



Libertad y Orden

**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
INGEOMINAS**

***CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL  
ANDÉN CARIBE COLOMBIANO PROYECTO GEO-0803***

***EVALUACIÓN MORFODINÁMICA DE LA LÍNEA DE COSTA ENTRE LOS  
SECTORES DE PUNTA BARÚ Y GALERAZAMBA EN EL  
DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR***

**Bogotá, diciembre de 2010**

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



Libertad y Orden

**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCIÓN DE GEOLOGÍA BÁSICA  
CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y EVALUACIÓN**

***GEOMORFOLÓGICA DEL ANDÉN CARIBE COLOMBIANO  
PROYECTO GEO-0803***

***EVALUACIÓN MORFODINÁMICA DE LA LÍNEA DE COSTA  
ENTRE LOS SECTORES DE PUNTA BARÚ Y GALERAZAMBA  
EN EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR***

Por

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

**Coordinación  
Geólogo José Henry Carvajal**

**Bogotá, diciembre de 2010**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3. LOCALIZACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.4 ANTECEDENTES .....</b>	<b>13</b>
<b>1.5 METODOLOGÍA .....</b>	<b>15</b>
<b>1.5.1. Medición de Perfiles de Playa .....</b>	<b>15</b>
<b>1.5.2. Muestreo de Sedimentos de Playa .....</b>	<b>15</b>
<b>1.5.3. Análisis Mesotemporal .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5.4. Análisis Micro temporal.....</b>	<b>19</b>
<b>1.6. RECONOCIMIENTOS.....</b>	<b>19</b>
<b>2. PARÁMETROS FÍSICOS DE LA REGIÓN.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1. GEOLOGÍA.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.1. Geología Estructural.....</b>	<b>21</b>
2.1.1.1. Estructuras Geológicas del Cinturón del Sinú .....	23
<b>2.1.2. Unidades Roca Presentes en La Zona de Estudio - Cinturón del Sinú.....</b>	<b>27</b>
2.1.2.1. Formación Arjona (E3N1a).....	27
2.1.2.2. Formación La Popa (Q1lp).....	27
2.1.2.3. Formación Bayunca (N1N2b).....	28
2.1.2.4. Formación Rotinet (Q1r).....	28
2.1.2.5. Formación Arroyo Grande (Q1ag).....	29
2.1.2.6. Depósitos Recientes – Cuaternario.....	29
<b>2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL .....</b>	<b>30</b>

<b>2.3. GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>31</b>
2.3.1. Geformas asociadas a costas altas.....	31
2.3.2. Geformas asociadas a costas bajas.....	32
<b>2.4. SUELOS.....</b>	<b>35</b>
2.4.1. Factores que inciden en el uso actual.....	36
<b>VEGETACIÓN .....</b>	<b>36</b>
<b>2.5. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA REGIÓN .....</b>	<b>38</b>
2.5.1. Temperatura ambiente.....	40
2.5.2. Vientos .....	40
2.5.3. Régimen pluviométrico.....	41
2.5.3.1. Humedad Relativa.....	41
<b>2.6. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS .....</b>	<b>42</b>
2.6.1. Corrientes marinas.....	42
2.6.2. Oleaje .....	43
2.6.3. Mareas.....	43
<b>3. DINÁMICAS MESOTEMPORAL Y MICROTEMPORAL DE LA LÍNEA DE COSTA .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1. SECTOR 1. BOCATOCINO (N1686797/W875458) A PUNTA GALERAZAMBA (N1686628/W870556) .....</b>	<b>45</b>
3.1.1. Dinámica costera .....	46
<b>3.2. SECTOR 2. EXTREMO OESTE DE LAS SALINAS DE GALERAZAMBA (N1686628/E870556) A LA PUNTA JUAN MORENO SUR (N1683960/E869586).....</b>	<b>47</b>
3.2.1. Dinámica Costera.....	49
<b>3.3. SECTOR 3. PUNTA JUAN MORENO SUR (N1683960/E869586) A SUR DE PUEBLO NUEVO (N1678574/E869329).....</b>	<b>50</b>
3.3.1. Dinámica Costera.....	50
<b>3.4. SECTOR 4. SUR DE PUEBLO NUEVO (N1678574/E869329) A SUROESTE DE LOMA ARENA (N1675023/E866052) .....</b>	<b>53</b>
3.4.1. Dinámica costera .....	54
<b>3.5. SECTOR 5. PALMARITO (N1675023/E866052) A CERRO PÚA (N1666086/E849345).....</b>	<b>54</b>
3.5.1. Dinámica costera .....	58
<b>3.6. SECTOR 6. CERRO PÚA (N1666086/E849345) A PUNTA CANOA (N1661300/843000) .....</b>	<b>59</b>

<b>3.6.1. Dinámica costera .....</b>	<b>59</b>
<b>3.7. SECTOR 7. PUNTA CANOAS (N1661300/843000) HASTA EL SUR DE PUNTA CANOA (N1658000/845000) .....</b>	<b>61</b>
<b>3.7.1. Dinámica costera .....</b>	<b>61</b>
<b>3.8. SECTOR 8. SUR DE PUNTA CANOAS (N1658000E845000) A NORTE DE LA BOQUILLA (N1652900/E844670).....</b>	<b>65</b>
<b>3.8.1. Dinámica costera .....</b>	<b>65</b>
<b>3.9 SECTOR 9. NORTE DE LA BOQUILLA (N1652900/E844670) A NORESTE DE BOCAGRANDE (N1642035/837000).....</b>	<b>66</b>
<b>3.9.1. Dinámica costera .....</b>	<b>66</b>
<b>3.10. SECTOR 10. NORESTE DE BOCAGRANDE (N1642035/E837000) A SUROESTE DE BOCAGRANDE (N1641900/E837100).....</b>	<b>69</b>
<b>3.10.1. Dinámica costera .....</b>	<b>69</b>
<b>3.11. SECTOR 11. ISLA TIERRABOMBA: PLAYA LINDA (N1638500/E835175) A PUNTA ARENAS (N1637550/E840000).....</b>	<b>71</b>
<b>3.11.1. Dinámica costera .....</b>	<b>72</b>
<b>4. ANÁLISIS MICROTEMPORAL PARA EL AÑO 2008. BASADO EN LA TOMA DE DATOS EN CAMPO Y LA GENERACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN COSTERO (SIC) UTILIZANDO LA HERRAMIENTA SIG ARCGIS .....</b>	<b>75</b>
<b>4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES METEOROMARINAS PRESENTADAS DURANTE EL TRABAJO DE CAMPO (MAYO Y NOVIEMBRE DEL AÑO 2008), REPORTADO POR EL CENTRO DE INVESTIGACIONES OCEANOGRÁFICAS E HIDROGRÁFICAS DE LA ARMADA NACIONAL DE COLOMBIA (CIOH) .....</b>	<b>77</b>
<b>4.1.1. Análisis de condiciones de mayo de 2008 en el mar Caribe colombiano.....</b>	<b>77</b>
<b>4.1.2. Análisis del CIOH para los meses cercanos a la segunda toma de datos para el período de invierno en el sector de estudio septiembre 2008</b>	<b>79</b>
<b>4.1.3 Análisis general de los parámetros meteorológicos en Cartagena... 80</b>	
<b>4.1.3.1. Sector 1 .....</b>	<b>81</b>
<b>4.1.3.2. Sectores Dos y Tres.....</b>	<b>84</b>
<b>4.1.3.3. Sector 4.....</b>	<b>87</b>
<b>4.1.3.4. Sector 5.....</b>	<b>91</b>
<b>4.1.3.5. Sector Seis (6) .....</b>	<b>94</b>
<b>4.1.3.6. Sectores Siete y Ocho (7 y 8) .....</b>	<b>97</b>
<b>4.1.3.7. Sector 9.....</b>	<b>100</b>



---

4.1.3.8. Sector 10.....	104
4.1.3.9. Sector 11).....	108
4.1.3.10. Sector 12.....	112
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>116</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>119</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Ubicación del área de estudio.....	<b>14</b>
<b>Figura 2.</b> Ubicación de los sectores en los cuales se dividió la costa para su análisis. Imagen Google 2007.....	<b>16</b>
<b>Figura 3.</b> Partes de un perfil de playa.....	<b>16</b>
<b>Figura 4.</b> Regiones tectonoestratigráficas. Tomado de French y Schenk, 2004, en Mantilla y Otros (2009).....	<b>21</b>
<b>Figura 5.</b> Rasgos estructurales de los Cinturones de San Jacinto y Sinú y las cuencas de Plato y San Jorge. Adaptación de Duque Caro (1979). ....	<b>22</b>
<b>Figura 6.</b> Perfil esquemático de la plataforma y el lecho marino entre la franja litoral del Caribe colombiano y las islas de San Andrés y Providencia (tomado de CIOH, 1998).....	<b>31</b>
<b>Figura 7.</b> Mapa de bosques y formaciones vegetales. (IGAC, 1991). ....	<b>37</b>
<b>Figura 8.</b> Variaciones promedio, mínimos y máximos de altura de marea de los resultados del mareógrafo localizado en la Bahía de Cartagena entre 1952 y 1992 (Tomado de Torres y Otros, 2006).....	<b>44</b>
<b>Figura 9.</b> Localización y dinámica costera del sector 1. Nótese el contorno de la espiga formada para el año 1794.....	<b>48</b>
<b>Figura 10.</b> Localización y dinámica costera del sector 2. ....	<b>51</b>
<b>Figura 11.</b> Costa acantilada en Galerazamba con playas estrechas.....	<b>52</b>
<b>Figura 12.</b> Caída de bloques por acción del oleaje en acantilado con estratificación N29W/44SW (N1684710/E869833) Primera rompiente a aproximadamente 85 metros (Mayo 1/08). ....	<b>52</b>

---

<b>Figura 13.</b> Localización y dinámica costera del Sector 3.....	<b>55</b>
<b>Figura 14.</b> Procesos de erosión asociada con oleaje y escorrentía superficial en inmediaciones del SW de Loma Arena. ....	<b>56</b>
<b>Figura 15.</b> Vista hacia el sur de las playas cuspidas (Beach cúps) al sur del perfil 27. ....	<b>56</b>
<b>Figura 16.</b> Localización y dinámica costera del sector 4. Nótese el efecto erosivo de los espolones hacia el SW de los mismos. ....	<b>57</b>
<b>Figura 17.</b> Localización y dinámica costera del sector 5. Nótese el proceso de acrecimiento, evolución y la formación de los tómbolos. ....	<b>60</b>
<b>Figura 18.</b> Localización y dinámica costera del sector 6. Nótese el amarre del extremo libre de la espiga de Arroyo de Piedra y la conformación de una barra espiga. ....	<b>62</b>
<b>Figura 19.</b> Deslaves, flujos de lodo formación de surcos y deslizamiento de detritos en el sector norte de Punta Canoa (N1661709/E844451).....	<b>63</b>
<b>Figura 20.</b> Vista hacia el norte del sector 6 hacia el Cerro Púa N1661709/E844451). Playas disipativas con varias rompientes tipo desparrame o spilling. ....	<b>63</b>
<b>Figura 21.</b> Localización y dinámica costera del sector 7. En la foto insertada se observa <i>notch</i> en la base del acantilado. Dirección N-S (N1660807/E842791). ....	<b>64</b>
<b>Figura 22.</b> Vista hacia el Norte de los procesos erosivos al norte del caño Ballesteros, sur del Perfil 54 (N1658144/E844477). ....	<b>64</b>
<b>Figura 23.</b> Localización y dinámica costera del sector 8. Nótese la erosión al sur de Manzanillo del Mar y la formación de playas en bolsillo.....	<b>67</b>
<b>Figura 24.</b> Localización y dinámica costera del Sector 9.....	<b>68</b>
<b>Figura 25.</b> Localización y dinámica costera del Sector 10.....	<b>70</b>
<b>Figura 26.</b> Localización y dinámica costera del Sector 11, en Tierrabomba. ...	<b>72</b>
<b>Figura 27.</b> Aspecto del sector norte de Tierra Bomba en la década de los cuarentas. (Foto del Archivo de José Royo y Gómez). ....	<b>73</b>



---

<b>Figura 28.</b> Aspecto del sector norte de Tierra Bomba en el 2008. Dirección este-oeste. ....	<b>74</b>
<b>Figura 29.</b> Diseño metodológico Sistema SIC. Sector de Información Costero, Proyecto Andén Caribe Colombiano. Caracterización morfodinámica de playas Sector Uno. ....	<b>76</b>
<b>Figura 30.</b> Dirección de oleaje predominante para el sector de estudio en el sentido NE fecha 1 de Mayo de 2008 (Tomado de CIOH. Mayo 2008). ....	<b>78</b>
<b>Figura 31.</b> Dirección de oleaje predominante para el sector de estudio en el sentido S en fecha 16 de Mayo de 2008 (Tomado de CIOH. Mayo 2008). ....	<b>79</b>
<b>Figura 32.</b> Dirección de oleaje predominante para el sector de estudio en el sentido SW fecha 30 de Mayo de 2008 (Tomado de CIOH. Mayo 2008). ....	<b>79</b>
<b>Figura 33.</b> Vista de la Isla Arena localizada al Norte frente al Sector cuatro. ....	<b>88</b>
<b>Figura 34.</b> Efectos erosivos de espolones, Sector norte de la Isla de Tierra Bomba. ....	<b>110</b>
<b>Figura 35.</b> Efectos de la erosión generada por deficiencia de sedimentos en el sector SE del norte de la isla de Tierrabomba. Sitio cercano al Hotel Las Tres Banderas. ....	<b>110</b>

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Precipitación promedio mensual multianual. Tomado del Atlas Climatológico para el Caribe, 3ª. Edición, 1997 Central de Pronósticos, Meteorología y Oceanografía. Boletín Meteorológico marino del Caribe Colombiano, recopilación 1997.....	42
Tabla 2. Parámetros granulométricos utilizados con las muestras de arena de playa. ....	77
Tabla 3. Relación de la cantidad de precipitación para el mes de mayo con respecto al total acumulado para el año 2008 (Tomado de CIOH. 2008). ....	78
Tabla 4. Relación de la cantidad de precipitación para el mes de Noviembre con respecto al total acumulado para el año 2008; nótese la mayor precipitación correspondiente con el mes lluvioso esperado (Tomado de CIOH. 2008).....	81

## **RESUMEN**

El presente estudio comprende el sector entre Galerazamba y Punta Barú en el Departamento de Bolívar, Colombia y consiste de un análisis detallado del medio físico, mediante una evaluación multitemporal de fotografías aéreas y reconocimiento de campo para cada una de las épocas estacionales del sector de estudio. El proyecto se complementa con información sobre el fenómeno de diapirismo de lodo presente en el área.

Los productos generados por el estudio son mapas atlas en escala 1:25.000, los cuales contienen cada una de las líneas de costa de diferentes años. La zona de estudio se dividió en doce sectores de acuerdo a sus características geomorfológicas. Adicionalmente, se generó una base de datos con la información tomada en campo y un archivo con 425 muestras de sedimentos, las cuales reposan en el laboratorio de granulometría del INGEOMINAS. Como complemento de la investigación se estructuró un Sistema de Información Costero SIC con los datos e información obtenidos, usando como Herramienta el sistema ArcGis.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las áreas adyacentes a zonas costeras están sujetas en la mayor parte del mundo a una intensa presión debido al aumento de la población asentada sobre ellas y a la utilización de su territorio para puertos, turismo e industrias.

Son múltiples las variables que influyen en la dinámica costera. En específico en la zona de estudio, los procesos de erosión y acreción natural en las playas están definidos por los efectos del diapirismo de lodo, la influencia de la carga de sedimentos del río Magdalena y el canal del Dique, fenómenos atmosféricos como mares de leva, tormentas y huracanes y con cada vez mayor incidencia, las actividades humanas. Dentro de estas últimas cabe citar la extracción de material de playa, instalación de obras civiles y de protección sobre la costa, tala de manglares, reducción del espejo de agua de las ciénagas e intervenciones en el canal del Dique.

Es dentro de este marco que la investigación Diapirismo de lodo y evolución de la línea de costa en el andén Caribe colombiano cobra importancia, pues permitirá identificar a través del estudio de la dinámica litoral, las tendencias de cambio en la línea de costa y las posibles causas de estas tendencias, y de acuerdo a lo anterior, los potenciales y vulnerabilidades que tienen cada uno de los sectores para su desarrollo.

Se documentan los resultados obtenidos durante dos salidas de campo para tomar perfiles de playa en época de invierno y verano, toma de muestras de sedimentos para análisis granulométricos, se describieron la geoformas y los procesos activos a través de fotointerpretación y de las visitas de campo, y se trazaron las líneas de costa de diferentes décadas para comparar los cambios que han ocurrido en ellas.

### **1.1. JUSTIFICACIÓN**

La alta dinámica que presenta la franja costera entre Galerazamba y Barú, sumada al incremento creciente de las actividades económicas y de recreación que se desarrollan en este sector, hace necesario reconocer la evolución que ha tenido la línea de costa y la dinámica que ha tenido el sector en las últimas décadas, la cual es resultado no sólo de las actividades antrópicas sino también

de fenómenos naturales como el diapirismo de lodo, fallas activas o fenómenos atmosféricos.

## **1.2. OBJETIVOS**

- Caracterizar la línea de costa y Analizar la dinámica costera del sector entre Galerazamba y Barú desde el punto de vista geológico y geomorfológico.
- Establecer la evolución meso temporal y micro temporal de la línea de costa.
- Identificar zonas de acrecimiento y erosión a lo largo de la línea de costa, teniendo como referencia algunos trabajos anteriores desarrollados en el área.
- Obtener información que permita hallar alguna relación, sí es que existe, entre la dinámica de la línea de costa estudiada y el fenómeno de diapirismo de lodos existente en el mismo tramo de costa.
- Generar información básica para la futura evaluación y cuantificación de las amenazas asociadas a los fenómenos de cambios en la morfología costera y el diapirismo de lodos.
- Generar una base de datos con la información de perfiles de playa y de análisis granulométricos que permitan producir un SIC. Sistema de Información Costero utilizando la Herramienta SIG.

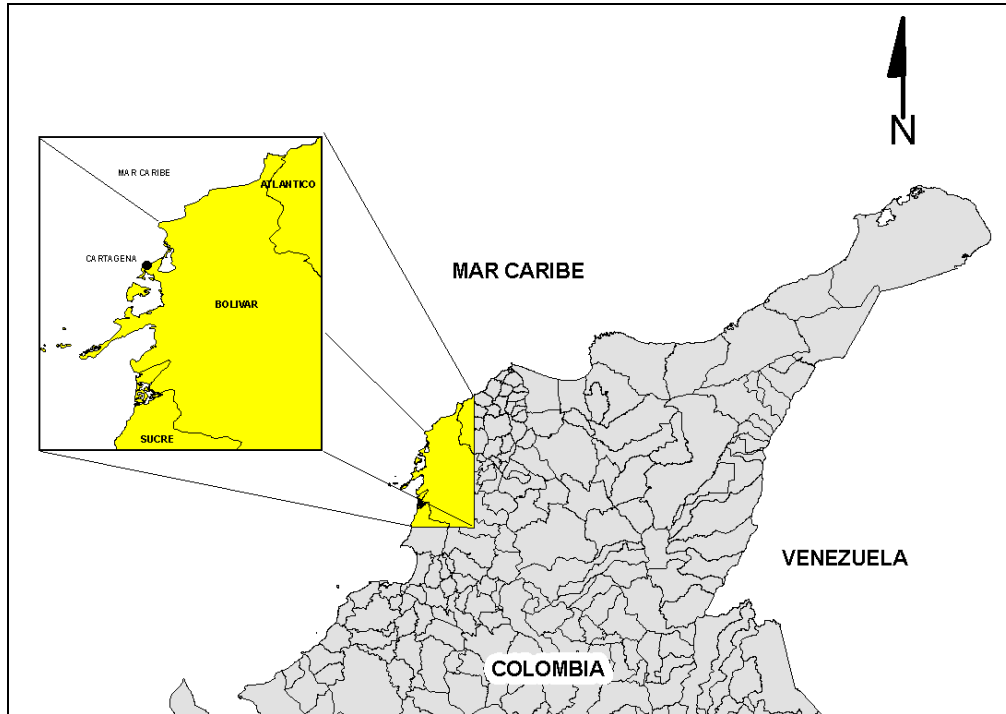
## **1.3. LOCALIZACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO**

La presente investigación se realizó en la zona costera del departamento de Bolívar, en el sector litoral comprendido entre Punta Barú (N1613156/E821911) y Bocatocino (N1686797/W875458). La zona de estudio está ubicada en la parte norte del territorio Nacional en un área aproximada de 3.250 kilómetros cuadrados, y una línea de costa de 145 kilómetros de longitud (Figura 1).

## **1.4 ANTECEDENTES**

La antigua unidad operativa del INGEOMINAS en Cartagena realizó una serie de investigaciones en el Litoral Caribe entre los que se destacan los siguientes trabajos: Variaciones Históricas de la Línea de Costa entre La Boquilla y Punta de la Garita, periodo 1947-1984 (Correa,1985), Memorias de los Mapas Atlas de la Línea de Costa del Caribe Central Colombiano sector Cartagena - Bocas de ceniza (Martínez, 1993), Efecto de los Fenómenos Meteorológicos en la Dinámica de Playas de Cartagena (Franco, 1996), Características

Sedimentológicas de la Plataforma Continental frente a Galerazamba (Carvajal, 1992).



