciones de baja energía presentan bermas anchas y su configuración submareal es de pendientes suaves, y con ausencia de barras o barras de muy baja altura. En contraste, las olas de mayor altura (verano) suelen destruir la berma como consecuencia de la fuerza de la rompiente (swash) en el frente de playa, y sus sedimentos son arrastrados mar adentro para formar un sistema de una o más barras paralelas a la costa (Figura 5).



**Figura 5.** Cambios en los perfiles de playa de acuerdo al periodo climático (Tomado de Komar, 1998).

Los cambios cíclicos o temporales en el contorno del perfil, pueden estar acompañados de tendencias constantes en el mediano y largo plazo como consecuencia de procesos acreción o erosión en la líneas de costa. Los factores que desencadenan estos procesos son múltiples y van desde cambios en el nivel del mar, procesos asociados a diapirosmo de lodo, hasta la intervención antrópica directa o indirecta sobre la zona costera. La velocidad del cambio en el litoral puede tener tasas del orden de centímetros (<1m/año) hasta tasas del orden de decenas de metros por año (>10 m/año). La detección de estos cambios requiere de un monitoreo permanente y el análisis de series de tiempo los cuales permiten evaluar las tendencias de acreción o erosión a lo largo de varios años. Esta última actividad puede ser realizada a través de herramientas como cartografía multitemporal, fotografías aéreas de diferentes años e imágenes de satélite entre otros.

#### **1.4 AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen el apoyo prestado en las actividades de campo y de laboratorio sedimentológico, a los funcionarios José Joaquín Beltrán y Jorge Bohórquez de la Unidad operativa de INGEOMINAS en Valledupar. El agradecimiento igualmente se hace extensivo al Ingeniero geólogo José Vicente Franco por el apoyo prestado en la elaboración del programa para el análisis granulométrico de las muestras de playa y al Ingeniero Fredy Díaz Mila por la colaboración en las actividades de localización de los puntos de inicio de los perfiles de playa de Isla Salamanca con GPS de alta precisión.

## 2. EVALUACIÓN MESOTEMPORAL DE CAMBIO DE LÍNEAS DE COSTA

La evaluación de los cambios de la línea de costa involucrada en en este estudio, se llevó a cabo por sectores, definidos acorde con los criterios indicados previamente.

### 2.1 EVALUACIÓN SECTOR DE COSTA 1.NORESTE DEL RÍO CÓRDOBA (982612E-1712833N) – CIÉNAGA (976820E - 1707490N)

En este sector las playas se caracterizan por ser angostas e intervenidas antrópicamente con espolones y muelles de embarque de carbón ubicados al noreste del Río Córdoba. Los sedimentos son color pardo claro a pardo oscuro, y están compuestos por una mezcla de material de origen biogénico y terrígeno (micas, fragmentos de cuarzo y gneis micáceo). La serie de perfiles realizados de nororiente a suroccidente va desde el perfil 159 al 150. Se tomó una muestra de sedimentos en la parte más profunda del perfil 159 (ver Anexo base de datos sector 2), encontrándose que estaba constituida casi en su totalidad por partículas de carbón.

Al suroeste del Río Córdoba se encuentra la población de Ciénaga, donde se han presentado procesos erosivos puntuales como el generado por el mar de leva ocurrido el 24 de noviembre de 2006. Este evento afectó las playas de algunos barrios del municipio, como es el caso del sector de Costa Verde.

Lo relacionado, permite establecer que frentes de baja presión generalmente originados en el Atlántico norte y acompañados de vientos fuertes, tienen un efecto erosivo sobre sectores con playas disipativas; este aspecto se maximiza en el caso de coincidir con un periodo de mareas altas.

En fotografías aéreas del año 1981, se observa una espiga asociada al Río Córdoba y frente al sector de Costa Verde, la cual no se observa en una serie de fotografías del año 1987 ni en años posteriores. La desaparición de esta espiga podría estar asociada a actividades de extracción de material sobre el río Córdoba que de no ser extraídos, serían una fuente de sedimentos para el sistema. Al revisar la página del Catastro Minero Colombiano (CMC) en enero de 2010, se encontró que existen en curso tres solicitudes para explotación de materiales de construcción que tienen sus puntos arcifinios sobre el río Córdoba y una sobre el río Toribio.



De acuerdo a testimonios de la zona, hubo un notable incremento de las tasas erosivas a partir de la construcción de una plataforma de embarque de carbón de una longitud total de 960 metros, localizada entre los Ríos Córdoba y Toribio. La longitud de la estructura a partir de la línea de costa hasta donde finaliza mar adentro es de 520 m. En inmediaciones de la mencionada estructura, se realizaron los perfiles 159 y 158 (ver Anexo base de datos 1), ubicados deriva arriba (al noreste) y deriva abajo (al suroeste) del muelle respectivamente, ver figura 6 y 7.

Cuando se compararon los perfiles, se observó que el perfil 158 presentó mayor pendiente submareal y un escarpe de berma que oscila entre 20 y 60 centímetros. Tal situación se atribuye al efecto reductor en la energía del oleaje generada por la estructura, lo cual a su vez produce una disminución en el transporte de sedimentos deriva arriba de la estructura).



**Figura 6.** Vista zona de toma de datos en el perfil 159.

Adicionalmente a la ausencia de un escarpe de berma pronunciado sobre el perfil 159, es común la presencia de *beach cusps* al noreste de este perfil, los cuales tienen una longitud de onda promedio de 5 metros y se extienden hasta el margen derecho hacia aguas arriba del Río Toribio, ubicado por fuera de la zona de estudio. Este tipo de geoforma generalmente está asociada a la presencia de olas de borde (*edge waves*), frente de playa de alta pendiente ( $7^\circ$  en nuestro caso particular para el perfil 158), sedimentos entre arena media y



grava, olas tipo surgente o *surging*, aproximándose perpendiculares o casi perpendiculares a la línea de costa, y un rango de periodos del oleaje estrecho (Dean y Dalrymple, 2001).

En el sector urbano de Ciénaga, ver **Figura 8**, las playas son estrechas y la parte trasera de la berma está ocupada por viviendas mientras que sobre el escarpe de la berma existen palmeras, algunas de ellas con sus raíces expuestas. Para la fecha en que se realizaron los perfiles (abril 27 de 2009), se observó un aumento en la pendiente del frente de playa de norte a sur (ver perfiles 154 a 152 con frentes de playa entre 7 y 10°), el cual parece estar asociado a un aumento de material tamaño grava. Es así como a la altura del perfil 152 (ver anexo base de datos), se encontraron varios puntos con acumulación de grava lista para ser comercializada.



**Figura 7.** Muelle adjunto al Río Córdoba y a perfiles 158 y 159.



**Figura 8.** Vista zona de la línea de costa en el sector urbano de Ciénaga Departamento del Magdalena. Nótese la fuerte pendiente del frente de playa.

