



**“CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL
CORDÓN DE DUNAS ENTRE LOS KM 26 y 28 DEL VÍA PARQUE ISLA DE
SALAMANCA-VIPIS-, DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA”**

DALMIRO GÁMEZ RAMÍREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-UIS
FACULTAD DE FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2011**



“CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS ENTRE LOS KM 26 y 28 DEL VÍA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS-, DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA”

**AUTOR
DALMIRO GÁMEZ RAMÍREZ**

Trabajo de grado presentado para obtener el título de GEÓLOGO

DIRECTOR DE TESIS

CARLOS A. RÍOS REYES
PhD en Ciencias Ambientales-Profesor Titular UIS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-UIS
FACULTAD DE FISCOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2011**

DEDICATORIA

*Es grato poder llegar a un momento como este,
En donde el esfuerzo y la dedicación
De muchos se vé reflejada acá,
Por eso dedico este triunfo
A mis Abuelitos, Padres,
Familia y Amigos*

*"Que otros se jacten de las páginas que han escrito;
a mí me enorgullecen las que he leído."
-Jorge Luis Borges*

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis grandes agradecimientos a:

Mis profesores de la Escuela de Geología por compartir conmigo su conocimiento, en especial al Profesor Carlos A. Ríos Reyes, por brindarme su apoyo, asesoría y dirección a lo largo de la realización de este proyecto.

A las personas de Bienestar Universitario, Alix, Don Jaime, las señoras de Comedores que tuvieron la suficiente paciencia para soportar mis locuras y ser un apoyo incondicional en mi academia.

A Mario, Nando, Aldemar, Johan, Pacho, Ralph, Fabio, Sandrita, Laurita, Magda Liliana, Mayrita, Vane y claro a todos lo personas que interactuaron conmigo durante mi estadía en la Universidad.

Al Invemar y a todas las personas que están vinculadas a él, sobre todo a los del Programa De Geociencias Marinas, a Geo por darme la oportunidad de desarrollar y asesorarme en mi tesis , a Blanquita por enseñarme, guiarme y hacerme caer en cuenta de los errores , David por brindarme su casa y su amistad, Felipe por ser tan sincero, calmado y soportar un poco mis arrebatos, al Willian por su valioso apoyo y paciencia, Carlos Henry por su amistad y carisma, Dianilla por su buena energía, risa y colaboración con las dibujos y esquemas de la tesis , a Javier “EL Advisor” por ser una persona incondicional, motivadora, sincera, confiable, respetuosa y un ejemplo a seguir por su dedicación y compromiso con el trabajo y por hacer bien las cosas, y aunque Erika no hace parte del programa de GEO quiero agradecerle por sus sabios, motivadores y excelentes consejos.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1. JUSTIFICACIÓN	17
1.2. OBJETIVOS	17
1.2.1. Objetivos Generales	17
1.2.2. Objetivos Específicos	17
1.3. ANTECEDENTES	18
2. ÁREA DE ESTUDIO	21
2.1. LOCALIZACIÓN	21
2.2. VÍAS DE ACCESO	22
2.3.1. Clima	22
2.3.1.1 Temperatura	22
2.3.1.2. Precipitación	23
2.3.1.3. Viento	23
2.3.2. Oleaje	24
2.3.3. Mareas	24
2.3.4. Deriva Litoral	24
2.3.5. Corrientes	25
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.1. METODOLOGÍA	26
3.2. TRABAJO DE CAMPO	26
3.2.1. Levantamiento Topográfico	26
3.2.2. Levantamiento Geomorfológico	27
3.2.3. Caracterización Sedimentológica	27
3.3. TRABAJO DE OFICINA	28
3.3.1. Consecución y análisis de información secundaria	28
3.3.2. Fotointerpretación	29
3.3.3. Cartografía de Unidades Geomorfológicas	30
3.3.4. Análisis de perfiles topográficos	31
3.3.5. Evaluación de la evolución de la línea de costa	31
3.3.6. Informe final	31
3.4. TRABAJO DE LABORATORIO	31
3.4.1. Análisis Granulométricos	31
3.4.2. Análisis texturales y composicionales	33
4. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA	34
5. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA	36
5.1. GEOMORFOLOGÍA GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	36

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA	
5.1.1. Playas	36
5.1.2. Planos de Inundación (bajos de inundación, Cubetas de derrame, <i>Swale</i>)	39
5.1.3. Pantano intermareal	40
5.1.4. Dunas	42
5.1.4.1 Tipos de dunas costeras	44
5.1.4.2 Elementos principales de una duna y dinámica de desplazamiento	45
6. CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA DE LAS DUNAS ESTUDIADAS	48
6.1. ESTADO ACTUAL DE LAS DUNAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	50
6.2. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	52
6.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LAS DUNAS Y LOS DEMÁS ESPACIOS DE SEDIMENTACIÓN PRESENTES EN EL ÁREA	55
7. VARIABLES GEOLÓGICAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	62
7.1. CAMBIOS DE LA LÍNEA DE COSTA	62
7.2. PERFILES TOPOGRÁFICOS	64
7.3. PROCESOS EROSIVOS	66
8. CONCLUSIONES	70
9. RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFIA	72
ANEXOS	75

LISTADE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Zona De Estudio Del Proyecto	21
Figura 2. Rosa De Vientos Del Km 19-20+600.Tomado De Cioh, 2007	23
Figura 3. Dinámica Litoral Frente A La Barra De Salamanca. A. Deriva Litoral (Flechas Azules) Y Corrientes Entre Las Isobatas 3-8 (Rojas) Y 8-20 (Negras) Metros. Tomado De Cioh, 2002	25
Figura 4. Perfiles. A) Perfil Longitudinal; B) Perfil Transversal	27
Figura 5. Geoformas En El Área De Estudio, Tomando Como Punto De Referencia A Kangarú. (Foto Von Erffa Y Wiedemann, 1970)	30
Figura 6. Geoformas En El Área De Estudio, Tomando Como Punto De Referencia A Kangarú Foto Cortesía De Von Erffa Y Wiedemann, 2009	30
Figura 7. Análisis Sedimentológico En El Laboratorio. A) Muestra Inicial; B) Muestra Seca Y Pesada; C) Tamizaje; D) Muestra Clasificada Según El Tamiz; E) Testigo De La Muestra	32
Figura 8. Mapa De Terrenos Etayo <i>Et Al.</i> , 1983	34
Figura 9. Playa Típica Del Área De Estudio	37
Figura 10. Playa Del Área De Estudio En El Mes De Marzo	37
Figura 11. Playa Del Área De Estudio En El Mes De Abril	37
Figura 12. Playa Del Área De Estudio En El Mes De Mayo	38
Figura 13. Frente De Playa Menor A 1 M (Duna Expuesta Al Oleaje)	38
Figura 14. A) Niveles De Bermas En Forma De Gradass; B) Laminación Plano Paralela Con Diferenciación Por Minerales Claros Y Oscuros En El Escarpe De La Berma	39
Figura 15. Zona De Inundación Vegetado Por Pastos	39
Figura 16. Zona De Inundación Con Agua Y Grietas De Desecación	40
Figura 17. Costras De Sal En Los Bordes Del Plano De Inundación	40
Figura 18. Caños De Intercomunicación Entre El Pantano Intermareal	41
Figura 19. Zona De Manglar Muerto Pantanoso	41
Figura 20. Zona De Manglar Al Lado Sur De La Carretera	42
Figura 21. Tipos De Dunas Más Comunes. Tomado De Gómez Y Carvajal, 2011.	45
Figura 22. Componentes De Una Duna	46
Figura 23 .Dinámica De Desplazamiento. Modificado De Martínez, 1984	46
Figura 24. Estratificación De La Duna. Tomado De Martínez, 1984	47
Figura 25. Esquema Generalizado Del Cordón Dunar En El Área De Estudio	48
Figura 26. Duna Parabólica	49
Figura 27. Duna Parabólica Digitada O Con Lóbulos	49
Figura 28. Duna Parabólica Con Superficies De Deflación (Blowouts) Rellenada Por Sedimento De Playa	50

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

Figura 29. Superficies De Deflación (Blowouts) En Medio De Las Zonas Laterales De Duna Parabólica	50
Figura 30. Altura De La Duna	51
Figura 31. Longitud Del Campo Dunar	51
Figura 32. Duna Estabilizada En El Área De Estudio	52
Figura 33. Estratificación Cruzada En La Duna	53
Figura 34. Estratificación Plano Paralela De La Playa	53
Figura 35. Estratificación Plano Paralela De La Playa En Contacto Con La Estratificación De La Duna De Los Foreset	53
Figura 36. Ripples Indicando Dirección Del Viento. A) Ripples En Dirección Del Viento; B) Ripples Rodeando Protoduna O Duna En Formación	54
Figura 37. Composición Mineralógica De Los Sedimentos	59
Figura 38. Valores Promedio De Los Parámetros Granulométricos Estadísticos De Las Muestras	60
Figura 39. Sedimentos A) Sedimento Playa; B) Sedimento Duna; C) Sedimento Playa Trasera. (Fotos Tomadas Con La Cámara Cemx Dc 1300)	61
Figura 40. Cambios En La Línea De Costa	64
Figura 41. Perfiles De Playa Generalizado Para La Barra De Salamanca. Modificado De Bernal (1995)	65

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla de Sedimentos por tamiz	57
Tabla 2 Composición mineralógica de los sedimentos	58
Tabla 3. Clasificación de los sedimentos del área de estudio elaborada en Gradistat Según Folk y Ward	59
Tabla 4.Principales parámetros estadísticos de los sedimentos analizados	60
Tabla 5. Cambios en la Línea de Costa de los diferentes años	63
Tabla 6. Promedio del cambios en la Línea de Costa de los diferentes años	63

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Mapa Geomorfológico del área	75
Anexo 2. Perfiles Topográficos Longitudinales y transversales	76
Anexo 3. Modelo 3D del Área	77

RESUMEN

TÍTULO: Evaluación geomorfológica y de procesos erosivos del cordón de dunas entre los km 26 y 28 del Vía Parque Isla de Salamanca- VIPIS (Departamento del Magdalena)*

AUTORES: Gámez-Ramírez, D **

PALABRAS CLAVES: Erosión costera, campos de dunas, dunas activas, dunas estabilizadas, dunas parabólicas, Barra de Salamanca

DESCRIPCIÓN:

Para entender el proceso de erosión de las dunas y su interacción con el sistema costero, se realizó el presente estudio, en un sector de la carretera Barranquilla-Ciénaga en el Vía Parque Isla Salamanca - VIPIS, sector Kangarú, donde se analizaron las características sedimentológicas, morfológicas, procesos y causas de la erosión de las geoformas eólicas. Se midieron perfiles topográficos longitudinales y transversales a las dunas y se tomaron y analizaron muestras de sedimentos; se elaboró un modelo 3D del área de estudio donde se ubicó el campo de dunas y se estableció su relación con las zonas deprimidas. Finalmente se hizo un análisis histórico de la posición de la línea de costa en el sector.

Actualmente, el campo de dunas que sirve como barrera de separación entre el continente y el mar, presenta una marcada erosión donde la costa ha retrocedido entre 179 y 143 m en los últimos 44 años, lo que ha significado una pérdida importante de sedimentos del sistema. El campo de dunas presenta dunas con amplitudes entre 30 y 140 m, alturas entre los 0,3 y 8 m y longitudes entre 0,4 y 140 m aproximadamente.

Geomorfológicamente las dunas estudiadas son parabólicas paralelas al viento y tienden a formar un cordón de dunas, resguardadas por pequeños pantanos de manglar y ubicadas a lo largo del litoral de la barra de Salamanca; se identificaron dunas activas, parcialmente cubiertas por vegetación halófila, ubicadas en el centro de área y dunas inactivas, estabilizadas con vegetación que se ubican en las zonas extremas del área de estudio.

* Trabajo de grado, modalidad investigación

** ** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología. Director: Ph.D Carlos A. Ríos.

ABSTRACT

TITLE: Geomorphological assessment of the dune cordon between Kilometers 26 and 28 at Via Parque Isla Salamanca - VIPIS, (department of Magdalena)* and characterization of the erosive processes that occur there.

AUTHORS: Gámez-Ramírez, D **

KEYWORDS: Coastal erosion, Sand dunes, dune field, dune cordon, active dunes, stabilized dunes, parabolic dunes, Salamanca bar.

DESCRIPTION:

The present study was carried out in a section of the road Barranquilla - Ciénaga at Via Parque Isla Salamanca - VIPIS, at Kangarú zone. In order to understand the erosion process of the dunes and their interaction with the coastal system, the sedimentary characteristics, morphological processes and causes of erosion of eolic landforms were analyzed. To do so, topographic profiles were measured along and across the dunes and sediment samples were collected and analyzed. A 3D model of the study area was obtained, which depicts the dune field and its relationship with the depressed areas. Finally a historical analysis of the position of the coastline in the sector was made.

Currently, the dune field that serves as a separation barrier between the mainland and the sea, exhibit pronounced erosion, where the coastline has retreated between 179 m and 143 m in the last 44 years, which denotes a significant loss of sediment from the system. The dune field has dunes with amplitudes between 30 m and 200 m, heights between 0.3 m and 8 m and lengths between 0.4 m and 100 m approximately.

From a geomorphologic perspective, the studied dunes are parabolic type, with the major axis oriented parallel to the wind. When these dunes are side by side, they tend to form a dune cordon, protected by small mangrove swamps on the front, and located along the coastline of the Salamanca bar. Also, some active dunes were identified in the central sector of the study area which are partially covered by halophytic vegetation, while inactive dunes are present at the ends of the area where they are stabilized with vegetation

* *Degree project, research modality*

** *Faculty of Physicochemical Engineering, Geology School. Director: Ph.D Carlos A. Ríos.*

INTRODUCCIÓN

Un proceso erosivo generalizado y que involucra diferentes sistemas costeros se evidencia actualmente en los litorales colombianos y particularmente tiene efectos en las geoformas de dunas que se extienden a lo largo del litoral Caribe Colombiano. En este trabajo se propuso estudiar las dunas costeras que se encuentran ubicadas en la barra de Salamanca, a lo largo la carretera Barranquilla-Ciénaga, y que constituyen barreras de separación entre las lagunas costeras y el mar en el VIPIS. Esta zona costera día a día está siendo afectada por la pérdida de sedimentos que dejan la parte frontal de las playas y las dunas desprotegidas frente a la erosión causado por los diferentes factores que afectan los litorales, mostrado de esta manera una tendencia a desaparecer, lo cual agravaría aun más el impacto causado por intervención del hombre en el entorno ambiental que constituye este sistema en particular.

Para entender el proceso de formación y conservación de las dunas, y su interacción con el medio, se propuso el presente estudio, donde se analizó la geomorfología y sedimentología de este sistema y las causas de la erosión, incluyendo la intervención antrópica.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La franja litoral que limita el VIPIS está conformada por cordones de dunas de altura variable y con escasa o media vegetación, que propician la existencia de ecosistemas especiales como manglares, y lagunas costeras, algunas posiblemente por debajo del nivel del mar, que hacen parte del complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Los procesos naturales de formación de las dunas y remoción parcial de las mismas, están ocasionando el deterioro de esta importante franja de dunas y con ello poniendo en riesgo la existencia de los ecosistemas asociados y que sirven de hábitat de especies importantes de aves ya sean migratorias, residentes o endémicas.

1.1. JUSTIFICACIÓN

Mediante la evaluación de los procesos formadores de dunas, el seguimiento de la evolución de los cordones dunares y la identificación y caracterización de los factores que causan la erosión y desaparición paulatina de las dunas, se podrán plantear posibles soluciones que permitan la preservación de los ecosistemas que constituyen este parque, decretado en 1998 como Sitio Ramsar de importancia mundial, y en noviembre de 2000, como Reserva del Hombre y la biosfera por la UNESCO.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivos Generales

Hacer la caracterización geomorfológica, sedimentológica y de procesos costeros de los cordones de dunas y geofomas asociadas en el Vía Parque Isla de Salamanca-VIPIS, como información base para una propuesta de estabilización.

1.2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Recopilar y analizar la información disponible existente sobre los aspectos geológicos, geomorfológicos, climatológicos, meteorológicos, entre otros, de la zona de estudio.
- ✓ Realizar la cartografía geomorfológica detallada con representación a escala 1:10.000 o 1:2.000, dependiendo de la información fotogeológica encontrada, y

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

de la información tomada en campo entre el Km. 26 y 28, con énfasis en la distribución y morfología de las dunas presentes allí.

- ✓ Realizar una evaluación del estado actual de la línea de costa en la zona de estudio en cuanto a los procesos de erosión-sedimentación.
- ✓ Evaluar los cambios geomorfológicos históricos ocurridos en el sistema costero en el área de estudio, incluyendo las variaciones en la línea de costa, tomando como base los estudios realizados por el Invermar en el 2009.
- ✓ Efectuar la caracterización sedimentológica de las dunas y de las playas de la zona de estudio, incluyendo análisis granulométricos y de composición, para tratar de determinar su grado de estabilidad y su(s) ambiente(s) de formación.
- ✓ Presentar recomendaciones generales de manejo para la estabilización de las dunas

1.3. ANTECEDENTES

Relativamente pocos son los trabajos realizados en la franja costera del Caribe colombiano, en particular en el tema relacionado con las características geológicas y geomorfológicas de la costa. A continuación, se mencionan algunos de ellos enfatizándonos en las dunas costeras de la Barra de Salamanca.

En el trabajo realizado por Wiedemann (1973) en la barra de Salamanca se reportan dunas parabólicas y crestas de playas con edades de hasta 1500 años, datadas con C^{14} en sitios arqueológicos de la barra, con la posibilidad de que hayan estratos más antiguos, aún no excavados, además el trabajo contribuye en el conocimiento de las características físicas de la laguna y la barra en general.

Von Erffa (1973) centró su investigación en el sector costero comprendido entre Barranquilla y la Sierra Nevada de Santa de Marta y trató aspectos tales como la sedimentación, erosión y transporte a lo largo del litoral, además da la orientación de las dunas presentes, la cual está condicionada a la dirección del viento, que para el caso de la barra de Salamanca el 80% del tiempo es en dirección NE.

Para Bernal (1995) las dunas en la isla de Salamanca tienen en general dimensiones variables, con alturas entre 0.7 y 5 m. Los cuerpos de dunas más extensos están al Este de la Ciénaga Cuatro Bocas; son dunas longitudinales paralelas, orientadas en dirección noreste y separada por zonas de 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

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

agua formando acumulaciones casi circulares que sobresalen en playones inundables.