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio.

El Centro de Información Oceanográfico e Hidrográfico (CIOH), ha realizado trabajos de geomorfología y delimitación de la zona litoral en isla Tierra Bomba. Adicionalmente es la entidad encargada de publicar los mapas batimétricos actualizados. Recientemente, la Universidad del Norte ha publicado investigaciones basadas en modelos para oleajes generados por huracanes, las cuales incluyen el sector de Bocatocino, en inmediaciones de Galerazamba. Adicionalmente, la Universidad EAFIT ha realizado trabajos de dinámica litoral entre Galerazamba y Los Morros.

La Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) junto con ECOPETROL, ha realizado perfiles sísmicos tanto en la plataforma continental como en el continente. Estos trabajos han servido de soporte para investigaciones relacionadas con diapirismo de lodo, como los desarrollados por Vernet (1985) y Ordoñez (2008).

## **1.5 METODOLOGÍA**

Como primer paso se realizó un análisis de la información bibliográfica, cartográfica y de fotografías aéreas existentes. Posteriormente se desarrollaron dos salidas de campo en los meses de mayo y noviembre de 2008 (temporada seca y húmeda respectivamente). Durante estas labores de monitoreo se recogieron dos tipos de datos: cuantitativos y cualitativos. Los datos cuantitativos se basan en las mediciones topográficas de los perfiles transversales de las playas, que permiten analizar su variabilidad en diferentes épocas del año y efectuar los análisis de comportamientos de los volúmenes de arena. Los datos cualitativos consisten en la descripción y caracterización morfológica de los sitios visitados, incluyendo las geoformas, intervención humana y caracterización macroscópica de sedimentos. Finalmente se tomaron muestras de arena en cada uno de los perfiles con el fin de realizar un análisis granulométrico y sedimentológico utilizando técnicas de tamizado en seco.

Para facilitar la presentación y análisis de los datos, se dividió la zona de estudio en doce sectores. Los límites entre sectores están marcados por cambios en la geomorfología costera o por límites físicos tales como salientes y promontorios rocosos que separan tramos de costa contiguas (Figura 2).

### **1.5.1. Medición de Perfiles de Playa**

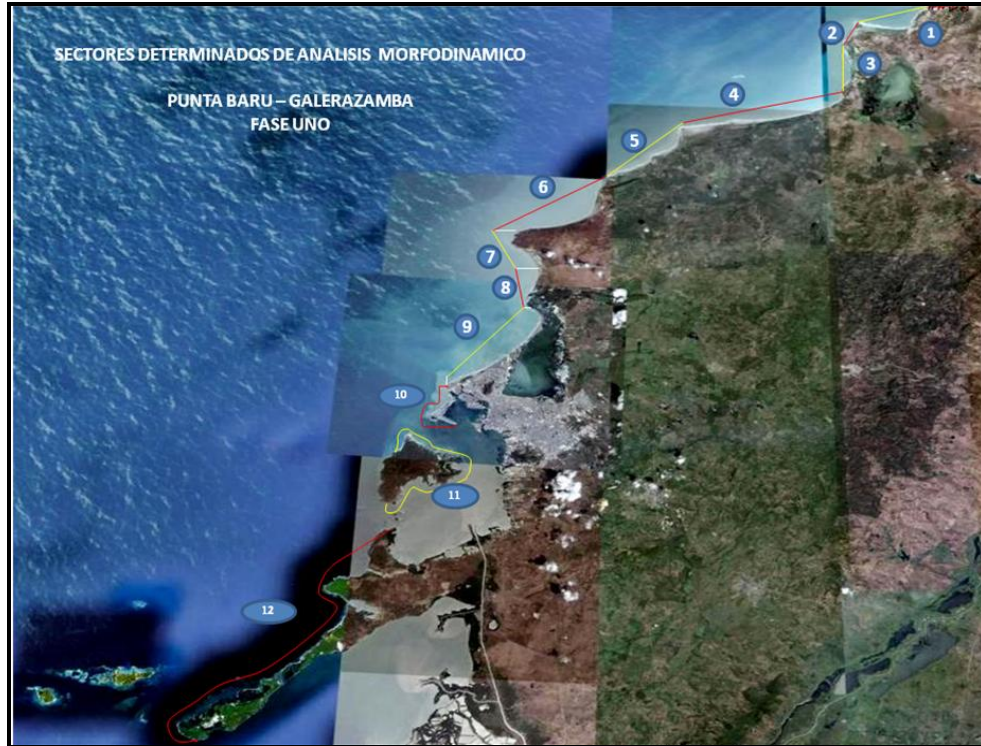
La información sobre los cambios de cambios topográficos en el área de interés se recopiló mediante la medición de perfiles de playa. Los perfiles se amojonaron en su punto de inicio mediante la instalación de postes de 1.60 m de largo por 8 cm de diámetro. Lo anterior con el fin de posicionar físicamente el lugar y así facilitar la ubicación de los sitios en el futuro. Posteriormente se ubicaron estos puntos con un GPS base de doble frecuencia y 2 estaciones de frecuencia sencilla que hacen la función de *Rover*.

Para trazar los perfiles se utilizó el método de las varas de Jacob. Con los datos obtenidos se construyeron gráficos que reflejan la evolución de los perfiles durante el tiempo de las mediciones (ver figura 3 - nomenclatura de un perfil de playa).

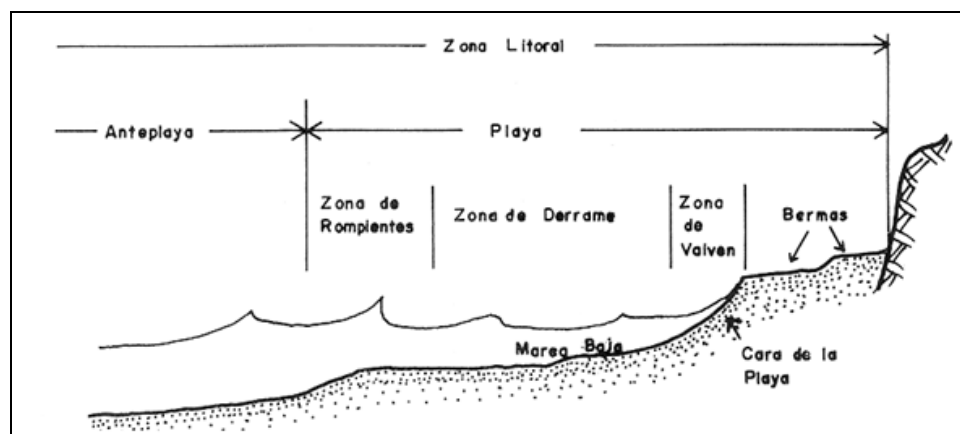
### **1.5.2. Muestreo de Sedimentos de Playa**

Adicionalmente, para cada uno de los sitios de playa establecidos para la toma de datos (perfiles), se evaluaron los siguientes parámetros morfodinámicos:

extensión de la playa, características del oleaje, dirección de la playa, dirección de la deriva litoral, y la caracterización composicional *in situ* de los sedimentos.



**Figura 2.** Ubicación de los sectores en los cuales se dividió la costa para su análisis. Imagen Google 2007.



**Figura 3.** Partes de un perfil de playa.



En el muestreo para los periodos de verano e invierno durante el año 2008 se colectaron sedimentos en tres sitios sobre el perfil, ubicados sobre la berma, el frente de playa (beach face) y la zona de rompiente. Esta última muestra fue tomada hasta donde se prolongó el perfil, ubicada a una profundidad aproximada de 1,6 m. Las muestras de un peso promedio de 1 libra, se marcaron con la posición y el número del perfil.

Una vez colectadas las muestras y dispuestas en el laboratorio de granulometría y sedimentología del INGEOMINAS, fueron desalinizadas y secadas; para de esta manera proceder al tamizado sobre una muestra de 100 gramos, usando para este propósito una serie de tamices de la Test Sieve A.C.T.M. tipo E-11, con intervalos de apertura entre tamices de 0,5 Ø. Los tamices utilizados corresponden a los siguientes tamaños en milímetros (el primer número corresponde a la apertura y el segundo al número de tamiz): 3,36 (6); 2,00 (10); 1,71 (12); 1,18 (16); 0,85 (20); 0,60 (30); 0,42 (40); 0,30 (50); 0,21 (70); 0,15 (100); 0,106 (140); 0,075 (200); 0,063 (230); 0,045 (325). El tamaño promedio de partículas de los sedimentos se clasificó en función de la escala propuesta por Wentworth 1922 y Krumbein 1934, en Carvajal (1992). Ya realizada la selección por tamaño de grano, se calcularon los estadísticos para determinar la media, mediana, selección, asimetría y kurtosis de los sedimentos.

Las características granulométricas, permiten deducir que las condiciones y la dinámica sedimentaria bajo las cuales se depositaron o depositan las arenas que integran una playa y corresponden a un ambiente, donde los principales agentes transportadores y depositacionales son el oleaje, la corriente litoral y el viento. Estas características sedimentológicas definen un ambiente depositacional de energía moderada (mesocúrtica o leptocúrtica), donde el oleaje y las corrientes litorales son capaces de fragmentar y arrastrar los materiales bioclastos calcáreos.

### **1.5.3. Análisis Mesotemporal**

El análisis multitemporal de la línea de costa en el sector de estudio, se llevó a cabo a partir de imágenes de satélite y cartografía IGAC a escala 1:25000 para las décadas de 1950-1960; 1970-1980, 1990-2000. La línea de costa más reciente se obtuvo de una imagen de 2007 obtenida en *google earth (2007)*. Una vez digitalizada la anterior información, se procedió a georeferenciarla en ArcGIS y a trazar las líneas de costa como shapefiles sobre el límite océano-continente. Para la georreferenciación de las imágenes se utilizó la proyección en metros *transverse mercator* con datum Bogotá.

El error de la metodología es variable debido a las diferentes fuentes de información y escalas utilizadas, a la variabilidad del estado del mar de acuerdo

a la temporada del año de la toma de las fotografías, y a las imprecisiones cometidas tanto en el trazo de la línea como en la georreferenciación. De acuerdo a lo anterior, se sugiere que las tasas de acreción/erosión resultado de este trabajo, sean tenidas en cuenta como tendencias, y que en caso de referirse a las tablas presentadas en las figuras por sectores, los valores de  $\pm 1\text{m/año}$  para lapsos de tiempo menores o iguales a 15 años, sean considerados dentro del margen de error. Las tasas representadas corresponden a promedios para el lapso de tiempo evaluado, por lo que no necesariamente representan los comportamientos de los últimos años o cambios en el corto plazo.

Las tablas insertadas en las figuras, correspondientes a la cuantificación de los cambios en transectos lineales, se obtuvieron con el programa *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS por sus siglas en inglés), desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos. Este programa genera, a partir de las distancia entre una línea base, que se traza paralela a la costa y las diferentes líneas de costa, una salida con la cuantificación de la tasa de cambio anual para cada transecto. En este estudio los transectos fueron trazados cada 200 metros. La cuantificación de los cambios en la línea de costa se determina por diferentes parámetros, los cuales, de acuerdo a Thieler y Danforth (1993), se describen a continuación:

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

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

*Average of Eras* (AOE): Se calcula adicionando la tasa de cambio para eras individuales (distancia entre cada par de transectos consecutivos dividido por el lapso de años entre ellos) dividido por el número total de eras. Su resultado es un promedio general para todos los periodos combinados. Como producto de este trabajo se generaron planchas a escala 1:25,000 que contienen cada una las diferentes líneas de costa para las décadas consideradas. De manera similar, se generó el Mapa de Líneas de costa a escala 1:100,000 sobre una imagen de satélite Spot reciente (ver anexos).

La generación del Mapa geomorfológico a escala 1:25000 para la década 1950-1960 mediante un proceso de fotointerpretación permitió confrontar con la geomorfología elaborada por el proyecto para la época actual los cambios morfológicos significativos para el área de estudio. Este factor es un complemento al conocimiento de la dinámica costera y por ende al entender de las posibles amenazas y vulnerabilidades de las poblaciones adyacentes a la costa. (Ver mapas anexos).

#### **1.5.4. Análisis Micro temporal**

Se introdujo en una base de datos la información obtenida de 124 perfiles, cada uno con las siguientes propiedades: número del perfil, localización en coordenadas planas, altura, pendiente del frente de playa, dirección de la línea de costa, dirección del viento, dirección del oleaje, dirección de la deriva litoral, características del oleaje, y comentarios de cada uno de los perfiles resaltando las características importantes y la descripción granulométrica de los materiales de las playas. También se graficaron los perfiles teniendo en cuenta la longitud del perfil y la línea de agua y la toma de muestras de sedimentos. Además esta plantilla contiene las fotografías tomadas de cada uno de los perfiles y el correspondiente análisis granulométrico. A partir de la implementación del Modelo de Tablas Dinámicas en Excel, pueden identificarse los patrones composicionales y fisiográficos para la zona de estudio.

#### **1.6. RECONOCIMIENTOS**

Los autores agradecen el apoyo prestado en las actividades de campo y de laboratorio sedimentológico, a los funcionarios José Joaquín Beltrán y Jorge Bohórquez de la Unidad operativa de INGEOMINAS en Valledupar. Igualmente se agradece al Ingeniero geólogo José Vicente Franco por la elaboración del programa para el análisis granulométrico de las muestras de playa y al Ingeniero Fredy Díaz Mila por la colaboración en las actividades de localización de los puntos de inicio de los perfiles de playa con GPS de alta precisión. Se hace un reconocimiento especial al Ingeniero Rafael Cárdenas por la estructuración sistémica y sistemática de la información y al ingeniero Oscar Imbachi por la digitalización en ArcGis de las líneas de costa.

## **2. PARÁMETROS FÍSICOS DE LA REGIÓN**

### **2.1. GEOLOGÍA**

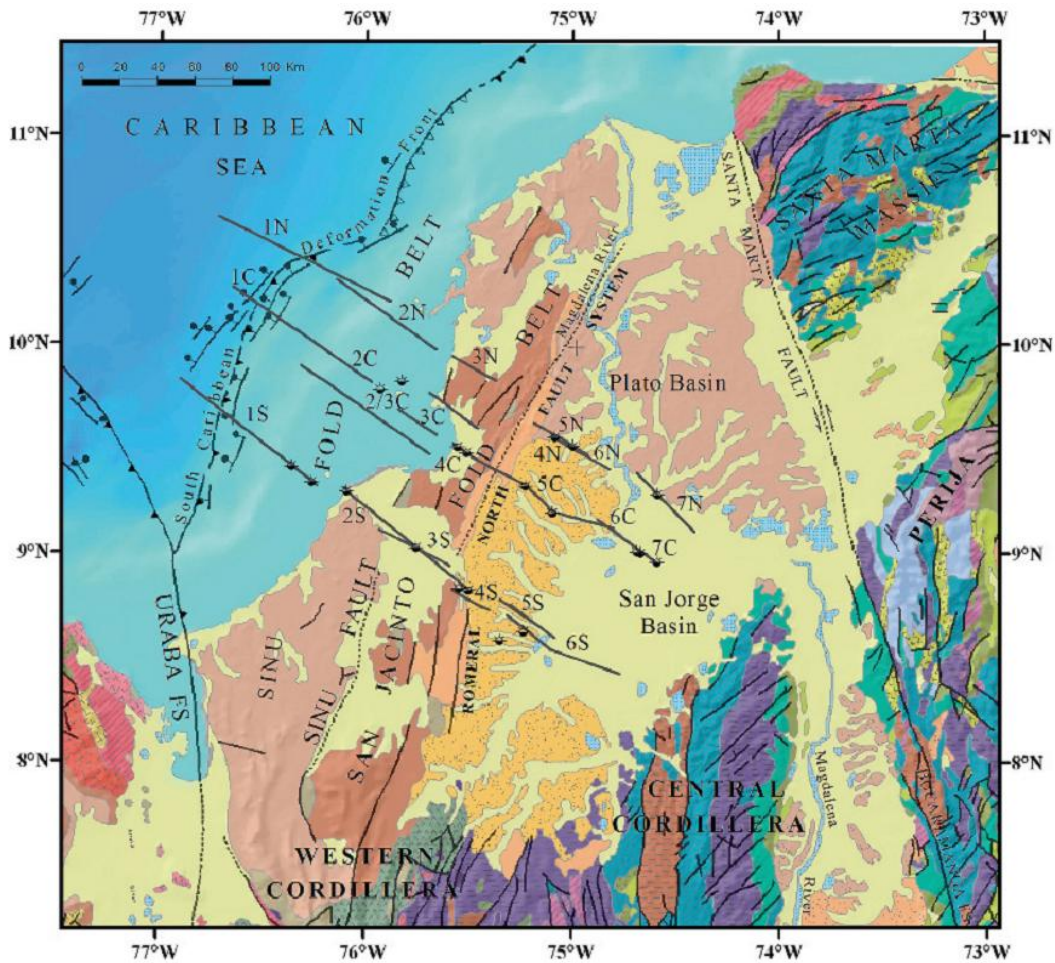
Desde el punto de vista geológico la zona de estudio se encuentra localizada dentro de las unidades estructurales que corresponden con el Cinturón de San Jacinto y el Cinturón del Sinú, constituidas por una serie de cadenas montañosas separadas por zonas planas y bajas (Duque, 1979) (Figura 4). La zona del presente estudio de costa se encuentra en el Cinturón del Sinú.

En ese sentido el Cinturón del Sinú (ubicado al occidente del Cinturón San Jacinto), está conformado por rocas de origen turbidítico y rocas calcáreas (calizas arrecifales, areniscas y conglomerados calcáreos) de edades que van desde el Mioceno Superior hasta el Plioceno. Según Duque Caro (1984) en el Cinturón del Sinú son típicas las manifestaciones de “volcanismo de lodos”, evidentes por dos tipos de geofomas:

1. Masas cónicas de lodos de hasta 20 m de altura aproximadamente, las cuales emergen aisladas principalmente a lo largo de las zonas mayores de falla, siguiendo el rumbo general del Cinturón. Como ejemplos se destacan los volcanes de lodo de Cañaverales y El Totumo a lo largo del lineamiento de Sinú, en el área de Cartagena-Barranquilla. Los volcanes de lodo de Arboletes y Punta Canoas, a lo largo del margen costero al sur del Cinturón, y las colinas en el fondo marino de delta del Rio Magdalena (Shepard F, 1973).

2. Colinas grandes y cónicas de estratos deformados, que aumentan de altura hacia el sur y que caracterizan los anticlinorios de Turbaco y de Abibe-Las Palomas.

Las facies litológicas del terreno Sinú-San Jacinto se pueden clasificar de acuerdo a su ambiente de formación en depósitos marinos profundos (compuestos de pelagitas, hemipelagitas y turbiditas); b) depósitos marinos someros (compuestos de sedimentos marinos terrígenos y hemipelagitas); c) Depósitos terrestres (compuestos de sedimentos fluviales y lacustres). Duque Caro (1984).



**Figura 4.** Regiones tectonoestratigráficas. Tomado de French y Schenk, 2004, en Mantilla y Otros (2009).

### 2.1.1. Geología Estructural

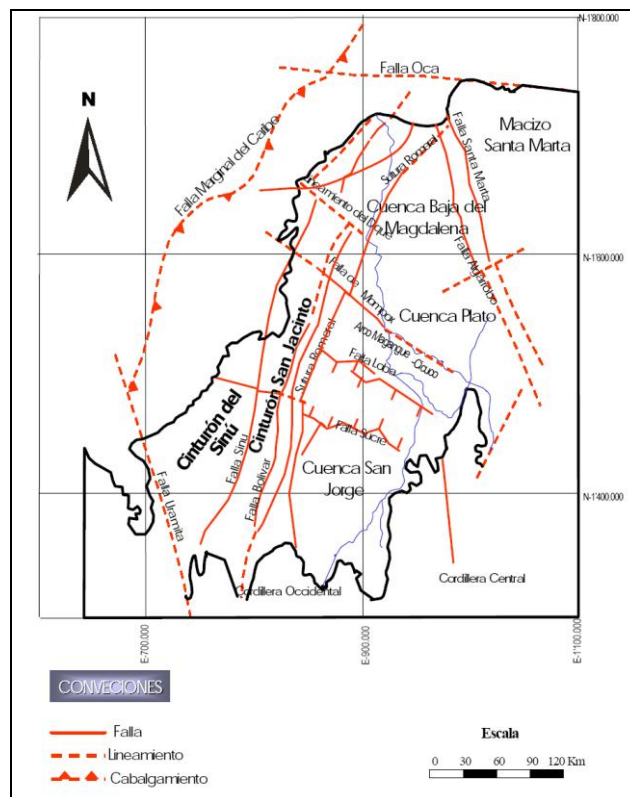
Estructuralmente la zona está dividida en tres dominios principales: el Cinturón de Sinú, el Cinturón de San Jacinto y el borde occidental del valle inferior del Magdalena, el cual a su vez se divide en las subcuencas de Plato y San Jorge, ver Figura 5.

El Cinturón de San Jacinto, se encuentra fragmentado en varios bloques que corresponden topográficamente con las serranías de Luruaco, San Jacinto, San Jerónimo y con gran parte de las cuchillas de Cispata al sur del golfo de Morrosquillo. Estas serranías constituyen los bloques con mayor deformación tectónica y se encuentran “rodeadas” por zonas o depresiones con menor deformación. Estas “depresiones” corresponden a las siguientes zonas:

- Cuenca hidrográfica baja del Río Magdalena.
- Zona del canal del Dique.
- Depresión del área de San Onofre y llanura costera aledaña al golfo de Morrosquillo.
- Zona Carmen – Zambrano al occidente del Río Magdalena.