Al avanzar en dirección suroeste a partir del pueblo hacia la boca de la ciénaga, se encuentra que, las playas aumentan en amplitud debido al efecto de espolón natural, que está haciendo la espiga a la altura del perfil 150 (976820E/1707490N), la cual ha permitido la acumulación sucesiva de sedimentos y la refracción del oleaje.

## **2.2 EVALUACIÓN SECTOR DOS (2) CIÉNAGA (976820E/1707490N) – TAJAMAR ORIENTAL RÍO MAGDALENA (915776E/1719915N)**

Comprende una longitud de 65 kilómetros y está enmarcado dentro de la línea costera que se encuentra ubicado dentro del Parque nacional Isla de Salamanca, incluyendo de igual manera el sector costero del Municipio de Pueblo Nuevo en el Departamento del Magdalena.

De oriente a occidente, comprende los perfiles 149 a 105 (ver anexo base de datos del estudio). Se caracteriza por la presencia de procesos erosivos severos, al punto que la erosión costera ha puesto en riesgo algunos sitios de la carretera Barranquilla-Santa Marta en los kilómetros 19-20 y 53-55 en la vía Ciénaga – Barranquilla, ver **Figura 9** (El Tiempo, 2009).



**Figura 9.** Vista del casco urbano del Corregimiento de Tasajera, población que está en amenaza por un proceso de erosión costera significativo.

Esta vía se ha constituido desde su construcción en una barrera artificial no sólo para el intercambio de agua entre las ciénagas y el Mar Caribe, sino también para el transporte de sedimentos desde el punto de vista eólico. A manera de ejemplo se cita el caso que ocurre 30 kilómetros al oeste del peaje de Tasajera, donde la arena que es transportada desde la playa hacia el continente es “atrapada” sobre el costado norte del terraplén que forma la vía (**Figura 10**), impidiendo el desarrollo natural del perfil de playa.



**Figura 10.** Terraplén de la vía Santa Marta-Barranquilla en inmediaciones del perfil 132 (ver base de datos anexa).

Las causas que explicarían los procesos erosivos que han predominado en el tramo durante las últimas tres décadas parecen ser la combinación de las condiciones locales y fenómenos de tipo global. Dentro de los primeras, cabe mencionar la escasas fuentes de sedimentos al norte de Ciénaga, constituidas por tramos cortos de acantilados y ríos con sus cuencas intervenidas y de corta longitud (ejemplo. ríos Córdoba, Toribio, Gaira).

Adicionalmente a éstas condiciones, el efecto espolón que constituye la playa existente a la salida de la Ciénaga Grande de Santa Marta a la altura de Pueblo Nuevo, se convierte en una limitante para la extensión de las playas entre Ciénaga y la desembocadura del río Magdalena; la construcción y prolongación de los tajamares en la desembocadura del río Magdalena, han tenido un efecto significativo en la estabilidad de la barra de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Los tajamares occidental y oriental localizados en la desembocadura del Río Magdalena al Mar Caribe, tienen una longitud para el año 2009 de 2,2 Km. y de 7,4 Km respectivamente. Esta infraestructura permite conducir los sedimentos del Río Magdalena a un cañón submarino, lo que ha generado un déficit de arenas para el mantenimiento natural de las playas entre Barranquilla y Cartagena (ALVARADO, 2005).

La prolongación de los rompeolas puede ser benéfica en términos de protección de puertos y dar facilidades de acceso a los muelles, gracias al

resguardo que ofrecen a las embarcaciones y reducción de la altura del oleaje. Sin embargo, este tipo de estructura también conlleva cambios en el sistema de corrientes, en el patrón del oleaje y de transporte de sedimentos. (HSU ET AL., 2007).

Tal parece ser el caso de Bocas de Ceniza. De acuerdo a Lonin (2004), puede ocurrir transporte de sedimentos desde la desembocadura del Magdalena cuando la dirección de propagación de la ola en aguas profundas tiene una componente pronunciada del norte. No obstante, los sedimentos son conducidos a una distancia tal de la línea de costa, que solamente olas de gran altura generados durante eventos extraordinarios podrían redistribuirlos. A esto debe añadirse que las corrientes litorales predominantes en el Caribe Colombiano tienen dirección norte-sur a noreste-suroeste. Corrientes con direcciones sur-norte a noroeste-sureste, son menos frecuentes e intensas, estando limitadas a la época de lluvias.

Otra evidencia de la escasez de sedimentos entrando al sistema se observa en el efecto nulo que han tenido los espolones instalados en el área. En dirección desde Tasajera hacia el tajamar oriental del río Magdalena, el primer espolón que se encontró dentro del tramo está ubicado sobre las coordenadas 921716E/1717651N. Este espolón, que está destruido en la parte central, ver **Figura 11**, no presenta acumulación de arena sobre ninguno de sus costados. Adicionalmente se ubicaron otros dos espolones en las coordenadas 919806E/1718133N y 918525E/1718372N, los cuales presentan escasa acumulación sobre su costado este.



**Figura 11.** Espolón destruido parcialmente, visto en direcciones EW y WE en inmediaciones de los perfiles 114 y 113 Parque Isla de Salamanca (ver base de datos anexa).

Los fenómenos de tipo global que podrían estar afectando este tramo están asociados con un eventual cambio en la intensidad de los vientos alisios. Debido a que la línea de costa tiene una dirección de Este-Oeste a N70W, recibe de manera casi ortogonal los vientos y el tren de olas predominantes en el área, que se aproximan con dirección ENE. Un aumento en la intensidad o frecuencia de los vientos alisios, favorecería el aumento del transporte de los sedimentos acumulados en las dunas y en las playas hacia el continente.

La intensidad de erosión generada en costas perpendiculares a la dirección de los vientos depende de la energía del oleaje incidente, como es el caso de este sector del Atlántico. Se destacan algunas evidencias a esta hipótesis como, árboles de mangle cubiertos de arena hasta las ramas, ver **Figuras 12 y 13**, disminución progresiva del espejo de agua en las ciénagas (un habitante y pescador de la Ciénaga Cuatro Bocas, reporta una pérdida o desplazamiento de la franja de manglar hacia el suroeste de aproximadamente 3 kilómetros en los últimos 25 años (ésta pérdida de manglar sobre el borde costero es “compensada” por el aumento de las coberturas de mangle al interior de las ciénagas, principalmente al noroeste de Manatíes) y una erosión alta de la línea de costa, con desplazamientos de hasta setecientos metros a partir de la década de los sesentas hasta la actualidad entre otros.

De acuerdo a lo anterior, se ha planteado a manera de hipótesis que está ocurriendo un desplazamiento permanente del perfil de playa hacia el continente. En sistemas en equilibrio, el material erodado durante una tormenta y que forma la barra espiga, retorna gradualmente a la playa bajo condiciones de *swell* (KOMAR, 1998). Sin embargo, en sistemas abiertos, donde la arena que sale del sistema no retorna al mismo (Por ejemplo arena depositada en las ciénagas), el perfil se ve forzado a retroceder constantemente (Figura 6, donde el perfil tipo barra correspondería a un perfil post-tormenta).