En IDEAM (2000) se referencian grandes sistemas de dunas costeras en el bajo Magdalena y la alta Guajira, conformados por dunas tanto activas como estabilizadas, cubiertas por vegetación y con características morfológicas muy variables, desde longitudinales hasta transversales y parabólicas, con alturas que llegan a alcanzar los 20 m por encima del nivel medio del mar.

En Posada y Segura (2002) identifican los campos de dunas mejor desarrollados en la alta y media Guajira (punta Castilletes- Gallinas, bahía Honda) y expresiones menores se dan en la isla de Salamanca (Magdalena), entre Punta Sabanilla y Puerto Salgar (Atlántico), Galerazamba (Atlántico), al norte del caserío de Canoas (Bolívar) y en el costado noreste del golfo de Urabá (Antioquia)

En los estudios realizados por Parques Nacionales Naturales de Colombia – PNNC- (2005) y por INVEMAR (Posada et al., 2009), en la Isla de Salamanca se reportan dunas en varios sectores:

- Km 19-22, pequeñas dunas cubiertas por vegetación graminoide baja.
- Km 23-32, en el sector mejor conocido como la montaña, aparecen dunas colonizadas con vegetación xerofítica
- Km 34-40, partiendo de la vía hacia el mar se presenta un extenso playón, con montículos de dunas remanentes de 0,5 a 1 m de alto y depresiones alargadas someras y húmedas, lo que le da al terreno un carácter irregular.
- Km 40-45, los playones limitan hacia el mar con el cinturón de dunas y lateralmente con pantanos de manglar. Las dunas alcanzan hasta 3 m de altura y un ancho entre 30 y 120 m
- Km 45-48, avanzando hacia el mar se levanta el cinturón de dunas de 40 a 80 m de ancho, con alturas entre 2,5 y 4 m aproximadamente y conformado por arenas finas a medias y abundantes minerales oscuros; están cubiertas por pastos, rastrojo bajo y alto y plantas xerofíticas
- Km 48-51, se diferencian dos cordones de dunas, uno aledaño a la playa más bajo e irregular y otro un poco más alto; tienen un ancho entre 10 y 40 m y una altura que no sobrepasa los dos metros; su parte frontal es empinada e irregular, mientras que su parte trasera se extiende suavemente como lenguas que se adentran dentro de los playones e incluso cubren parcialmente los pantanos de manglar

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

- Km 52-53, se extiende un cordón de dunas, con 40 m de ancho y hasta 1,5 m de alto, parcialmente cubierto por vegetación principalmente de pasto
- Km 53-56, hacia la zona litoral se levanta un cordón de dunas, con un ancho promedio de 30 m y altura ente 1 y 2 m; están parcialmente cubiertas por vegetación de rastrojos bajos y pastos.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en el litoral Caribe colombiano, en el Vía Parque Isla de Salamanca, departamento del Magdalena, en jurisdicción de los municipios de Pueblo Viejo y Sitio nuevo. Limita al norte con el Mar Caribe, al sur con el complejo de Ciénagas de Pajarales y Caño Clarín, al este con el municipio de Pueblo Viejo y la Ciénaga Grande de Santa Marta y al oeste con el río Magdalena y el distrito de Barranquilla. Dentro de este Vía Parque Isla Salamanca se escogió el sector entre los Km 26 a 28 de la vía que conduce de Barranquilla a Ciénaga, la cual está en riesgo por los procesos de erosión que se vienen presentado (Figura 1).

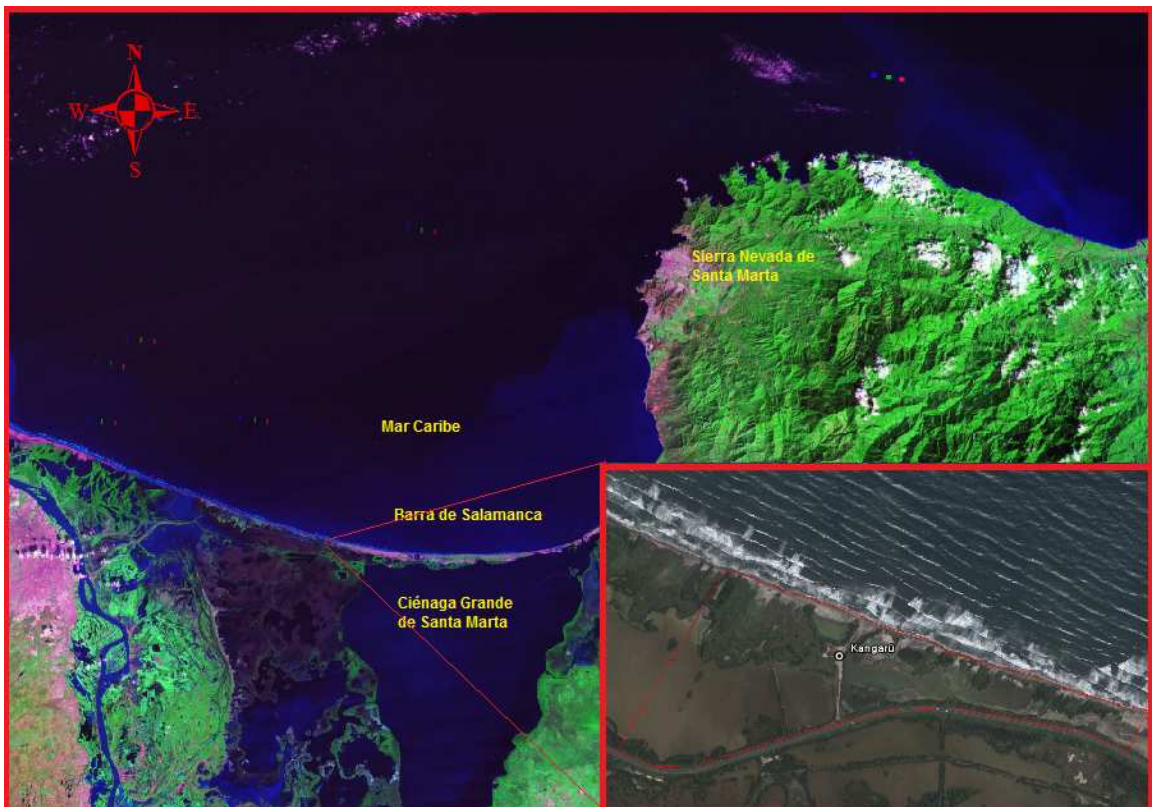


Figura 1. Zona de estudio del proyecto

2.1. LOCALIZACIÓN

El Vía Parque Isla de Salamanca cuenta con una extensión de 562 km², se encuentra ubicada en la costa Caribe de Colombia, en el departamento del Magdalena, en jurisdicción de los municipios de Pueblo Viejo y Sitio Nuevo. Limita

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

al norte con el mar Caribe, al sur con el complejo de Ciénagas de Pajarales y Caño Clarín Nuevo, al este con el municipio de Pueblo Viejo y la Ciénaga Grande de Santa Marta y al oeste con el río Magdalena y el distrito de Barranquilla.

Debido a su ubicación geográfica y a su biodiversidad presenta cuatro categorías de conservación: una nacional (Vía Parque) y tres internacionales (Área de Importancia Internacional para la conservación de aves – AICA, zona núcleo de la Reserva de la Biosfera y Humedal Ramsar del Complejo Lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta). (PNNC, 2005).

2.2. VÍAS DE ACCESO

A 40 Km de Santa Marta vía a la ciudad de Barranquilla, bordeando parte de la costa norte del Parque el cual inicia a la altura de la Población de Tasajera, después del peaje, tras un recorrido de una (1) hora aproximadamente, hasta llegar al km 27 +100 en donde se encuentra la cabaña Kangarú.

2.3. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y OCEANOGRÁFICAS

2.3.1. Clima

La región es particularmente árida (Wiedemann, 1973), con dos épocas climáticas bien definidas; una de gran sequía, entre los meses de diciembre y abril y una de lluvias, entre septiembre y noviembre, durante la cual los vientos del sur y suroeste, junto con la inundación ocasionada por lluvias y ocasionalmente por el desborde del Río Magdalena, favorecen el transporte de agua del complejo lagunar hacia el mar. Adicionalmente se presenta un periodo más corto de lluvias entre mayo y junio, y uno corto de sequía, entre julio y agosto, conocido como Veranillo de San Juan (Escobar, 1991 en Gónima et al, 1998).

El clima de la región se clasifica como cálido-seco, con temperatura promedio anual de 28°C, mínima de 25°C y máxima de 34°C; la precipitación es de 400 mm año-1 (HIMAT, 1984-1994 en Gónima et al, 1998).

2.3.1.1 Temperatura

En estudios realizados por el (CIOH, 2007) cercanos al área en el Km. 19-20+600, la temperatura húmeda no presentó mayores variaciones durante el lapso de mediciones meteorológicas, manteniéndose en el rango de 25 a 26°C. Por el contrario, la temperatura seca presentó variaciones en un rango de hasta 3.8°C, iniciando con un incremento paulatino durante los primeros registros hasta alcanzar un valor máximo de 33°C, posteriormente se presenta un decrecimiento

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

hasta alcanzar un valor registrado de 30.6°C, hacia el final de la toma de mediciones estos datos son correlacionables y aceptados para nuestro estudio debido a la proximidad entre las aéreas.

2.3.1.2. Precipitación

La precipitación anual es variable hasta el punto que solamente en octubre hay un 95% de probabilidad que la lluvia iguale o exceda un total 100mm. El total anual promedio de lluvia en el extremo oriental de la isla es aproximadamente 400mm incrementándose hacia el oeste hasta 760 mm (Sánchez, 1988)

2.3.1.3. Viento

En general en el mar Caribe predominan los vientos del este o también llamados Alisios, este comportamiento del viento sobre el Caribe se describe por una celda de tipo Walker (CIOH, 2007), pero para ser más precisos, en estudios realizados por el CIOH (2007) describen el comportamiento del viento en el Km. 19-20+600, un sector muy cercano al área de estudio y el cual es válido para nosotros, como un patrón en dirección del viento del este en donde el 50% de los datos están en esa dirección, con una variación de velocidad entre el 4 y 7 Kn, tal como se muestra en la Figura 2.

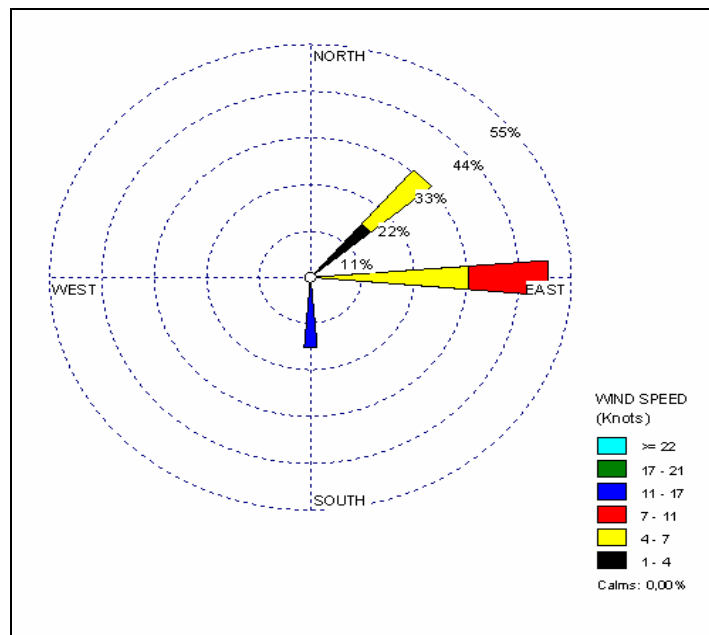


Figura 2. Rosa de Vientos del Km 19-20+600. Tomado de CIOH, 2007

2.3.2. Oleaje

La dirección e intensidad de las olas en el área de estudio dependen del régimen de los vientos Alisios, cuya velocidad y dirección varía según la época del año; sin embargo, se ha observado que el oleaje sufre un efecto de difracción en la zona norte de Santa Marta, lo que provoca una variación en la orientación del mismo al acercarse a las playas. Es por esta razón que la dirección predominantemente NE cambia a N-NW (CIOH, 2002).

En el sector de la Isla de Salamanca, el oleaje incide casi frontal a la costa, con fuertes olas de 0,6 a 1 m de altura, periodo de 6 segundos, y se presentan de 5 a 6 rompientes (Martínez y Molina, 1992).

2.3.3. Mareas

La marea del Caribe colombiano es semidiurna y presenta una irregularidad que da como resultado una amplitud inferior a los 0.50m, la cual no es uniforme las dos veces durante el día, clasificándola como micromareal donde predomina la componente diurna. (Molina y Martínez, 1992)

2.3.4. Deriva Litoral

La corriente de deriva litoral, al igual que el oleaje que la produce, posee mayor intensidad en la época seca, cuando soplan los vientos Alisios del NE (Carvajal et al., 1998). Por el contrario, en el periodo húmedo suele ser relativamente débil. Esta corriente se origina cuando las olas se acercan en ángulo oblicuo a la costa donde alcanza velocidades de hasta 1 nudo y solo afecta la masa de agua superficial siendo capaz de transportar y depositar sedimentos a lo largo de la costa (Posada et al., 2009). En el área de la Isla de Salamanca, los sedimentos erosionados del antiguo delta, son depositados en cercanías de Bocas de Cenizas, por la presencia de los tajamares (Von Erffa, 1973). Pero en estudios realizados por el CIOH (2002) en donde consideran que la deriva litoral se dirige hacia el oeste en los sectores de costa de dirección general E-W, y que la dirección del oleaje al llegar a la costa, puede haber una componente hacia el este desde Bocas de Ceniza hasta aproximadamente el centro de lo que se ha denominado el golfo de Salamanca, a la altura de las ciénagas de Torno, pero también se ha documentado que como consecuencia el oleaje NNW la deriva litoral es hacia el este en la barra de Salamanca y hacia el sur sobre la costa oriental tal como se muestra en la Figura 3 (CIOH, 2002)

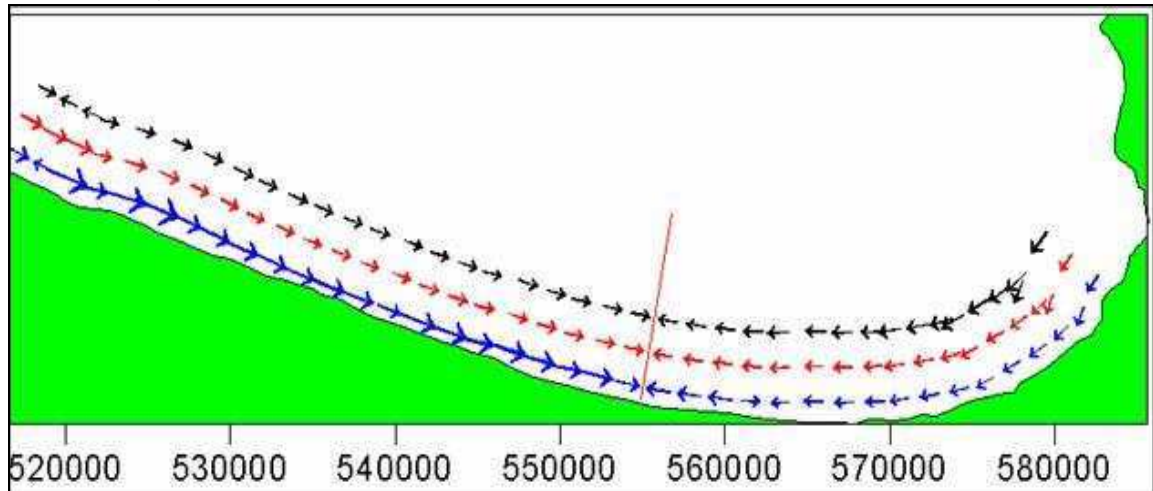


Figura 3. Dinámica litoral frente a la barra de Salamanca. A. Deriva litoral (flechas azules) y corrientes entre las isobatas 3-8 (rojas) y 8-20 (negras) metros. Tomado de CIOH, 2002

2.3.5. Corrientes

Las corrientes superficiales que dominan la circulación del Caribe Colombiano son la corriente del Caribe, que avanza casi todo el año en sentido E-W, y la contracorriente del Darién, o de Colombia, que recorre desde Panamá hasta la altura de Isla Fuerte en la época de los vientos alisios fuertes y alcanza La Guajira cuando disminuye la intensidad de los mismos. (Posada y Henao, 2008), en estudios realizados por CIOH (2002) han mostrado que la contracorriente tiene su máxima velocidad en 100m de profundidad en el área de estudio y que es casi permanente a esa profundidad.

En la superficie, la contracorriente de Colombia se detecta únicamente en el golfo de Urabá durante la época seca. En la época húmeda, adquiere mayor importancia y se extiende, durante seis meses, hasta los alrededores de la desembocadura del río Magdalena. Incluso llega hasta las costas de la Guajira durante los meses más lluviosos del año, en Octubre y Noviembre (Pujos et al, 1986)

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. METODOLOGÍA

El trabajo se realizó en tres fases, una de campo, otra de oficina y una en el laboratorio; en la fase de campo se realizó un levantamiento perfiles topográficos y de la línea de costa; se llevó a cabo una caracterización sedimentológica y levantamiento geomorfológico del área. En el trabajo de oficina se hizo una consecución y análisis de información secundaria, fotointerpretación, cartografía geomorfológica, análisis de perfiles topográficos, la evaluación de la evolución de la línea de costa y el informe final. En cuanto al trabajo del laboratorio se hizo análisis granulométricos, texturales y composicionales de los sedimentos adquiridos en campo.