Es en estas depresiones en donde se acumuló y se sigue acumulando la mayor parte de los sedimentos. En las serranías en cambio, afloran básicamente rocas del Paleoceno–Eoceno superior y eventualmente algunas rocas Cretácicas de la Formación Cansona. Estas rocas suelen estar afectadas por fallas de cabalgamiento con rumbo aproximado N45E con pliegues estrechos entre ellas.

El Cinturón del Sinú conforma una franja con una dirección preferencial N20E a N30E y comprende una zona al norte en el área de Turbaco, y una zona al sur, ubicada al occidente del Río Sinú, la cual comprende la Serranía de Abibe–Las Palomas y la zona de plataforma continental. En su porción sur, su borde oriental está separado del Cinturón de San Jacinto por el lineamiento del Sinú.



**Figura 5.** Rasgos estructurales de los Cinturones de San Jacinto y Sinú y las cuencas de Plato y San Jorge. Adaptación de Duque Caro (1979).

En el Cinturón del Sinú las estructuras presentes son producto en parte del efecto del diapirismo de lodo, lo cual genera sinclinales amplios. En Los anticlinales se suelen presentar domos diapíricos y localmente pueden coincidir con volcanes de lodo. Se presentan también fallas de cabalgamiento que pueden estar asociadas al diapirismo (INGEOMINAS, 2004).

#### 2.1.1.1. Estructuras Geológicas del Cinturón del Sinú

Dada la ubicación de la zona de estudio en el llamado Cinturón del Sinú, la descripción de rasgos estructurales, se limitan a esta provincia geológica.

### **Lineamientos**

Lineamiento del Sinú:

Rasgo estructural propuesto por Duque- Caro (1979, 1984), para separar los cinturones del Sinú y San Jacinto en la parte sur del Cinturón de San Sinú; su línea de trazo lleva una dirección aproximada N20°E, siguiendo el curso del Río Sinú (Barrera, 2001).

Lineamiento de Bayunca

De acuerdo con Reyes, G. y otros (1999), este rasgo estructural se extiende con una dirección general E-W en la parte norte del Cinturón del Sinú, desde la línea de costa hasta la Falla de Mamonal, sobre los depósitos de la Formación Bayunca y atraviesa además estructuras dómicas. Presenta una longitud de 11,5 Km.

### **Plegamientos**

Plegamiento de Turbaco:

Consiste en una serie de dos pliegues anticlinales y dos sinclinales cortos y estrechos con planos axiales verticales y planos asimétricos con ángulos bajos, que alcanzan en promedio 15°, separados entre sí 1,5 km. Se extienden siguiendo una dirección 30°E, a lo largo de un trayecto de 7 km en el área de Turbaco (Plancha 29-30 Arjona). Reyes, G. y otros (1999)

Plegamiento de Barú

Corresponde con un pliegue anticlinal y uno sinclinal, cortos y estrechos con planos axiales verticales y planos asimétricos con ángulos bajos, que alcanzan en promedio 10°-15°, separados entre sí 0,6 km, los cuales involucran los depósitos clásticos de la formación Rotinet y las calizas de La Popa

Se extienden siguiendo una dirección N50°E, a lo largo de un trayecto de 2,5 km en el área de Barú (Plancha 29-30 Arjona). Reyes, G., y otros (1999)

## **Fallas**

### Falla de Villa Nueva- El Totumo

Presenta un rumbo N50°E hacia el Sur; N15°E, sector La Pena); N40°E (sector Arjona); N-S (sector Sitio Nuevo); N10°W (sector Villa Nueva; N10°E (sector El Totumo y N30°E (sector Bocatocino), buza 45° - 50°; tiene una longitud aproximada de 75 Km; es de tipo cabalgamiento, convergencia NW-W (Sector Villa Nueva).

Se presenta como un trazo continuo; hacia el sur se pierde bajo los depósitos cuaternarios aluviales del canal del Dique y parece limitar los depósitos arcillosos de la Formación Mucacal, donde el trazo de falla sale al mar Caribe por el golfo de Morrosquillo, sector punta de san Bernardo.

Hacia el norte su límite es más claro; separa las rocas de la Formación San Cayetano, ubicadas al este (dominio del Cinturón de san Jacinto), con las del oeste, las cuales pertenecen a la Formación Arjona (dominio del Cinturón del Sinú). En el extremo norte pone en contacto fallado las formaciones Hibácharo y El Morro y su trazo de falla sale al mar Caribe por el sector de Bocatocino. Su línea de trazo atraviesa las planchas 16-17, 23, 29-30 y 36- 37. Reyes, G; Guzmán G; Barboza, G y Zapata, G (1999)

### Falla de Buenos Aires

Presenta un rumbo; N30°E (sector Rocha-Arjona); N50°E (sector Chiquito); y N20°E (sector de Villa Nueva). Buza 60°E y presenta una longitud aproximada de 42 Km; se ha calificado como Inversa, hacia el norte presenta movimiento de rumbo dextrolateral asociado.

Su trazo continuo afecta los depósitos de la Formación Arjona; su línea de trazo hacia el norte, termina en la Falla del Dique, en el sector de Villa Nueva; atraviesa las Planchas: 23 y 29-30. Reyes y Clavijo (1996)

### Falla de Quita Calzón

Presenta un rumbo N 50° E, buza 45°; tiene una longitud aproximada de 8 Km; es de tipo cabalgamiento convergencia al SE; y Su trazo continuo, constituye un ramal de la Falla de Buenos Aires; une las fallas de Casaloma al oeste, con la de Buenos Aires al este, afectando los depósitos de la Formación Arjona.

Su línea de trazo atraviesa las Planchas: 29-30. Reyes, G; Guzmán, G.; Barbosa, G. y Zapata, G. (1999)



### Falla de Casaloma

Presenta un rumbo N 30° E, buza 40° – 50° E ; tiene una longitud aproximada de 20 Km; es de tipo cabalgamiento convergencia al NW ; y Su trazo continuo, corresponde a un ramal de la Falla Buenos Aires, se une a ella bajo depósitos cuaternarios en el área de Arjona. Su línea de trazo afecta rocas de la Formación Arjona y atraviesa las Planchas: 29-30. Reyes, G; Guzmán, G.; Barbosa, G. y Zapata, G. (1999)

### Falla de Turbaná

Presenta un rumbo N 45° E, buza 42 E; tiene una longitud aproximada de 35 Km; es de tipo cabalgamiento convergencia al NW y con componente dextralateral; y Su trazo continuo, Trazo continuo. Según Las evidencias muestran cabalgamiento de las gravas de la Formación Rotinet, sobre las calizas de la Formación La Popa, y repetición de la secuencia de La Popa.

Hacia el norte afecta las rocas de la Formación Arjona hasta terminar en la falla del Dique, punto donde se une con la Falla de Cuatro Caminos en la región de Ariguaya (Bolívar). Su línea de trazo atraviesa las Planchas: 23 y 29-30. Reyes, G; Guzmán, G.; Barbosa, G. y Zapata, G. (1999)

### Falla de Pasacaballos

Presenta rumbo N50°E, hasta la Falla del Dique; y N40°E hasta el sector de Luruaco; buza 50 E; tiene una longitud aproximada de 57 Km; es de tipo cabalgamiento convergencia al NW; y Su es trazo continuo Hacia el sur en el sector de Pasacaballos afecta rocas de las formaciones Bayunca, La Popa y Rotinet, en el norte afecta los depósitos de la Formación Arjona. Su línea de trazo atraviesa las Planchas: 23 y 29-30. Reyes, G; Guzmán, G.; Barbosa, G. y Zapata, G. (1999)

### Falla de Mamonal

Presenta rumbo N50°E, buza 50 E – 60° E y tiene una longitud aproximada de 60 Km; se presenta como una falla cabalgamiento convergencia al NW; en el sector de Mamonal presenta una componente de rumbo de desplazamiento dextralateral. Y Su es trazo continuo y corresponde a la falla más occidental del cinturón del Sinú. Al sur pone en contacto las calizas de la Formación La popa, con las areniscas de la Formación Bayunca; más al norte afecta las gravas de la Formación Rotinet y el volcán de lodo de Ternera en inmediaciones de la Ciudad de Cartagena.

Hacia el extremo noreste, en el sector de Bayunca, pone en contacto fallado las rocas de las formaciones Arjona y Bayunca en el sitio Arroyo Grande, sector donde se le une la Falla Clemencia. Su línea de trazo atraviesa las Planchas: 23 y 29-30. Reyes, G; Guzmán, G.; Barbosa, G. y Zapata, G. (1999). INGEOMINAS. (2004)

#### Falla de Henequen

Presenta un rumbo N 75° E, buza 22 SE<sup>i</sup> tiene una longitud aproximada de 4 Km; Su trazo continuo, constituye un ramal de la Falla Mamonal. Hacia el Sur del municipio de Albornoz, pone en contacto rocas de las formaciones La Popa y Bayunca; al parecer su trazo de falla sale al mar Caribe en el sector de Isla Maparadita. Su línea de trazo atraviesa las Planchas: 29-30. Reyes, G; Guzmán, G.; Barbosa, G. y Zapata, G. (1999) INGEOMINAS.

#### Falla de Clemencia

Presenta rumbo N10°E (sector Municipio Clemencia); y N30°E en la región Alto de Matua, buza 36° E<sup>i</sup> tiene una longitud aproximada de 28 Km; es de tipo Inversa, repite la secuencia de la Formación Arjona. Sufre un desplazamiento sinistral de 800 m. producido por la Falla del Dique.

Hacia el Sur se desprende de la Falla Pasacaballos, en el sitio denominado hacienda La Pita, ubicada hacia el sureste del Municipio de Villa Nueva. Hacia el norte hace parte de la falla Mamonal, de la cual se desprende en el sector de Rancho Grande (Bolívar). Afecta rocas de la Formación Arjona y controla el trazo de algunos anticlinales pequeños, como el de Santa Catalina. Su línea de trazo atraviesa las Plancha 23. Reyes, G; Guzmán, G.; Barbosa, G. y Zapata, G. (1999). INGEOMINAS.

#### Falla inferida de Rocha

Presenta un rumbo N 50° W, tiene una longitud aproximada de 43 Km; Trazo cubierto por depósitos cuaternarios del canal del Dique y se pierde en el área de María La Baja, controla el brazo del Canal del Dique y en ella confluyen varias fallas del Norte del Cinturón del Sinú: Casaloma, Quita Calzón y Buenos Aires, las cuales no se continúan hacia el sur; en el sector de Barú afecta las gravas de la Formación Rotinet y las calizas de La Popa, y se alinea con la saliente noroeste de Punta Gigantes, perdiéndose su trazo de falla en el mar Caribe. Su línea de trazo atraviesa las Planchas: 29-30. Reyes, G; Guzmán, G.; Barbosa, G. y Zapata, G. (1999). INGEOMINAS.

### **2.1.2. Unidades Roca Presentes en La Zona de Estudio - Cinturón del Sinú**

Se relacionan las unidades correspondientes al Cinturón del Sinú en la región de estudio. De más antiguo a reciente se encuentran en la zona de estudio:

#### **2.1.2.1. Formación Arjona (E3N1a)**

La Formación Arjona está constituida por una serie de lodolitas color marrón, interestratificadas con arenitas gradadas normalmente dispuestas en capas gruesas, conglomeráticas hacia la base, estratificación ondulosa paralela, con nódulos hasta de 2,5 m de esparitas. Arenitas conglomeráticas granodecrecientes, dispuestas en capas muy gruesas, con clastos arcillosos y concreciones de arenitas calcáreas muy compactas.

El espesor medido de la unidad es variable por fallamiento entre 1578 y 2.280 m. La edad determinada para la formación corresponde con el Oligoceno Superior - Mioceno.

La Formación Arjona está cubierta discordantemente por las formaciones: Popa y Gravas de Rotinet, El contacto inferior es fallado con la Formación San Cayetano. INGEOMINAS (2004).

Las características tanto litológicas como texturales de esta unidad, muestran una sedimentación de ambientes marinos someros tipo deltaico entre transicional y continental, en algunas partes, es posible que se tengan todos los eventos de un delta progradante.

La alta bioturbación local y una destrucción casi total de las estructuras sedimentarias primarias, hacia la base, sedimentos arcillosos y limosos y con abundante concentración de material orgánico, restos de plantas, estructuras de slumping, sugieren un depósito realizado en una plataforma continental afectada por movimientos tectónicos y corrientes de turbidez.

#### **2.1.2.2. Formación La Popa (Q1lp)**

La Formación La Popa presenta hacia la base calizas muy terrígenas color gris amarillento y arenitas de grano fino muy calcáreas. Hacia la parte superior calizas arrecifales terrígenas dispuestas en capas gruesas con abundantes bioclastos de corales, algas y moluscos, con esporádicas intercalaciones de arenitas calcáreas deleznable de grano grueso. El espesor promedio medido para la Formación La Popa es de 63 m y es considerada de edad Pleistoceno (INGEOMINAS, 2004). En cuanto a su posición estratigráfica, la Formación La Popa, descansa en disconformidad sobre las unidades sedimentarias del

Neógeno Superior y está suprayacida principalmente y en forma discordante por depósitos eólicos antiguos y recientes del Cuaternario.

#### 2.1.2.3. Formación Bayunca (N1N2b)

Litológicamente la Formación Bayunca consta hacia la base de areniscas color gris de grano muy fino, dispuestas en capas delgadas a medias, interestratificadas con limolitas y lodolitas colores grises moteadas, bioturbadas (bivalvos y turrítelas). Interpuestas capas nodulares de areniscas calcáreas de grano fino. Hacia el techo afloran areniscas cuarzosas de grano grueso a conglomeráticas.

El espesor promedio medido para la Formación Bayunca es de 135 m y se le ha calculado una edad Mioceno Medio-Plioceno, según Duque-Caro 1967 en Guzmán (1994). Estratigráficamente se encuentra localizada en el límite superior de la Formación Arjona; se presenta en forma discordante con las Formaciones Popa y Arroyo Grande y es correlacionable con la Formación Arjona.

Según su génesis. INGEOMINAS (2004), la Formación Bayunca se formó en una zona entre costa afuera y plataforma continental; sus características de sedimentación indican también, ambiente de formación en una zona intermareal, afectada por canales con abundante concentración de conchas y en otras partes areniscas relleno canales abandonados con contactos erosivos.

En detalle se observa también estratificación ondulosa paralela que puede ser completamente borrada por la alta bioturbación, se observa también transporte de conchas de pelecípodos que se orientan a lo largo de la estratificación cruzada y en algunos sitios estos conservan su posición de vida.

#### 2.1.2.4. Formación Rotinet (Q1r)

Esta formación se encuentra en las planchas 16-17 Barranquilla; 23 Cartagena; 24 Sabanalarga; 29-30 Arjona y 31 Campo de la Cruz. Su localización tipo se encuentra en el Corregimiento de Rotinet en el Departamento de Bolívar. Se constituye de gravas guijosas, con canales y estratificación cruzada. Las guijas se componen de rocas ígneas volcánicas, cuarcitas, cuarzo lechoso y chert con intercalaciones de arenas cuarzosas a sublíticas, de grano fino a medio y arenas grano medio a grueso de color amarillo.

Es común encontrar concreciones de arcillolitas y limolitas ferruginosas. El espesor promedio medido para la Formación Rotinet es de 90 m y corresponde con una edad Pleistoceno. De acuerdo con INGEOMINAS (2004), estratigráficamente la Formación gravas de Rotinet descansa discordantemente

sobre las formaciones Hibácharo y Tubará; en la Plancha 16-17. La granulometría, las estructuras y la geometría de las capas de las gravas de Rotinet, sugieren un ambiente fluvial, asociado a un antiguo delta del río Magdalena.

#### 2.1.2.5. Formación Arroyo Grande (Q1ag)

Se encuentra en la plancha 23 Cartagena y se presenta como localidad tipo en la población de Arroyo Grande. La Formación Arroyo Grande está constituida por un conjunto de gravas dispuestas en capas gruesas a muy gruesas, interestratificadas con areniscas ligeramente conglomeráticas, conglomerados arenosos y capas delgadas de lodolitas, color gris oscuro y arcillolitas calcáreas color rojizo amarillento, con un espesor medido de 50 m aunque puede llegar a ser mayor.

Su edad corresponde con Pleistoceno de acuerdo con la poca consolidación de las gravas y arenas que componen a la Formación Arroyo Grande y su posición estratigráfica es disconforme sobre la Formación Bayunca.

#### 2.1.2.6. Depósitos Recientes – Cuaternario

Estos depósitos se encuentran asociados con las zonas más bajas, formando morfologías muy planas o levemente onduladas limitadas en algunas partes con escarpes. Los depósitos presentes en la zona de estudio son:

##### Depósitos de llanura aluvial (Q1a)

Depósitos recientes localizados en el área de influencia del canal del Dique; son depósitos de poco espesor, compuestos por material fino de arcillas y arenas finas; su morfología se presenta como una planicie ligeramente inclinada, la cual sigue la dirección de la escorrentía; asociados con drenajes mayores se presentan terrazas de extensión limitada y alturas no superiores a los 10 m, compuestas por arenas y esporádicamente gravas.

##### Depósitos fluviolacustres (Qfl)

Son depósitos asociados con la llanura de inundación del Canal del Dique; su composición principal está constituida por materiales finos tipo arcilla o limo los cuales han sido producto de las fluctuaciones invierno-verano que aportan material a dicha zona de inundación.

##### Depósitos de llanura costera (Qlc).

Esta unidad se encuentra constituida por dos tipos de depósitos clásticos y orgánicos; los depósitos orgánicos constituyen los manglares y los depósitos asociados con el crecimiento de los corales. Los depósitos clásticos están constituidos por arenas depositadas y retrabajadas en la zona intermareal, y los deltas formados en la desembocadura de las corrientes de agua en el mar.

#### Depósitos coluvio-aluviales (Qcal)

Están constituidos por cantos, bloques, arenas y arcillas, que pueden estar mezclados a gradados y se superponen a las unidades de roca y a los depósitos Cuaternarios más antiguos.

#### Sustrato de Manglar (Qmm)

Como su nombre lo indica, están relacionados con zonas de manglar y están constituidos por arenas finas, limos y lodos.

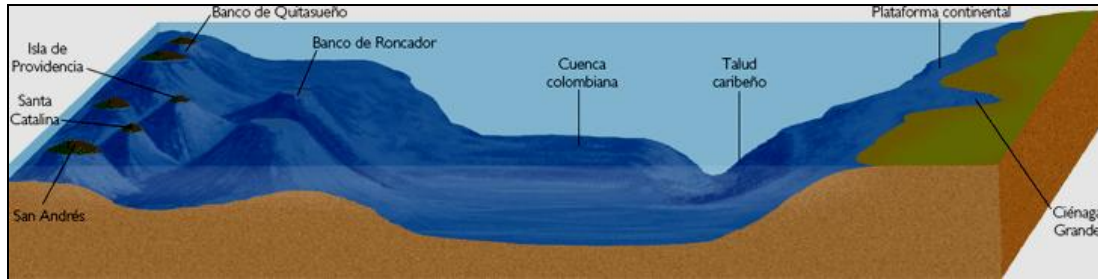
## **2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL**

El relieve submarino comprende la morfología del área que se prolonga desde la línea de costa mar adentro, hasta una profundidad de 1500 m, en el descenso del talud continental a los fondos abisales de la Cuenca Colombia en el Mar Caribe. La Plataforma continental está definida por el cambio brusco de la pendiente (de 5° a 7°) a una profundidad media de 100 m. Su contorno es arqueado y continuo desde el frente de la Punta de La Rada, desvía su dirección cerca de Punta Canoas, forma un semicírculo (noroeste de Galerazamba) volviendo a tomar la dirección inicial al oeste de Puerto Colombia.

La continua superficie casi plana de la plataforma es interrumpida en algunos sectores por una serie de elevaciones de altura inferior a los 100 m, que se localizan hacia el borde externo y al centro de la plataforma y se encuentran relacionados con diapirismo de lodos y los archipiélagos de las Islas del Rosario. Al norte, entre Punta Canoas y Puerto Colombia, la plataforma es amplia y se angosta hacia estas localidades; siendo de una amplitud de 30 Km y en forma semi-circular al noroeste de Galerazamba. Al centro de esta área se observa una superficie de pendiente menor a 0.1°, que empieza en la Ciénaga el Totumo y termina en el talud continental en forma de abanico. (Carvajal y Otros 2010) (Ver Figura 6)

El Talud continental, se inicia a partir del cambio brusco de pendiente de la plataforma continental aproximadamente en la isóbata de 100 metros, aunque en algunos sectores puede alcanzar una mayor amplitud. El declive de la llanura abisal es gradual, con algunos escalonamientos que siguen el margen externo

de la plataforma (Forero y Sánchez, 1987). Los accidentes morfológicos de su superficie hacen que esta no sea uniforme; se observan entalladuras que forman valles y salientes (al noroeste de Galerazamba), cañones submarinos como se observa en la batimetría al noroeste y norte de Puerto Colombia, y relieves a profundidades mayores de 200 m al noroeste de Punta Canoas (ver Figura 6)



**Figura 6.** Perfil esquemático de la plataforma y el lecho marino entre la franja litoral del Caribe colombiano y las islas de San Andrés y Providencia (tomado de CIOH, 1998).