**Figura 12.** Árboles de mangle cubiertos por arena en inmediaciones del perfil 123 (ver base de datos anexa).

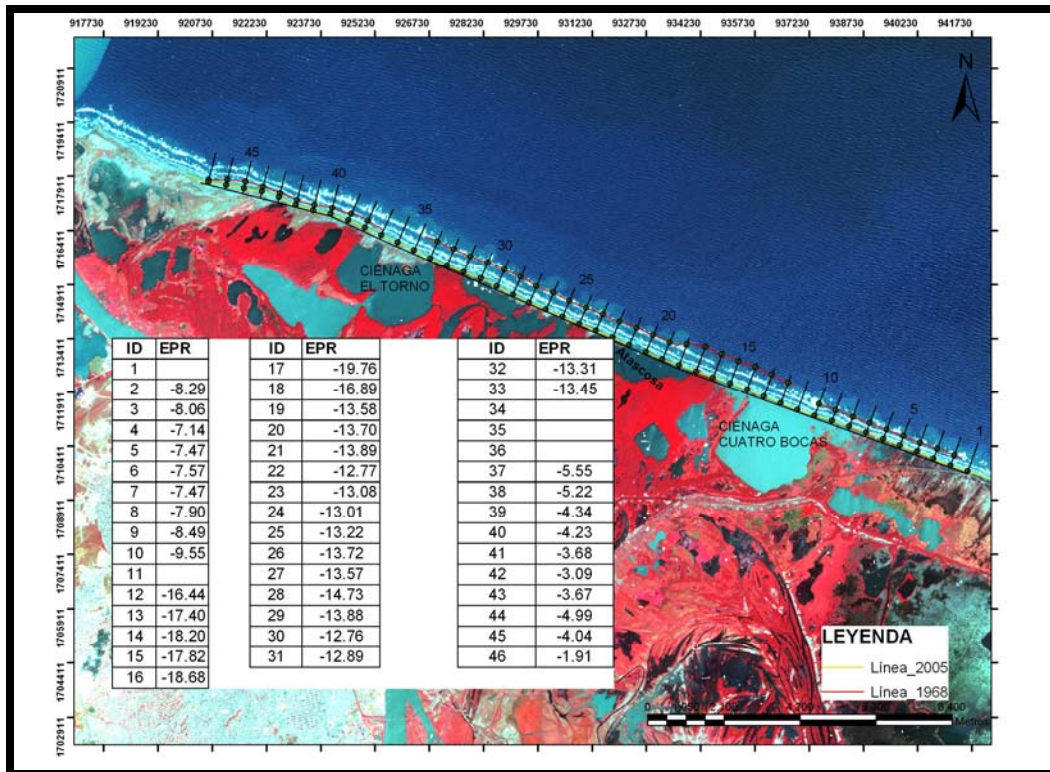


**Figura 13.** Troncos de árboles enraizados hasta a 15 metros hacia adentro de la línea de costa. Perfil 127 (base de datos anexa).

Con el fin de cuantificar el retroceso de la línea de costa, se realizó una comparación de las líneas de costa de 1968 y 2005 entre la ciénaga Cuatro Bocas y el tajamar oriental del Río Magdalena (**Figura 14**). La línea de 2005 se tomó de una imagen Spot, mientras que la línea de 1968 está basada en fotografías aéreas verticales, las cuales fueron georeferenciadas tomando puntos en común con la imagen SPOT de 2005. La georeferenciación se dificultó por la ausencia de infraestructura que sirviera como referente, por lo que la mayor parte de los puntos utilizados son referentes naturales como islas dentro de las ciénagas que han permanecido en el tiempo o los contornos o las bocas de las ciénagas.

El máximo error (por mínimos cuadrados) que se obtuvo en el proceso de georeferenciación fue de 18 metros. No obstante, en la mayor parte de los casos el error por el proceso de georeferenciación no sobrepasa los 10 metros. Para el periodo cuantificado (1968-2005) un error de 25 metros representaría valores anuales de 0,7 metros/año. Al observar la tabla inserta en la figura anexa, se encuentra que el menor valor obtenido es de -1.91 metros/año, el cual está por encima del margen error. Por lo tanto, aunque los valores que se cuantificaron no necesariamente reflejan con exactitud los valores de erosión en el periodo, sí son una muestra clara de la severidad que han tenido los procesos erosivos en el área, reportándose valores de hasta -19,76 m/año en el transecto 17, equivalentes a una pérdida total de 731 metros para el periodo medido. Es precisamente en el sector entre las ciénagas Cuatro Bocas y La Atascosa (transectos 12 a 18), donde se han encontrado los mayores valores de pérdida de litoral (Figura siguiente anexa).





**Figura 14.** Evolución del tramo Ciénaga Cuatro Bocas-Tajamar oriental del río Magdalena entre 1968 y 2005.

### 2.3 EVALUACIÓN SECTOR TRES (3). TAJAMAR OCCIDENTAL RÍO MAGDALENA – PUNTA SABANILLA (908515E/1713280N)

Tiene una longitud de 9 kilómetros e incluye los perfiles 104 al 96 (ver anexo base de datos perfiles). Aunque geomorfológicamente tiene unas características similares al sector de Isla Salamanca (playas disipativas limitadas por ciénagas bordeadas con manglar y dunas con alturas menores a 1 metro), se separó de dicho sector dado los cambios generados de depositación y oleaje producidos por el Río.

La influencia directa del río se ve reflejada en la alta dinámica, la abundancia de troncos in situ, bivalvos en zonas de playa, ver **Figura 15**, y sedimentos de origen terrígeno con abundancia de ferromagnesianos, minerales que le confieren un color oscuro a la arena.

En la serie de fotos del año 1947 se observa que desde el tajamar occidental del río se prolongaba una espiga que se extendía hasta el frente de la Ciénaga Mallorquín, protegiéndola del embate directo del oleaje. Dicha ciénaga está separada del océano por una barra que progradó en dirección suroeste a partir

del Río Magdalena, pero que en la actualidad presenta procesos erosivos, posiblemente asociados a la falta de sedimentos en el sector, por efecto del tajamar occidental sobre la barra que delimita la laguna costera correspondiente a la ciénaga. Es importante notar en la actualidad la formación de barras litorales en la punta del tajamar occidental por la gran cantidad de sedimentos que llegan canalizados por este tipo de estructuras y se acumulan en la punta, evitando el tránsito de los mismos hacia la barra espiga de la ciénaga de Mayorquín (**Figura 16**).



**Figura 15.** Vista de sectores de playa afectados por la acumulación de materiales de tipo continental, arenas y vegetación y aportes de deslizamientos en zonas acantiladas. Sector cercano a Punta Sabanilla.