3.2. TRABAJO DE CAMPO

3.2.1. Levantamiento Topográfico

Con la ayuda de una estación total marca TOPCON GPT 7000 y con un DGPS marca TOPCON GMS2 se procedió a hacer un levantamiento del área de estudio con una longitud de 1.219 metros donde se hizo mediante de perfiles topográficos longitudinales y transversales a los cordones de dunas, playas y lagunas costeras existentes en el área de estudio. En general se levantaron 54 perfiles, 27 longitudinales con dirección N-S (Figura 4a) cada 35 m, iniciando desde el extremo W del área y 27 perfiles transversales a las dunas cada 20 metros con dirección aproximada E-W (Figura 4b). Hubo como restricciones las relacionadas con la profundidad de las lagunas que no permitió que se detallaran completamente; hacia el mar el fuerte oleaje permitió que sólo se llegara hasta una profundidad de 1 metro y hacia la carretera donde la donde la vegetación o construcciones lo permitieron. Con estos perfiles se pudo determinar características morfológicas de las dunas, tamaño, espesor, altura, longitud y ubicación espacial y elaborar un modelo 3D del área

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

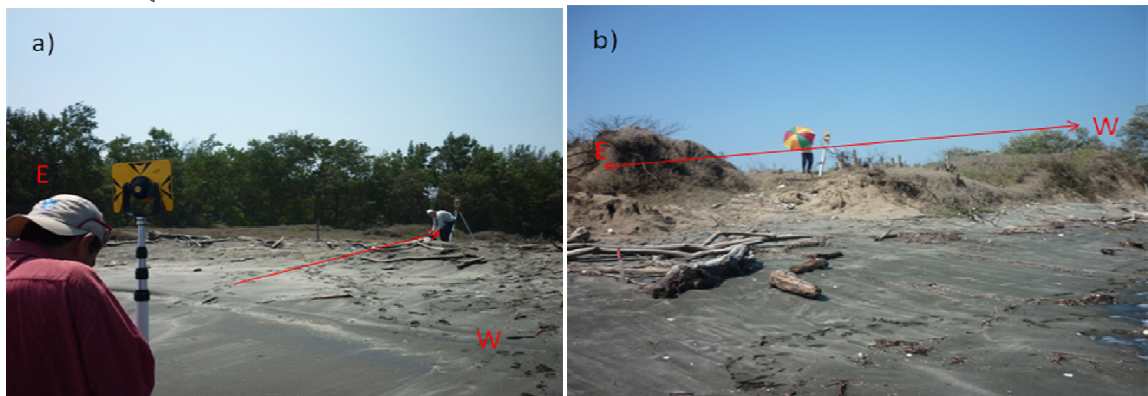


Figura 4. Perfiles. a) Perfil longitudinal; b) Perfil Transversal

3.2.2. Levantamiento Geomorfológico

Se hizo un recorrido detallado del área de estudio que permitió caracterizar cada una de las unidades geomorfológicas, de acuerdo con los criterios establecidos por Posada et al.,(2009) y Gómez y Carvajal (2011). Se chequearon los mapas elaborados por fotointerpretación y se ajustaron los límites de las unidades. Se identificaron las transiciones entre las unidades y se corroboró la respuesta de las unidades en las imágenes, lo que permitió, en la etapa de oficina, ajustar correctamente la cartografía obteniendo un mapa a un mejor detalle.

3.2.3. Caracterización Sedimentológica

Tomando como base los trabajos realizados por Flor (1984) y Martínez (1984) que aconsejan realizar trincheras de 1m de ancho en los sectores perpendiculares a la cresta en dunas estabilizadas, para la observación directa de sus estructuras internas que presentaban las dunas, se hizo una trinchera de 80 cm de lado, localizada en la parte trasera y superior de una duna, pero no se encontraron estructuras. En cambio afloramientos localizados en el extremo Oriental en el área, de las dunas permitieron una descripción detallada de la granulometría y estructuras presentes.

Se identificó de esta manera la forma de depositación, de erosión y migración de las dunas, en donde se levantaron perfiles estratigráficos detallados, teniendo en cuenta los espesores de las capas, la granulometría y composición de cada una de ellas, así como las estructuras presentes, determinando su dirección y buzamiento. Esta información se considera de vital importancia para determinar su evolución siempre y cuando se pueda hallar una continuidad en las estructurales hasta el punto de poder correlacionarlas, es decir poder hacer un diagrama de rosa de vientos en el programa StereoNett 2.4 donde se muestre la dirección y orientación de las dunas. En este caso la cantidad y calidad de los datos no permitió hacer el diagrama de rosa de los vientos.

Se tomaron muestras de sedimentos en forma regular, cada cuantos 120 metros o cuando había un cambio notorio en el sedimento presente en las playas, tomando en total 6 muestras de playa, 4 en las dunas, 2 en las lagunas costeras. En total se tomaron 12 muestras, cada una aproximadamente 500 gramos, fueron empacadas en bolsas herméticas Ziploc, identificándose por el numero de la estación de trabajo.

3.3. TRABAJO DE OFICINA

3.3.1. Consecución y análisis de información secundaria

Se hizo una revisión de la información secundaria existente en cuanto a investigaciones sobre dunas, la existencia de dunas en Colombia, las metodologías de trabajo en dunas y los factores ambientales y climáticos que favorecen su formación y conservación. Entre los trabajos revisados en Colombia se encuentran dunas en:

- Wiedemann, H.U. 1973. Reconnaissance of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia: physical parameters and geological history. Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient. 7, 85-119
- Von Erffa, V:A:F: 1973. Sedimentation, transport und erosion an der Nordkuste Kolumbiens swischwen Barranquilla un der Sierra Nevada de Santa Marta. Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient. 7, 155-209.
- Bernal, G. 1995. Caracterización geomorfológica de la llanura deltaica del río Magdalena con énfasis en el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Informe de proyecto. Santa Marta, Colombia.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2000; Unidades Geomorfológicas del territorio Colombiano, 59p.
- Posada, P., Blanca Oliva y Henao P., William, 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 13, Santa Marta, 124 p

Y en cuanto a formación, metodologías, estudios y factores ambientales en las dunas se tienen los siguientes trabajos:

- Bagnold, R. A. 1941. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes London, Chapman and Hall

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

- Flor, G. 1984. Estudio sedimentológico y morfológico de una duna costera <Blowouts> (Cabo Frouxeira, La Coruña). Trabajos de Geología, Univ. De Oviedo, 14, p. 161-174
- Martínez, J. 1984. Introducción a las dunas litorales de Canaria. U. S. de Ciencias del Mar. litécnica de Las Palmas. 219 – 84. p.21
- Carter, R.W.G. 1990. The geomorphology of coastal dunes in Ireland. En: Bakker, Th.W., Jungerious, P.D. y Klijjn, J.A.(eds), Dunes of European coasts; geomorphology-hydrology-soils. Catena Supplement, 18: 31-40
- García Mora, M.R., J.B. Gallego Fernández, A.T.Williams, y F. García Novo. 2001. A coastal dune vulnerability classification SW Iberian Peninsula case study. Journal of Coastal Research 17:802-811
- Flor, G. 2004.Geología Marina. Área de Estratigrafía y Sedimentología. Departamento de Geología. Universidad de Oviedo.
- Martín, C .X. 2004.Miniguía de las dunas de Laida,62p.
- Martínez Vázquez, M.L., Gallego Fernández, J.B., García Franco, J., Moctezuma, C, Jiménez C.D. 2006. Assessment of Coastal Dune Vulnerability to Natural and Anthropogenic Disturbances Along the Gulf of Mexico. Environmental Conservation 33: 109-117.
- Hesp, P.A. y Martínez, M.L. 2007. Disturbance proceses and dynamics in coastal dunes. En Johnson, E.A. y Miyanishi, K (eds.) Plant disturbance ecology: the process and the response. Elsevier, pp. 215-247
- Manual de restauración de dunas costeras. 2007. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Costas de España. 244p

3.3.2. Fotointerpretación

Se analizaron las fotografías aéreas del IGAC de los años 1967 y 1985 a escala 1:11000 y 1:20000 respectivamente, imágenes Ikonos del 2001 y fotografías aéreas oblicuas de los años 1970 y 2009 tomadas por Von Erffa y Wiedemann; se identificó el campo de dunas objeto de este estudio y las geoformas asociadas, como se muestra en las Figura 5 y Figura 6 para el año 1970 y 2009. Con la ayuda de las mismas se identificaron las dimensiones, geometría y los cambios multitemporales.

Con la fotointerpretación y el uso de la herramienta de ArcGis denominada *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) se determinaron los cambios en la línea de costa y el grado de exposición al que han sido sometidos los frentes dunares a los factores como oleaje y viento en los últimos 44 años.

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA



Figura 5. Geoformas en el área de estudio, tomando como punto de referencia a Kangarú. (Foto Von Erffa y Wiedemann, 1970)



Figura 6. Geoformas en el área de estudio, tomando como punto de referencia a Kangarú. Foto cortesía de Von Erffa y Wiedemann, 2009

3.3.3. Cartografía de Unidades Geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas se identificaron y caracterizaron en campo usando como base la fotointerpretación realizada y los estudios realizados por INVEMAR (Posada et al., 2009), Dimar-CIOH (2009), en donde se describen geomorfológicamente las unidades predominantes en el área y para definiciones de unidades geomorfológicas y convenciones se utilizó la guía de Gómez y Carvajal (2011). Los límites de las unidades, debidamente ajustados en campo,

permitieron hacer la cartografía a escala 1:10000, utilizando el software ArcGis en donde se dividió el área por polígonos, identificando las unidades como campos de dunas, zonas de inundación y salares, pantanos intermareal, lagunas costeras y playas.

3.3.4. Análisis de perfiles topográficos

Lo perfiles topográficos se procesaron mediante el software Excel y ArgGis. Los resultados sirvieron para tener un mapa topográfico base que permitió la creación de modelos 3D. Se analizó cada uno de los perfiles, identificando en ellos las unidades geomorfológicas, alturas, longitudes, separación desde la línea de costa, límites entre unidades, además fue posible caracterizar las dunas como parabólicas paralelas y con ello interpretar su creación, evolución y estado actual de las mismas.

3.3.5. Evaluación de la evolución de la línea de costa

Con base en el módulo *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) del programa ArcGis se extrajeron las líneas de costa de cada una de las fotografías evaluadas. Se superpusieron y se midió la diferencia entre ellas. Así se midieron las tasas de erosión para los distintos sectores y se consignaron en tablas donde se diferenciaron tasas por años y en general tomando como punto de partida las imágenes de 1967 y como punto final la adquirida en campo, obteniendo como resultado un cambio en la línea de costa de los últimos 44 años. Se advierte que las fotografías aéreas fueron referenciadas utilizando para ellos 8 Puntos con coordenadas conocidas y tomando como base una imagen Ikonos del 2001. No se ortorectificaron, razón por la cual los valores que aquí se presentan deben tomarse como una guía y no como un valor absoluto

3.3.6. Informe final

Se elaboró una vez se tenían todos los análisis indicados y la información secundaria revisada y analizada. Se siguió el formato establecido por la Universidad Industrial de Santander que incluye los resultados de los análisis, la cartografía y correspondientes anexos.

3.4. TRABAJO DE LABORATORIO

3.4.1. Análisis Granulométricos

Se practicaron a 12 muestras tomadas en campo, 6 de playas, 4 de dunas y 2 de lagunas costeras. Por el método del cuarteo se seleccionaron 100 ± 1 gr sobre los cuales se harían los análisis granulométricos. Los 100 gr de cada muestra se secaron en un horno de convección natural para secado ED E2 BINDER

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

programable, a una temperatura de $90^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante un tiempo de 72 horas. Posteriormente se tamizaron en un tamizador marca Shaker Gilson Sieve Economy durante 15 minutos, con 6 tamices de diámetro de ojo de malla de 2 ($\Phi=1$) y 1 ($\Phi=0$) mm, 500 ($\Phi=1$), 250 ($\Phi=2$), 125 ($\Phi=3$), 63 ($\Phi=4$) y < 63 ($\Phi=<4$) μm . (Figura 7). Las muestras de cada tamiza se colectaron y pesaron en una balanza Pioneer PA 3102 con precisión de 0.01gr. Se empacaron en bolsas plástica y se rotularon indicando nombre del proyecto, de la muestra y tamaño de la malla. Los porcentajes fueron tabulados en una tabla de Excel y luego se llevaron al programa GRADISTAT, donde se obtuvieron todas las estadísticas, consistentes en: media, desviación estándar, selección, asimetría y Kurtosis.

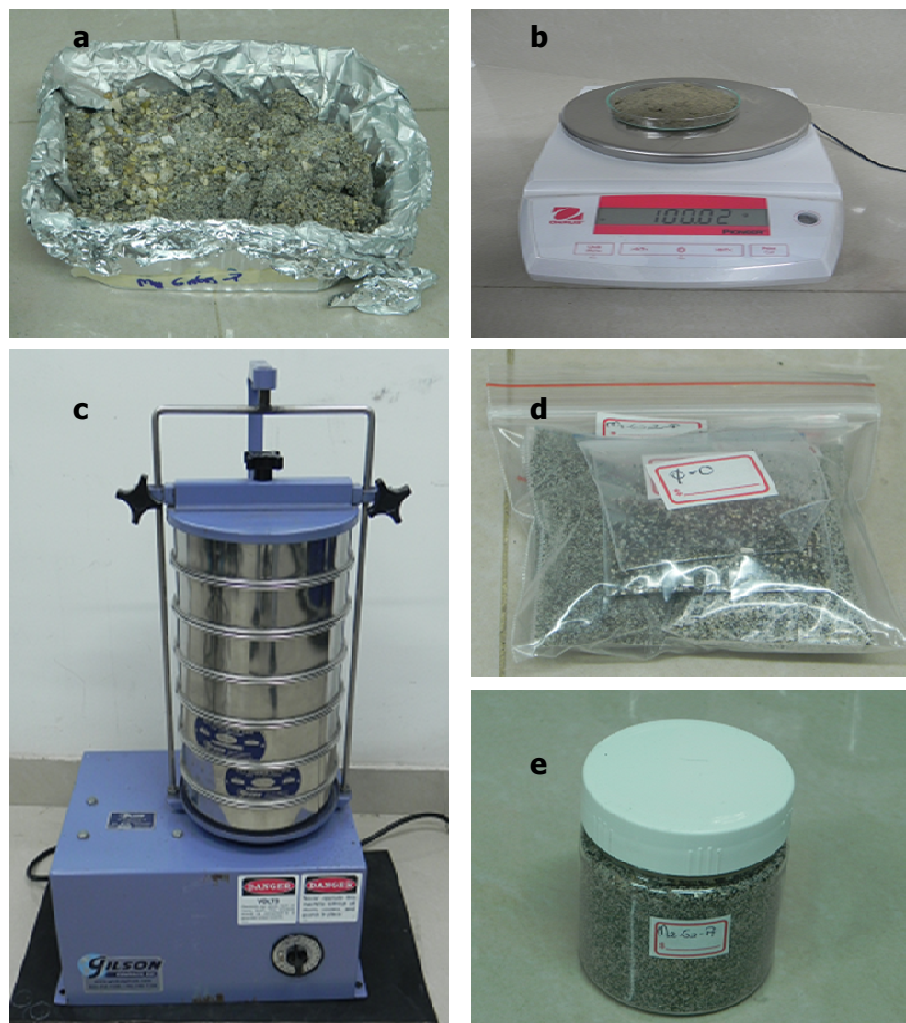


Figura 7. Análisis sedimentológico en el laboratorio. a) Muestra inicial; b) Muestra seca y pesada; c) Tamizaje; d) Muestra clasificada según el tamiz; e) Testigo de la muestra

3.4.2. Análisis texturales y composicionales

También por el método de cuarteo se seleccionaron 30 gramos de muestra para determinar la composición de los sedimentos y su textura y en algunas muestras como la de las dunas en donde la composición no varía se tomó la fracción de 125 μm ($\Phi=3$). La redondez se determinó mediante la escala de Power (1953). Para la composición los porcentajes se estimaron con base en tabla comparativa para la estimación del porcentaje visuales (Terry y Chilingar, 1955) y la clasificación se hizo de acuerdo con el diagrama de Folk y Ward (1957), adicionalmente se procedió a hacer la toma de fotografías de la granulometría en donde se usó un estéreo microscopio Leyca MZ8 con poder de magnificación máxima 50x y cámara digital Euromix DC 1300 (USB 2.0).

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

Santa Marta, presenta una dirección norte-sur y marca el contacto entre corteza oceánica al oeste y corteza continental al este. Esta falla de rumbo presenta una longitud de 800km, desde Ecuador hasta donde se encuentra cubierta por los depósitos cuaternarios. De acuerdo con Martínez y Molina (1992), en la zona de estudio, la expresión superficial de la falla podría corresponder con un lineamiento orientado norte-sur adyacente a la ciénaga El Torno, que coincide con el límite occidental de la zona alta erosión de la isla de Salamanca.

La falla Santa Marta-Bucaramanga controla el piedemonte occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta y pone en contacto las rocas cristalinas de este macizo con los depositos recientes del valle inferior del Magdalena (Hernández, 2003); es una falla de rumbo sinistral con componente inverso a la cual se le ha atribuido un desplazamiento de aproximadamente 100km en la horizontal y superior 12km en la vertical (Campbell, 1968; Tschanz *et al.*, 1969).

5. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA

La barra de Salamanca es una barra arenosa que se formó a partir de la unión de una cadena de pequeñas islas barrera, durante el divagar durante el Holoceno del río Magdalena, entre su desembocadura en el extremo oriental de la actual ciénaga hasta su curso actual. Inicialmente constituía una isla como tal, limitada al sur por el cauce Viejo del Magdalena y al norte por el mar Caribe, pero a raíz de las obras de encauzamiento del río por Bocas de Ceniza, el extremo oeste, en los predios que se conocían como la isla de los Gómez, quedó unido a tierra (Wiedemann, 1973; Von Erffa, 1973, Bernal, 1995). En ella se reconocen una diversidad de ambientes y procesos, entre estos los que se encuentran las playas, dunas costeras, zonas de inundación y salares, lagunas costeras, superficies de deflación, y asociadas a estas diferentes rasgos geomorfológicos. (Ver Anexo 1. Mapa Geomorfológico del área)

5.1. GEOMORFOLOGÍA GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.1.1. Playas

Las playas se definen como zona de material no consolidado que se extiende hacia tierra desde la línea de la más baja marea hasta el lugar donde se presenta un marcado cambio en el material, forma fisiográfica o hasta donde se inicie la línea de vegetación permanente, usualmente límite efectivo de las olas de temporal (Decreto 2324, 1984 en Gómez y Carvajal, 2011).