## **2.3. GEOMORFOLOGÍA**

La formación del litoral está influenciada por la interacción de factores activos como corrientes marinas y el oleaje; el factor pasivo corresponde con la batimetría, las formaciones rocosas que afloran en la zona costera y la inclinación de la plataforma continental; estos factores inciden en el equilibrio del sector costero, generando áreas dinámicas en cuanto a acreción y erosión.

En el transecto correspondiente entre Galerazamba y Punta Barú, las formas del terreno costeras han sido clasificadas en geofomas de costas altas y bajas

### **2.3.1. Geofomas asociadas a costas altas**

Corresponde a geofomas cuya expresión topográfica es elevada con respecto al nivel del mar actual. Están representadas por terrazas marinas, plataformas de abrasión y colinas entre otros.

Las colinas corresponden con pequeñas ondulaciones que no sobrepasan los 100 m; aquellas elevaciones con alturas mayores de 100 m algunos autores las han denominado cerros.

Estos promontorios rocosos alcanzan las mayores alturas entre 100 y 150 m en el Cerro Púa, Morro de la Venta, donde se evidencian los principales signos

*Evaluación Morfodinámica de la Línea de Costa entre los Sectores de Punta Barú y Galerazamba en el Departamento de Bolívar*

erosivos, reflejados en coronas de deslizamientos, cárcavas, surcos, caída de rocas y coluviones, que son el resultado de los procesos de erosión pluvial y antrópico, este último por la inadecuada explotación minera (canteras). (CARDIQUE, 2005)

Entre Palmarito y Punta de Piedras se encuentran paleoacantilados que limitan hacia el mar con flechas litorales y plataformas de abrasión elevada, estas últimas en Galerazamba y Punta Canoas.

Las plataformas de abrasión elevadas son superficies planas labradas en el pasado por el mar sobre el sustrato rocoso. Se localizan al norte, entre Galerazamba y la Punta Juan Moreno Sur, al sur estas geoformas se muestran en Punta Canoas y Cuchilla de Canalete, con alturas variables entre 10 y 80 respectivamente. En general definen acantilados con pendientes fuertes y desprovistos de vegetación y alturas no superiores a los 5 m (MOLINA Y OTROS 1998 – POSADA Y OTROS 2008 - CARVAJAL Y OTROS 2010).

### **2.3.2. Geoformas asociadas a costas bajas**

Las costas bajas o de topografía plana, representan unidades que de acuerdo con su origen están generadas por la interacción directa de los procesos costeros. Entre estas unidades se destacan: playas, espigas, tómbolos, llanuras costeras, ciénagas, dunas, planos aluviales, salares y zonas de manglar entre otros.

**Las Playas** por definición corresponden a acumulaciones de material arenoso no consolidado depositado en la franja litoral. Se extienden hacia el continente desde la zona de marea baja hasta aquellos sitios que, presenten un cambio fisiográfico marcado, tales como las dunas estabilizadas (vegetadas a semivegetadas), la base de un escarpe o acantilado, o zonas donde se desarrolle vegetación estable o en algunos casos en contacto directo con el manglar.

Esta unidad morfológica define el 90% del perfil costero entre la Flecha de Galerazamba y los Morros. A lo largo del litoral son cortadas por arroyos e interrumpidas por salientes rocosos. En general las playas presentan una pendiente entre suave 2° a 4° en su parte trasera son comunes los fenómenos de sobrelavado, caracterizados por vegetación, troncos, chamizos y material grueso depositado por el mar en época de tormenta; actualmente en las playas de Palmarito y Manzanillo del Mar se observa explotación de piedra grava o “china”.



Las playas están constituidas por arenas de grano fino a medio de color gris; las más desarrolladas y extensas se encuentran asociadas a las grandes espigas y tómbolos.

**Espigas o Flechas** son cuerpos arenosos en forma de gancho, elongados en dirección de la deriva litoral predominante, están unidos a tierra firme por uno de sus extremos; su formación es el resultado del transporte de arena por las corrientes litorales longitudinales. En la región de estudio, las espigas toman una orientación norte-sur, y noroeste-sureste.

Morfológicamente las flechas definen una costa baja, desarrollada a partir de zonas protegidas, las cuales adoptan en su parte distal la forma de gancho que se curva hacia el continente, como resultado de los fenómenos de refracción y difracción del oleaje. Otra particularidad de estas geoformas es la presencia de crestas de playa paralelas a la línea de costa, indicadoras de los procesos de acrecimiento costero.

En su paulatino avance las espigas individualizan ciénagas paralelas también a la línea de costa; de sur a norte se destacan las espigas de Punta Canoas, Punta de Piedra Punta J y por último la de Galerazamba que se desarrolla a partir de la Punta Juan Moreno Sur, constituyéndose en el acrecimiento sedimentario más importante del área.

**Los Tómbolos** se definen como extensos playones de forma triangular que une una isla con el continente. Su formación está asociada a los fenómenos de refracción y difracción sobre una isla amarre (pináculo). El tómbolo de isla Cascajo constituye un plano de acrecimiento sedimentario desarrollado desde el Morro de la Venta hasta Punta de Piedra.

Sobre este sistema de acrecimiento se han desarrollado procesos de origen fluvio-marino reflejado en la formación de llanuras costeras hacia el continente, sobre la cual suprayacen cordones de dunas antiguas, que limitan hacia el mar por un campo de dunas activas, donde son comunes las crestas de playa como evidencias de antiguas líneas de costa.

**Las Llanura Costera** corresponden a planos con leves ondulaciones cuya génesis está asociada a procesos fluvio- marinos de erosión y sedimentación. Los agentes modeladores típicos del continente intervienen originando depósitos coluviales y aluviales, los cuales al depositarse sobre antiguos ambientes marinos los fosilizan y consolidan paulatinamente.

La interacción de estos dos tipos de ambientes (marino y continental) caracteriza las llanuras costeras. Limitan hacia el continente con zonas de lomas y colinas, y hacia el mar con playas, espigas y campos de dunas.

**Las Ciénagas** corresponden a depresiones de poca profundidad ocupadas parcial o totalmente por cuerpos de agua, separadas del mar generalmente por una barra y/o espigas y presentan una comunicación directa o indirecta con el mar. Por sus dimensiones las ciénagas más importantes en el área de estudio corresponden a la Ciénaga La Redonda, localizada en la flecha de Galerazamba, conectada con la ciénaga del Totumo a través del caño Amanzaguapos y comunicada al mar por medio de un canal artificial.

**Las Dunas** corresponden a acumulaciones de arena transportada por el viento, de formas alargadas dispuestas a lo largo de la línea de costa. Se depositan en dirección al viento predominante, con alturas variables entre pocos cm hasta 3 m. En la zona se presentan dos tipos: dunas antiguas y actuales (activas). Están constituidas por sedimentos arenosos de grano muy fino a fino, de color gris.

Las dunas antiguas son las más desarrolladas, alcanzan las mayores alturas y están estabilizadas por vegetación. Se localizan al norte del área, en Punta de la Garita y sobre las lomas; en la parte central suprayaciendo la llanura costera, en contacto con los campos de dunas activas.

Las dunas activas se aprecian a lo largo de las espigas, el tómbolo de isla Cascajo y playas que se extienden en forma paralela a la línea de costa, donde los fuertes vientos continuamente movilizan arena, moldeando su topografía. Algunas de estas dunas se encuentran incipientes y semivegetadas ocupando las espigas de Galerazamba, Punta de Piedra y Punta Canoas

**Los Salares** corresponden a depresiones someras susceptibles a inundación marina o fluvial, están caracterizadas por un sustrato principalmente lodoso. En el área los salares se restringen principalmente al área de Galerazamba, los cuales actualmente se encuentran en explotación; se encuentran separados del mar por una barra donde se desarrollan campos de dunas activas.

**Los Planos de Manglar** son superficies cenagosas conformadas por lodos, arenas y abundante materia orgánica, las cuales son aptas para el desarrollo del manglar. Las zonas se encuentran restringidas en proximidades a la ciénaga de la Venta y alrededores de Palmarito.

## **2.4. SUELOS**

La caracterización del tipo de suelos de la zona de estudio resulta de la recopilación y selección de información proveniente del estudio de suelos realizado por el IGAC en 1975 para los municipios de Cartagena y Santa Catalina, e Isla de Barú.

Los suelos de la zona en el estudio, se clasifican de acuerdo al sistema taxonómico americano ("Soil Taxonomic", 1973), empleando los cuatro primeros niveles de abstracción: orden, suborden, gran grupo, subgrupo.

Las unidades de suelos se clasificaron en tres unidades de relieve, como zonas planas, zonas quebradas y tierras misceláneas.

a. Zonas planas: se localizan hacia la planicie de la Cordialidad al Norte del canal del Dique, planicie adyacente al Canal del Dique y planicie costera. Sus tierras se prestan para uso de maquinaria agrícola; sus condiciones son óptimas para la tecnificación y desarrollo.

Se incluyen dentro de este grupo, los suelos de zona litoral con influencia marina reciente, fluvio-marina reciente y subreciente y los de la Planicie de Inundación ocasional con Influencia fluvio-marina antigua.

En la zona plana de la planicie fluvio marina las tierras son aptas para la agricultura tecnificada, si se tienen en cuenta las características físicas y químicas de los suelos; aunque un factor limitante es la escasez de lluvias apropiadas para el desarrollo agropecuario.

b. Zonas quebradas: Comprende las zonas onduladas y quebradas propiamente dicha. Por su topografía tiene uso restringido para labores agropecuarias y en algunas zonas la tala ha ocasionado erosión. El uso que debe darse a estos suelos por su susceptibilidad a la erosión principalmente en la forestación.

Se incluyen dentro de este grupo los suelos de colinas de vertientes generalmente rectas, cortas onduladas y con relieve irregular.

c. Tierras misceláneas. Se incluyen dentro de este grupo los suelos con presencia de cárcavas, las áreas rocosas y los pantanos.

En la planicie de inundación ocasional, se localizan los suelos con el más alto potencial agropecuario. Las colinas se han desarrollado de materiales geológicos que presentan mucha susceptibilidad a la erosión, razón por la cual

existen áreas muy erosionadas que en ciertos lugares llegan a considerarse dentro de las denominadas "tierras misceláneas".

En la parte sur de la zona de estudio se presenta un área considerable cuyas tierras son muy cenagosas las cuales también se han incluido dentro de esta clasificación. Los suelos de la zona "litoral" propiamente dicha, presentan problemas con la presencia de sales y sodio, la mayor parte de los suelos de las zonas quebradas o las colinas, se caracterizan por ser superficiales; presentan texturas moderadamente gruesas y estructura blocosa, son muy susceptibles a la erosión, tal que en algunos sitios sus ha desaparecido el horizonte A.

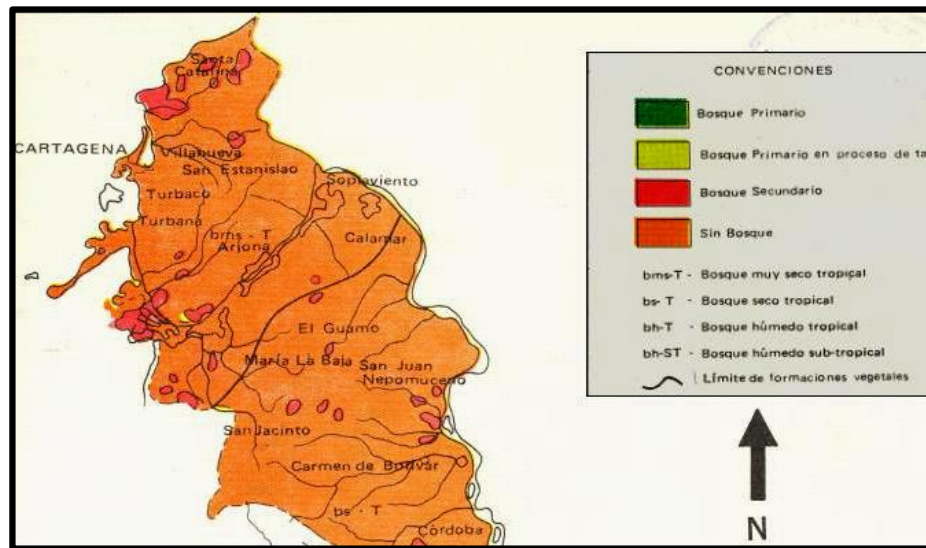
#### **2.4.1. Factores que inciden en el uso actual**

Se describen los factores que condicionan el uso actual, siendo los más significativos los siguientes: Las temperaturas entre 26° y 34° C y las precipitaciones inferiores a 800 mm, determinan el uso del suelo como de urbanismo básicamente, aunque favorece la plantación de árboles frutales y cultivos como sorgo, ajonjolí entre otros.

#### **Vegetación**

En el área de estudio se localizan algunos sectores de mangles (puntuales), representados por un grupo de plantas características de los ecosistemas tropicales; su importancia radica en la estabilización de franja litoral y la generación de hábitats apropiados para especies de crustáceos, aves y peces. Adicionalmente y como aspecto representativo se destaca que la mayor parte del área corresponde a una cobertura de vegetación escasa y algunos relictos de vegetación secundaria o ya intervenida. Esta unidad se califica según Holdrige (1965) como Bosque muy seco tropical.

Se puede observar la correlación entre la evapotranspiración potencial y el tipo de vegetación dominante para el sector. (Figura 7)



**Figura 7.** Mapa de bosques y formaciones vegetales. (IGAC, 1991).

La zona registra los siguientes tipos de cobertura vegetal: bosques halohelofíticos (manglares), comunidades herbáceas o arbustivas psammohalofíticas (playas, dunas y playones), halo-helofitas herbáceas (zonas cenagosas costeras), matorral subxerofítico, bosque xerofítico y bosque alternohigróico.

La vegetación que se define es de tipo espinoso (transición y/o subxerofítico), presente en zonas; en general la vegetación leñosa de árboles y arbustos tienen tendencia hacia un porte reducido, de forma tal que, en bosques y matorrales subxerofíticos el arbolado raras veces sobrepasa los cuatro o seis metros de altura, mostrando tendencia al achaparramiento (profusa ramificación y abreviación de los entrenados).

Desde otra perspectiva, en el área de trabajo las fronteras del bosque xerofítico se reducen día a día, dando paso en muchos de los casos a la frontera agrícola y esta última reemplazada paulatinamente por zonas áridas. La eliminación del arbolado del bosque original o de arbustales densos para ser convertidos en praderas o potreros es práctica común en la zona y en muchos casos es difícil distinguir con facilidad una sabana natural o climática de aquellas que resultan de la intervención humana.

Nuevamente, cuando la intervención humana es severa y prolongada, los bosques tienden a ser substituidos por matorrales subxerofíticos y estos a su vez por una vegetación de carácter más xerofítico incrementándose los procesos erosivos severos que impiden la recuperación natural del suelo, así, como su

uso. Es preciso hacer énfasis en los altos procesos degenerativos en este tipo de bosque y que se registran tanto en la Isla Barú, como en la margen oriental del canal del Dique, haciendo que las comunidades secundarias del área aparentemente correspondan a climas con mayor tendencia seca de lo que realmente se presenta en el área.

De otro lado en las tierras bajas de la margen occidental-central de Isla Barú, se observaron extensa áreas sometidas a procesos de salinización (inducidas o no por acción humana) y que trae como consecuencia la substitución del manglar por playones salinos de escasa o nula productividad, comparables a desiertos extremos y que paulatinamente pueden llegar a ser reemplazados por matorrales o bosques xerofíticos, una vez se formen nuevos suelos.

## **2.5. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA REGIÓN**

Debido a la localización del área, en el centro del litoral Caribe colombiano, está influenciada por cuatro fenómenos meteorológicos principales, a saber: La Zona de Convergencia Intertropical, los vientos Alisios, el paso de las Ondas del Este y frentes fríos tributarios del hemisferio norte. De acuerdo con la interacción de estos fenómenos, el clima de la región se puede clasificar como tropical semiárido.

La dinámica de los vientos está influenciada por la posición del sistema del sistema de circulación intertropical en su desplazamiento norte-sur durante el año. En Colombia a principios de año la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) es muy activa entre los 0 y 40° de latitud norte, con manifestaciones de tiempo lluvioso al sur del país, determinando una época seca en la Costa Norte cuando los Alisios del noreste logran su máxima penetración en el continente.

A finales de abril y principios de mayo la ZCIT avanza lentamente de sur a norte ocasionando tiempo lluvioso al sur y centro del país; en los meses de julio-agosto se sitúa en posición extrema septentrional y de octubre-noviembre inicia su regreso al sur con características de tiempo lluvioso en la Costa Norte. (Trojer, 1958; Oster, 1979; Cenicafé, 1983).

Es de destacar que la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) es determinante en el clima de la región. La ZCIT se presenta como un cinturón semi-continuo de bajas presiones, localizado entre las regiones subtropicales de los hemisferios Norte y Sur; esta zona presenta desplazamientos en dirección Norte-Sur de acuerdo con la ubicación relativa respecto a la costa colombiana y modifica el régimen de vientos y lluvias asociado con ella.

En cuanto a la circulación atmosférica de los vientos alisios (vientos del norte y noreste), tributaria de los centros de alta presión del Atlántico Nororiental, se presentan con mayor intensidad entre finales de noviembre y marzo, modificando sustancialmente el clima de Cartagena y todo el Caribe colombiano. En la bahía también se registran vientos del sur y suroeste en los meses de agosto a noviembre, creando en la bahía otras condiciones climáticas para esta época del año (Separata CIOH, 1997).

Otro fenómeno atmosférico de importancia en la región, lo constituye el paso de Ondas Tropicales del Este, que son sistemas nubosos migratorios que viajan envueltos en la corriente de los vientos alisios, lo que hace que su desplazamiento sea del Este al Oeste a una velocidad promedio entre 10 y 12 nudos; a su paso se siente un incremento en los vientos y posterior a su paso un incremento en el cubrimiento nuboso y de las lluvias.

Cuando los frentes fríos del hemisferio norte se desplazan sobre los 15° norte o menos, a unos 50 ó 100 Km de la costa Caribe Colombiana, los vientos que acompañan estos sistemas atmosféricos, luego de su paso, generan un tren de olas que combinado con el “Swell” pueden producir sobre la mayor parte del litoral Caribe un fenómeno oceánico conocido como “mar de leva”. Este fenómeno se produce generalmente en los meses de Enero y Febrero, y algunas veces incluso se extiende hasta Abril.

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

La época seca comprende desde Diciembre hasta mediados de Abril y se caracteriza por vientos continuos y fuertes provenientes del sector Norte Noreste con lluvias escasas y débiles. El periodo de transición o época intermedia está comprendido entre los meses de Junio y Julio y se caracteriza por la irregularidad de las lluvias y los vientos, los cuales no sólo varían su intensidad sino su dirección.

Por considerarse una época de relativa poca lluvia, en medio de la denominada época Húmeda (de Abril a Noviembre), es denominado por algunos como “El veranillo de San Juan”. La época de invierno o de lluvias se extiende desde Abril a Noviembre, con la interrupción ya señalada para los meses de Junio y Julio y se caracteriza por vientos débiles de orientación variable y un régimen de abundantes lluvias, siendo octubre el mes más lluvioso

### **2.5.1. Temperatura ambiente**

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

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

### **2.5.2. Vientos**

El comportamiento de los vientos en el sector se interpretó con base en datos obtenidos del Instituto de Hidrología y Meteorología (IDEAM), obteniéndose que: La zona de Galerazamba está sometida al régimen de los vientos alisios que soplan de manera constante del noreste; durante la estación seca su frecuencia alcanza a representar más del 70% de los vientos; para la estación intermedia (Mayo, Agosto, Julio y Noviembre) su frecuencia disminuye al 41% y en la estación húmeda (Junio, Septiembre y Octubre) su influencia es sólo del 26%. En el sector de Punta Canoas a Punta Barú, la influencia de los alisios es del N-NE, la estación seca está caracterizada por un predominio de dirección norte en un 43% y un 26% del noreste; en la estación intermedia (Mayo-Julio) descienden los vientos del norte a un 29% y los del noreste al 20%; la estación húmeda se destaca por el aumento de las calmas de los vientos para los meses de septiembre a noviembre.

Los vientos alisios del norte afectan toda la costa colombiana y son especialmente fuertes en el área de estudio durante el período comprendido entre los meses de diciembre a abril y varían entre 15 y 40 millas por hora.

En mayo y junio sopla una leve brisa con dirección norte – noreste; para septiembre, octubre y noviembre se alternan los vientos noroeste, oriente y norte. Durante ésta época y especialmente en noviembre se origina el llamado mar de leva que imprime al oleaje una fuerza especial originada por tormentas lejanas del Caribe produciendo olas de gran magnitud acompañadas de fuertes vientos.



El régimen de vientos se caracteriza por el predominio de los vientos Alisios del Norte y Noreste en la época seca y de los vientos del Sur Suroeste en la época húmeda. Durante la época seca la ZCIT se encuentra en posición sur, los sistemas subtropicales de alta presión se encuentran al sur de su posición normal como consecuencia los vientos del norte y Noreste (Alisios), que soplan con una intensidad más uniforme y pronunciada en toda la región.

La intensidad de los vientos durante la época seca presenta valores medios entre 2.0 y 5.4 m/s, lo que corresponde en la escala BEAUFORT a viento débil. No obstante, los valores máximos llegan a 13.8 y 16.6 m/s, que corresponden en la misma escala a viento muy fuerte.