**Figura 16.** Vista de espiga aledaña al tajamar occidental del Rio Magdalena en su sector SW; esta unidad tiene un carácter temporal de acuerdo con la estación climática respectiva; no obstante comienza a ser mayor la sedimentación que el transporte.

Al oeste de la Ciénaga de Mallorquín, en inmediaciones de Punta Sabanilla, se encuentran un afloramiento rocoso con cemento calcáreo y oquedades, compuesto principalmente por fragmentos de roca angulosos y selección pobre (1713281E - 908514N), el cual se atribuye a remanentes de plataformas arrecifales subrecientes, cubiertos de dunas parabólicas y longitudinales. En este sector en particular, se observa sobre las fotografías aéreas una serie de crestas de duna con dirección S48W (**Figura 17**).



**Figura 17.** Fotografía aérea de Punta Sabanilla tomada en febrero de 1947. Nótese la saliente rocosa de la plataforma arrecifal cubierta de dunas tipo parabólico y longitudinal, que localmente remontan la geoforma pre existente; igualmente la fuente de sedimentos asociada con la barra espiga de Mayorquín.

#### **2.4 EVALUACIÓN SECTOR CUATRO (4) PUNTA SABANILLA – PRADOMAR (904386E/1709107N)**

La longitud de este transecto es de 7.3 kilómetros y está definido morfológicamente en su mayor extensión por una zona acantilada, interrumpida en algunos sectores por pequeñas playas en bolsillo, resguardadas entre los promontorios rocosos como los de El Castillo y Punta Sabanilla (**Figura 18, 19 y 20**). El acantilado trasero que limita las playas, está conformado por calizas y areniscas calcáreas de la Formación Popa en sus dos miembros; sus flancos alcanzan alturas superiores a los 50 metros al norte de Pradomar (Martínez, 1993), presentado depósitos de fragmentos tamaño grava gruesa en su base. Como es natural, los perfiles realizados frente al acantilado son cortos, de alta pendiente y su berma está conformada por fragmentos tamaño grava (Anexo base de datos: perfiles 83 y 84).

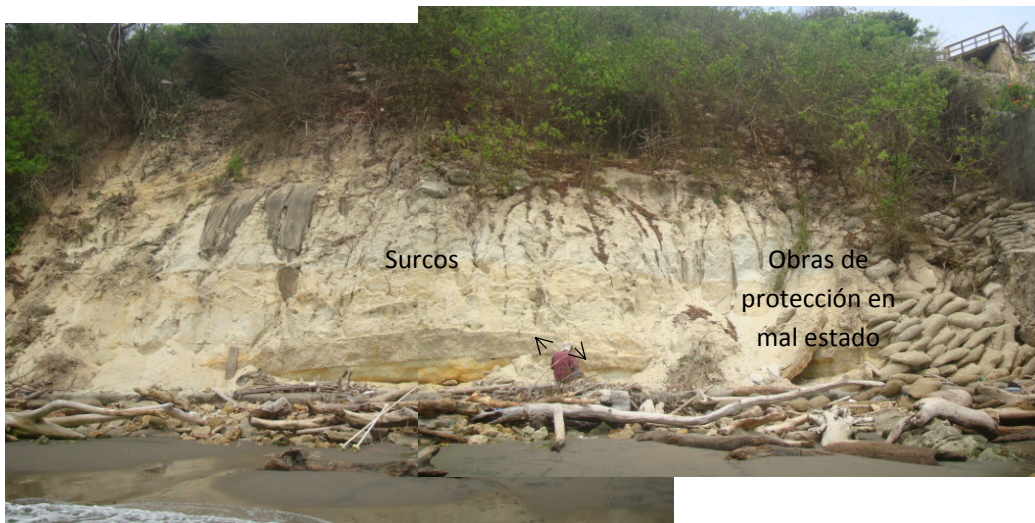




**Figura 18.** Playa estrecha entre El Castillo y Punta Sabanilla. La erosión es un proceso evidente a pesar del conjunto de espolones, dado por el déficit de sedimentos.



**Figura 19.** Vista del sector aledaño a El Castillo; nótese como la acción erosiva ha socavado gran parte de los antiguos muros de protección del talud adyacente a la línea de costa.



**Figura 20.** Detalles del acantilado en inmediaciones del perfil 84 (905456E/1710225N), en rocas calcáreas de la Formación La Popa afectada localmente por fallamiento con desplazamiento normal N40W/52SW. Nótese las obras de protección del talud totalmente deterioradas.

El carácter calcáreo y de textura arenosa que presenta la roca del acantilado, sumado a su altura, alta pendiente y manejo inadecuado de sus taludes, favorecen su inestabilidad. En el reconocimiento de campo realizado en mayo de 2009, se observaron procesos erosivos y obras de protección que buscan mitigar los procesos de erosión marcada e inestabilidad en los macizos rocosos aledaños a la línea de costa; sin embargo estas obras no han cumplido con su función de protección y parecen obedecer más a iniciativas puntuales que a un manejo integral del mismo, **ver Figura 20**.

Al sur de Punta Sabanilla se encuentra un proceso que bajo condiciones similares, se ha encontrado también en Pueblo Nuevo (Bolívar), Arroyo de Piedra y Punta Canoas; concerniente con la formación de barras asociadas a espigas arenosas en líneas de costa con dirección norte-sur ubicadas al sur de una saliente o promontorio rocoso, **ver Figura 17**. Estas geoformas, generan procesos de difracción del oleaje, disminuyendo su energía y permitiendo la depositación de los sedimentos. No obstante lo anterior, estas playas disipativas con plataformas amplias, como las que se encuentran al sur de Punta Sabanilla, la primera a aproximadamente 80 metros de la línea de costa), **ver Figura 18**, no pueden evitar la acción de los oleajes generados por frentes de baja presión y se presentan grandes retrocesos temporales de la línea de costa.

Es así como la marejada que se presentó entre el 11 y 15 de enero de 2010, con vientos sostenidos de 26 nudos (47 km/h) y olas de 3.5 metros de altura (EL Heraldó, 2010), inundó amplios sectores de playa en Sabanilla y Puerto Colombia (**Figura 21**). Como puede establecerse a partir de la experiencia de Cartagena, los espolones no necesariamente son una alternativa eficiente para mitigar este tipo de proceso.



**Figura 21.** Vista de las Playas de Sabanilla y Puerto Colombia bajo el efecto del temporal ocurrido el doce de Enero de 2010 (Fotos tomadas de El Tiempo y El Heraldó).

## **2.5. EVALUACIÓN SECTOR CINCO (5). PRADOMAR (904386E - 1709107N) – CERRO FURÚ (890321E - 1695846N)**

Este transecto tiene una longitud aproximada de 26 kilómetros, donde se establecieron los perfiles 56 a 81 (ver base de datos anexa). Es un sector con una alta dinámica reflejada en pérdidas y ganancias de playa del orden de centenares de metros en los últimos 50 años.