En general las playas en el área de estudio son rectilíneas con un promedio de frente de playa entre 7° y 9° (Figura 9) compuestas por arenas de color gris y amarillo de tamaño medio con contenido de cuarzo, feldespatos, plagioclasas, minerales pesados en diferentes porcentajes y con presencia de bioclastos concentrados en las cúspides de playa. Sin embargo, características como tamaño, presencia de cúspides (Beach-Cusp), escarpes de playa, bermas pueden variar dependiendo de periodo de lluvias o seco. El ancho del frente de playa presenta cambios muy notorios entre los meses de marzo y abril variando entre 1 y 20 m (Figura 10, Figura 11 y Figura 12); en sectores donde hay dunas este frente puede llegar a ser menor a 1 m quedando la duna expuesta a la erosión por oleaje (Figura 13). Pueden presentarse varios niveles de bermas con espesores entre 0.10 y 0.7 m (Figura 14a) en donde se observa la estratificación plano paralela resultado de la depositación de sedimentos claros y oscuros (minerales pesados) (Figura 14b).

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA



Figura 9. Playa típica del área de estudio



Figura 10. Playa del área de estudio en el mes de marzo



Figura 11. Playa del área de estudio en el mes de abril

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA



Figura 12. Playa del área de estudio en el mes de mayo



Figura 13. Frente de playa menor a 1 m (duna expuesta al oleaje)

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

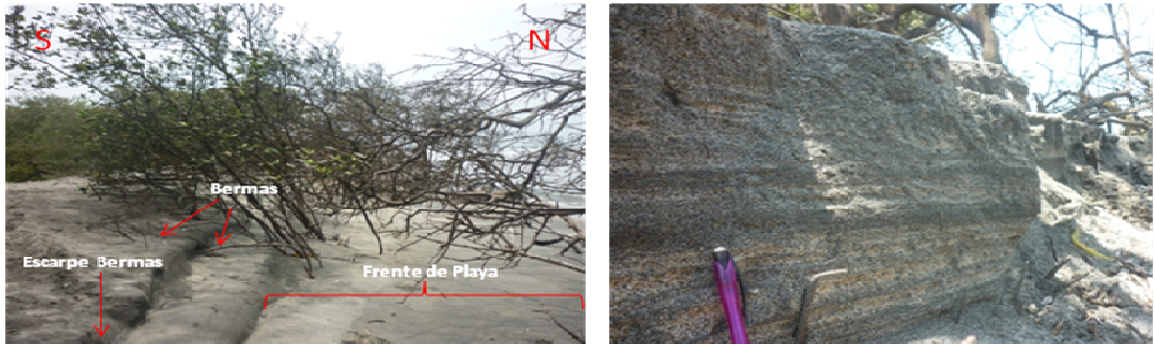


Figura 14. a) Niveles de bermas en forma de gradas; b) Laminación plano paralela con diferenciación por minerales claros y oscuros en el escarpe de la berma

5.1.2. Planos de Inundación (bajos de inundación, Cubetas de derrame, Swale)

Son depresiones suaves y poco profundas, ubicadas a nivel del mar o por debajo del mismo y que sufren inundaciones periódicas (encharcamiento) o permanentes, como consecuencia de altas precipitaciones o alto nivel freático. Los suelos en estas depresiones están compuestos por sedimentos finos no consolidados (arcillas, limos) (Gómez y Carvajal, 2011). Además estos sectores pueden presentar acumulación de minerales evaporíticos y grietas de desecación

En el área de estudio esta unidad se encuentra en su mayor extensión en el extremo W del área, y está asociada a los pantanos intermareales y a las dunas. Estas pueden estar vegetadas por pastos y encontrarse en la parte trasera de la playa y de la duna incipientes (Figura 15), o en otras ocasiones se puede encontrar en otros sectores con presencia de agua (meteórica y/o marina) y grietas de desecación (Figura 16); además pueden presentar restos de materia orgánica y delgadas costras de sal cubriendo el lodo (Figura 17).



Figura 15. Zona de inundación vegetado por pastos

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA



Figura 16. Zona de inundación con agua y grietas de desecación



Figura 17. Costras de sal en los bordes del plano de inundación

5.1.3. Pantano intermareal

Son superficies de extensiones muy variables, conformadas esencialmente por lodos, con abundante materia orgánica, y ubicadas principalmente en los bordes de las grandes lagunas costeras y ciénagas menores (Posada y Segura, 2002), lo que genera condiciones propicias para el crecimiento de vegetación pionera como manglar y otras especies halófitas. Estos sectores sufren inundaciones periódicas por oleajes extremos, mareas, la combinación de ambos (*wave setup*) o por desborde de ríos o lagunas costeras. (Gómez y Carvajal, 2011)

En el área de estudio los pantanos intermareales limitan con las dunas y los zonas de inundación y salares, es la unidad más frecuente y amplia y la que más ha sufrido alteración antrópica, lo cual ha generado subdivisiones internas. Dentro de estas tenemos zonas con manglar muerto pantanosas e inundables, zonas con

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA
mangle vivo; estas subdivisiones se comunican entre sí en algunos sectores por pequeños caños de agua ((Figura 18)



Figura 18. Caños de intercomunicación entre el pantano intermareal

Las zonas con manglar muerto pantanoso e inundable, generalmente son de color rojizo, se formaron por efecto de la intervención antrópica cuando se construyó la vía Ciénaga-Barranquilla, estas son aéreas cercanas a la costa y presentan espejos de agua. El sedimento es lodoso de color gris con presencia de grietas de desecación y restos de materia orgánica (Figura 19)

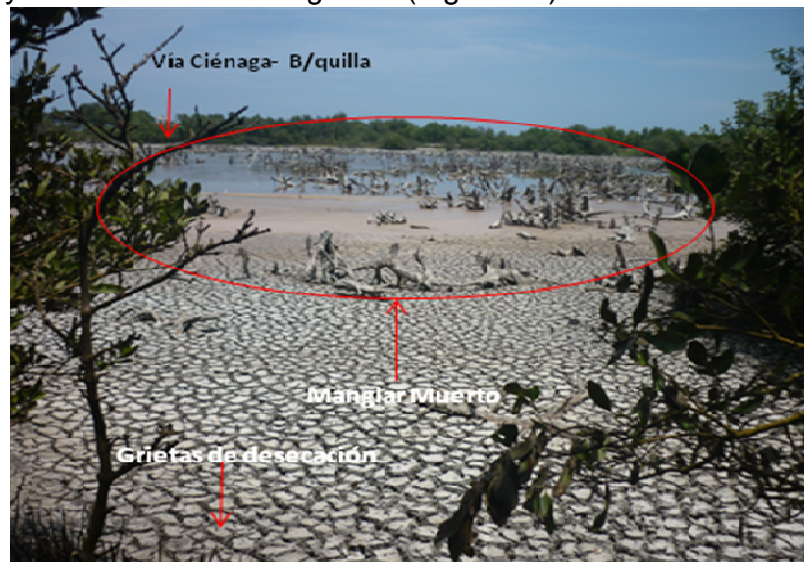


Figura 19. Zona de Manglar muerto pantanoso

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

Las zonas de mangle vivo se encuentran en su gran mayoría en la franja sur de la vía que de Ciénaga conduce a Barranquilla ya que en esta área es donde tienen más contacto con agua salobre que viene de la Ciénaga Grande de Santa Marta, y está menos expuesta a la erosión del mar (Figura 20).



Figura 20. Zona de manglar al lado sur de la carretera

5.1.4. Dunas

Las dunas son formas de acumulación de arenas en los desiertos o en los litorales, posibilitadas por la disponibilidad de arena, viento capaz de movilizarla, un espacio adecuado donde pueda acumularse, vegetación que le permita fijarse y, para el caso del ambiente litoral, las olas juegan un papel importante en este proceso, ya que aportan la arena necesaria para generar las playas que con el tiempo darán inicio al proceso de la formación de las dunas costera. (Martín, 2004) (Ver Anexo 1). En el capítulo siguiente se explicarán las características sedimentológicas de las dunas estudiadas en el área.

Las dunas costeras son el resultado de la interacción entre el viento y las superficies arenosas de la playa, las cuales juegan un papel determinante en la morfología del campo dunar. Estas interacciones entre el viento y la rugosidad de la playa se ven reguladas por la vegetación y el propio crecimiento de la duna. En principio, los factores que determinan el tipo, alineación, tamaño y espaciado de las dunas son los siguientes (Flor, 2004):

- **Influencia del régimen de vientos y orientación de la playa respecto a los mismos**

La acción de los vientos soplando desde el mar hacia tierra, con capacidad suficiente para transportar el sedimento fuera de la zona de influencia de oleajes y mareas, es un requisito fundamental para la formación de un sistema dunar costero. Cuando los vientos soplan paralelamente al perfil costero solamente favorecen el transporte de deriva litoral y la formación de playas progradantes, pero sin campos dunares asociados. La orientación de la playa con una disposición preferentemente perpendicular u oblicua a los vientos permite la formación de campos dunares más amplios. (Flor, 2004)

- **Influencia de la granulometría de la arena**

Las fracciones granulométricas, dentro del tamaño arena, debe ser el adecuado en la playa, en donde predomine la fracción más fina puesto que el viento al ser agente dinámico selectivo posibilita mover dichas fracciones menores. No obstante, vientos intensos son capaces de transportar la casi totalidad de las poblaciones granulométricas, pudiendo llegar a existir escasas diferencias en los tamaños medios entre la playa donante y la duna receptora. (Flor, 2004):

- **Influencia de la vegetación**

La arena es un buen medio para el crecimiento de determinadas plantas debido a su capacidad de retención de la humedad. La presencia de la vegetación reduce el transporte de sedimento debido a que: 1) introduce una rugosidad mayor en la superficie, lo que disminuye el flujo del viento sobre la misma y 2) intercepta los granos en saltación y actúa como una superficie blanda que absorbe una gran cantidad de energía, favoreciendo la sedimentación. La colonización vegetal del campo dunar, representada por comunidades específicas, que se disponen en bandas paralelas al límite playa-duna, determina la sedimentación en general y la formación de tipologías concretas de dunas, en particular, como los cordones dunares, montículos aislados, etc. (Flor, 2004)

- **Influencia de la topografía de la zona terrestre adyacente a la playa (playa trasera)**

Es necesaria una superficie de playa trasera lo suficientemente amplia para albergar y permitir la mayor sedimentación posible. Los campos dunares costeros de mayores dimensiones ocupan áreas que reúnen este requisito; suelen representar zonas supramareales de playa con bermas amplias o relieves de ladera con pendientes suaves. En muchos casos, laderas más abruptas son capaces de contener dunas cuya sedimentación termina suavizando la pendiente inicial, siempre y cuando la tasa de sedimentación en la costa sea muy importante y los vientos adquieran una capacidad de transporte muy alta. (Flor, 2004)

5.1.4.1 Tipos de dunas costeras

Los campos de dunas costeros tienen características como extensiones de varios kilómetros y alturas de hasta 30 metros, pendientes empinadas en dirección del viento y crestas planas a ondulantes, además tienden a presentar una configuración típica en cordones en donde se pueden clasificar de la siguiente manera (SNET, 2009) (Figura 21)

- Dunas delanteras (foredunes): es el primer cordón de dunas y se encuentra directamente sobre la playa.
- Dunas parabólicas: son típicas de los márgenes del campo eólico, donde la vegetación ancla los brazos de las dunas barjanoides, invirtiendo su forma. Por lo tanto este tipo de duna presenta una forma de U o V a medida que migra hacia los márgenes del campo eólico. Las dunas parabólicas pueden llegar a medir hasta 90 m de ancho y con brazos de hasta 300 m, migran menos de 3 m por año.
- Dunas Barchan: Son dunas parabólicas con los cuernos alargados hacia el sentido de avance del viento. Debe haber unas condiciones moderadas de suministro de arena, con situaciones frecuentes de vientos fuertes (Martínez, 1984).
- Dunas transversales: son cadenas de dunas desarrolladas perpendicularmente a un viento dominante, de intensidad media y constante en dirección y velocidad. La ladera de barlovento es bastante más suave que la de sotavento. Debe haber un buen suministro de aren. (Martínez, 1984).
- Dunas longitudinales o seif (en forma de espada): Se forman por vientos fuertes y constantes de una sola dirección, con dirección paralela al viento. Suelen formar sistemas regulares, con dunas de varios km de largo y separadas por corredores de deflación, cuyo piso está formado por gravas y rodados y cada corredor es recorrido por dos células de viento que giran en forma helicoidal desplazando la arena hacia los costados.
- Dunas sujetas (en Colombia se conocen como rodaderos): se acumulan sobre obstáculos como rocas (SNET, 2009).

Así mismo, las dunas se pueden agrupar en dunas activas cuando están desprovistas de vegetación y dunas estabilizadas o inactivas cuando están cubiertas de vegetación o tienen un obstáculo al frente (por ejemplo un antiguo acantilado) (Martínez, 1984).

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

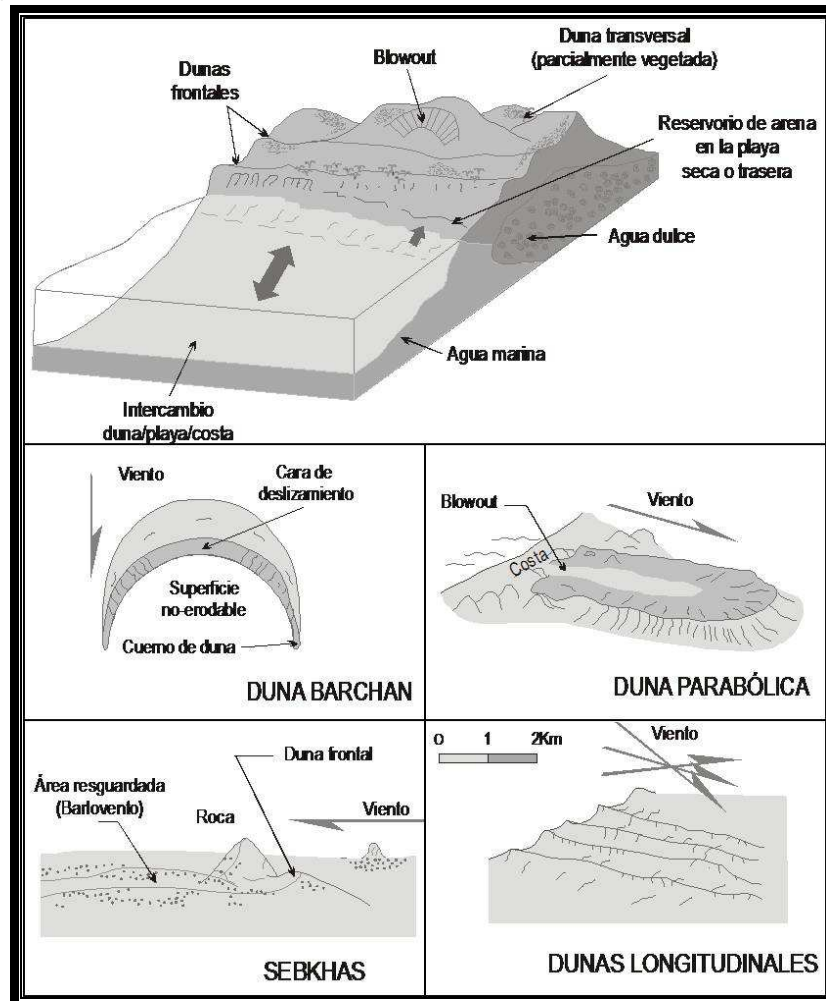


Figura 21. Tipos de dunas más comunes. Tomado de Gómez y Carvajal, 2011.

5.1.4.2 Elementos principales de una duna y dinámica de desplazamiento

Las dunas como cualquier otra forma en la naturaleza tienen sus partes o subdivisiones internas como se muestra en la Figura 22; pueden variar de acuerdo al tipo de duna y dinámica de la misma.

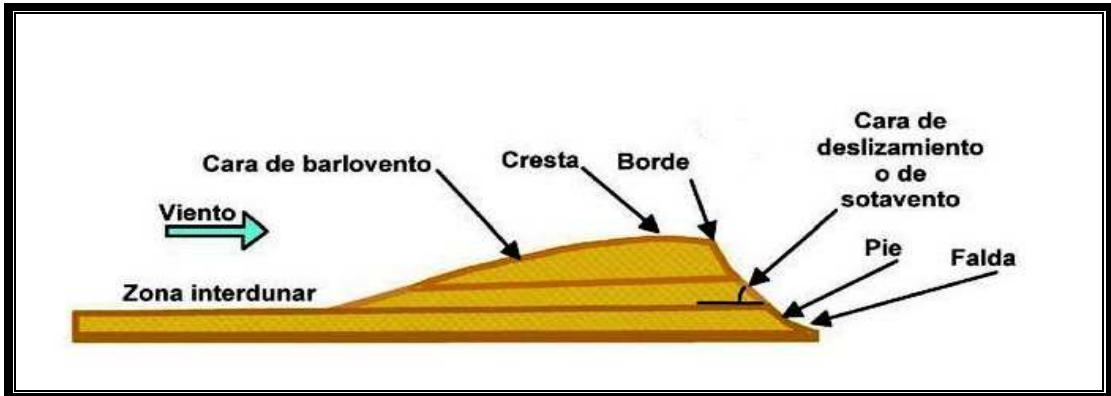


Figura 22. Componentes de una duna

En cuanto a la dinámica en las dunas, cabe resaltar que el desplazamiento se realiza por deflación en las vertientes de barlovento y por gravedad en las vertientes de sotavento (Figura 21), las pendientes para el desplazamiento por gravedad oscilan entre los 32 y 33°, ya que a un ángulo mayor genera deslizamiento que a su vez es desplazamiento, tal como se muestra en la Figura 23.