Los valores máximos de viento se registran en las mediciones de las 13:00 horas y las 19:00 horas, lo que indica la intensificación de los mismos hacia las horas de la tarde. El promedio anual de viento para las 13:00 horas es de 4.2 m/s, mientras que los de las 07:00 horas es de 2.5 m/s. y a las 19:00 es de 3.5 m/s; en la época de transición, la naturaleza de los vientos es frecuentemente variada; suelen encontrarse vientos sur sudoeste en las mañanas que rotan al oeste-noroeste en las horas de la noche, repitiéndose nuevamente el ciclo.

La velocidad de estos vientos es entre 2.1 y 2.5 m/s. (brisa suave); en la época Húmeda la ZCIT se encuentra al norte del país (latitud entre 8° y 11°), actuando moderadamente sobre la costa Caribe, por lo tanto el viento de la bahía predomina sur-sudoeste. Las velocidades de los vientos son débiles aunque alcanzan valores medios de hasta 4.1 m/s.

### **2.5.3. Régimen pluviométrico**

El promedio multianual de precipitación para Cartagena es de 751.2 mm. Al año, siendo los meses de septiembre y octubre los más lluviosos con promedios de 111 y 128 mm respectivamente. El promedio de números de días con lluvia es de 76. El brillo solar es de 2408.9 horas lo que equivale de 6 a 7 horas de sol diarias.

En el Anuario Meteorológico publicado por el HIMAT en 1990, existe coincidencia en señalar al mes de Octubre como el más lluvioso, aunque varía el número de días de lluvia y el valor de las precipitaciones. Le siguen en orden descendente septiembre y agosto, ver Tabla 1.

#### **2.5.3.1. Humedad Relativa**

En la mayoría de los registros establecidos, se determina que las condiciones promedias varían entre un 60 y 70% de humedad relativa, pudiendo clasificarse como ambientes medianamente húmedos.

**Tabla 1.** Precipitación promedio mensual multianual. Tomado del Atlas Climatológico para el Caribe, 3ª. Edición, 1997 Central de Pronósticos, Meteorología y Oceanografía. Boletín Meteorológico marino del Caribe Colombiano, recopilación 1997.

PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL			
MES	MEDIA (mm)	MAXIMA 24 HRS	DIAS DE LLUVIA
ENERO	9	91	1
FEBRERO	4	3	0
MARZO	2	28	1
ABRIL	32	92	3
MAYO	83	124	9
JUNIO	119	120	13
JULIO	105	136	10
AGOSTO	136	116	14
SEPTIEMBRE	140	124	14
OCTUBRE	244	164	18
NOVIEMBRE	135	91	12
DICIEMBRE	31	157	3
TOTAL ANUAL	1040	1246	98

## 2.6. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS

Las principales características que se definen para este estudio se relacionan con las mareas, las olas y las corrientes marinas puesto que estas determinan la dinámica oceánica y son agentes determinantes en la expresión morfológica de la costa.

### 2.6.1. Corrientes marinas

Interactuando con el sector del litoral Caribe Colombiano se localizan dos corrientes superficiales denominadas la Corriente Caribe y la Contracorriente de Panamá; su accionar en las costas se presenta en forma variable de acuerdo con la época del año; esta variación depende del régimen del viento el cual está condicionado por la ubicación de la denominada Zona de Convergencia Intertropical.

Adicionalmente se presenta una corriente generada por aguas dulces cargadas con sedimentos evacuados por el Canal del Dique a través de los Caños Lequerica y Matunilla; este material llega hasta la Bahía de Barbacoas y dependiendo de la época del año extiende su efecto hasta las islas del Rosario.

En general se pueden expresar dos situaciones de corrientes; una entre diciembre y mayo donde predomina la corriente oceánica del Caribe en dirección Suroeste con muy pocos efectos de la corriente proveniente de Bahía Barbaças con las aguas turbias del Canal del Dique, y otra entre junio y noviembre en el que la contracorriente de Panamá refuerza la corriente proveniente del Canal del Dique y la dirige hacia las Islas del Rosario.

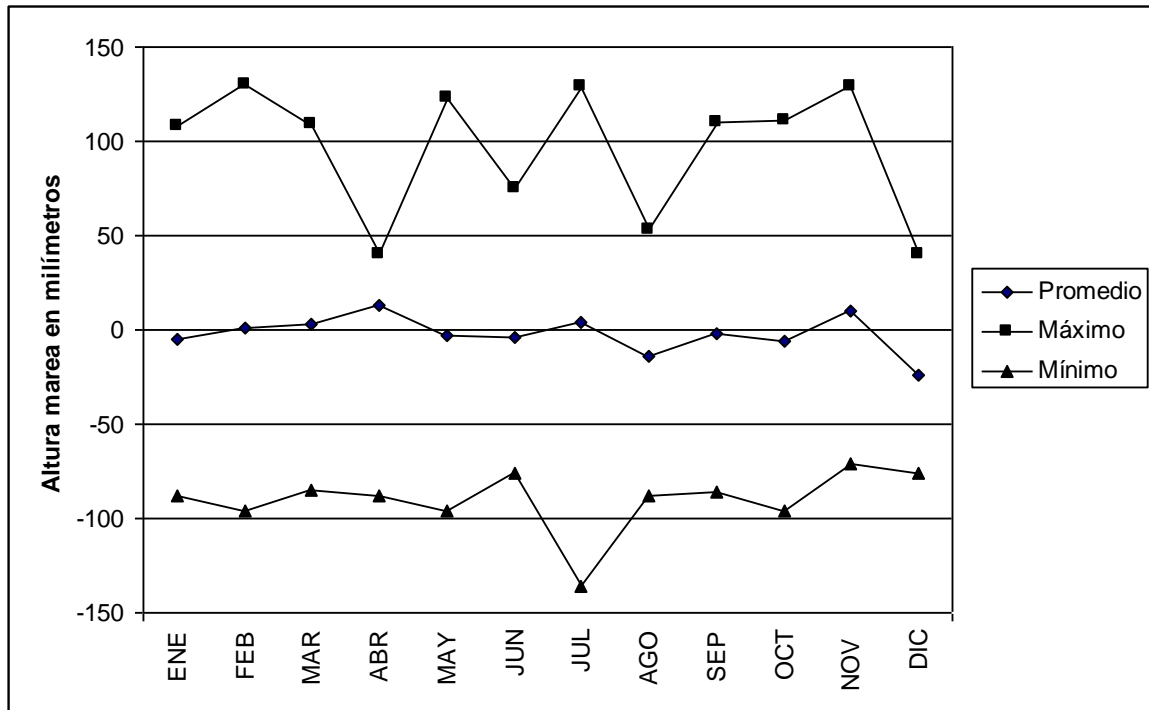
### **2.6.2. Oleaje**

En esta área del Caribe el oleaje es generado por los vientos alisios del nordeste y noroeste; los vientos más intensos ocurren entre diciembre y abril (época seca), período en el cual las direcciones noreste y norte son, en su orden, las dos principales en cuanto a frecuencia de incidencia (Figura 3). El resto del año la dirección de incidencia varía desde el noreste al suroeste en función de la variación de los vientos.

El oleaje proveniente del oeste incide en menor proporción. La altura del oleaje normal en el área de Cartagena e islas del Rosario se estima alrededor de 1 metro. Sin embargo, durante los períodos de mar de leva se han estimado alturas de rompiente de hasta 3 m (VERNETTE, 1985). Una vez el mar entra a la plataforma continental, sufre refracción como consecuencia de los cambios de profundidad del suelo marino. La dirección del oleaje sumada a la refracción que sufre el mismo, genera una deriva litoral con dirección noreste al suroeste. Por lo tanto, ante cualquier obstáculo natural o artificial que sobresalga de la línea de costa, la acumulación de sedimentos tiende a ocurrir en el costado noreste del obstáculo.

### **2.6.3. Mareas**

El Caribe colombiano se caracteriza por un régimen micromareal con mareas semidiurnas cuyas amplitudes generalmente son inferiores a 0,3 metros. En la figura 8 se grafican los valores de mareas del mareógrafo de Cartagena, ubicado dentro de la bahía y por lo tanto bajo la influencia del canal del Dique. Debido a esto, y de acuerdo a los cambios climáticos, el comportamiento mensual entre año y año puede ser muy variable (Torres y Otros 2006). Por ejemplo en el caso del mes de julio se encuentra la mayor desviación estándar (60.04 mm), considerándose consecuencia de variación en la intensidad del veranillo de San Juan.



**Figura 8.** Variaciones promedio, mínimos y máximos de altura de marea de los resultados del mareógrafo localizado en la Bahía de Cartagena entre 1952 y 1992 (Tomado de Torres y Otros, 2006).

### **3. DINÁMICAS MESOTEMPORAL Y MICROTEMPORAL DE LA LÍNEA DE COSTA**

Dentro del estudio desarrollado del presente estudio, se realizaron dos actividades complementarias para conocer las características morfodinámicas de las líneas de costa. Estas se refieren a un análisis multitemporal basado en un estudio de la cartografía IGAC para diferentes épocas (décadas), la fotointerpretación y cartografía de líneas de costa a partir de vuelos multitemporales y la utilización del software DSAS para el análisis multitemporal. La evaluación de la dinámica microtemporal para el año 2008, se basó en el reconocimiento de campo y la evaluación de los datos inscritos en la base de datos que se generó.

La línea de costa como se indicó previamente, se dividió en sectores para un análisis más detallado así:

#### **3.1. SECTOR 1. BOCATOCINO (N1686797/W875458) A PUNTA GALERAZAMBA (N1686628/W870556)**

El tramo está conformado por una barra espiga con forma cóncava y con dirección general este-oeste, con playas que disminuyen su amplitud en la misma dirección de la deriva litoral, es decir hacia el oeste. En la parte trasera de la playa existe un sistema de dunas (puntualmente vegetadas), que se extiende hasta por 80 m a partir de la línea de costa y que está limitado al sur por una laguna costera con presencia de parches de mangle.

El desarrollo de playas con bermas amplias, varios sistemas de dunas, y barras de arena subaereales amplias (perfil 1), se ha logrado gracias al aporte de sedimentos del río Magdalena y de los acantilados al noreste de Bocatocino, a lo cual debe sumarse la ausencia de intervención directa sobre la zona costera. Playas con estas características se constituyen en un buffer natural contra las olas de tormentas y mares de leva, por lo que de su conservación depende la estabilidad de la línea de costa en el futuro.

En particular las dunas se constituyen en un reservorio de arena que es utilizado durante eventos extraordinarios. Las líneas de costa donde la salida de sedimentos es equivalente a la entrada o donde no existe pérdida neta de sedimentos, luego de una tormenta o mar de leva, presentarán un retorno gradual de arena a la berma, arena que luego será transportada por el viento para reponer las dunas. Sin embargo, en sistemas abiertos, luego de una tormenta o mares de leva, las dunas pueden sufrir retrocesos permanentes (Raudkivi y Dette, 2002). Los límites en roca que encierran las playas de este tramo de costa, pueden ser indicadores de que existe un equilibrio dinámico en el balance de sedimentos en el sector. La confirmación de esta hipótesis requiere de un análisis de celdas costeras y transporte de sedimentos.

### **3.1.1. Dinámica costera**

Este es uno de los tramos de costa en el Caribe colombiano donde pueden documentarse cambios en la configuración litoral desde la época de la conquista (figura 9). Estos cambios, de orden kilométrico, son sólo equiparables a los ocurridos en época reciente en Puerto Colombia y Punta Rey, al norte del centro urbano de Arboletes.

Ramírez (1959), en la documentación acerca de la explosión del volcán de lodo frente a Galerazamba en noviembre 9 de 1958, realizó una reconstrucción de la línea de costa de 1794 basándose en la cartografía del navegante español Fidalgo. Esta cartografía, junto con otros mapas del siglo XIX como el elaborado por Nepomuceno S. de Santa María en 1852, da cuenta de una península que se prolongaba aproximadamente 10 kilómetros en dirección Este-Oeste a partir de la línea de costa actual. De acuerdo a la información recogida por Ramírez (1959), esta península no siempre estaba unida al continente, por lo que era también llamada una isla, que por periodos formaba un tómbolo.

Esta geoforma posiblemente estuvo asociada a la actividad diapírica presente en el área para la época, y sería similar al tómbolo que se forma frente al poblado de Damaquiel en San Juan de Urabá cuando ocurre actividad diapírica. Durante la explosión del volcán de lodo de Galerazamba en 1958, una corbeta de la armada localizó el sitio de explosión asignándole coordenadas 10°47'N/75°20'W (Ramírez, 1959), es decir sobre el terreno que ocupaba la península en el siglo XVIII. Vernet (1985), ubicó a través de perfiles sísmicos una pluma diapírica o chimenea sobre las coordenadas 10°49'N/75°29'W (N1688307/E846247), a una distancia de 24.4 kilómetros de Galerazamba.

Para la evaluación reciente de la línea de costa se midieron los cambios correspondientes a los años 1947, 1954, 1974, y 1990. De acuerdo a los resultados obtenidos, existe una tendencia de acrecimiento al este y noreste del

tramo (ver transectos 1 al 11 en la figura 1) y procesos erosivos a partir del transecto 13 (figura 9), que comienzan a partir del punto de máxima inflexión de la bahía, sitio donde la línea de costa toma dirección N75W y donde el oleaje rompe más directamente. Este sitio de inflexión se encuentra entre los transectos 13 y 14, y allí se ubica la única estructura de protección dentro del tramo, la cual consiste de un espolón artesanal construido con bloques de coral. Esta estructura, a pesar de la corta longitud que presentaba en el momento de la visita (<5 m) y del deterioro de la misma, produce un escarpe de 15 centímetros de altura y acortamiento de la playa deriva abajo.

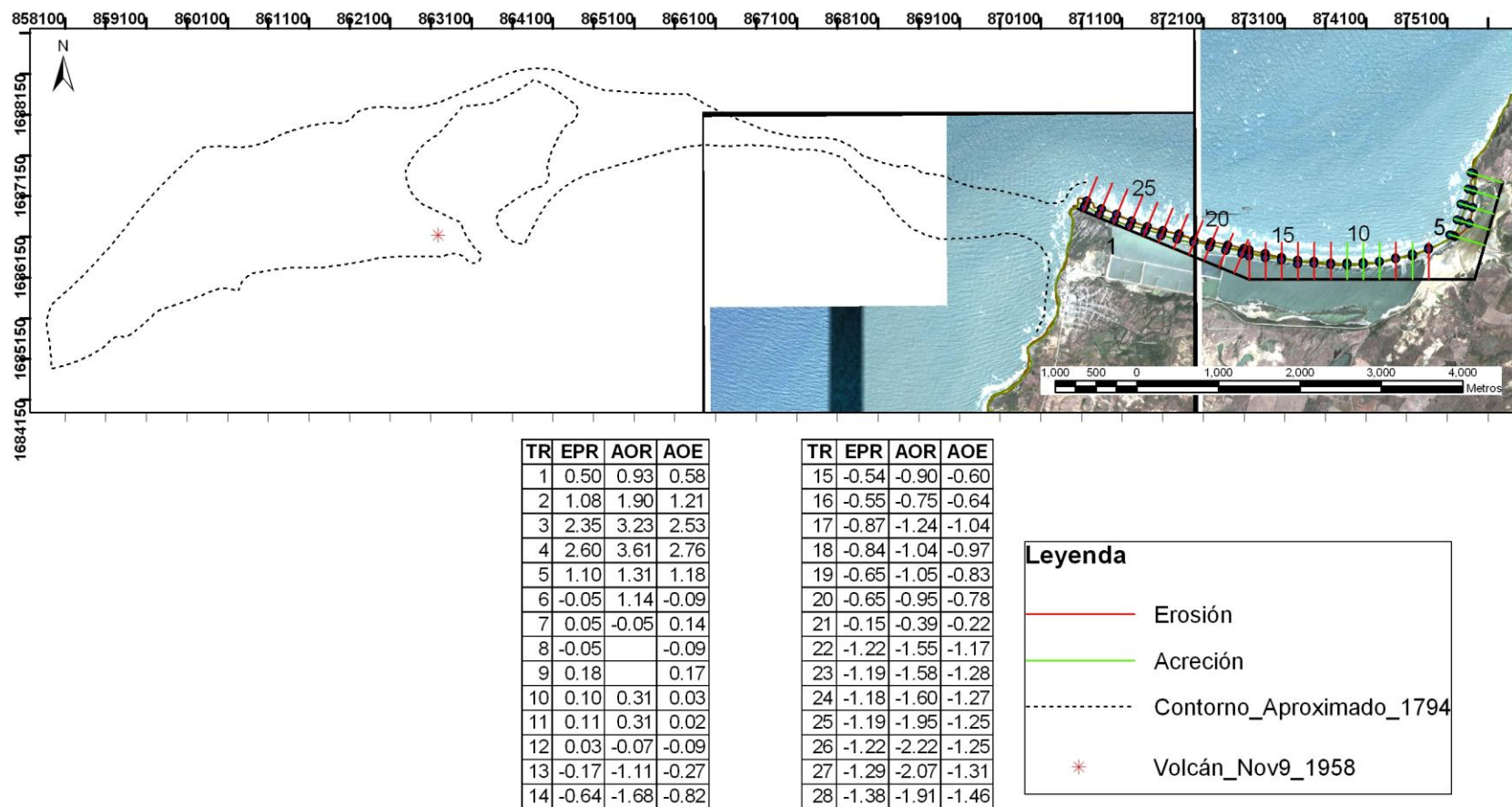
Las mayores tasas de erosión en el tramo están ubicadas sobre Punta La Garita, entre los transectos 22 y 26 (figura 9). Giraldo et. Al (1997), encontraron a través de un modelamiento del oleaje que en Punta Garita predominan los procesos erosivos durante la mayor parte del año. La pendiente de los perfiles (10° en el perfil 2 la temporada de verano), y el tamaño grueso de los sedimentos, son evidencia de la alta energía del oleaje en el sector.

La acreción en el sector este es producida como consecuencia del efecto “sombra” y de refracción del oleaje que generan los acantilados ubicados entre Bocatocino y Loma El Morro. Sin embargo, aumentos en la altura del oleaje como los ocurridos en 1988 por el paso del Huracán Joan, han generado procesos erosivos temporales en la zona adjunta a Bocatocino.

### **3.2. SECTOR 2. EXTREMO OESTE DE LAS SALINAS DE GALERAZAMBA (N1686628/E870556) A LA PUNTA JUAN MORENO SUR (N1683960/E869586).**

Este sector presenta dos características que contrastan con las condiciones del tramo anterior:

1. Un cambio de dirección de la línea de costa en ángulo casi recto con respecto al tramo anterior y que posiblemente está controlado estructuralmente.
2. Geoformas de acantilado constituido por una alternancia de areniscas y arcillolitas plegadas pertenecientes a la formación Arjona. En específico, el centro poblado de Galerazamba se ubica sobre una plataforma de abrasión elevada con una altura promedio de 5 m (MARTÍNEZ, 1993). Los pináculos o stacks encontrados al occidente de Punta La Garita, son indicios de los procesos erosivos que han afectado la plataforma.



**Figura 9.** Localización y dinámica costera del sector 1. Nótese el contorno de la espiga formada para el año 1794.



Pethick 1984 en Carvajal (2008), realizó una compilación de los procesos que contribuyen al retroceso de los acantilados, citando entre los principales:

- ✓ La dureza y estado de meteorización de la roca.
- ✓ Comportamiento estructural de la roca.
- ✓ La configuración de la línea de costa.
- ✓ Solubilidad de la roca.
- ✓ Altura del acantilado.
- ✓ Características del oleaje.
- ✓ Bioerosión provocada por invertebrados.
- ✓ Meteorización química.
- ✓ Acción hidráulica sobre la roca generada por las variaciones en la presión que producen el oleaje.
- ✓ Actividades antrópicas.

### **3.2.1. Dinámica Costera**

Para este sector se cuantificó la evolución de la línea de costa teniendo en cuenta las líneas de costa de los años 1947, 1974, 1990 y 2007, obteniéndose valores de retroceso promedio entre 0.2 m/año y 0.4 m/año (figura 10). Durante las dos visitas realizadas (mayo y noviembre de 2008), se encontraron playas estrechas (1 a 10 metros) al pie del acantilado (figura 11), por lo que puede deducirse que el retroceso del mismo es provocado durante eventos de mar leva y tormentas. Sin embargo, hay salientes rocosas como la ubicada en inmediaciones del faro, sobre las coordenadas N1684710/E869833, donde el mar golpea directamente durante todo el año (transecto 11 en la figura 10 y figura 12), donde los factores 4, 9 y 10 de la lista arriba citada, tienen un efecto preponderante. Específicamente, la disolución del cemento calcáreo de las areniscas y arcillolitas, sumado a la acción hidráulica producida por el oleaje sobre estratos con buzamientos hacia el occidente (N29W/44SW en N1684710/E869833), genera desestabilización, remoción y caída de bloques al mar (figura 11). Prácticas inadecuadas como la de verter aguas residuales sobre el talud del acantilado aceleran el retroceso del mismo.

La presencia de pináculos o pilares en el presente, permite deducir que las salientes de mayor resistencia que hacen parte en la actualidad de la línea de costa, con el avance del tiempo llegarán igualmente a aislarse de la línea de costa.