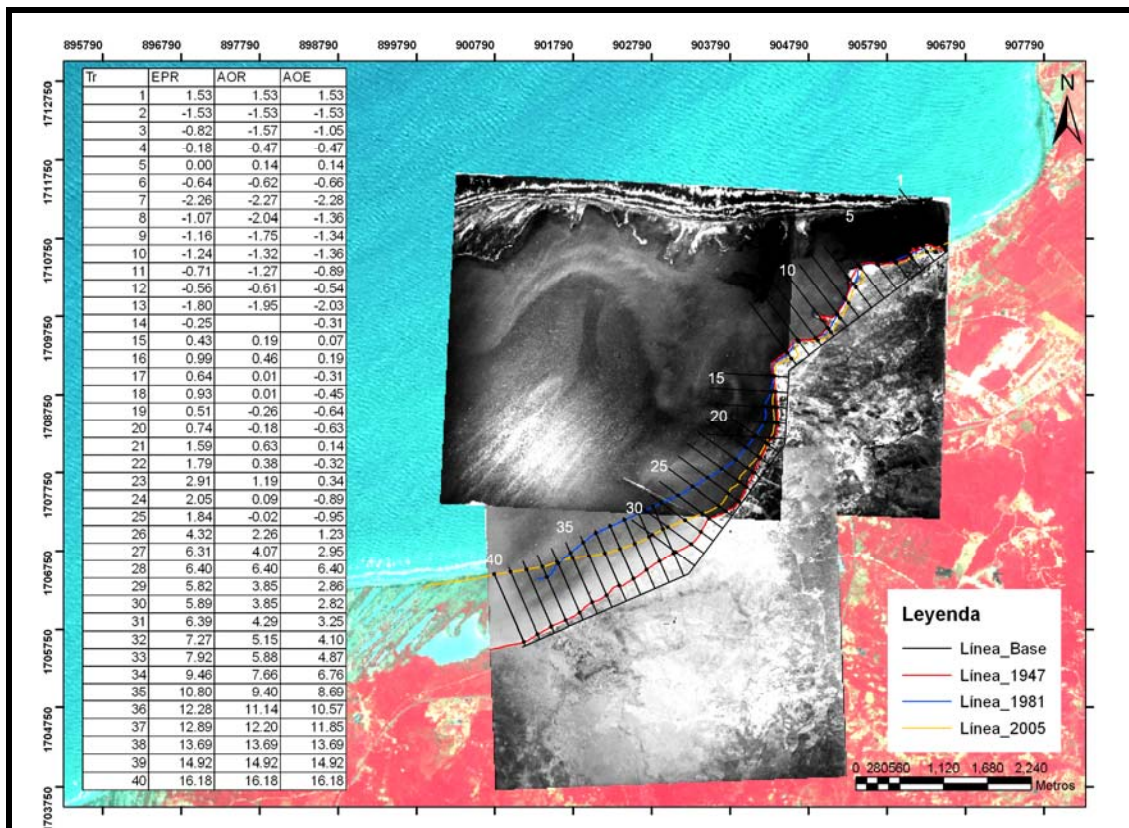
La serie de fotografías aéreas de febrero de 1947, indican que para esa época se prolongaba una espiga estrecha en dirección este-oeste desde Punta Sabanilla hasta el occidente de Puerto Colombia. Esta geoforma se constituía en un rompeolas natural que protegía el interior de la costa, ver imágenes de satélite e imagen de líneas de costa con carácter multitemporal de la **Figura 22**.

Como se ha indicado anteriormente, estas barras o espigas de arena, las cuales pudieren eventualmente evolucionar en barras espiga, tienen su origen a partir de salientes rocosos (Punta Sabanilla, El Castillo, Pradomar); éstos accidentes costeros refractan el oleaje afectando la deriva litoral. Las razones que dieron lugar a la desaparición de esta geoforma, ha sido atribuida a la prolongación del tajamar occidental del río Magdalena, asociada con cambios en el patrón



del oleaje y en la capacidad del mismo de transportar sedimentos (MARTÍNEZ Y OTROS 1990), sin embargo, la formación de espigas con estas características obedecen igualmente a cambios locales de la morfología de los fondos marinos cercanos, lo cual se ha establecido, se da como efecto de diapirismo de lodos, acorde con Carvajal y Otros (2010).

Los análisis de movimientos de la línea de costa en este sector, permiten establecer, que entre 1947 y 1981 predominaron los procesos acrecimiento de la línea de costa entre los transectos 23 y 40, ver **figura 22**. Igualmente se establece, que aunque ha existido una ganancia neta entre 1947 y 2005, entre 1981 y 2005 la tendencia de la línea de costa entre estos mismos transectos ha sido de retroceso.



**Figura 22.** Evolución del sector de línea de costa entre Salgar-Puerto Colombia entre 1947 y 2005. Nótese la espiga existente en 1947 al norte de Puerto Colombia.

Por otra parte, los transectos 1 a 22 (con excepción de los transectos 15 y 16), compuestos por acantilados, reflejan un retroceso continuo. Mientras se evidencia una acelerada progradación de las playas en Puerto Velero y Playa



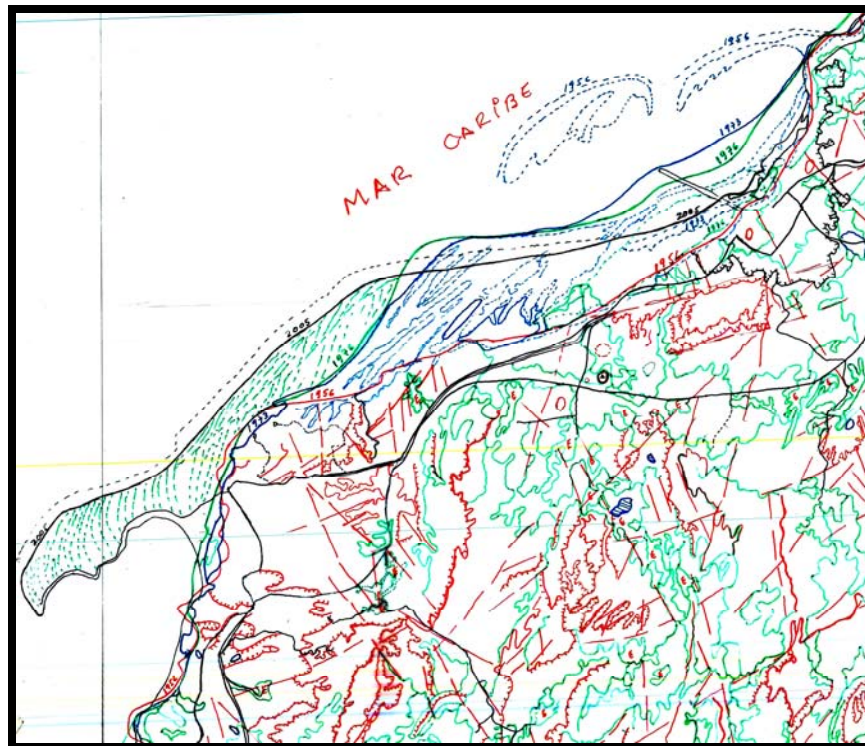
Mendoza, ubicadas al oeste y suroeste de Puerto Colombia respectivamente **(Figura 23 y 24)**.