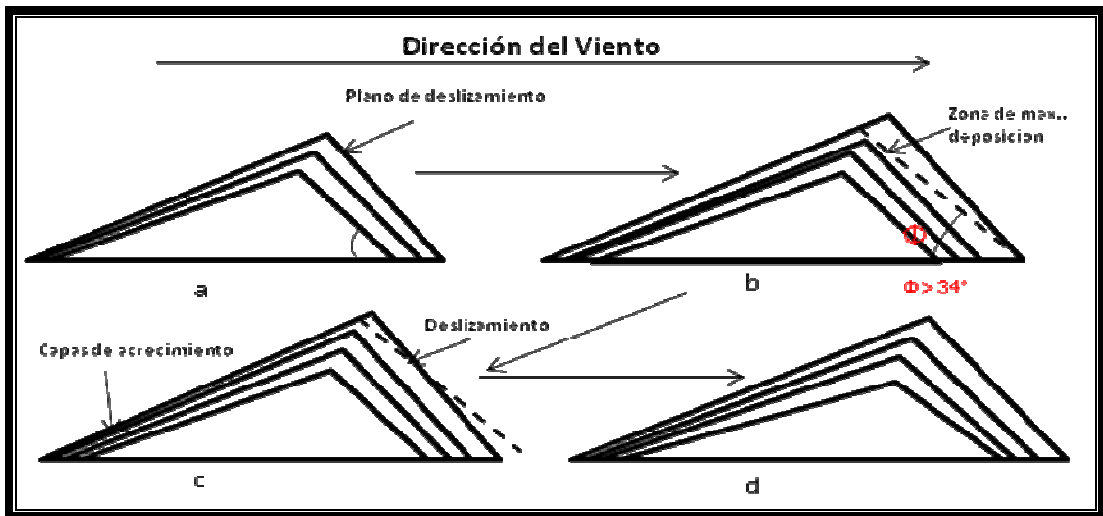


Figura 23 .Dinámica de desplazamiento. Modificado de Martínez, 1984

En el momento en que las dunas han adquirido movimiento o han empezado a desplazarse adquieren unas características en su sedimentación interna generando diversas estratificaciones o laminaciones como: estratificación cruzada tabular (Figura 24a), estratificación cruzada en cuña (figura 23b) o estratificación cruzada lenticular (figura 23c), que se puede identificar en los cortes de las dunas o en los brazos laterales de las dunas.

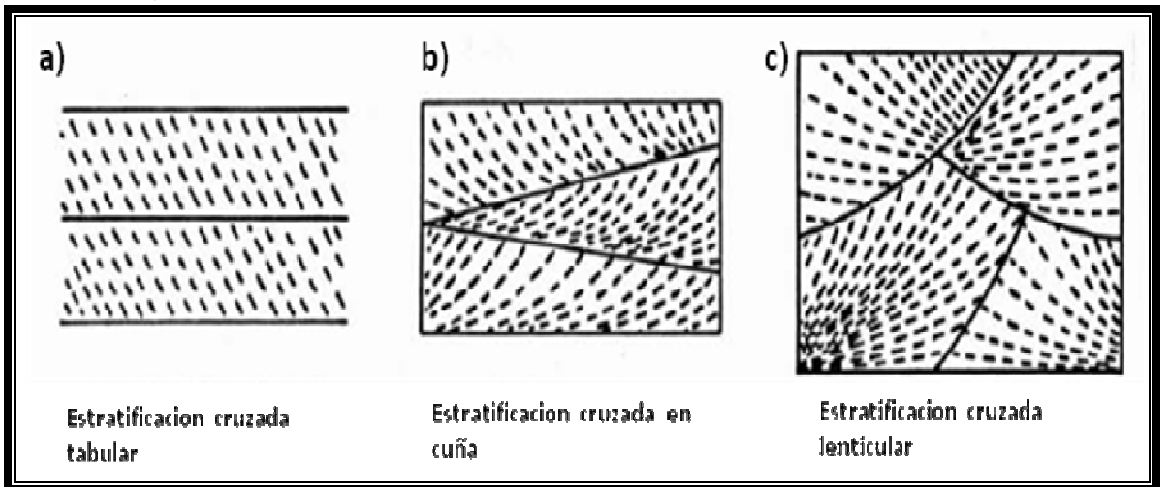


Figura 24. Estratificación de la duna. Tomado de Martínez, 1984

El sedimento en general en las dunas son granos redondeados a subredondeados de arena fina a muy fina donde predomina el cuarzo, además de otros minerales como feldespatos, partículas calcáreas (foraminíferos, pedazos de conchas) y minerales pesados en una proporción menor, este sedimento tiene una coloración amarilla pardusca debido al precipitado de óxidos de hierro en los bordes de los granos que es generada al momento de la depositación del sedimento (Manual de restauración de dunas costeras, 2007).

6. CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA DE LAS DUNAS ESTUDIADAS

Para determinar la ubicación espacial, el tipo de dunas y el estado actual de las mismas, presentes en el área de estudio, se siguió la metodología planteada en el capítulo 3, donde se identificaron en campo que las dunas son de tipo parabólico tal como se muestra en el esquema generalizado (Figura 25) obtenido del mapa geomorfológico (Anexo 1) y el modelo 3D (Anexo 2) del área de estudio, en este esquema se muestra el estado actual de las dunas parabólicas, cómo han migrado y evolucionado hasta el punto de digitarse y estabilizarse; en algunos sectores se encuentran muy erosionadas hasta el punto de no poder seguir migrando, debido a que el área de movimiento es invadida por el agua, la cual puede ser meteórica o marina.

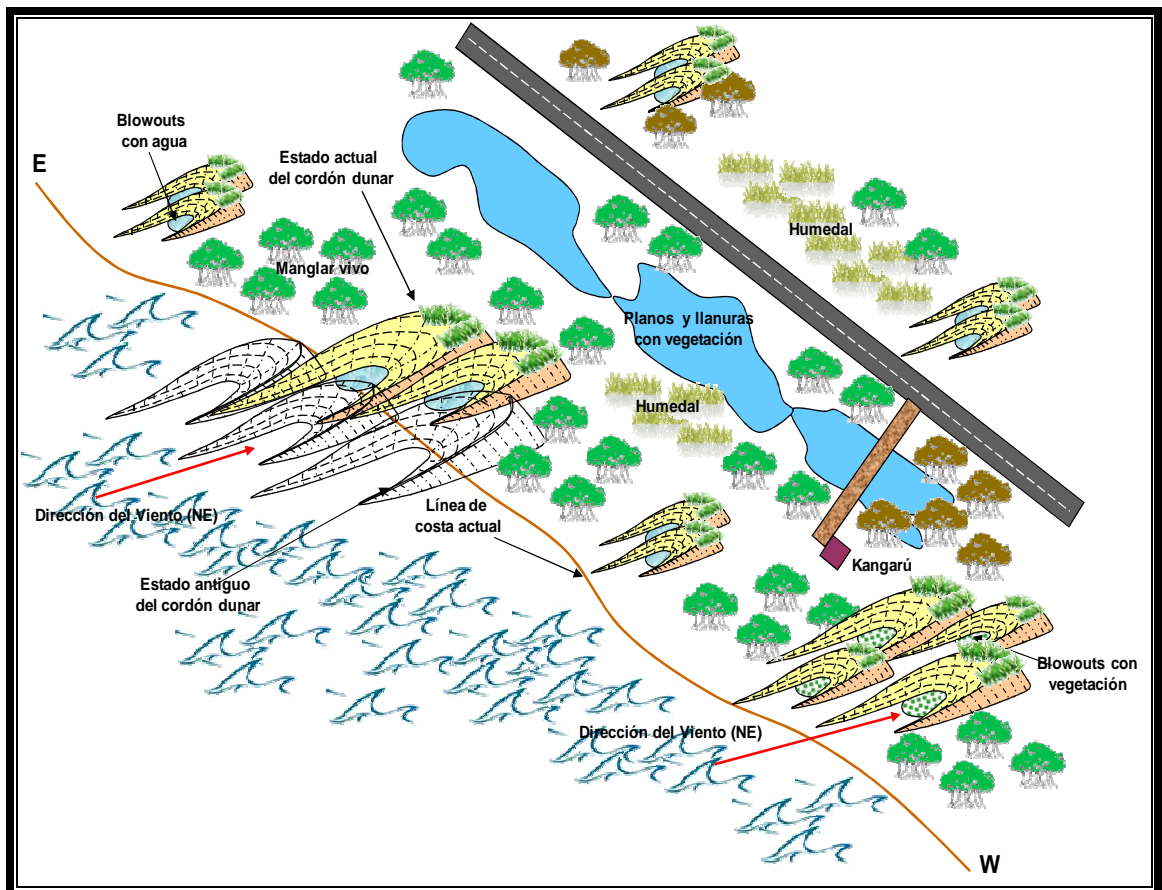


Figura 25. Esquema generalizado del cordón dunar en el área de estudio.

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

Las dunas parabólicas identificadas (Figura 26) son típicas de los márgenes del campo eólico, donde la vegetación ancla los brazos de las dunas barjanoides, invirtiendo su forma; este tipo de duna presenta una forma de U o V a medida que migra hacia los márgenes del campo eólico. Estas dunas migran hacia el continente en forma digitada o lobular generando superficies de deflación (Blowouts) (Figura 27) de tal manera que el punto de ruptura de la duna es el sector en donde se encuentra menos estabilizada y permite el paso del viento, erosionando la duna y transportando el sedimento hasta donde la vegetación lo retiene y genera una nueva duna. Este proceso se repite dependiendo de la fuerza del viento y si la vegetación lo permite, en este transcurso de migración la duna parabólica forma superficies de deflación que pueden ser vegetadas o inundadas, tal como se muestra en las Figura 28 y Figura 29

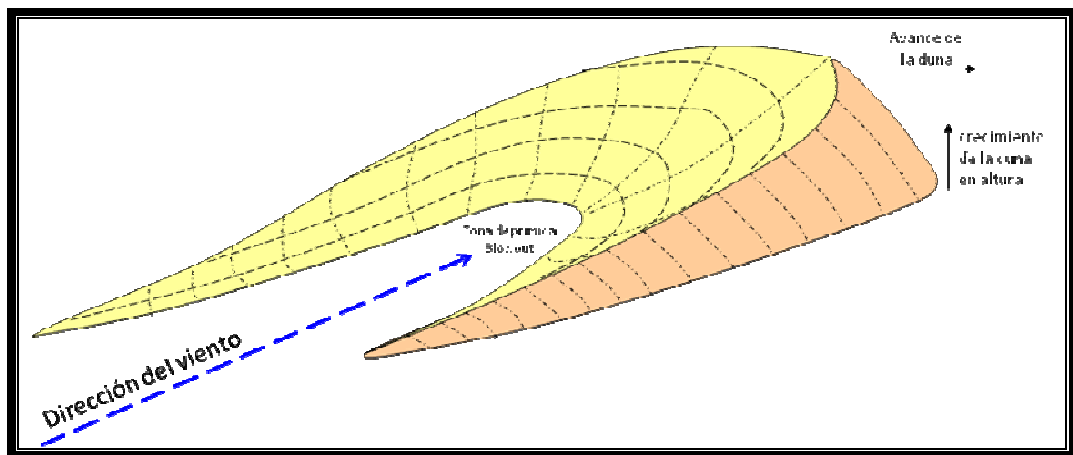


Figura 26. Duna Parabólica

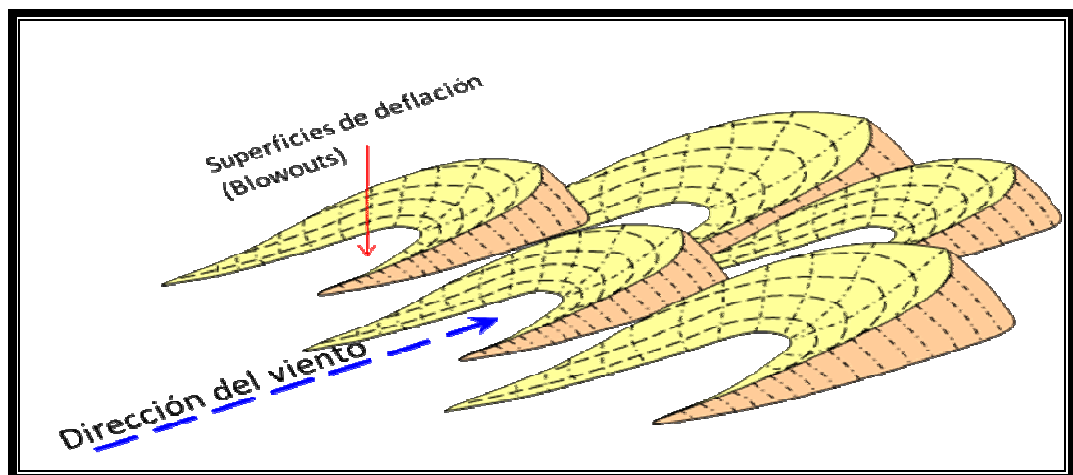


Figura 27. Duna parabólica digitada o con lóbulos

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA



Figura 28. Duna Parabólica con superficies de deflación (Blowouts) rellena por sedimento de playa



Figura 29. Superficies de deflación (Blowouts) en medio de las zonas laterales de Duna Parabólica

6.1. ESTADO ACTUAL DE LAS DUNAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El campo de dunas presente en el área, tal como se muestra en el esquema (Figura 25), se encuentra principalmente en el borde de la línea de costa y retrocediendo junto con ella debido al efecto de erosión marina; limita hacia el interior con planos y llanuras con vegetación, lo que indica que se desarrollaron como amontonamiento de arenas contra el frente del manglar, penetrando en algunas ocasiones en forma de lenguas en las partes más débiles del manglar.

El campo de dunas tiene dunas que miden entre 30 y 200 m de ancho, con alturas entre los 0,3 y 8 m (Figura 30) y longitud entre 0,4 y 100 m aproximadamente (Figura 31); estas forman cordones y están en posición paralela al viento. Las dunas son de tipo parabólico y en algunos sectores se encuentran muy vegetadas (estabilizadas) (Figura 32), mientras que otras, ubicadas en la parte trasera de la línea de costa, se encuentran en una de las fases de movimiento y erosión por el

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA
viento, digitadas o en forma de lóbulos alcanzando una altura no mayor a 8 m o estabilizadas por vegetación y por superficies de deflación (Blowouts) inundadas, lo que impide el movimiento de la arena por el viento.

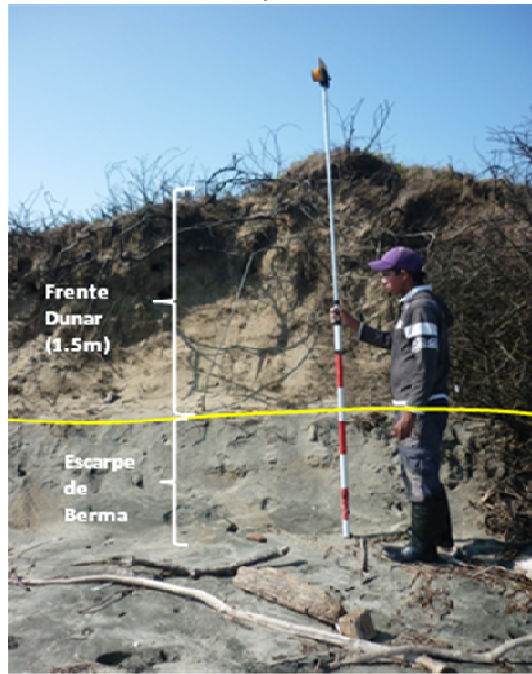


Figura 30. Altura de la duna



Figura 31. Longitud del campo dunar



Figura 32. Duna estabilizada en el área de estudio

6.2. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

Las estructuras sedimentarias de las dunas son indicadores de migración, sedimentación y erosión, pero en este caso en donde las dunas se encontraron muy vegetadas y estabilizadas la metodología recomendada por Flor (1984) y Martínez (1984), de hacer una trinchera de 1 m de lado, no dio los resultados esperados para hacer una reconstrucción del sistema dunar; como alternativa se tomaron datos donde la duna se encontraba al descubierto, lo cual no es aconsejable ya que estas estructuras se están modificando por la erosión que está sufriendo en ese momento el campo dunar, por ende sólo se determinó el tipo de estructura presente en la duna, que consiste en laminación cruzada con espesor de las láminas entre 0.03 y 0.10m (Figura 33).

En la playa se identificó estratificación plano paralela (Figura 34) con intercalación de láminas de sedimentos finos cuarzosos con bioclastos de colores claros y otros de colores más oscuros donde predominan minerales pesados. El espesor de estas láminas es muy variable y se observa una variación en el color de las mismas, que se interpreta como épocas de mayor o menor aporte de sedimentos (periodos secos o de lluvias). Este tipo de estructura se observó mejor en el NE del área de estudio, donde también se observó el contacto entre la laminación actual que forma la playa y los foreset de la duna (Figura 35).

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA



Figura 33 . Estratificación cruzada en la duna

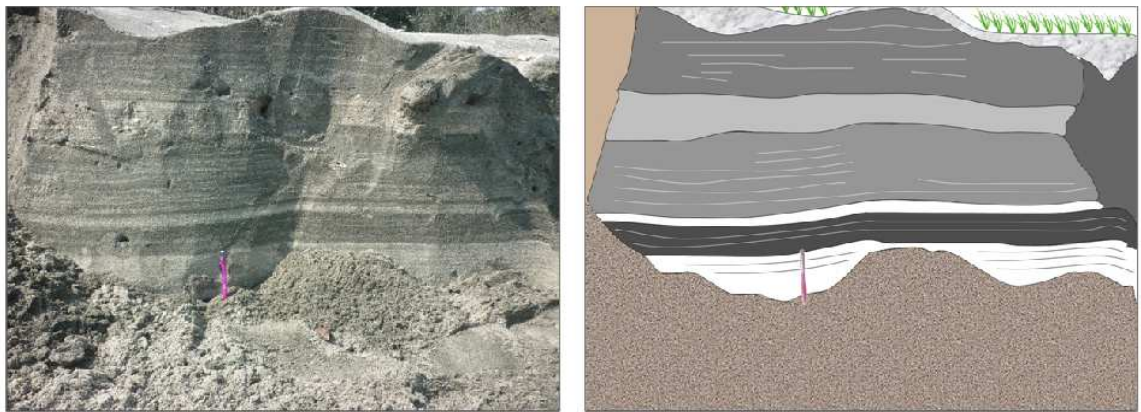


Figura 34. Estratificación plano paralela de la playa

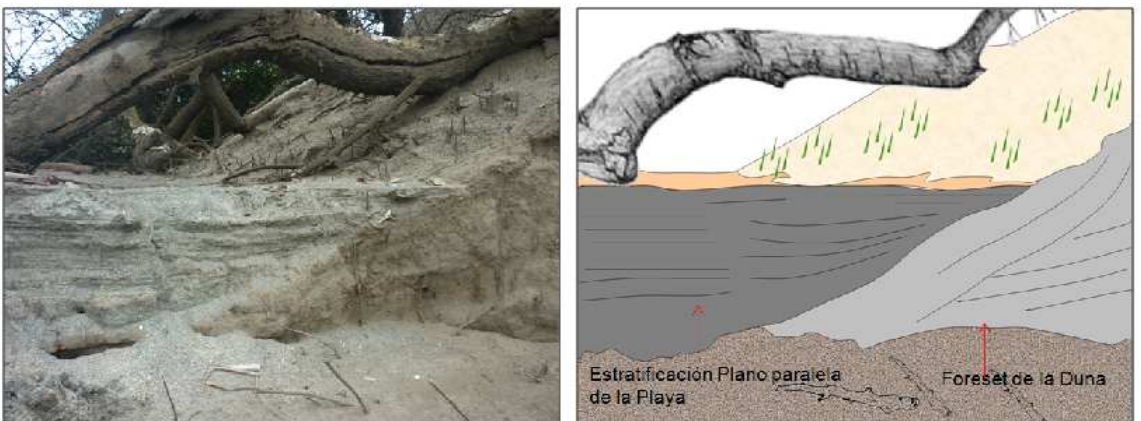


Figura 35. Estratificación plano paralela de la playa en contacto con la estratificación de la duna de los Foreset

Además de las estructuras descritas anteriormente, se reconocen los ripples (ondulitas) y las superficies de deflación (Blowouts), estructuras formadas por el

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

viento y que nos indican dirección e intensidad del mismo. En el caso de los ripples definidos por Bagnold (1941) como la respuesta inicial de la superficie al transporte de la arena por el viento, se forman porque las superficies lisas sobre las que se produce el transporte por saltación y reptación son dinámicamente inestables. Estos ripples se encuentran en las zonas donde se están formando dunas y en las zonas de erosión de las mismas, además de encontrarse en las superficies de deflación (Blowouts). Como estos pueden formarse en cuestión de minutos, dan información prácticamente instantánea de la dirección del viento y del transporte local. Los ripples típicos de viento tienen longitudes de onda que oscilan entre los 50 y 200 mm y una altura de 0,005 a 0,01 m. (Bagnold, 1941, Figura 36).