### **3.3. SECTOR 3. PUNTA JUAN MORENO SUR (N1683960/E869586) A SUR DE PUEBLO NUEVO (N1678574/E869329)**

En el sector se encuentran playas amplias, con crestas de playa, y con la playa trasera colonizadas por vegetación (*Conocarpus* sp, *Avicenia germinaris*, hierba), limitadas al este por la ensenada Prieto y la laguna costera de La Redonda. La alta dinámica del tramo desde la década del cuarenta ha sido documentada en los trabajos de Correa (1991), Parrado (2006) e Imbachi (2008).

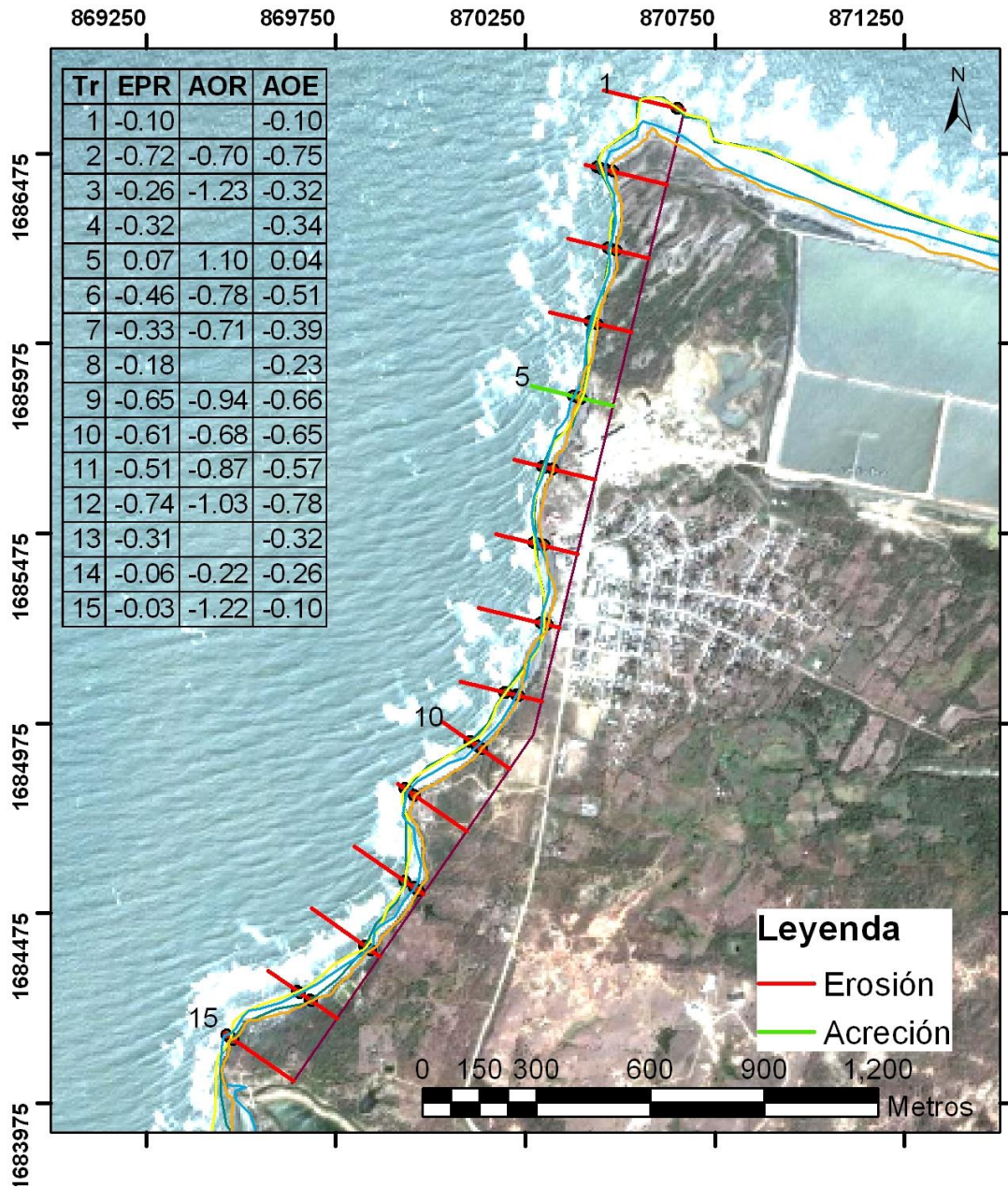
La extensión de los perfiles de playa realizados (ver perfiles 19 a 23), que llegó a ser mayor de 180 m, confirma la disponibilidad de sedimentos asociados a una plataforma amplia, con baja pendiente (el frente de playa tenía en promedio una pendiente de 4°), generando playas disipativas con varias barras litorales (ver perfil 19 en Anexo 1).

Estas barras litorales, se constituyen en un amortiguante para la energía del oleaje. Sin embargo, estas playas tienen una alta susceptibilidad a sufrir inundaciones durante episodios de tormentas.

#### **3.3.1. Dinámica Costera**

En el análisis de evolución de la línea de costa se tuvieron en cuenta las líneas de costa de los años 1970 y 2007 para este tramo. La evolución del sector está influenciada por el efecto refractor y amortiguante sobre el oleaje que ejercen de norte a sur las puntas de La Garita, El Faro y Punta Juan Moreno Sur, cada una de las cuales está desplazada al oeste con respecto a la anterior y formando bahías amplias entre ellas (con una longitud de la cuerda de las playas entre 800 y 900 m. La dirección de la línea tangencial a la elipse que forman las playas está entre N54E y N65E. Como resultado de la refracción del oleaje sobre cada una de estas salientes rocosas, se ve disminuida la altura del oleaje, permitiendo la depositación de los sedimentos en una geoforma paralela a la línea de costa que constituye la espiga de Pueblo Nuevo.

Esta espiga ha programado paulatinamente desde la Punta Juan Moreno hacia el sur, y en el futuro podría consolidarse como una barra barrera (baymouth barrier), con una salida de agua intermitente desde la ciénaga La Redonda. La forma de gancho de la secuencia de espigas que se han ido acrecionando a través del tiempo, se debe al efecto de refracción del oleaje sumado a los periodos de olas secundarias provenientes del sur-suroeste.



**Figura 10.** Localización y dinámica costera del sector 2.



**Figura 11.** Costa acantilada en Galerazamba con playas estrechas.



**Figura 12.** Caída de bloques por acción del oleaje en acantilado con estratificación N29W/44SW (N1684710/E869833) Primera rompiente a aproximadamente 85 metros (Mayo 1/08).

De acuerdo a los resultados encontrados (figura 13), puede establecerse que al sur de la Punta Juan Moreno Sur, entre los transectos 1 a 20, ha ocurrido un alta tasa de sedimentación en los últimos 30 años; sedimentos provenientes de la erosión de la Punta Juan Moreno y de los acantilados ubicados al este y sur de Galerazamba, mientras que desde el transecto 21 al 30 han predominado los procesos erosivos, debido a la retención de sedimentos que ejerce la espiga, la cual atrapa los sedimentos provenientes del noreste y produce un déficit de los mismos al sur de esta geoforma.

Lo anterior se confirma al comparar la configuración y extensión de los perfiles contiguos 22 y 27, ubicados respectivamente frente a Pueblo Nuevo y al sur de este centro poblado. No obstante, la espiga ha estado sometida a episodios erosivos, como los acaecidos entre noviembre y octubre de 1984, periodo en el que se midieron pérdidas de hasta 4.5 metros/mes (Correa, 1991). De acuerdo a la evolución que ha sufrido la espiga en los últimos 35 años, es de esperarse que continúe su acrecimiento y progradación hacia el sur.

La alta dinámica de este tramo ha estado influenciada por el efecto directo de intervenciones antrópicas como la actividad camaronera, que se instaló en los años ochenta, y la cual conllevó la creación de diques y el dragado de partes de la espiga (IMBACHI, 2008). Tal situación coincidió con el periodo en que fue necesario reubicar parte del pueblo y de la vía, por estar siendo afectadas por erosión costera, reubicación realizada a principios de 1985.

Vale la pena destacar que el sector reubicado se encontraba sobre la estructura en forma de domo que forma el “volcán de lodo” de Pueblo Nuevo (figura 5). Con anterioridad a este año, en 1954, había sido necesario reubicar la población de Amanzaguapos (Parrado, 2006).

El efecto del diapirismo de lodo en esta franja de costa, podría ser similar al reportado sobre la costa occidental de Taiwán, donde se han encontrado desplazamientos verticales entre 1 y 3 cm/año, los cuales han generado líneas de costa de acreción (Liu y Yu en Hsu et al., 2007), como resultado de cambios relativos en el nivel del mar

#### **3.4. SECTOR 4. SUR DE PUEBLO NUEVO (N1678574/E869329) A SUROESTE DE LOMA ARENA (N1675023/E866052)**

La parte norte de este tramo se ubica sobre el costado oeste de Loma Arena, y está constituida por un acantilado en rocas blandas pertenecientes a la formación Arjona, las cuales sufren procesos de erosión por el efecto, tanto de la escorrentía superficial, como del oleaje en la base del talud (Figura 14). Al

suroeste del transecto 10, se encuentran playas estrechas (aproximadamente de 5 m), limitadas al este por vegetación arbustiva y puntualmente por dunas.

Aunque en este tramo no se realizaron perfiles, está en el límite de los perfiles 27 al norte y 30 al suroeste. En inmediaciones del perfil 27 (N1678674/E869329), se encontró un sistema de beach cusps (Figura 7) de aproximadamente 200 metros de longitud. Esta configuración de playas, generalmente está asociada a la presencia de olas de borde (*edge waves*), frente de playa de alta pendiente (9° en nuestro caso particular para el perfil en noviembre), sedimentos entre arena media y grava, olas de tipo surgente (*surging*) aproximándose perpendicular o casi perpendicular a la línea de costa, y un rango de periodos del oleaje estrecho (DEAN Y DALRYMPLE, 2001).

### **3.4.1. Dinámica costera**

En este tramo se tuvieron en cuenta para el análisis de la dinámica costera las líneas de costa de 1947, 1970, 1990 y 2007. Los procesos erosivos son predominantes (figura 16), como consecuencia del déficit de sedimentos, que provoca la espiga frente a Pueblo Nuevo y la alta erodabilidad de la roca que constituye los tramos acantilados, los cuales sufren erosión y desprendimientos, ver Figura 14. Como medida para mitigar la erosión que afectó la finca La Coquera (sector Palmarito), a mediados de la década los noventa se instaló un conjunto de espolones que puntualmente han generado acrecimiento, en estos sectores pero simultáneamente han acelerado los procesos erosivos al suroeste de los espolones., tal como se observa en los transectos 26 y 27 (Figura 16).

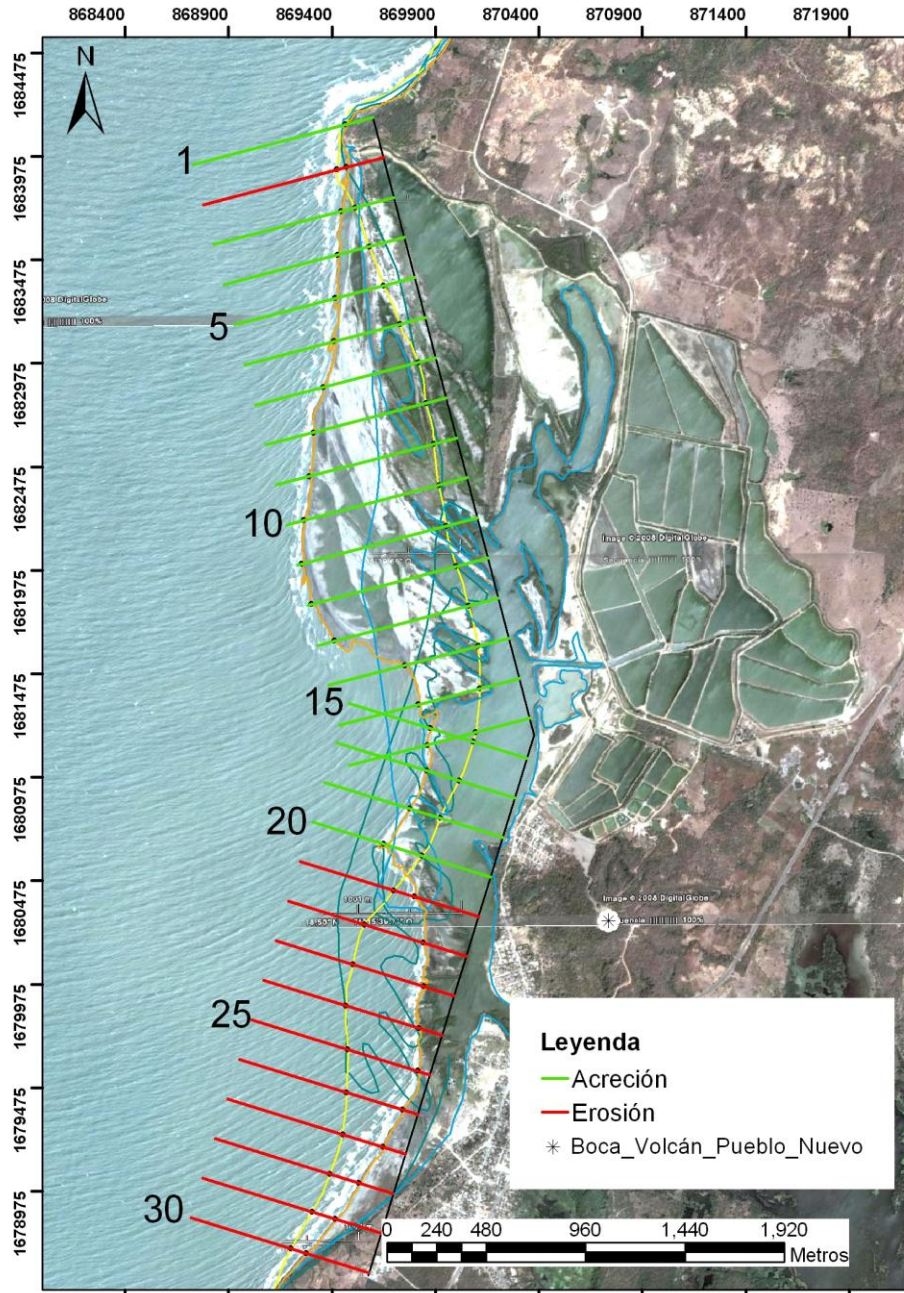
Este sistema de espolones, con dirección N20E y una longitud de aproximadamente 30 m, está ubicado sobre las coordenadas N1675629/E866865 y es la primera estructura de protección técnicamente construida, que se encontró en el recorrido desde Bocatocino a Cartagena.

### **3.5. SECTOR 5. PALMARITO (N1675023/E866052) A CERRO PÚA (N1666086/E849345)**

Este tramo tiene una dirección general S75W, es decir que es paralelo o casi paralelo a los trenes de olas provenientes del norte y del noroeste. Es un tramo que ha sufrido grandes cambios y donde han predominado los procesos de acrecimiento y en el que los sistemas de lagunas y crestas de playa, se han estabilizado por la colonización de la vegetación, conformando grandes playones donde se han establecido pastizales.

No obstante lo anterior, existen sitios puntuales con procesos erosivos activos por ejemplo al noreste de Palmarito, en inmediaciones del perfil 30) o con

inundaciones periódicas durante periodos de lluvia por la elevación del nivel de los caños. Estos casos se encontraron en inmediaciones del hotel Boca Canoa, y al sur de Cerro Púa (ver perfiles 40, 43, 45 y 46 en Anexo 1).



**Figura 13.** Localización y dinámica costera del Sector 3.

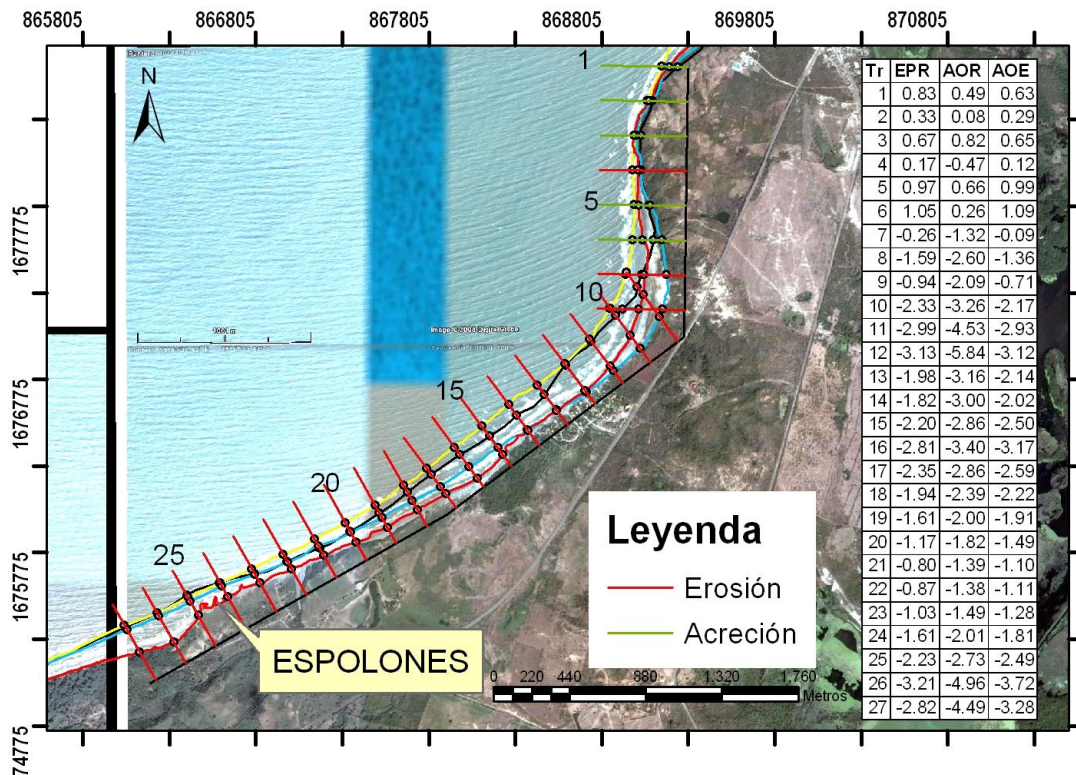


**Figura 14.** Procesos de erosión asociada con oleaje y escorrentía superficial en inmediaciones del SW de Loma Arena.



**Figura 15.** Vista hacia el sur de las playas cuspadas (Beach cúsps) al sur del perfil 27.





**Figura 16.** Localización y dinámica costera del sector 4. Nótese el efecto erosivo de los espolones hacia el SW de los mismos.

En particular cuando se realizó el perfil 40 en el mes de noviembre, había un desbordamiento de un caño adjunto al hotel, por lo cual este perfil no refleja totalmente la influencia de las condiciones marinas. Adicionalmente, el rip-rap construido en el perfil 45 y la urbanización que se está haciendo al sur de este perfil, implicarán en el futuro un acortamiento y eventual pérdida de la estrecha playa que hay en este sector.

En los perfiles realizados en mayo y noviembre se encontró que ocurrió pérdida de sedimentos entre mayo y noviembre, lo cual se atribuye al efecto de la reflexión del oleaje que produce el enrocado (rip-rap) y además estaría favoreciendo el transporte de sedimentos mar afuera. En el perfil 71, localizado más al sur en Crespo, se encontró un efecto similar bajo la presencia de un muro.

Al noreste del Cerro Púa y hasta Palmarito, es común la presencia de dunas desde el orden centimétrico a métrico (hasta 2 m) en la playa trasera, colonizadas por plantas rastreras (*Sesuvium sp.*), arbustos, grama y cocoteras.

### **3.5.1. Dinámica costera**

Este es un tramo de alta dinámica, asociada tanto a factores naturales como antrópicos. Dentro de los primeros se pueden citar la dinámica propia del río Arroyo Grande y su desembocadura, arrecifes que modifican el patrón del oleaje y generan geoformas como el tómbolo de Isla Cascajo o Isla Arena.

Dentro de la intervención humana, la construcción de la carretera Cartagena-Barranquilla requirió de cortes dentro de la zona costera (i.e. Cerro Púa), a lo que debe adicionarse la pérdida y disminución del espejo de agua de las lagunas costeras.

El análisis de evolución de la línea de costa, se realizó teniendo en cuenta las líneas de los años 1950, 1955, 1970, 1990 y 2007. Este sector ha sufrido grandes cambios relacionados con la evolución del tómbolo de Isla Cascajo y de otro tómbolo que estuvo ubicado cuatro kilómetros en dirección suroeste, en inmediaciones del sitio que ocupa actualmente el hotel Boca Canoa.

El tómbolo es en parte resultado de la protección hacia tierra que ejerce Isla Arena sobre el oleaje, y la correspondiente refracción que sufre el tren de olas. En la década de los cuarentas, ambos tómbolos estaban separados por un bajo que formaba una rompiente mar afuera y que de acuerdo a la composición calcárea de las arenas en la actualidad (fragmentos de *Porites* sp. y bivalvos), puede deducirse que, se trata de un sistema de arrecifes, alineados en dirección N30E a N35E.

A partir de la unión de la Isla Cascajo con el continente, el tómbolo formó una barrera natural que favoreció la acumulación de sedimentos deriva arriba de la geoforma, como se hace evidente al este del transecto 49, justo al este de Isla Cascajo (Figura 17). Al comparar una serie de fotografías aéreas de febrero de 1947 con una de febrero de 1981, se encontró que en la primera la isla se ubicaba a 1 kilómetro de la línea de costa, mientras que en 1981 la isla estaba a aproximadamente 90 metros del continente, y posteriormente. A principios de la década de los noventas, el tómbolo ya estaba formado.