Los cambios morfológicos establecidos, indican un desplazamiento de la sedimentación desde Puerto Colombia hacia el oeste. En playa Mendoza, el actual paleoacantilado era un acantilado activo en 1996, progradando desde ese año un total de 200 metros (Playascol Corp, 2008).

A pesar de que en el sector de Puerto Colombia ha existido progradación de la línea de costa, al perderse la espiga que estaba presente para la década de los cuarenta, y que hacía las veces de espolón, la línea de costa, se ha hecho más vulnerable a sufrir retrocesos acelerados como consecuencia de las olas de gran altura producto de eventos extraordinarios (tormentas, huracanes).



**Figura 23.** Vista de imagen de satélite georeferenciada a escala 1:25000 del sector Puerto velero – Playa Mendoza. Nótese la progradación de la espiga de Puerto Velero hacia el SW, cuyo avance en la actualidad continúa, siguiendo la tendencia a formar una laguna trasera de consideración. (Tomada de Mendivelso y Pinzón 2010).



**Figura 24.** Variaciones de la línea de costa en el sector de Puerto Colombia, basada en la interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite, Línea punteada azul y roja corresponden al año 1956, línea color verde corresponde al año 1976, línea color azul corresponde al año 1973 y la línea de color negro del año 2005, que corresponde a la línea de costa actual. Tomada de Mendivelso y Pinzón 2010.

Este sector se ha visto últimamente afectado por tormentas como la del siete de marzo de 2009 el doce de enero de 2010. La primera tormenta mencionada, rompió el muelle de Puerto Colombia construido desde 1893 (**Figura 25**).



**Figura 25.** Estado del muelle de Puerto Colombia luego de la tormenta del siete de marzo de 2009.



En el sector sur de este transepto, se encuentran Las playa de Santa Verónica, divididas por el río Juan de Acosta, es la primera de una serie de playas estrechas con forma de “Z” que se extienden hasta Galerazamba alineadas en dirección S70W a este-oeste y que se ubican entre salientes rocosas pertenecientes a las formaciones Hibacharo, Tubará, Las Perdices y Arjona.

La playa de Santa Verónica, tiene una orientación E - W, por lo que recibe el tren de olas proveniente del norte de manera ortogonal. Acorde con esta condición, los perfiles de playa 56 a 60 (ver base de datos anexa), con excepción del perfil 59 que se encuentra bajo la influencia directa del caño Juan De Acosta, presentan frentes de playa con pendientes entre 7 y 10°, dunas (intervenidas) en la parte trasera de la playa, y una fracción de los sedimentos tamaño grava.

En el reconocimiento de campo realizado en Santa Verónica durante el final de la época de verano en mayo de 2009, se encontró que la extracción de material de playa es una fuente de empleo en el municipio (**Figura 26**). Tal situación, se considera atenta contra la estabilidad de la línea de costa y puede desencadenar procesos erosivos en las playas.



**Figura 26.** Aspecto de las playas de Santa Verónica afectadas actualmente por extracción de material para la construcción. Nótese la gran cantidad de troncos y material vegetal traídos por las corrientes litorales desde el río Magdalena y acumulados en estas playas por su disposición ortogonal con la dirección de deriva litoral.

## 2.6. EVALUACIÓN DEL SECTOR SEIS (6). CERRO FURÚ (890321E-1695846N) – BOCATOCINO (875418E - 1686910N)

Este sector de línea de costa tiene una longitud de 19.5 kilómetros e incluye los perfiles 55 a 1 (ver base de datos anexa). Se caracteriza por la presencia de acantilados con una litología de diferentes orígenes (formación Hibácharo, y formaciones Arjona, Las Perdices, San Cayetano hacia Bocatocino); sus playas son estrechas en forma de “Z” o espiral entre las salientes rocosas. Martínez (1993) sugiere que la forma escalonada con salientes que se proyectan hacia el oeste entre Punta de Piedra y playa Santa Verónica, están relacionadas con tómbolos consolidados en la actualidad.

Varios autores han considerado el sector de la línea de costa desde el extremo oeste del Cerro Mahates hasta Cerro Furú como de tendencia rectilínea, con la presencia de bajos rocosos frente a la costa. Estos bajos estaban conformados por areniscas del terciario marino que terminaron unidos a través de tómbolos con el continente (**Figura 27**).



**Figura 27.** Aspecto de las Playas entre Cerro Mahates y Punta de Piedra en dirección N50E (883574E/1692105N). Perfil 28. Nótese el alineamiento del sector costero correspondiente con un control estructural determinado por varios autores.

El paralelismo que existe entre las playas desde Juan de Acosta hasta Galerazamba, con direcciones aproximadas este-oeste a suroeste, muestran una tendencia hacia el equilibrio en el largo plazo con respecto al oleaje predominante. Adicionalmente, el anticlinal de Manzanillo y las fallas Manzanillo y Villa Nueva del Totumo, ejercen un control estructural sobre esta parte del litoral, ver **figura 28** ubicada al este del perfil 7, base de datos, poniendo en contacto secuencias del Eoceno y Oligoceno.

Sobre el frente oeste del cerro Mahates se realizaron los perfiles 27 a 25 (ver base de datos anexa). Debido a la alta pendiente de la playa los perfiles son cortos y están limitados hacia el continente por un depósito de vertiente con bloques de volumen considerable y hacia el océano por la plataforma de abrasión y bloques de coral.



**Figura 28.** Detalles de los afloramientos en arenisca fina intercalada con lodolita perteneciente a la formación San Cayetano, localizados al NE Bocatocino. Estratificación N74E/74SE. (879889E - 1689669N). Nótese el alto grado de fracturamiento y fallamiento que afecta la secuencia sedimentaria.

En el frente de las playas del sector, es común la presencia de ferromagnesianos y de sedimentos tamaño grava. El Cerro Mahates hace parte de la formación Hibácharo; Allí se encontraron paquetes de arenisca con niveles fosilíferos con bivalvos y gusanos marinos y su estratificación medida correspondió con N75E/24SE, intercaladas con estratos de espesores en centímetros de lodolitas.



### 3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Las líneas de costa obedecen su configuración al control estructural que ejerce tanto la litología de los diferentes tipos de roca que afloran en el litoral, como la disposición estructural de las mismas y el grado de afectación por fracturamiento asociado con la tectónica imperante en el área. Tal situación se evidencia en el carácter festoneado de la línea de costa encontrada entre Ciénaga Magdalena y Bocatocino en el departamento del Atlántico.