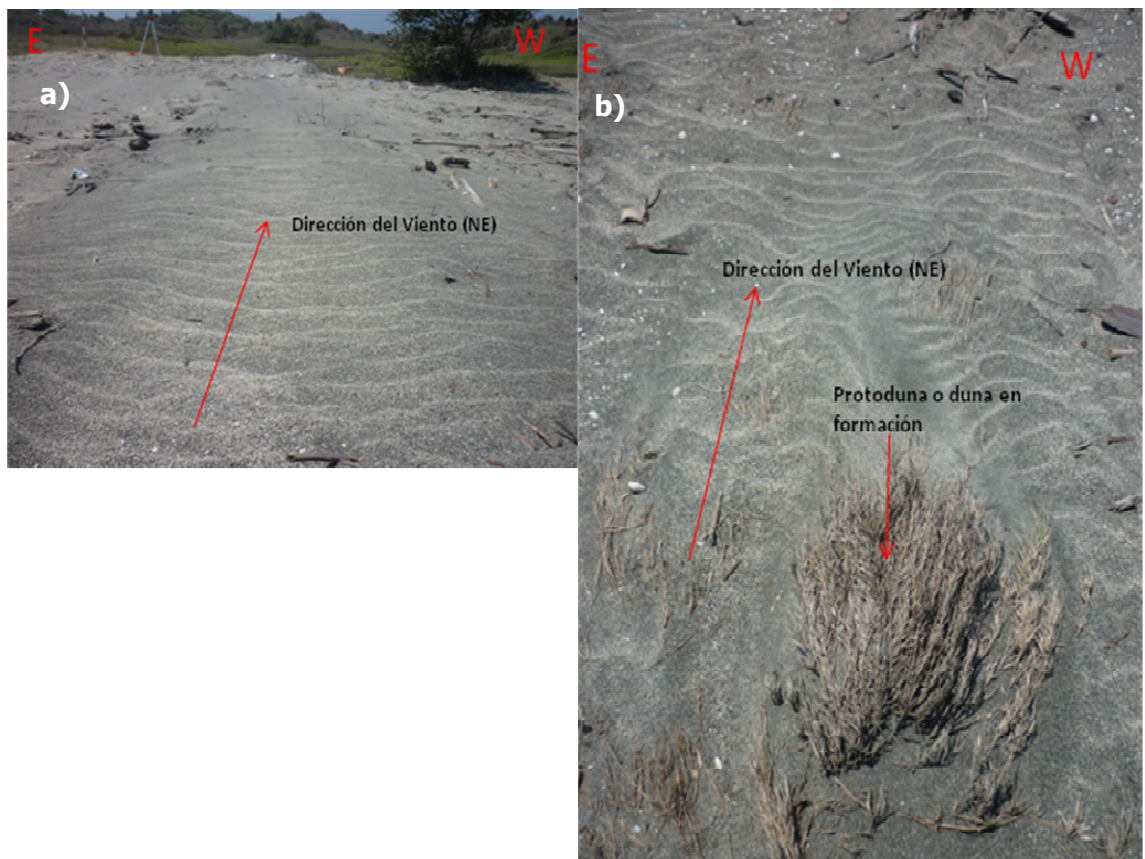


Figura 36. Ripples indicando dirección del viento. a) Ripples en dirección del viento; b) Ripples rodeando protoduna o duna en formación

En cuanto a las superficies de deflación son muy evidentes en el proceso migratorio de las dunas parabólicas y en el caso del área de estudio se encuentran en algunos sectores. La superficie de deflación la define Masselink (2003) como una depresión topográfica con forma alargada y estrecha, con forma de plato o

pocillo y generada por erosión, en la que las partículas más finas son transportadas por el viento, mientras que las partículas de mayor tamaño quedan como remanente; estas depresiones pueden ser causadas cuando la vegetación es dañada por el paso de vehículos o peatones (Corps of Engineers, 2002).

En nuestro caso los blowouts o superficies de deflación suelen estar erosionándose y cubriéndose por la arena de la playa o por resedimentación del material erosionado de la duna, generando pequeños escarpes de playa (Figura 28). Estos rasgos, originados por procesos de erosión y migración de la duna, se pueden encontrar vegetados e inundados por el aumento del nivel freático (Figura 29), por lo tanto no permiten el transporte del sedimento ya que se encuentra cohesionado y no puede ser movilizado por el viento, lo cual detiene la progradación de las dunas.

6.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LAS DUNAS Y LOS DEMÁS ESPACIOS DE SEDIMENTACIÓN PRESENTES EN EL ÁREA

Los análisis granulométricos se realizaron para determinar los tamaños de los sedimentos encontrados en el área. Con el análisis macroscópico hecho en campo se pudo distinguir el tipo de sedimento que caracteriza las dunas, playas, lagunas y demás espacios de sedimentación; entre las características macro observadas en las dunas se tiene el color amarillo pardo, la buena selección, ausencia de fragmentos de concha y tamaño de grano de arenas finas, que evidencia el viento como un agente dinámico y selectivo.

Otra de las diferencias macroscópicas observadas fue la presencia de sedimento arcilloso en los pantanos intermareal, con presencia de grietas de desecación y restos de conchas. En el sedimento de las playas hay diferencias marcadas entre la playa delantera (Foreshore), donde se encuentran diversos tamaños de arenas, abundan los fragmentos de conchas y los minerales pesados, dándoles un color gris oscuro. En la playa trasera (Backshore), hay mayor selección, menos fragmentos de conchas y se reconocen sedimentos resedimentados de la duna, un color gris más claro con granos oxidados de la duna.

Los resultados del análisis microscópico de los sedimentos como composición y cantidad de sedimento por tamiz, se resumen en las Tabla 1 y Tabla 2 y en la Figura 37. Con base a estos resultados se corroboró las diferencias hechas a nivel macro. Entre las diferencias halladas a nivel microscópico se tiene que el sedimento de las dunas es de composición cuarzosa con porcentajes que varían entre 60-70%, feldespato entre 15-17%, micas entre 5-8%, minerales pesados y anfíboles entre 5-6%.

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

Y en los sedimentos de la playa delantera (Foreshore) se observó una mala selección de los granos tamaños de arena entre fina y gruesa, con fragmentos de conchas y materia orgánica el contenido de cuarzo está entre 48-53%, micas entre 10-13%, anfíboles y minerales pesados entre 10-18%, fragmentos de conchas y carbonatos entre 8-10%, en cambio en la playa trasera (Backshore) el sedimento está mal seleccionado, y se reconocen sedimentos de la duna y la playa delantera, producto de la erosión de la duna y del swash que hacen migrar los sedimentos de la playa delantera, el contenido de cuarzo varía entre un 47-48%, las micas entre 12-15%, anfíboles y minerales pesados 15-17%, el feldespato entre 5-7%, los fragmentos de conchas y carbonatos entre 1-3%.

En otro de los análisis estadísticos elaborados, que se resumen en las tablas Tabla 3 y Tabla 4 y en la Figura 38, se observaron las características de los sedimentos como selección, media, kurtosis, simetría y color. Entre estas características se tiene que el sedimento de la duna es del color amarillo pardo, producto del precipitado de óxidos de hierro en los bordes de los granos (Manual de restauración de dunas costeras, 2007), corresponde a arenas finas, subredondeadas con una selección moderada a buena, coeficiente de simetría asimétrico positivo con predominancia hacia los finos, mientras en la Kurtosis la tendencia fue hacia leptocúrtica y muy leptocúrtica.

En cambio en la playa delantera se tienen arenas entre media y gruesa de color gris claro, con cuarzo traslúcido y en ocasiones se evidencia la presencia de minerales pesados; presenta valores de selección de rango amplio en el que predominan los moderadamente bien seleccionados. El coeficiente de simetría es simétrico y tiene una kurtosis con un gran rango entre muy platicúrtica y leptocúrtica. En la playa trasera el sedimento son arenas medias de color gris claro y amarillo, con una selección moderada, coeficiente de simetría simétrico y kurtosis mesocúrtica. Estas diferencias se pueden notar en la Figura 39, en donde se muestran los 3 tipos de sedimentos analizados.

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

MTA	PESO MUESTRA SECA	Cantidad de Sedimento por tamiz							
		2 mm	1 mm	0,5 mm	0,250 mm	0,125 mm	0,063 mm	< 0,063 mm	TOTAL
M1-G2-P	100,52	0	0,15	5,08	52,96	40,58	1,6	0	100,37
M2-G2-P	100,33	0,42	2,93	18,61	55,29	22,16	0,83	0	100,24
M3-G4-D	100,26	0	0,01	0,12	6,31	78,27	15,03	0,47	100,21
M4-G5-D	100,02	0,09	0,02	0,01	0,19	76,07	19,52	4,11	100,01
M5-G8G9-Pt	100,65	0,67	3,48	26,3	46,97	22,31	0,92	0	100,65
M6-G8G9-P	100,84	4,83	14,08	37,15	37,75	6,69	0,18	0	100,68
M7-G12-D	100,18	0,04	0,11	0,1	2,18	80,58	10,12	6,95	100,08
M8-G12-P	100,01	0	1,1	21,9	58,08	18	0,9	0	99,98
M10-G13-D	100,21	0	0,34	1,57	10,29	66,75	13,39	7,84	100,18
M11-G14G15-P	100,68	39,29	14	7,48	23,9	15,27	0,73	0	100,67
M12-G14G15-Pt	100,08	0	0,59	11,29	50,91	34,97	2,32	0	100,08

Tabla 1. Tabla de Sedimentos por tamiz

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

NORTE	OESTE	Cod_LabIMA	MUESTRA	Tamaño de grano (Φ)	TEXTURA		% ESTIMADO DE MINERALES					TOTAL	Comp. Frag. Lítico-terrigenos			Comp. Frag. Bioclastico	Materia Organica * (Raices, palos)
					Esf	Red	Qz	Mica	Frag.liti terrigeno	Frag. Litico Ca	Anf		Feld	PI	Ox . Fe		
1215163,877	550238,792	2011-001	M1-G2-P	3	Baja	Sub-Ang	50	10	14	8	18	100	5	3	6	Frag. Conchas	1
1215163,877	550238,792	2011-002	M2-G2-P	3	Baja	Sub-Ang	55	12	8	10	15	100	4	2	2	Frag. Conchas	2
1215215,445	550004,15	2011-003	M3-G4-D	3	Baja	Sub-Red	70	5	20	0	5	100	15	5	0		0
1215197,342	549987,763	2011-004	M4-G5-D	3	Baja	Sub-Red	60	8	27	0	5	100	17	8	2		0
1215272,885	549769,095	2011-005	M5-G8G9-Pt	2	Baja	Sub-Ang	47	12	16	10	15	100	7	4	5	Frag. Conchas	3
1215272,885	549769,095	2011-006	M6-G8G9-P	2	Baja	Sub-Ang	53	10	9	10	18	100	3	2	4	Frag. Conchas	3
1215459,988	549038,979	2011-007	M7-G12-D	2	Baja	Sub-Red	63	5	26	0	6	100	15	7	4		0
1215459,988	549038,979	2011-008	M8-G12-P	3	Baja	Sub-Ang	49	11	14	8	18	100	5	3	6	Frag. Conchas	1
1215427,54	549160,303	2011-010	M10-G13-D	2	Baja	Sub-Ang	60	5	28	0	7	100	18	7	3		4
1215413,444	549225,631	2011-011	M11-G14G15-P	2	Baja	Sub-Ang	50	13	12	10	15	100	5	4	3	Frag. Conchas	1
1215413,444	549225,631	2011-012	M12-G14G15-Pt	2	Baja	Sub-Ang	48	15	12	8	17	100	5	4	3	Frag. Conchas	1

Tabla 2 Composición mineralógica de los sedimentos

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

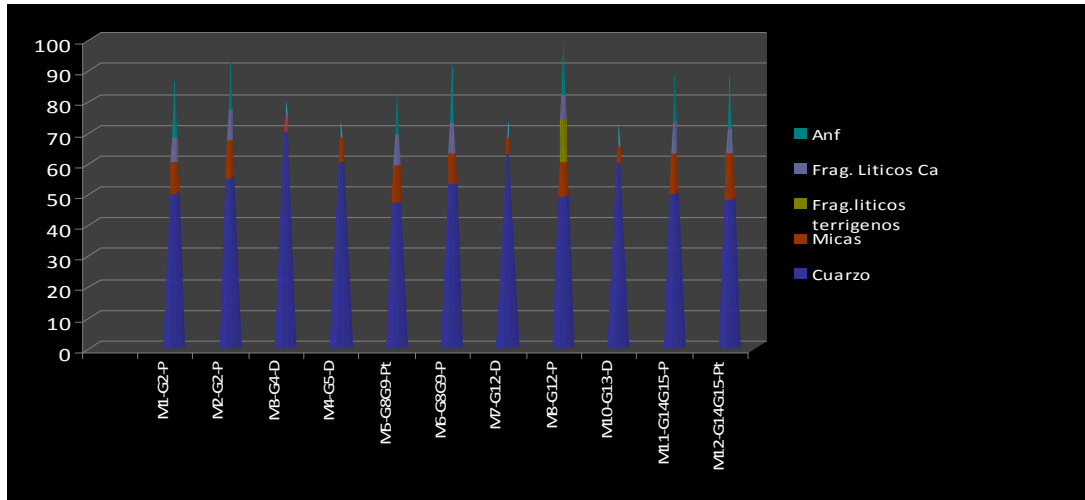


Figura 37. Composición mineralógica de los sedimentos

MTA	Clasificación según método Folk y Ward				Clasificación según método Folk y Ward			
	MEDIA	SORTING	SKEWNESS	KURTOSIS	MEDIA	SORTING	SKEWNESS	KURTOSIS
M1-G2-P	1,899	0,656	0,097	0,767	Arena Media	Selección Mod Buena	Simétrica	Platicurtica
M2-G2-P	1,502	0,820	-0,029	1,231	Arena Media	Selección Moderada	Simétrica	Leptocurtica
M3-G4-D	2,558	0,508	0,091	1,227	Arena Fina	Selección Mod Buena	Simétrica	Leptocurtica
M4-G5-D	2,749	0,580	0,307	1,173	Arena Fina	Selección Mod Buena	Asimetría muy finos	Leptocurtica
M5-G8G9-Pt	1,399	0,888	-0,019	0,983	Arena Media	Selección Moderada	Simétrica	Mesocurtica
M6-G8G9-P	0,801	0,982	-0,097	0,992	Arena Gruesa	Selección Moderada	Simétrica	Mesocurtica
M7-G12-D	2,621	0,784	0,394	2,396	Arena Fina	Selección Moderada	Asimetría muy finos	Muy Leptocurtica
M8-G12-P	1,435	0,763	-0,026	1,235	Arena Media	Selección Moderada	Simétrica	Leptocurtica
M10-G13-D	2,670	1,066	0,354	2,646	Arena Fina	Selección Pobre	Asimetría muy finos	Muy Leptocurtica
M11-G14G15-P	0,166	1,448	0,380	0,608	Arena Gruesa	Selección Pobre	Asimetría muy finos	Muy Platicurtica
M12-G14G15-Pt	1,813	0,765	0,026	0,950	Arena Media	Selección Moderada	Simétrica	Mesocurtica

Tabla 3. Clasificación de los sedimentos del área de estudio elaborada en Gradistat Según Folk y Ward

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

Tipo de sedimento	Rangos	Parámetros Granulométricos			
		Media (Phi)	Selección (Phi)	Coef. Simetría	Curtosis
Playa	Máximo	1,899	1,448	0,380	1,235
	Mínimo	0,166	0,656	-0,097	0,608
	Media+Desv. Estándar	0,885± 0,681	0,898± 0,310		0,9328 ± 0,278
Duna	Máximo	2,749	1,066	0,394	2,646
	Mínimo	2,558	0,508	0,091	1,173
	Media+Desv. Estándar	2,648 ± 0,080	0,704 ± 0,249	0,249 ± 0,135	1,738± 0,769
Playa Trasera	Máximo	1,813	0,888	0,026	0,983
	Mínimo	1,399	0,765	-0,019	0,950
	Media+Desv. Estándar	1,592± 0,292	0,824 ± 0,086		0,966± 0,023