Para el sector del tómbolo, la tasa de acreción promedio obtenida con las líneas de costa disponibles fue de 25 metros/año (ver transecto 49 en la figura 17), y este valor de crecimiento disminuye progresivamente en dirección este, hasta llegar a obtenerse valores erosivos entre los transectos 1 a 6. Ver figura 17. Estos eventos posteriores, son la continuación de los procesos erosivos descritos para el sector 4.

### **3.6. SECTOR 6. CERRO PÚA (N1666086/E849345) A PUNTA CANOA (N1661300/843000)**

El Cerro Púa, a la altura de las coordenadas N1660021/E849291, tiene el doble efecto de refractar el oleaje y hacer las veces de espolón natural, por lo cual acumula sedimentos deriva arriba. En dirección sur y suroeste del cerro, la distancia entre las colinas (Lomas de Guayacán) y la línea de costa se comienza a reducir, hasta que se constituye en un acantilado perteneciente a la formación Arjona a la altura de Punta Canoa.

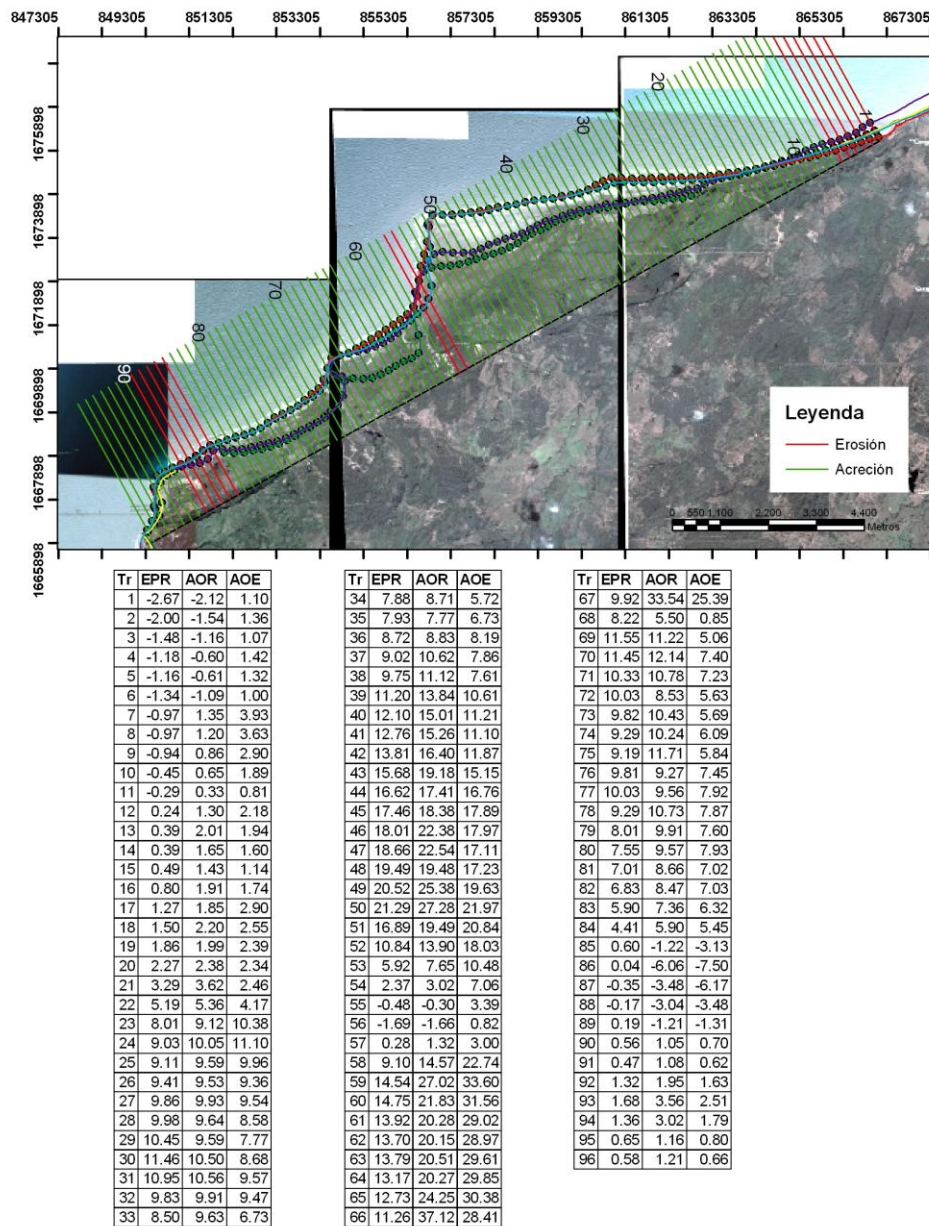
Martínez (1993) sugiere que la línea de costa de todo el tramo estuvo en el pasado mucho más cerca de las colinas, que para ese momento hacían las veces de acantilado. Por lo tanto, en su trabajo la base de las colinas fueron cartografiadas como una línea de costa antigua. La progradación al sur de Arroyo de Piedra se hace evidente al comparar la distancia que separa de la línea de costa el extremo oeste del poblado de Arroyo de Piedra en la actualidad (aproximadamente 600 metros), y la distancia a la que se encontraba para principios de la década de los sesenta.

Las fotografías de diciembre de 1961 evidencian claramente la ubicación de la línea de costa a menos de 30 m del casco urbano de Arroyo de Piedra. Tal situación indica igualmente el acrecimiento del sector en las últimas 5 décadas.

#### **3.6.1. Dinámica costera**

Para el análisis de la evolución de la línea de costa de este tramo se tuvieron en cuenta líneas de costa de los años 1970, 1990 y 2007. Al igual que el Sector 5, los procesos que han tenido predominio son los de acrecimiento, con valores máximos de acumulación de hasta 30 metros/año en el transecto 3. La progradación ha ocurrido de norte a sur a partir del Cerro Púa, sitio donde el oleaje se refracta y que localmente se constituye en una fuente de sedimentos para las barras y playas que se han formado a partir de la década de los setentas al sur de Arroyo de Piedra (inmediaciones de las coordenadas N1660021/E849291).

Al sur del Cerro Púa ha tenido lugar la formación de una barra espiga, plano de acrecimiento, que ha sido intervenido con propósitos urbanísticos. Los valores de acrecimiento, disminuyen progresivamente hacia el sur, al igual que disminuye la amplitud de la plataforma continental hacia Punta Canoas y se amplía la distancia de la fuente de sedimentos.



**Figura 17.** Localización y dinámica costera del sector 5. Nótese el proceso de acrecimiento, evolución y la formación de los tómbolos.

A la altura del transecto 30 y hacia el suroeste del mismo, tiene lugar un tramo acantilado donde los cambios reportados han sido mínimos, hasta el punto que algunos de los valores igualan el error de la metodología utilizada (Figura 18). En este acantilado se encuentran rocas de las formaciones Arjona y La Popa.

La primera formación está representada por rocas blandas tipo lodolitas, arcillolitas, limolitas y areniscas friables. Mientras, la formación La Popa se encuentra a la altura de las coordenadas N1661496/843523, y está constituida en este sitio por fragmentos de coral y bivalvos dentro de una matriz arenosa. El acantilado alcanza alturas de hasta 5 m, lo cual, sumado a su comportamiento deleznable, a la presencia de surcos y deslaves por agua lluvia, y a la estratificación y fallamiento del material, aumentan su susceptibilidad a la erosión y los procesos de remoción en masa tipo deslizamientos de detritos y caída de bloques (Figuras 19 y 20).

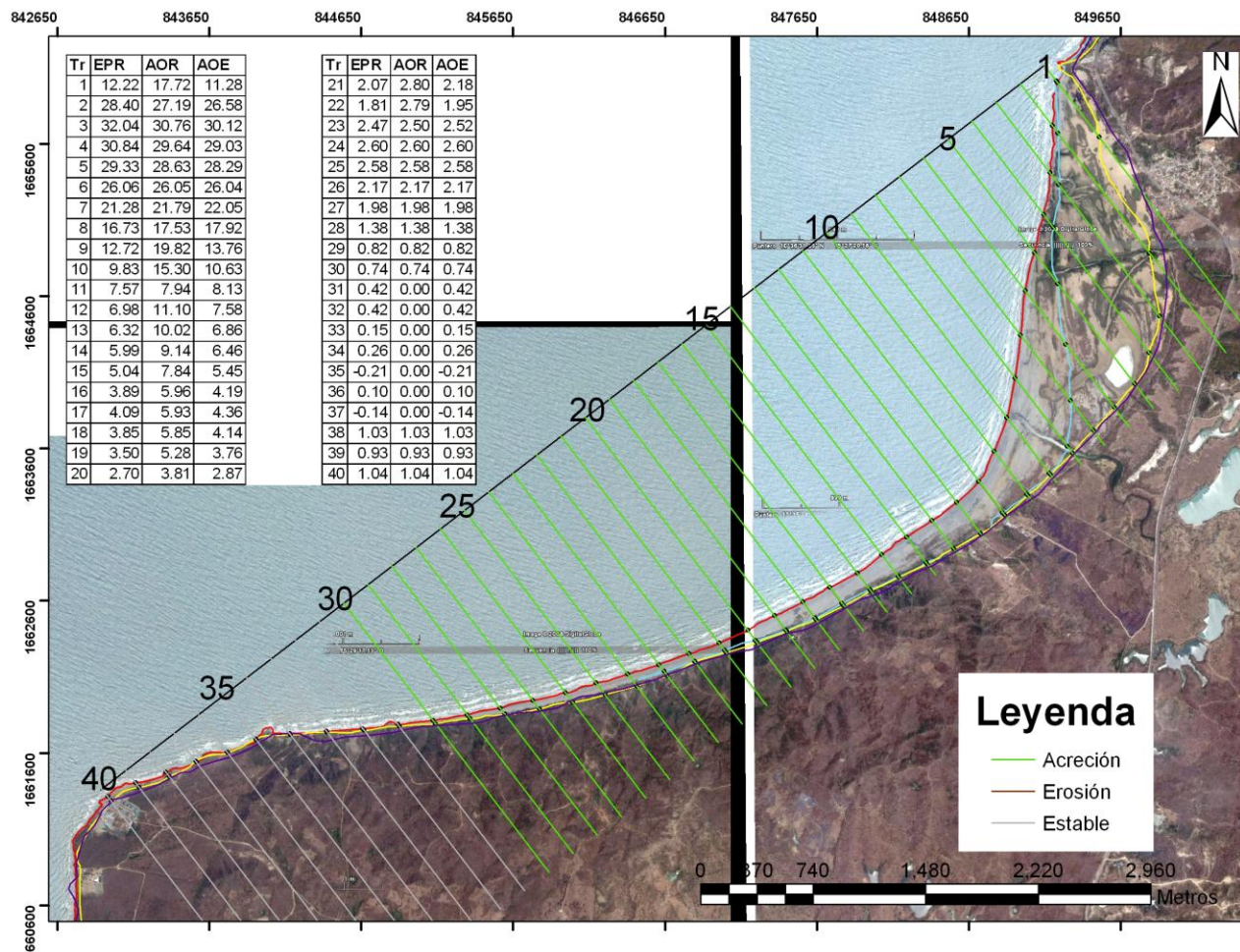
### **3.7. SECTOR 7. PUNTA CANOAS (N1661300/843000) HASTA EL SUR DE PUNTA CANOA (N1658000/845000)**

Este sector se encuentra en la zona de la falla las Canoas, la cual forma estructuras destrales transpresivas con una orientación aproximada Este-Oeste (ORDOÑEZ, 2008). Esta condición, sumada a la alta erodabilidad de las rocas correspondientes a una secuencia de areniscas y arcillolitas, facilita la erosión por efecto del oleaje y del agua lluvia (Figura 21).

Las geoformas encontradas en el tramo son de acantilados entre los transectos uno a doce, y hacia el sur de estos transectos, una serie de espigas en dirección este-oeste a sureste, las cuales encierran una laguna costera somera al sur de Punta Canoas (Figura 21).

#### **3.7.1. Dinámica costera**

Para el análisis de evaluación costera se tuvieron como referencia las líneas de costa de 1950, 1955, 1970, 1990 y 2007. Al igual que en las Puntas Juan Moreno Sur y la saliente rocosa de Cerro Púa, en Punta Canoa se repite el patrón de generación de geoformas alargadas norte-sur a sureste partir de una formación rocosa, que provoca refracción del oleaje y que al mismo tiempo se constituye en una fuente de sedimentos. Correa (1991), determinó que los procesos de acrecimiento empezaron en algún momento entre 1947 y 1961, y se extendieron desde Punta Canoas hasta un sitio localizado aproximadamente 350 m al norte de la desembocadura del caño Ballesteros (Figura 22).



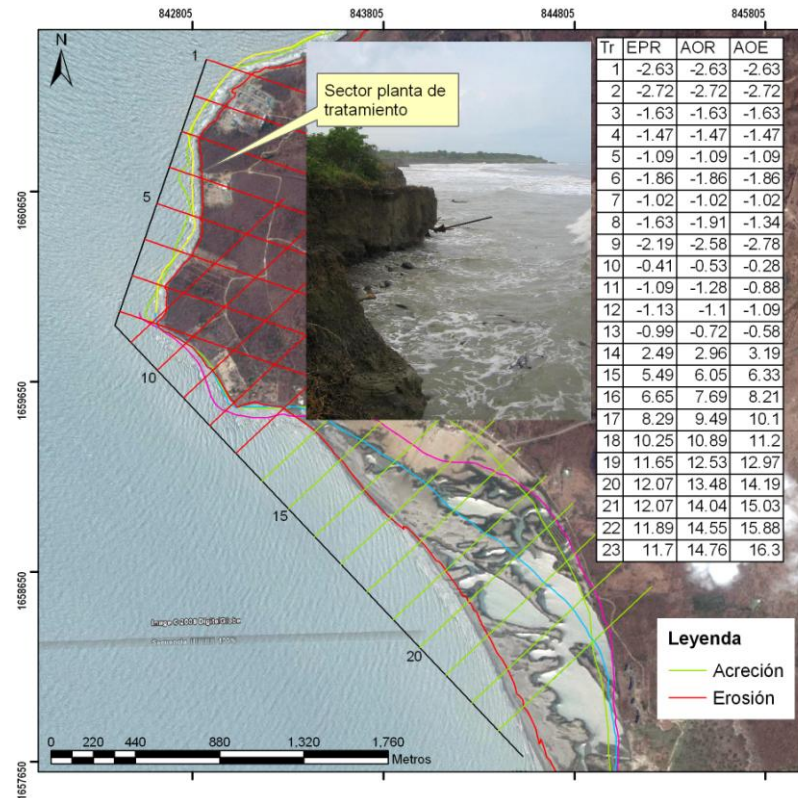
**Figura18.** Localización y dinámica costera del sector 6. Nótese el amarre del extremo libre de la espiga de Arroyo de Piedra y la conformación de una barra espiga.



**Figura 19.** Deslaves, flujos de lodo formación de surcos y deslizamiento de detritos en el sector norte de Punta Canoa (N1661709/E844451).



**Figura 20.** Vista hacia el norte del sector 6 hacia el Cerro Púa (N1661709/E844451). Playas disipativas con varias rompientes tipo desparrame o spilling.



**Figura 21.** Localización y dinámica costera del sector 7. En la foto insertada se observa *notch* en la base del acantilado. Dirección N-S (N1660807/E842791).



**Figura 22.** Vista hacia el Norte de los procesos erosivos al norte del caño Ballesteros, sur del Perfil 54 (N1658144/E844477).



Al comparar las mediciones hechas por este autor con las del presente trabajo, se evidencia un desplazamiento de los procesos de acrecimiento hacia el sur, a partir del transecto catorce (figura 21). Sin embargo, debido a la baja pendiente de la playa y a la variación en el nivel de las lagunas costeras, los cambios en la posición de la línea de costa entre invierno y verano, presenta variaciones mayores a los 10 m, generando episodios erosivos en el corto plazo en los transectos al sur del perfil 54 (N1658504/E844307).

Entre los transectos 1 a 13, correspondientes al acantilado, han ocurrido retrocesos en los últimos 50 años con valores que oscilan entre 0,5 y 2 m/año (Figura 21)

### **3.8. SECTOR 8. SUR DE PUNTA CANOAS (N1658000E845000) A NORTE DE LA BOQUILLA (N1652900/E844670)**

Al suroeste de Punta Canoas se presenta un sistema de lagunas costeras parcialmente colmatadas e intervenidas que se extienden hasta Manzanillo del Mar. Las playas son disipativas (con pendiente en el frente de playa entre 6° y 9°), con barras litorales constituidas por sedimentos de origen terrígeno. La baja pendiente, sumada a la fluctuación de la laguna costera ubicada en la playa trasera, facilitan las inundaciones periódicas de la playa.

En el sector de los Morros, los cerros remanentes de calizas arrecifales pertenecientes a la formación La Popa, limitan playas en forma de bolsillo. Según Martínez (1989), entre el sur de Punta Canoa y La Boquilla, se presenta erosión en la línea de costa (Figura 23).

Estos procesos, que en principio son naturales, se constituyen en un riesgo en la medida en que se irrespetan los límites para realizar construcciones. En ese sentido para la protección de las obras civiles construidas, se hace necesario llevar a cabo estudios morfodinámicos de detalle, que permitan definir la mejor manera de proteger la infraestructura.

De hecho ya se han llevado a cabo obras de control de erosión, como el enrocado (*rip-rap*) que existe adjunto a la terraza marina en Manzanillo de Mar (P57 en N1654894/E844290) y el sistema de espolones al norte de la Boquilla (P61 en N1653196/E844191), el cual fue instalado hace aproximadamente 25 años. Estas obras deben ser analizadas para conocer su efectividad.

#### **3.8.1. Dinámica costera**

El análisis de este sector se realizó teniendo en cuenta las líneas de costas de los años 1950, 1955, 1970, 1990 y 2007. De acuerdo a lo observado en el

sector 7 y entre los transectos 1 a 11 del sector 8, ha existido una tendencia de crecimiento desde el poblado de Punta Canoa hacia el sur, con las mayores tasas de acreción entre los noventa y el presente.

El caño Guayepo/Ballesteros, aunque no representa un aporte de sedimentos significativo al sistema, ha generado barras litorales frontales en su desembocadura que ha provocado la refracción del oleaje y procesos de crecimiento de playas hacia el sur desde la década de los sesentas. Por el contrario, en los sectores de Manzanillo del Mar y al norte de la Boquilla, predominan procesos erosivos, que han sido mitigados con la instalación de obras de protección sobre la línea de costa como rip-raps y espolones.

En Manzanillo del Mar, la extracción de sedimentos tamaño grava de la playa (chert), el cual ha sido utilizado como material de construcción, ha contribuido a los procesos erosivos (Posada et al., 2008).

### **3.9 SECTOR 9. NORTE DE LA BOQUILLA (N1652900/E844670) A NORESTE DE BOCAGRANDE (N1642035/837000)**

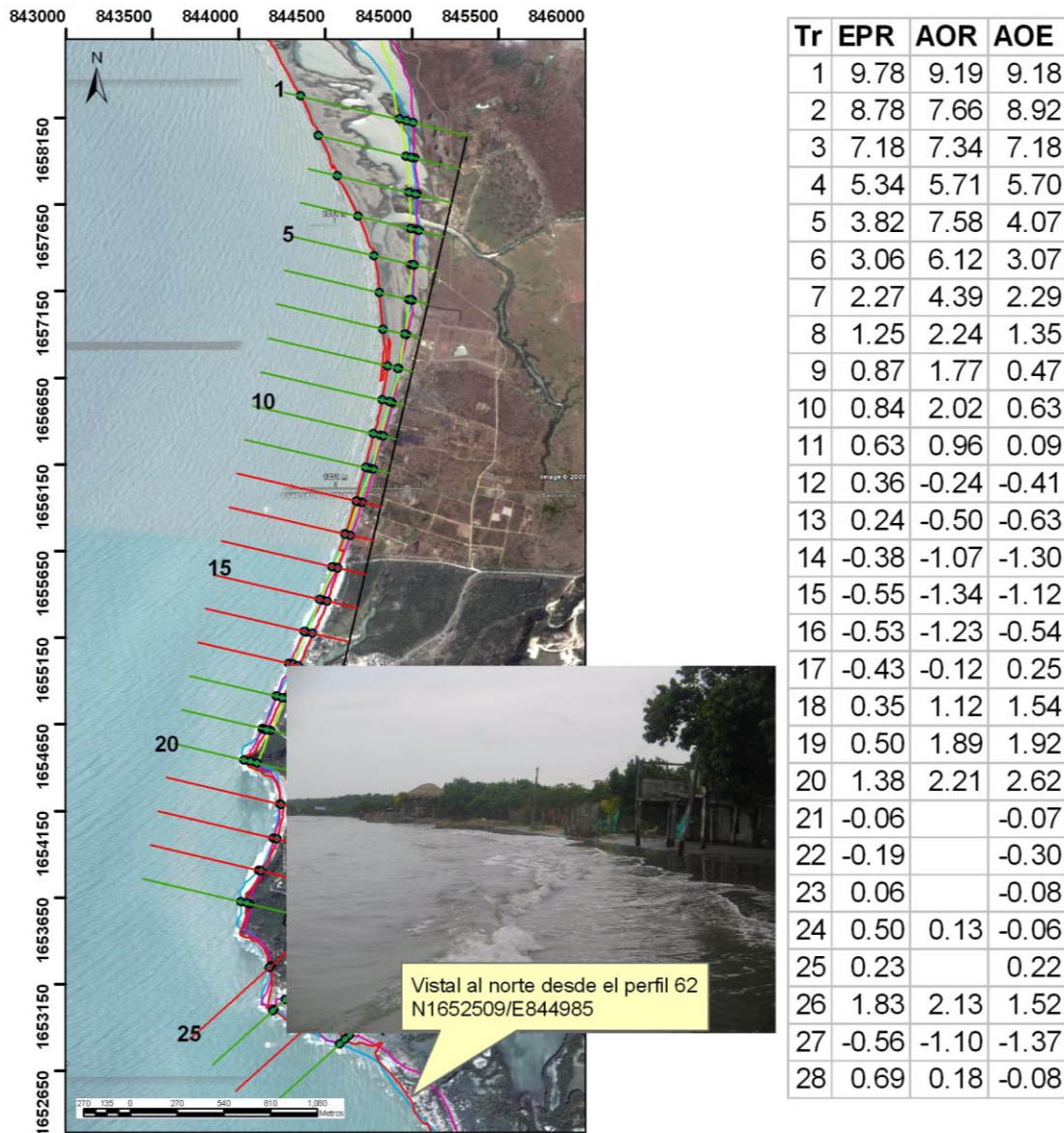
La génesis de la geomorfología de este tramo de costa está relacionada con los movimientos de las corrientes de flujo y reflujo de la ciénaga de Tesca en la Boquilla y la Bocana. Estas salidas de agua probablemente, se constituyen en refractoras del oleaje y como una trampa de sedimentos, dando lugar a la formación de barras litorales, donde el oleaje choca antes de llegar a los frentes de playa. Vernette y otros (1977), en el artículo Variaciones morfológicas de las costas de la Bahía de Cartagena a partir del siglo XVI, realiza un recuento detallado de los procesos que han tenido lugar en la evolución de este sector.