Las costas alineadas en dirección norte-sur, están sujetas a una alta tasa de transporte de sedimento. Al presentarse suficiente sedimento en el medio y un obstáculo (saliente) difractor del oleaje, suelen formarse espigas y barras como consecuencia de la refracción del oleaje en dirección N - S. Este proceso se observó en el sector 2 en las playas de Sabanilla, Punta de Piedra (arroyo Cascabel), Cerro Furú, Puerto Velero (también conocido como Punta Caimán). En contraste, al suroeste del río Córdoba, en donde existe una saliente y una línea de costa con dirección norte-sur, no se encontró la ocurrencia del mismo proceso en las fotografías aéreas posteriores a 1981 (existe una línea de vuelo de 1987). Una de las razones que podría estar generando el déficit de sedimentos en el sector, son las actividades de extracción de material aluvial sobre los cauces de los ríos Córdoba y Toribio.

Otros sectores de playa, se caracterizan por estar en general orientadas en dirección cercana al E – W, lo cual define una disposición ortogonal con respecto a la dirección de deriva litoral. Tal situación genera tanto la acumulación a manera de trampas de los materiales provenientes del río Magdalena, particularmente troncos y material vegetal, como igualmente determina vulnerabilidad física ante el embate del oleaje proveniente del Norte, en particular durante los eventos de alta energía.

Las líneas de costa con direcciones aproximadas Este-Oeste a N70W reciben el patrón promedio de la dirección del tren de olas ortogonalmente. Bajo estas condiciones el transporte de sedimentos ocurre entre invierno y verano desde la berma hacia la barra(s) y viceversa, minimizándose el transporte por parte de la deriva litoral. Igualmente la energía del oleaje determina la intensidad de erosión en estos tramos de costa.

Líneas de costa con esta dirección se encuentran en Vía Parque Isla Salamanca y en las playas localizadas al suroeste de Santa Verónica hasta Galerazamba. Sin embargo, el severo retroceso que ha tenido la línea de costa en Isla Salamanca desde la década de los sesentas hasta la actualidad,

indica que hay una pérdida constante de los sedimentos en el sistema. Se plantea la hipótesis de que los sedimentos están siendo arrastrados en dirección sur-suroeste por energía del oleaje, con la contribución importante de la acción eólica hasta las ciénagas existentes en la parte trasera de la playa, y que una vez allí, se pierden del sistema, contribuyendo a la acelerada disminución de los espejos de agua. La plantación de barreras vivas en la parte trasera de la playa podría ayudar a mitigar esta problemática.

La evolución geomorfológica de la región involucra la formación de grandes espigas dispuestas de manera perpendicular a la línea de costa, lo cual no es típico de estas geoformas, que se disponen en general en dirección de la deriva litoral predominante. Tal situación se atribuye a cambios en la morfología de la plataforma continental cercana, lo cual se ha asociado de acuerdo con Carvajal y Otros (2010) a actividad tectónica favorecida por diapirismo de lodos.

La ocurrencia de tómbolos atribuidos a salientes rocosas remanentes, al menos localmente, se pueden atribuir a la ocurrencia del diapirismo de lodos, típico de la plataforma marina aledaña, incluida en el Cinturón del Sinú, donde el fenómeno es común.

#### 4. CONCLUSIONES

- La evolución del paisaje de la zona costera en la mayoría de los sectores rocosos presenta un control estructural y evoluciona de acuerdo con la resistencia diferencial de las rocas y sedimentos.
- La deriva litoral y el oleaje influyen de igual manera en el modelado de la costa y en un alto porcentaje en el sector de estudio, predominan los procesos erosivos sobre la depositación; de igual manera el hombre ha tenido una alta influencia en el cambio de la morfología y dinámica de los sedimentos.
- La tectónica imperante influenciada por el fenómeno de diapirismo de lodos, influye en forma importante en el modelamiento de la plataforma continental adyacente a la línea de costa en sectores como al sur de Puerto Colombia y hacia Bocatocino, lo cual determina el comportamiento dinámico de las costas adjuntas.
- Frentes de baja presión que generalmente tienen origen en el Atlántico norte entre noviembre y febrero y que suelen estar acompañados de fuertes vientos, tienen un efecto erosivo sobre sectores con playas disipativas. Este efecto se ve maximizado en caso de coincidir con un periodo de mareas altas.
- Las costas alineadas en dirección norte-sur, están sujetas a una alta tasa de transporte de sedimento. Al presentarse suficiente sedimento en el medio y un obstáculo (saliente) difractor del oleaje, suelen formarse espigas y barras como consecuencia de la refracción del oleaje en dirección N - S. Este proceso se observó en el sector 2 en las playas de Sabanilla, Punta de Piedra (arroyo Cascabel), Cerro Furú, Puerto Velero (también conocido como Punta Caimán). En contraste, al suroeste del río Córdoba, en donde existe una saliente y una línea de costa con dirección norte-sur, no se encontró la ocurrencia del mismo proceso en las fotografías aéreas posteriores a 1981 (existe una línea de vuelo de 1987). Una de las razones que podría estar generando el déficit de sedimentos en el sector, son las actividades de extracción de material aluvial sobre los cauces de los ríos Córdoba y Toribio.

- Las líneas de costa con direcciones aproximadas Este-Oeste a N70W reciben el patrón promedio de la dirección del tren de olas ortogonalmente. Bajo estas condiciones el transporte de sedimentos ocurre entre invierno y verano desde la berma hacia la barra(s) y viceversa, minimizándose el transporte por parte de la deriva litoral. Igualmente la energía del oleaje determina la intensidad de erosión en estos tramos de costa. Líneas de costa con esta dirección se encuentran en Vía Parque Isla Salamanca y en las playas localizadas al suroeste de Santa Verónica hasta Galerazamba. Sin embargo, el severo retroceso que ha tenido la línea de costa en Isla Salamanca desde la década de los sesentas hasta la actualidad, indica que hay una pérdida constante de los sedimentos en el sistema. Se plantea la hipótesis de que los sedimentos están siendo arrastrados en dirección sur-suroeste por energía del oleaje, con la contribución importante de la acción eólica hasta las ciénagas existentes en la parte trasera de la playa, y que una vez allí, se pierden del sistema, contribuyendo a la acelerada disminución de los espejos de agua. La plantación de barreras vivas en la parte trasera de la playa podría ayudar a mitigar esta problemática.
- Es reconocido que la extracción de material de playa tiene un efecto acumulativo sobre el balance sedimentario de las playas. En el área de estudio se identificó este tipo de práctica en los poblados de Santa Verónica y Ciénaga, lo cual puede ir en detrimento de la estabilidad de la línea de costa, no sólo en los sitios donde se realiza la extracción sino también deriva abajo de los mismos.
- El sector acantilado entre Punta Sabanilla y Salgar, que hace parte de la formación La Popa, está compuesto por areniscas y calizas arrecifales de baja cohesión, con un ángulo de fricción interna bajo, alturas de hasta 50 metros y con techos de taludes que sirven como sitios de empozamiento. Si a esto se le suma el impacto constante del oleaje en su base y un manejo inadecuado de las aguas residuales, puede concluirse que la infraestructura localizada sobre ellos presenta una alta vulnerabilidad, que sólo puede ser mitigada mediante reubicación o en caso de que la reubicación no sea viable, con estructuras paralelas en concreto que protejan la base del talud. Debe anotarse que este tipo de estructuras tiene altos costos y requiere un mantenimiento permanente. Adicionalmente, los sedimentos erodados del acantilado se constituyen en una fuente de sedimentos para las playas localizadas al oeste y suroeste de Puerto Colombia.
- En el frente de playa de la ciénaga de mallorquín, han ocurrido retrocesos de la línea de costa que están asociados a la disminución o déficit de sedimentos aportados por el río Magdalena por efecto de la construcción de los tajamares. A esto se suma la pérdida de manglar y la alta

contaminación que sufre la ciénaga por vertimiento de aguas residuales contaminadas.