Tabla 4. Principales parámetros estadísticos de los sedimentos analizados

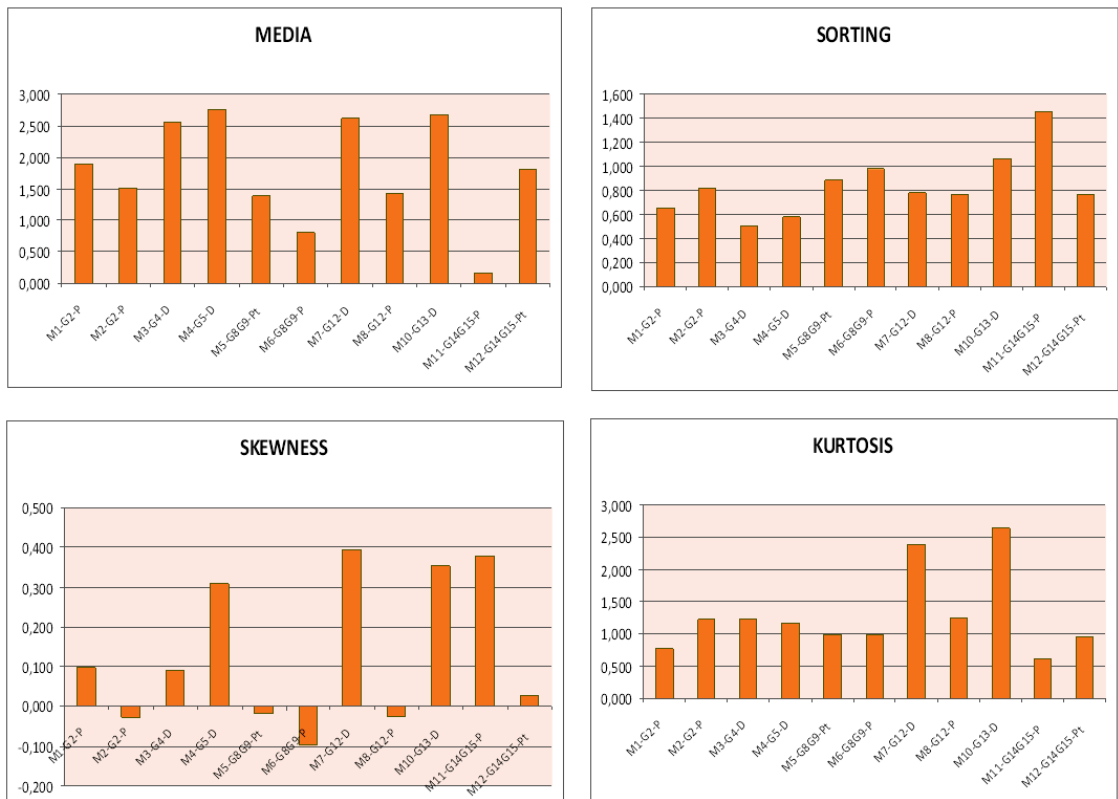


Figura 38. Valores promedio de los parámetros granulométricos estadísticos de las muestras

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

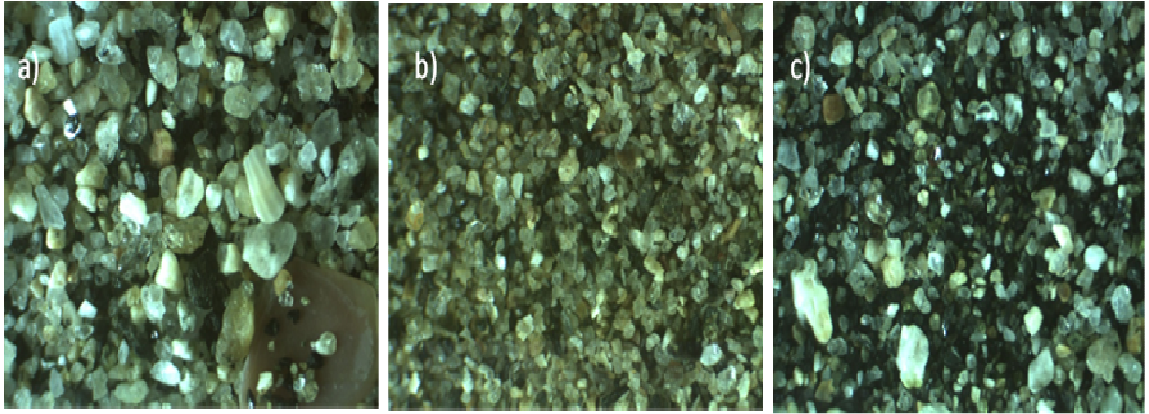


Figura 39. Sedimentos a) Sedimento Playa; b) Sedimento Duna; c) Sedimento Playa trasera.
(Fotos tomadas con la cámara Cemx Dc 1300)

7. VARIABLES GEOLÓGICAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

7.1. CAMBIOS DE LA LÍNEA DE COSTA

Las variaciones de la línea de costa registran los procesos de erosión y acreción acontecidos en una zona en un tiempo determinado, los cuales son reflejo de fenómenos naturales y/o actividades antrópicas. La comparación de aerofotografías tomadas en diferentes años 1967, 1985, 2001 y la medición de la línea de costa actual (2011) con el GPS-GNS2 por el límite de mas alta marea (Posada y Rangel, 2009) a lo largo de la playa permitieron hacer una aproximación de los cambios de la línea de costa para los últimos 44 años.

El análisis matemático arrojado por el DSAS evidencia un proceso de erosión general del área de estudio tal como se muestra en las Tabla 5 y Tabla 6 y en la Figura 40. Entre los años 1967-1985 muestra una tasa de erosión de 3.3 m.año^{-1} , mientras que entre 1985-2001 fue más baja con un valor 2.9 m.año^{-1} y para los últimos 10 años el proceso de erosión ha sido el más alto teniendo una tasa promedio de 5.1 m.año^{-1} .

Tomando como base el proceso erosivo evaluado en los cambios de la línea de costa se identificó su efecto sobre el campo de dunas a través del tiempo, sobre las playas y los pantanos de manglar. Observaciones de campo permitieron identificar fragmentos de sustrato de manglar arrojados a las playas actuales, ya que los manglares se adentraban mucho más costa fuera y cubrían la línea de costa que se comenzó a erosionar, lo cual ha sido mencionado en estudios anteriores realizados por Martínez y Molina (1992), INVEMAR (Posada et al., 2009), como un proceso erosivo que afecta toda la Barra de Salamanca.

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

Transecto	Cambio de la línea de costa (1967-1985)		Cambio de la línea de costa (1985-2001)		Cambio de la línea de costa (2001-2011)	
	Erosión(m)	Tasa de Cambio (m/año)	Erosión(m)	Tasa de Cambio (m/año)	Erosión(m)	Tasa de Cambio (m/año)
1	77,550	4,308	35,530	2,221	66,312	6,631
2	74,052	4,114	36,042	2,253	62,547	6,255
3	66,002	3,667	43,851	2,741	53,88	5,388
4	74,396	4,133	42,116	2,632	49,088	4,909
5	59,834	3,324	44,189	2,762	57,887	5,789
6	60,000	3,333	47,155	2,947	51,569	5,157
7	50,701	2,817	41,452	2,591	59,084	5,908
8	63,429	3,524	42,398	2,650	43,24	4,324
9	51,226	2,846	56,518	3,532	42,351	4,235
10	46,526	2,585	56,860	3,554	48,346	4,835
11	43,245	2,403	59,527	3,720	47,251	4,725
12	54,041	3,002	57,703	3,606	49,236	4,924
13	61,296	3,405	49,214	3,076	32,911	3,291
Promedio	60,177	3,343	47,120	2,945	51,054	5,105

Tabla 5. Cambios en la Línea de Costa de los diferentes años

Transecto	Cambio de la línea de costa (1967-2011)	
	Erosión(m)	Tasa de Cambio (m/año)
1	179,392	4,077
2	172,641	3,924
3	163,733	3,721
4	165,6	3,764
5	161,91	3,680
6	158,724	3,607
7	151,237	3,437
8	149,067	3,388
9	150,095	3,411
10	151,732	3,448
11	150,023	3,410
12	160,98	3,659
13	143,421	3,260
Promedio	158,350	3,599

Tabla 6. Promedio del cambios en la Línea de Costa de los diferentes años

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

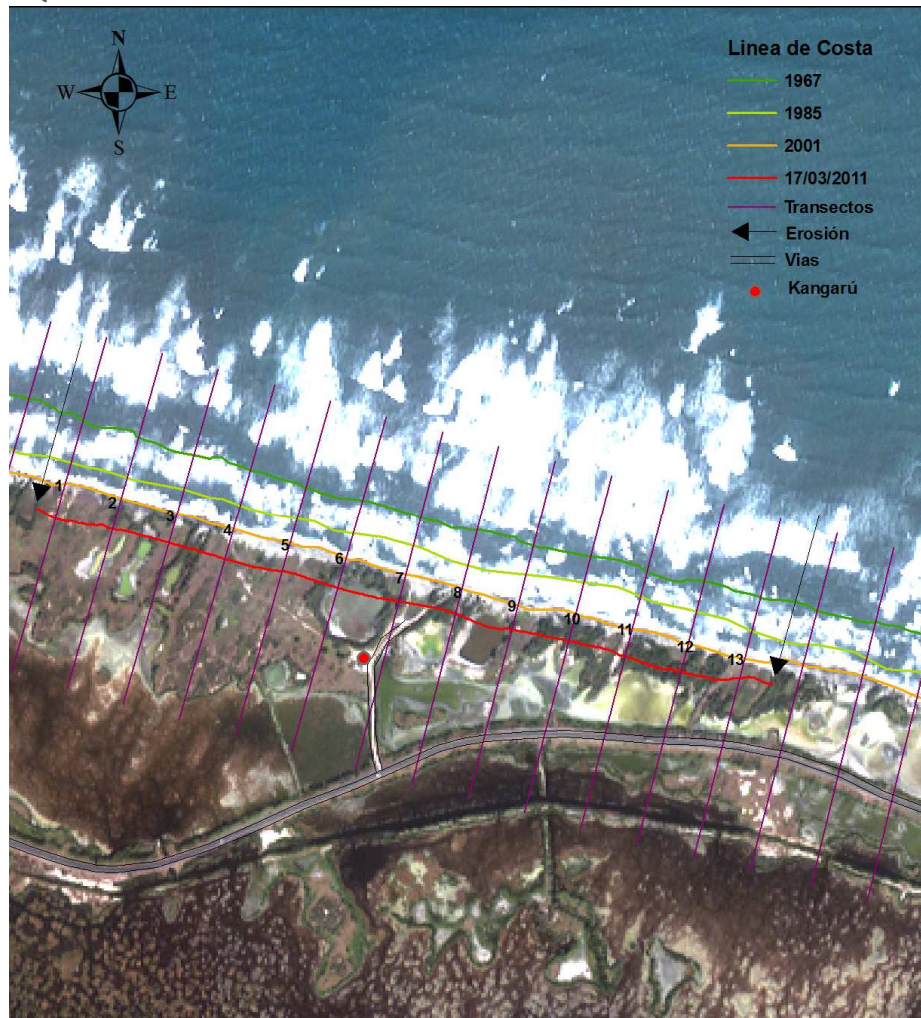


Figura 40. Cambios en la Línea de Costa

7.2. PERFILES TOPOGRÁFICOS

Las gráficas de los perfiles longitudinales tienen una dirección Norte – Sur, en sentido de izquierda a derecha, representando la zona litoral y la geomorfología del área de estudio en la Barra de Salamanca, con un avance hacia la carretera que conduce de Ciénaga a Barranquilla.

La zona de foreshore, en toda el área de trabajo, se caracteriza por un ancho entre 0.5 y 7 m, con una pendiente de 8° ; pequeñas bermas escalonadas en donde el escarpe de cada berma varía entre 0.05 y 1m, los cuales son intervenidas por las corrientes y el oleaje, causando zonas de socavación profundas poco extensas. Adyacentes a estas zonas en el Backshore se tienen pendientes que van entre los 7° y 10° y en donde no hay zona de Backshore, se

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

encuentra la zona de dunas que están siendo afectadas en su costado trasero, por los procesos dinámicos del mar y el viento, causando inestabilidad en la morfología típica litoral y generando desaparición de la playa. Se reconocen dos cordones dunares, uno entre los perfiles 11 al 15 y el otro entre los perfiles del 26 al 28 y del 30 al 38 donde se encuentran las dunas de mayor altura, desde 1 a 6 m y longitudes variables de 10 a 70 m. Sin embargo, la mayor altura de duna, de 6m, se registró en el perfil 32 que se encuentra en el costado Este del área.

Entre otras de las características halladas en estos perfiles se tienen superficies de deflación entre las dunas, y en la parte trasera de las mismas, se encontraron zonas de inundación y salares y pantanos intermareales, los cuales llegan hasta el borde de la carretera principal, tal como se muestra en el perfil 15. En general estos perfiles son comparables con el perfil generalizado de la barra de Salamanca realizado por Bernal (1995) (Figura 41).

En los perfiles transversales a las dunas se midió el espesor de las dunas, entre 10 y 80 metros, tal como se ven en los perfiles 49 al 51; además en los perfiles 32, 33 y 52 al 54 se determinaron las alturas de las dunas presentes en los cordones dunares, que variaron entre 1 y 4 metros, presentándose la mayor altura en el perfil 54 el cual se encuentra al costado E de la zona de estudio. También se logró la ubicación espacial de los pequeños cordones dunares, en donde uno de ellos está en el centro del área de estudio (perfiles 16 al 22) y el otro entre los perfiles 41 al 48 al E de la zona; estos cordones presentan espesor entre los 10 y 28 metros en los perfiles 16 al 22 y del 41 al 48.

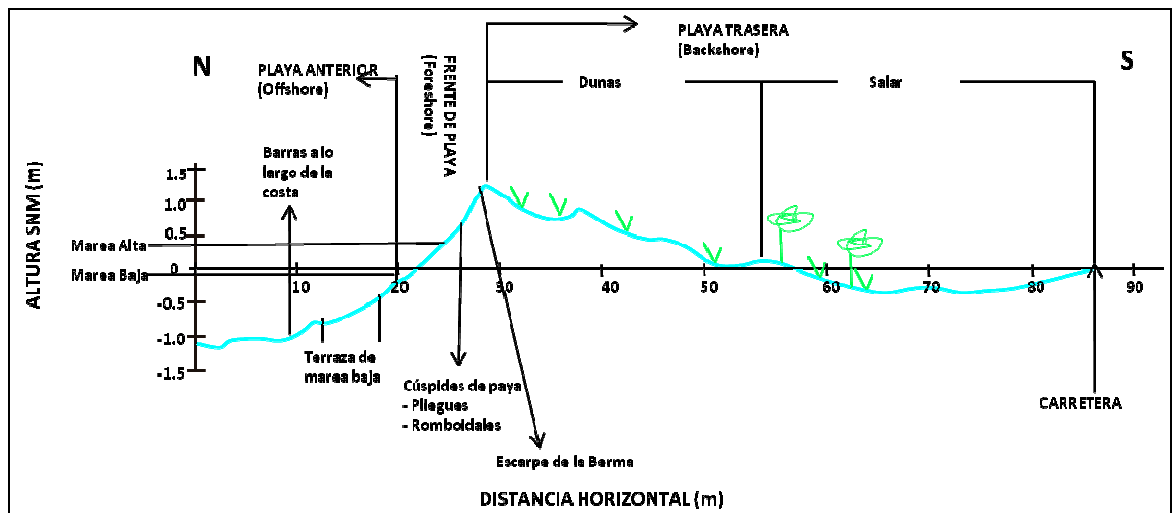


Figura 41. Perfiles de playa generalizado para la Barra de Salamanca. Modificado de Bernal (1995)

7.3. PROCESOS EROSIVOS

Los procesos erosivos ocurren predominantemente entre la playa seca y el primer cordón dunar. Son eventos discretos o graduales, de intensidad variable, espacial y temporalmente, ocasionados por los impactos del oleaje, inundaciones de agua de mar, o la acción de las corrientes litorales y el viento (Hesp y Martínez, 2007), así como por la intervención antrópica.

Erosión marina

El sistema playa seca-duna es un área dinámica en la que se produce un constante intercambio de sedimentos con el mar (Carter, 1990), y en donde el fenómeno de erosión marina se manifiesta por la actuación de oleajes de tormenta. Esta erosión crea bermas o escarpes de fuerte pendiente en los frentes de dunas, de una forma más bien permanente, que evolucionan con la formación de bloques caídos, deslizados y de pasillos de tormenta, que son entrantes con forma convexa hacia tierra. Estos frentes erosivos provocan perfiles transversales asimétricos en los cordones dunares: mayor pendiente a barlovento (límite duna/playa) y escarpes suavizados a sotavento. Como quiera que el oleaje es el factor dinámico que actúa de forma directa, la configuración del límite playa/duna debe contemplarse con suma cautela a la hora de concluir sobre un proceso final de erosión o sedimentación dominante (Flor, 1990).

Una misma playa puede presentar áreas de erosión ligadas a la actuación de cabeceras de corrientes de resaca (lugares donde el frente dunar será de mayor pendiente por erosión), las cuales varían de posición en el tiempo y en el espacio, en función del oleaje; por otra parte, los ciclos de erosión/sedimentación tienen una componente estacional anual pero también de hasta una década, de manera que un frente dunar puede mantenerse localmente durante varios años, sin implicar que la erosión global juegue en esa zona un papel decisivo; tampoco tendrá esa característica erosiva un cordón dunar en progresión con el talud verticalizado, sino todo lo contrario. Se consideran procesos erosivos netos cuando la recesión del acantilado dunar o costero produce frentes de fuerte pendiente con avance más o menos continuo y pérdida de masa, sin recuperación en el tiempo (Flor, 1990).

La erosión marina es tan alta en el área que ha influenciado y cambiado en gran parte la morfología costera; se refleja en el retroceso de la línea de costa hasta el punto donde las dunas parabólicas, que en este caso son dunas primarias, se encuentran en el borde costero, generando un desequilibrio del sistema. En la dinámica costera erosiva, la erosión del primer cordón dunar es intensa, por lo que la vegetación existente es eliminada y se pueden formar superficies de deflación (blowouts) o rupturas del primer cordón dunar, con posibilidad de inundación de

zonas interiores (washovers). Además, el oleaje que afecta al área puede variar de acuerdo a la temporada (Lluvias o Seca), lo cual puede genera más erosión en algunos sectores y en otros pequeñas sedimentaciones, tal como se muestra en las Figura 10, Figura 11 y Figura 12, en donde para diferente mes y temporada, la playa cambió drásticamente aumentando su frente, lo que resguardó en cierto modo el campo dunar. En este proceso erosivo se evidenciaron cambios en las pendientes de las bermas o escarpes de playa; se presentaron escalonados (Figura 14) y con pendientes casi verticales, con alturas entre los 0.10 y 1 metro. Presentaron además cambios en la sedimentación en la playa y variación en la composición del sedimento, con aumento de la presencia de minerales pesados y conchas y fragmentos de conchas.

Grado de erosión de un campo dunar

Los campos dunares en algunos países como España y México, son evaluados mediante un grado de erosión, el cual es definido por García Mora y colaboradores (2001), y Martínez et al., (2006), como el grado de vulnerabilidad al que este es sometido.

- La vulnerabilidad de un sistema dunar se determina mediante el denominado “índice de vulnerabilidad” que sintetiza de forma cuantitativa la capacidad de respuesta de un sistema dunar costero ante los diversos procesos que interactúan y determinan los ajustes y la evolución del frente costero (García Mora y Colaboradores, 2001).

Este índice de vulnerabilidad elaborado por García Mora y Colaboradores (2001) se subdivide en:

Índice Geomorfológico-sedimentario del Sistema Dunar (IGD):

“El efecto de los procesos ambientales dominantes sobre la dinámica de las dunas costeras depende del desarrollo potencial del depósito sedimentario. Éste depende, entre otros factores, de las características de la unidad geomorfológica al que está asociado. Por otro lado, el desarrollo y morfología de los frentes costeros depende de forma muy directa de las características del sedimento, tales como granulometría, forma, cohesión y densidad del grano de arena”(García Mora y Colaboradores ,2001)

Tomando en consideración lo anterior y aplicándolo a este caso en donde la proximidad del nivel freático a la superficie en las depresiones interdunares es muy alto, se puede observar que esto aumenta la cohesión entre las partículas y dificulta el transporte eólico del sedimento, a la vez que favorece una mayor cobertura vegetal, disminuyendo la movilidad de las arenas y la pérdida sedimentaria del sistema. En definitiva, la pérdida de superficie ocupada por

elementos morfológicos de acumulación de arena así como la fragmentación del sistema dunar en pequeñas unidades aisladas y dispersas, modifica las condiciones ecológicas y geomorfológicas y acelera la degradación y eliminación de las estructuras de acumulación eólica.

Índice de Incidencia Marina (IIM):

“Los efectos inmediatos del mar sobre la duna costera se centran en el control sobre la disponibilidad de sedimento. Uno de los factores determinantes de la disponibilidad sedimentaria lo constituye la energía potencial del oleaje, que puede relacionarse directamente con la longitud de superficie marina sobre la que el viento sopla en una misma dirección (fetch meteorológico)” (García Mora y Colaboradores ,2001).

La erosión marina es el factor que más está afectando al área de estudio, puesto que las playas que son las que resguardan y protegen inicialmente a las dunas pueden variar de acuerdo a la temporada de lluvias o seca, hasta el punto de incidir en las dunas primarias y destruirlas total o parcialmente, dejando descubierto y desequilibrando el sistema que este estaba resguardando, como lo son los planos y llanuras vegetados y pequeñas lagunas en el sector, esta incidencia marina genera inundaciones parciales y temporales lo que dificulta la recuperación rápida al sistema y así obtener un equilibrio dinámico entre Playa-Duna-Planos y llanuras vegetados.

Índice de Incidencia Eólica (IIE):

“El factor eólico es el responsable directo del modelado dunar y su actuación, y al igual que el factor marino, puede inducir en la costa tanto procesos erosivos como acumulativos o deposicionales. El desarrollo de las estructuras de acumulación eólica va a depender, entre otros factores, de la disponibilidad de sedimento susceptible de ser transportado por el viento y de la textura de la superficie”. (García Mora y Colaboradores ,2001)

En el caso de la Barra de Salamanca y en nuestro caso en particular, donde el ancho de las playas cambia con la temporada de lluvias o seca, como también la presencia de cantos rodados, restos de conchas, detritos y vegetación, incrementando la rugosidad superficial de la playa modifica el perfil del viento, así como la velocidad umbral a la que el sedimento es susceptible de ser transportado. Estos factores disminuyen la movilidad de la arena y por tanto, el volumen de sedimento transportado hacia el sistema dunar. En estas circunstancias, se pueden llegar a formar bermas escalonadas y a su vez dunas embrionarias temporales y en caso que se resguarden y sean vegetadas rápidamente se estabilizan formando un nuevo ciclo en el proceso de la formación de los cordones dunares.

Índice de características de la cubierta vegetal (ICV):

La capacidad de la vegetación de retener el sedimento disponible va a determinar, entre otros factores, los incrementos de volumen sedimentario y el crecimiento potencial en altura de los cordones litorales. Una vez que la vegetación no es efectiva como pantalla eólica, la estructura sedimentaria estabiliza su altura y comienza a avanzar hacia tierra. Teniendo en cuenta esta interrelación entre geomorfología y vegetación a nivel dunar, se ha considerado, además de la cobertura de la vegetación, por su capacidad de fijar y acumular sedimento, el tipo de vegetación instalada en la duna costera. Esto se debe a que el tipo de vegetación va a determinar, en última instancia, el desarrollo y la morfología de la estructura sedimentaria. ". (García Mora y Colaboradores ,2001)

En estudios realizados por Castañeda (1971) y por Sánchez y Hernández (1983) en la barra de Salamanca identifican la vegetación nativa como: Mangle Salado (*Avicenia germinas* L, 1753), Trupillo (*Prosopis juliflora* (Sw) DC, 1825), Guamachito o Guamacho (*Pereskia colombiana* Britt. & Rose, 1919) y Gramalote o paja Salobre (*Sporobolus virginicus* (L) Kunth, 1829), como los mayores fijadores y receptores de la arena que moviliza el viento, pero estos han sufrido un proceso de devastación desde los años 60 impidiendo la retención del sedimento y generando una pérdida significativa de este ya que migra hacia el continente y se pierde el ciclo dunar en el sistema.

Índice de Presión de Uso (IPU):

Los impactos humanos producidos sobre la geomorfología y ecología de los cordones litorales son de dos tipos. Por un lado, los que implican modificación de las características del sistema y por otro, los que implican eliminación parcial o total del mismo (García Mora y Colaboradores ,2001)

El impacto antrópico mas grande que ha sufrido el área se ve generalizado en toda la barra de Salamanca en donde la construcción de la vía Ciénaga-Barranquilla en los años 60 y en la actualidad la construcción de diques y canales a lo largo del río Magdalena ha generado alteraciones hidrológicas interrumpiendo las conexiones (con excepción de una) entre el Golfo de Salamanca y la Ciénaga Grande de Santa Marta, así como la mayor parte del flujo de agua subterránea debido a la compactación del suelo (Botero-Arboleda y Salzwedel, 1999), ocasionando un desequilibrio en el sistema, viéndose reflejado en los cambios morfológicos como lo son la erosión de las dunas, y los planos y llanuras vegetados.

8. CONCLUSIONES

- El estudio geomorfológico de la zona permitió delimitar las relaciones entre las geofomas de playa, duna, planos de inundación, planos y llanuras con vegetación, y su interacción con la dinámica actual del sistema costero.
- El retroceso en la línea de costa con valores de 158,350 m en los últimos 44 años evidencia una tasa de erosión de 3.599 m.año^{-1} ; esta erosión es evidente en los campos de dunas que actualmente se encuentran en el frente costero expuestos a la erosión marina, que varía de acuerdo a las temporadas climáticas secas o lluviosas, que dan como resultado cambios en la morfología costera.
- El tipo de duna parabólica identificada se orienta paralela al viento y tiende a formar cordones, resguardados por pequeños pantanos de manglar; se ubican a lo largo del litoral de la barra de Salamanca, y unas son activas parcialmente cubiertas por vegetación xerófito, y otras inactivas estabilizadas con vegetación halófito; estas dunas estabilizadas se encuentran en los extremos del área y las activas en el centro del área.
- La caracterización sedimentológica (granulometría, composición y textura) de las dunas mostró un predominio de sedimentos finos de composición cuarzosa representada por grupos texturales de arenas finas a muy finas con una selección moderada a buena, característico de ambientes eólicos.

9. RECOMENDACIONES

- En el caso del VIPIS y en general para la Barra de Salamanca es muy importante estudiar y conocer el sistema, la relación de las dunas presentes con el manglar, puesto que este ha sido el mayor retenedor y fijador de los campos dunares, en el momento de alterar uno de los dos, como ha sucedido después de la realización de la Vía Ciénaga-Barranquilla, el sistema colapsa y se desequilibra, al realizar una estabilización del sistema por medio de reconstrucción de dunas, antes se debe fijar, revegetar y cuidar el manglar presente.
- Para estabilizar una costa el frente litoral de la Barra de Salamanca por medio de la reconstrucción de dunas se deben seguir estudiando y conociendo los eventos y procesos que intervinieron en la formación de estas, entender la relación entre las diversas geoformas (playa-duna-zonas de inundación y salares y pantano intermareal) y conocer factores como el viento (intensidad, dirección), tipo de sedimento presente, vegetación que sea captadora y retenedora de la arena.
- Se recomienda extender los estudios de este campo de dunas con el propósito de estabilizarlo y recuperarlo como geoforma de protección costera; se recomienda tomar como ejemplo la Provincias de Huelva, España donde en un campo dunar expuesto a la erosión similar al nuestro se han realizado las siguientes acciones:
 - Instalación de captadores pasivos de arena.
 - Plantación de especies dunares fijadoras de arena.
 - Adecuación mediante pasarelas, de los accesos peatonales sobre las dunas hasta la playa.
 - Remodelación del perfil de la duna, mediante aporte de arena.
 - Instalación de un cerramiento de protección en las zonas plantadas y en las zonas que, aunque no hayan sido objeto de plantación, necesitan limitar la afluencia de visitantes.
 - Eliminación de especies invasoras.
 - Limpieza y retirada de residuos.
 - Señalización mediante carteles y paneles informativos de la actuación y de la importancia de conservar los ecosistemas dunares.

BIBLIOGRAFIA

- Andrade, C.A. & Barton, E.D. 2000. Eddy development and motion in the Caribbean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 105(C11): 26,191-26,201
- Bagnold, R. A. 1941. *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes* London, Chapman and Hall
- Bernal, G. 1995. Caracterización geomorfológica de la llanura deltaica del río Magdalena con énfasis en el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Informe de proyecto. Santa Marta, Colombia.
- Botero A, L. y Salzwedel H. 1999. Rehabilitation of the Ciénaga Grande de Santa Marta, a mangrove-estuarine System in the Caribbean coast of Colombia, En: *Elservier, Ocean an Coastal Management* 42: 243-256
- Campbell, C.J., 1968. The Santa Marta wrench fault of Colombia and its regional setting. *Fourth Caribbean Geological Conference, Trinidad W.I.* 30 pp.
- Carter, R.W.G. 1990. The geomorphology of coastal dunes in Ireland. En: Bakker, Th.W., Jungerious, P.D. y Klijjn, J.A.(eds), *Dunes of European coasts; geomorphology-hydrology-soils*. *Catena Supplement*, 18: 31-40
- Carvajal, H. et al. 1998. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe colombiano. En: *Pub. Geol.Esp. Ingeominas*. No 21. p.1-114.
- Castañeda, R. 1971. *Plantas del Magdalena, II (Flora de la Isla de Salamanca)*. Primera parte. UNAL. 299p
- CIOH- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográfica, 2002. Estudio de la línea de costa entre Bocas de Ceniza y la Boca del Rio Toribio. Cartagena, 53 p
- CIOH- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográfica, 2002. Estudio del régimen hidro-litodinámico y selección de las alternativas de protección de la costa en el sector de Tasajera (área de afectación de la tubería de Promigas)". Informe Técnico
- CIOH- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, 2007. Panorama de la contaminación del Caribe Colombiano.59p
- Corps of Engineers. 2002. *Coastal Engineering Manual Part IV: Coastal Classification and Morphology*. Disponible en <http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/em1110-21100/PartIV/PartIV.htm>. Consultado en Octubre 14 de 2010.
- Dimar-CIOH. 2009. Caracterización Físico-biótica del litoral Caribe Colombiano. Tomo I. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Ed. DIMAR, Serie Publicaciones Especiales CIOH Vol. 1. Cartagena de Indias, Colombia .p. 154.
- Etayo, F *et al.* 1983. Mapa de terrenos geológicos de Colombia. *Publ. Geol. Esp. INGEOMINAS* No 14, Bogotá, 1-235.

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

- Flor, G. 1984. Estudio sedimentológico y morfológico de una duna costera <Blowouts> (Cabo Frouxeira, La Coruña). Trabajos de Geología, Univ. De Oviedo, 14, p. 161-174
- Flor, G. 1990. Topología de dunas eólicas. Procesos de erosión-sedimentación costera y evolución del litoral de la Provincia de Huelva (Golfo de Cádiz Occidental, sur de España). Estudios geol., 46: 99-109
- Flor, G. 2004. Geología Marina. Área de Estratigrafía y Sedimentología. Departamento de Geología. Universidad de Oviedo.
- Folk, R.L & Ward, W.C 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology. Vol. 27.3-26p
- García Mora, M.R., J.B. Gallego Fernández, A.T. Williams, y F. García Novo. 2001. A coastal dune vulnerability classification SW Iberian Peninsula case study. Journal of Coastal Research 17:802-811.
- Gómez V, J. y Carvajal 2011 (En curso). Propuesta de estandarización de la nomenclatura geomorfológica en la zona costera del Caribe Colombiano. 136p
- Gonima, I., J.E. Mancera, I. Botero. 1998. Aplicación de imágenes de satélite al diagnóstico ambiental de un complejo lagunar estuarino tropical: Ciénaga Grande de Santa Marta. NVEMAR. Serie publicaciones especiales No.4. 56 p.
- Hernández, M., 2003. Geología de las planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga, escala 1:100.000. Memoria Explicativa. INGEOMINAS. Bogotá
- Hesp, P.A. y Martínez, M.L. 2007. Disturbance processes and dynamics in coastal dunes. En Johnson, E.A. y Miyaniishi, K (eds.) Plant disturbance ecology: the process and the response. Elsevier, pp. 215-247.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2000; Unidades Geomorfológicas del territorio Colombiano, 59p.
- Manual de restauración de dunas costeras. 2007. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Costas de España. 244p
- Martín, C .X. 2004. Miniguía de las dunas de Laida, 62p.
- Martínez Vázquez, M.L., Gallego Fernández, J.B., García Franco, J., Moctezuma, C, Jiménez C.D. 2006. Assessment of Coastal Dune Vulnerability to Natural and Anthropogenic Disturbances Along the Gulf of Mexico. Environmental Conservation 33: 109-117.
- Martínez, J. 1984. Introducción a las dunas litorales de Canaria. U. S. de Ciencias del Mar. IITIC de Las Palmas. 219 – 84. p.21
- Masselink, G. y Hughes, M. 2003. Introduction to coastal processes & geomorphology. Hodder Arnold Pub., Great Britain, 353 pp.
- Molina, L. E. Y Martínez, J. O., 1992. Geomorfología y Aspectos Erosivos del litoral Caribe Colombiano Sector Parque Tayrona - Bocas de Ceniza. Informe inédito; Ingeominas, Bogotá.
- P.N.N.C- Plan de manejo del sitio Ramsar y reserva de la biosfera, sistema delta estuarino del río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta. RAMSAR-MINISTERIO-CORPAMAG-INVEMAR. 2002, 179p

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

- P.N.N.C- Plan de Manejo Básico 2005-2009 Vía Parque Isla de Salamanca. Parques Nacionales Naturales de Colombia; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005, 135 p.
- Porta de J. 2003. La formación del istmo de Panamá. su incidencia en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 27(103): 191-216. ISSN 0370-3908
- Posada, B.O y Segura C. Aspectos físicos del medio marino. Pág. 33-50. En INVEMAR. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia.2002. Serie Publicaciones Periódicas 8. Santa Marta, Colombia
- Posada, P., Blanca Oliva y Henao P., William, 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 13, Santa Marta, 124 p
- Posada, B., D.F. Morales, N. Neiza, J. Idarraga-Garcia, W. Henao. 2009. Estudio Batimétrico y Sedimentológico de la Ciénaga Grande de Santa Marta y la Plataforma Somera al frente de la Barra de Salamanca (Magdalena, Colombia). INFORME FINAL. BPIN Erosión Costera. Programa Geociencias Marinas. INVEMAR. 109 p. 5 Anexos
- Posada, B., Rangel, N. 2009. Metodología para el levantamiento de perfiles de playa. Pág. 55-63. En Alcántara Carrió, I.D. Correa Arango, F.I. Isla de Medy, M. Alvarado Ortega, A.H.F. Klein, A. Cabrera Hernández y R. Sandoval Barlow (Eds). Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales en el Litoral. Servicio de Publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. 2009. 297 p. il color, 29,7x21 cm. Manuales CYTED. Teledetección y Riesgos Naturales. España. ISBN 978-84-96023-67-3.
- Pujos, M. Influencia de la Contracorriente Norte Colombiana para la Circulación de las Aguas en la Plataforma Continental: Su Acción en los Efluentes en Suspensión del Río Magdalena. En: Bol. Geol. CIOH. No 6 (1986). p. 3-15.
- Sánchez P, H y Hernández C, J. 1983. Should be saved the Salamanca Island National Park; Magdalena, Colombia. First International Biosphere Reserve Congress, Minsk. Byelorussia USSR. 26 September-2 October 1983, 13p
- Sánchez P, H. 1988. Hacia la salvación del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca. Trianea. Act.Cient. Tecn. INDERENA 2: 505-527.
- SNET - Servicio Nacional de Estudios Territoriales. 2009 Introducción a la Geología Costera. 12-13
- Tschanz, Ch., Jimeno, A., y Vesga, C., 1969. Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta Area (Colombia). Informe 1829. Ingeominas. Bogotá.
- Von Erffa, V:A:F: 1973. Sedimentation, transport und erosion an der Nordkuste Kolumbiens swischwen Barranquilla un der Sierra Nevada de Santa Marta. Mitt. Inst. Colombo-Alemán 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-Alemán Invest. Cient. 7, 85-119.

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

ANEXOS

Anexo 1. Mapa Geomorfológico del área

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

Anexo 2. Perfiles Topográficos Longitudinales y transversales

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE PROCESOS EROSIVOS DEL CORDÓN DE DUNAS EN LOS Km 26 A 28 DEL VIA PARQUE ISLA DE SALAMANCA-VIPIS. DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

Anexo 3. Modelo 3D del Área