- La boca que comunica el mar con la Ciénaga Grande de Santa Marta a la altura de Pueblo Viejo, ha generado procesos de acrecimiento al noreste de la desembocadura. Allí se forma una playa a manera de espiga que hace las veces de espolón natural, reteniendo buena parte de los sedimentos que de otra manera, alimentarían las playas de Isla Salamanca.

## 5. RECOMENDACIONES

En desarrollo del monitoreo, caracterización y evaluación de los litorales costeros, se desarrolló una base de datos y un modo de presentar los mismos, usando el Sistema ARCGIS. Dada la gran cantidad de datos obtenidos es imperativo desarrollar una forma de mostrar los mismos de una manera sistemática y sistémica mediante un sistema de Información Costero. Es recomendable retomar lo liderado por el Instituto de Geología y Minería INGEOMINAS en este aspecto.

Un sistema como el planteado, entregará a la comunidad información básica requerida, con fines de mitigar el impacto ante el Cambio Climático Global, conocimiento de las zonas costeras en la implementación de infraestructura ya sea vial o portuaria, evaluación de amenazas por Tsunamis y estabilidad de taludes en márgenes costeros entre otros.

El manejo de la información, se hace mediante el uso de la tecnología de Sistemas de Información Geográfica, siendo el sistema Arc Gis el empleado por Ingeominas para este estudio.

El Sistema de información costero propuesto, permite el manejo espacial de los datos, en lo referente a: Captura y entrada, manipulación y transformación, Interrogaciones, análisis, modelamiento y, visualización.

Las funciones referidas permiten contar con una mayor versatilidad en el manejo de la información, permitiendo contar con documentos y mapas que describan el área, y la posibilidad de crear nuevos datos y finalmente continuar una permanente actualización.

Esta reflexión es interés primordial en las actividades de la planificación, dado que el SIG trabaja con datos reales, siendo posible implementar modelos que permitan predecir cuáles serán las tendencias futuras o qué efectos se producirán en caso de que cambien algunos de los elementos de la zona de estudio.

Se sugiere terminar el estudio con base en un análisis técnico minucioso que permita llevar a cabo todas las actividades específicas para lograr un



entendimiento adecuado de los procesos que intervienen en la dinámica costera para el sector de estudio.

Esta actividad requiere de un grupo multidisciplinario de estudio con experiencia en dichas actividades; la falta de personal participante se ve reflejada en los resultados del estudio y obviamente en la terminación dentro de los plazos establecidos para su entrega.

El Ingeominas debe continuar con este tipo de investigaciones, bajo las directrices de la Subdirección de Geoamenazas Ambientales, como una función social y de desarrollo de nuestros litorales aportando información técnico-científica que pueda ser utilizada por entes tomadores de decisiones y planificadores a nivel local y nacional. Lo anterior es válido, máxime cuando se comienzan a implementar obras de infraestructura requeridas para el desarrollo del país mediante tratados de libre comercio, implantación de puertos y consideraciones de análisis con respecto al los eventos que se puedan presentar como producto del Cambio Climático Global y los fenómenos climáticos continuos que actúan sobre el litoral

Se recomienda adelantar un trabajo de socialización del proyecto, especialmente con las comunidades a donde se va a ingresar para realizar la toma de datos, igualmente presentar el proyecto a las Universidades y Corporaciones de la región.

## 6. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- CARVAJAL José Henry 1992 a Características sedimentológicas de la plataforma continental frente a Galerazamba. Informe 2173 INGEOMINAS Cartagena de Indias.
- CARVAJAL J H, MENDIVELSO D, FORERO H, CASTIBLANCO C, PINZÓN L Y PRADA M., 2010. Investigación del diapirismo de lodos y evolución costera del Caribe Colombiano. Geomorfología Sector 1. 207 p. Informe INGEOMINAS inédito. Bogotá
- CORREA Iván Dario 1998. Amenazas geológicas asociadas al fenómeno del Diapirismo de Lodos, referencia Urbanización El Rodeo. Concepto técnico para CARDIQUE. 13 p. Informe inédito. Cartagena de Indias.
- DUQUE CARO H. 1984. Estilo estructural de diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú, San Jacinto, Boletín Geológico Ingeominas 27
- DUQUE Hermman 1980. Geotectónica y evolución de la región noroccidental colombiana.
- DUQUE Hermman 1984. Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú - San Jacinto en el Noroccidente de Colombia. Boletín Geológico INGEOMINAS vol. 27 No.2 pp.1-29 Bogotá.
- MARTINEZ J O, PILKEY O AND NEAL W., 1990. Rapid formation of large coastal sand bodies after emplacement of magdalena River jetties, northern Colombia. Environment Geol Water Science. Vol 16, N° 3, 187 – 194. Springer – Verlag. New york.
- MARTINEZ JAIME ORLANDO., 1993. Geomorfología y Amenazas geológicas de la línea de costa del Caribe Central Colombiano. INGEOMINAS. Publicación Geológica especial N°19. 62 p. Bogotá.
- MARTINEZ JAIME ORLANDO Y OTROS .1996. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral caribe Colombiano. Ingeominas I-2197.

- MENDIVELSO, DOMINGO Y PINZÓN LYDA., 2010. Investigación del diapirismo de lodos y evolución costera del Caribe Colombiano. Geomorfología Sector 2. 150 p. Informe INGEOMINAS inédito. Bogotá
- PELGRAIN ARNOLD., 1990. Rasgos tectónicos y estilo estructural de la margen activa noreste colombiana. Informe CIOH. 51 p. Cartagena
- REYES Germán y Barboza G 1996. Memorias geológicas de la plancha 30. Informe borrador inédito. Santafé de Bogotá.
- SÁNCHEZ G. A. Y OTRO. 1991. Aspectos geomorfológicos y cartográficos del Litoral Caribe entre las desembocaduras de los ríos Magdalena y Sinú.
- VERNETTE George., 1985 La plateforme Continentale Caraibe de Colombie. Importance du diapirisme argeliaux Sur la Morphologie et la Sedimentation 387 p. These de doctorat Universidad Bordeaux. Francia.