Desde los límites de Manzanillo del Mar con La Boquilla (N1654416/E844033) hasta El Centro de Cartagena, la línea de costa tiene dirección N25E a N45E y forma de “Z”. Junto con esta forma espiral, hay una sucesión de bahías hacia el norte y hacia el sur con la misma forma y limitadas por salientes rocosos. Estas bahías marcan la dirección promedio del tren de olas y como resultado, la tendencia del perfil (en planta) para alcanzar un equilibrio con el oleaje predominante, proveniente de los cuadrantes del norte.

#### **3.9.1. Dinámica costera**

Las líneas de costas que se tuvieron en cuenta en el análisis corresponden a los años de 1955, 1990 y 2007. Al norte de la desembocadura de la ciénaga de Tesca en el sector de La Boquilla, en inmediaciones del perfil 62 (figura 24) y entre los transectos 1 a 4, la línea de costa entre los meses de noviembre y

febrero está intervenida por las viviendas, que se han establecido sobre la berma de playa de verano.

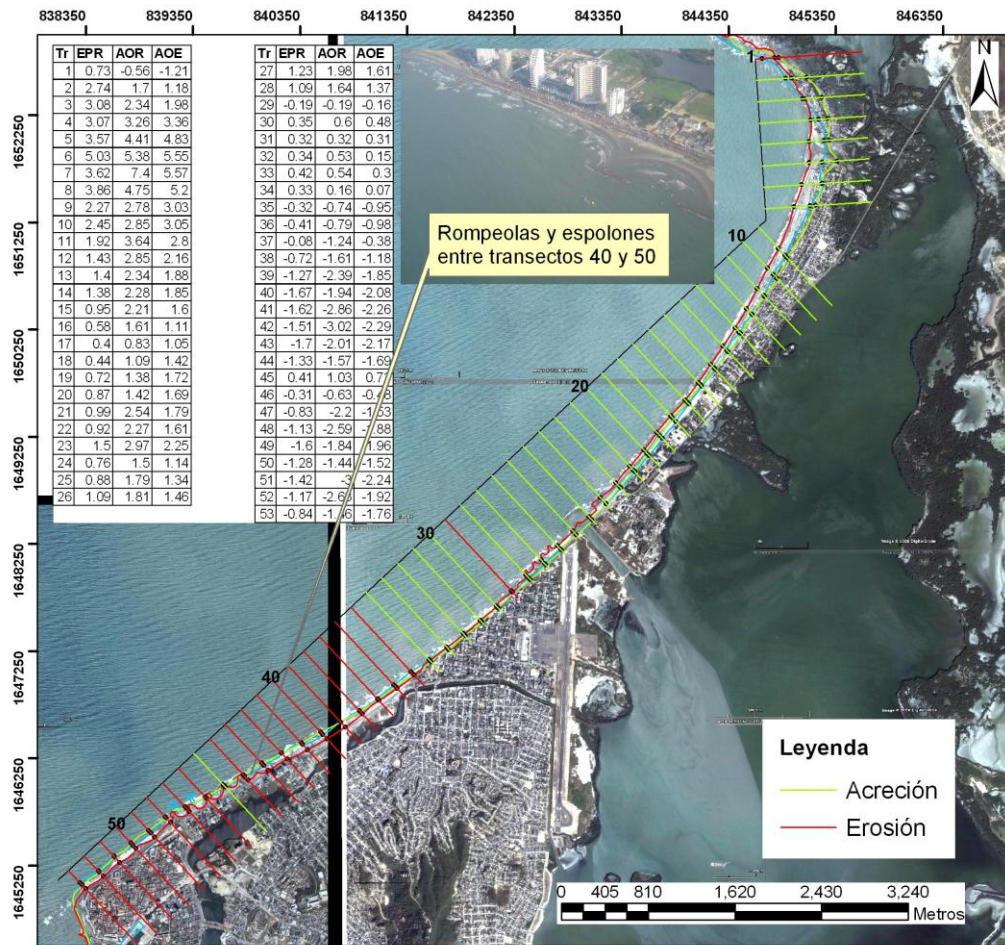


**Figura 23.** Localización y dinámica costera del sector 8. Nótese la erosión al sur de Manzanillo del Mar y la formación de playas en bolsillo.

Algunas de estas construcciones han sido abandonadas o están semidestruidas por la acción del oleaje. Molina (1994) estableció que los procesos erosión – Acreción de playas en el sector norte de La Boquilla, son de carácter estacional,

y dependen esencialmente de la dinámica de la ciénaga de Tesca. Al sur de la salida de la Ciénaga, se encontró que las playas están protegidas por barras litorales (ver perfiles 62, 63 y 64) y presentan estabilidad en el mediano plazo. Sin embargo, estas mismas playas han sido afectadas por inundaciones que han ocasionado retrocesos temporales de hasta 15 m durante la ocurrencia de eventos como tormentas o huracanes como el Joan.

En el sector de Crespo se encontró que para el lapso de tiempo medido, han ocurrido procesos erosivos (transectos 35 a 53) y la estabilidad actual de la línea de costa se ha logrado gracias a estructuras de protección como enrocados (*rip-raps*) (N1648248/E842850), muros (N841519/E1647080), espolones (N841124/1646757) y rompeolas (N1645930/E839618), ver Figura 25.



**Figura 24.** Localización y dinámica costera del Sector 9.

### **3.10. SECTOR 10. NORESTE DE BOCAGRANDE (N1642035/E837000) A SUROESTE DE BOCAGRANDE (N1641900/E837100)**

La dinámica natural de este tramo se ha modificado a través de múltiples intervenciones, como estructuras de protección costera, el relleno de playas, construcciones y vías (Figura 25). En las fotos aéreas de 1954, ya se observa un sistema de cinco espolones en el sector de Bocagrande.

Para 1987 se habían construido 14 espolones (excluyendo el espolón de Iribarren) en el área (MARTÍNEZ Y OTROS, 1987), mientras que, para el 2008 se cuantificaron un total de 16 espolones y 5 rompeolas. Estos últimos han sido eficientes para generar playas en forma de media luna en inmediaciones del perfil 79, cerca del hotel Capilla del Mar (N1642646/E838048), mientras que es notorio que la acumulación de arena en el costado norte de los espolones disminuye progresivamente de norte a suroeste, es decir que ocurre un déficit acumulativo de sedimentos hacia el suroeste.

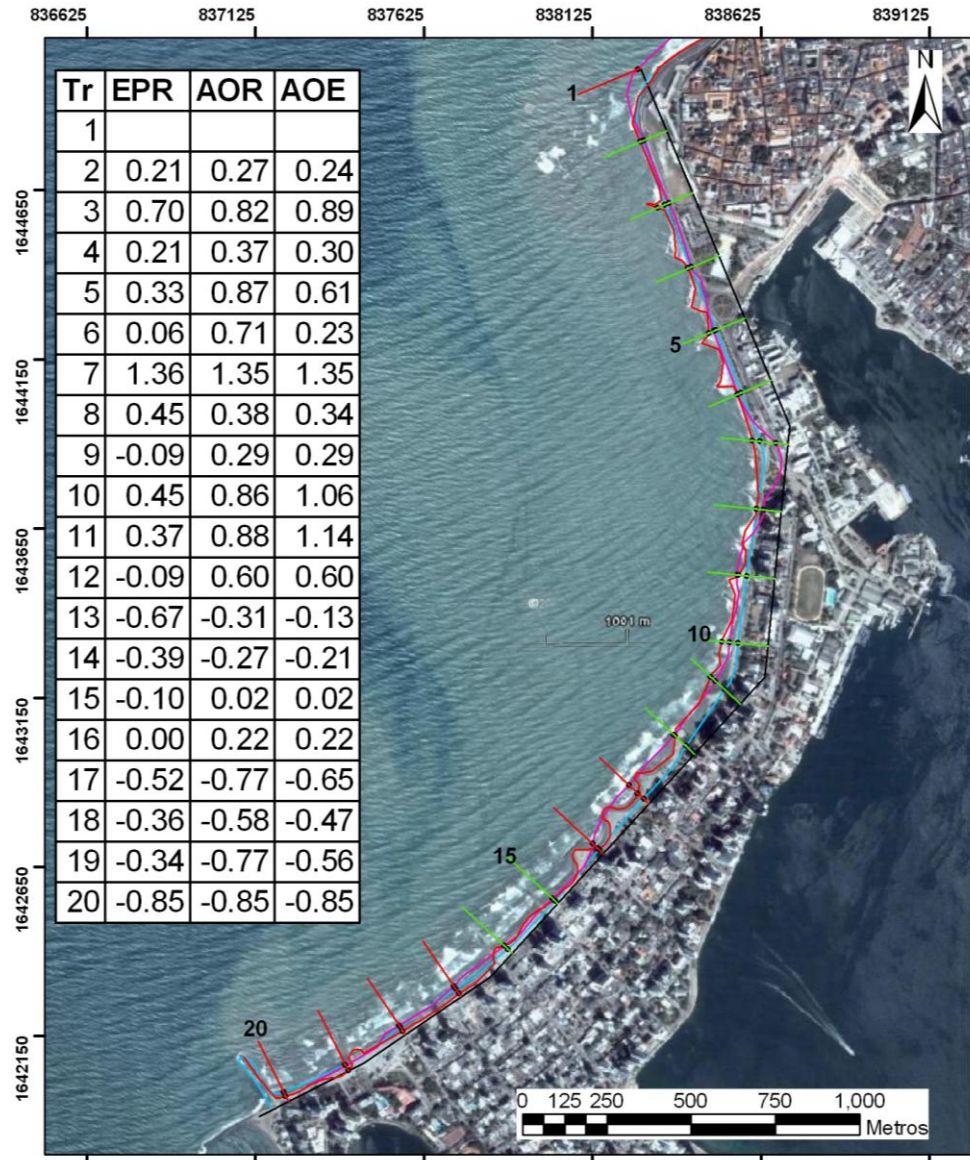
Adicionalmente, el barrido diario que se hace de las playas es un factor antrópico que modifica los perfiles de playa. Es así como entre los perfiles 71 a 82 se encontró un aumento en la longitud y disminución en la pendiente de noreste suroeste, como consecuencia del efecto de adecuación y modificación de las playas en Bocagrande. Al comparar los perfiles desde la Bocana hasta Bocagrande con los tomados en el sector de El Laguito, se encontró que estos últimos son más cortos y de mayor pendiente.

La composición de los sedimentos es predominantemente detrítico con, un porcentaje bajo de origen calcáreo, asociado con la presencia de fragmentos de coral y conchas, en general de bivalvos. Esta situación, sumada a la presencia de vegetación flotante proveniente del canal del Dique, y a la corta longitud de los perfiles, sugiere que, las áreas de Manzanillo, Tierra Bomba y El Laguito, se encuentran en una celda sedimentaria diferente a la del sector de Bocagrande.

#### **3.10.1. Dinámica costera**

Las líneas de costa que se tuvieron en cuenta en el análisis corresponden a los años de 1955, 1990 y 2007. Entre los transectos 2 a 12 se reportan valores máximos de acreción de 1.35 m/año (ver transecto 7 en la figura 25), los cuales se deben a la acumulación de sedimentos generada por la combinación de espolones y rompeolas instaladas en el sector. En contraste, los valores erosivos a partir del transecto doce, y en especial entre los transectos 17 a 20, se deben a la retención que han sufrido los sedimentos deriva arriba y como consecuencia el déficit de los mismos en este sector. No obstante, debe tenerse en cuenta la baja magnitud de estos valores de erosión, lo que

ocasiona que algunos de ellos estén dentro del margen de error de la metodología. Durante el desarrollo del trabajo de campo en el mes de noviembre de 2008, se observó una alta tasa de transporte eólico desde el norte hacia el mar, en inmediaciones del transecto 20, por lo que se recomienda la instalación de barreras naturales que mitiguen la pérdida de sedimentos desde la playa hacia el océano.



**Figura 25.** Localización y dinámica costera del Sector 10.

### **3.11. SECTOR 11. ISLA TIERRABOMBA: PLAYA LINDA (N1638500/E835175) A PUNTA ARENAS (N1637550/E840000)**

En este tramo de playas, se hizo énfasis en el tramo entre el Hotel Las Banderas y el pueblo de Tierra Bomba, tramo que presenta procesos erosivos severos. La playa trasera de este sector está limitada por una terraza marina compuesta por fragmentos calcáreos (Porites, moluscos) de la Formación La Popa, los cuales contribuyen como fuente de sedimentos para las playas, y cuyo origen primario está relacionado con variaciones en el nivel del mar desde el Pleistoceno (DE PORTA, 1960 EN ORDOÑEZ, 2008).

El balance sedimentario al interior de la Bahía de Cartagena, está determinado por dos estructuras de origen antrópico: la Escollera de Bocagrande y el Canal del Dique. Sobre el frente noreste de Tierra Bomba, predominan los sedimentos tamaño limo fino y arcillas (ANDRADE Y OTROS 2004). Se presume que la alta sedimentación generada por el canal del Dique, específicamente de finos (arcillas y limos finos), cubrió los corales que existieron en el área e igualmente ha representado un efecto negativo sobre la hierbas marinas (*Thalassia sp.*). Otra de las posibles causas del déficit de sedimentos sobre el frente norte de la isla, es la extracción de material de playa. Esta actividad, aunque se desarrolla artesanalmente, tiene un efecto acumulativo sobre la reserva de sedimentos del sistema.

En el tramo recorrido existen algunos espolones artesanales y muelles que por su efecto en la deriva podrían clasificarse como espolones. El muelle en el hotel Las Banderas (N1638121/E839698), construido hace 20 años y con una longitud aproximada de 25 m, pone en evidencia la dirección de la deriva litoral de noroeste a sureste, produciendo un marcado contraste entre los perfiles realizados a cada costado de la estructura (ver perfiles 89 y 90).

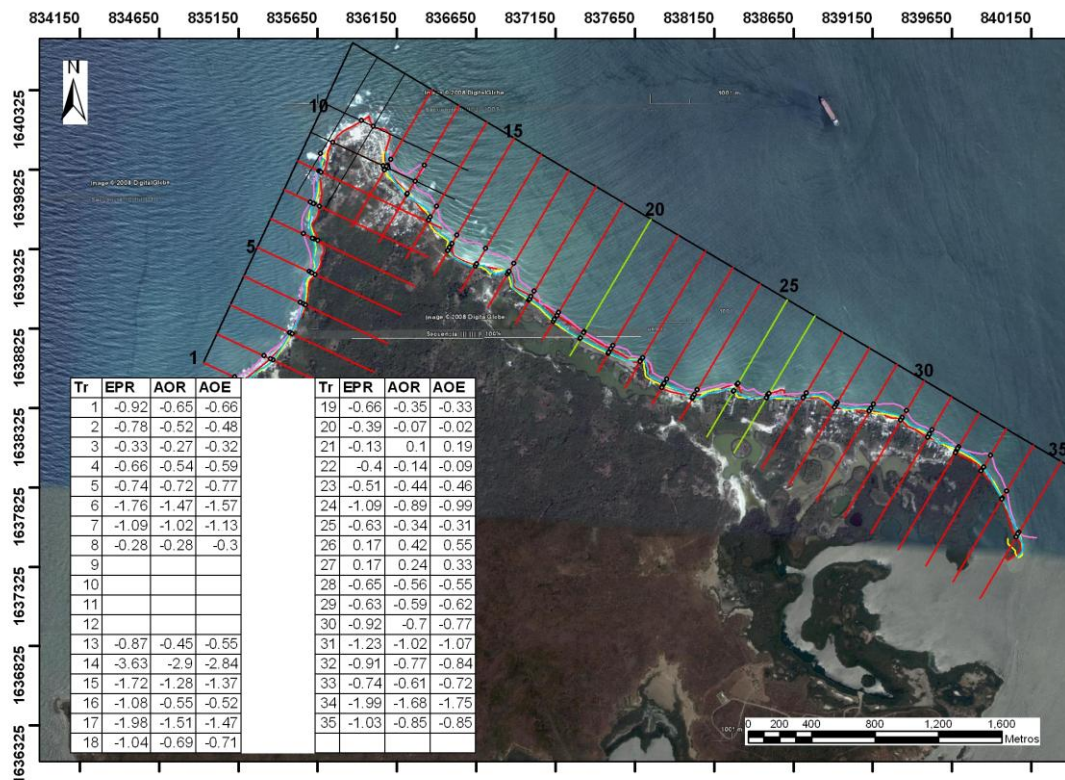
Sobre las fotografías aéreas de los cincuentas, se observa que el extremo este de la isla, presentaba manglares y arrecifes de coral que en la actualidad han desaparecido. También se hace evidente, al comparar fotografías de la misma época con las condiciones actuales, la reducción que ha sufrido el espejo de agua de las ciénagas costeras, limitadas por una espiga en el sector de Punta Arenas. .

Los perfiles realizados en Tierra Bomba se caracterizan por su alta pendiente, con longitudes medidas en noviembre entre 21 y 40 m. Esta característica impide que el oleaje reduzca su energía antes de llegar a la costa, por lo que en periodos de mar de leva o tormenta arriba con un alto poder erosivo.

Las fuentes de sedimentos en la isla son escasas, siendo una de las principales los restos de coral muerto sumergidos y el material que se desprende de las terrazas. Los aportes del canal del Dique corresponden a tamaños arcillas y limos finos, tamaños que suelen permanecer en suspensión. En adición, gran parte de los sedimentos que provienen desde el norte y que eventualmente podrían alimentar las playas de Tierra Bomba, han sido retenidos por las estructuras existentes en Cartagena.

### 3.11.1. Dinámica costera

Las playas en tierra Bomba son estrechas y de extensión reducida (VERNETTE, 1985), por lo que tasas de erosión de baja magnitud, como las reportados en la tabla de la figura 26 para la mayor parte del tramo analizado, pueden tener un efecto devastador en las playas, máxime sí como en este caso, se han hecho construcciones en la zona de playa. El análisis de la evolución litoral se realizó teniendo en cuenta las líneas de costa de los años 1950, 1974, 1991 y 2007.



**Figura 26.** Localización y dinámica costera del Sector 11, en Tierrabomba.



Acorde con los resultados obtenidos, sobre el frente oeste de la isla, en inmediaciones de Playa Linda (transectos tres a ocho en la figura 26, ha ocurrido pérdida de playa, aunque con tasas que sólo en los transectos 6 y 7 supera un metro/año. Frente al centro poblado de Tierra Bomba, entre los transectos 14 a 17, ocurren las máximas tasas erosivas del tramo, en un sector constituido por una terraza coralina con alturas entre 2 y 3 m (Figuras 27 y 28), la cual es erodable.

Este tramo tiene una orientación general N60W, y es el que recibe el oleaje proveniente del norte más frontalmente. La terraza sufre un basculamiento desde el norte hacia el sureste, alcanzando alturas de 40 centímetros sobre el perfil 91 (N1638222/E839383). En el trabajo realizado en noviembre de 2008, se encontró que uno de los sectores más afectados está cerca de Punta Arenas, en las coordenadas N1638244/E839632 (transectos 30 y 31), donde habitantes del sector reportaron retrocesos de aproximadamente 16 m en los últimos 9 años.

Aunque el retroceso es evidente en este sector, todo el tramo está afectado por procesos erosivos, con excepción de sitios donde la instalación de espolones o muelles impermeables han generado playas reducidas sobre su costado noroeste (ejemplo hotel Las Banderas y entre los transectos 25 y 26). Estas estructuras han formado playas en espiral con una tangente al punto de máxima curvatura de la espiral con dirección N73E.



**Figura 27.** Aspecto del sector norte de Tierra Bomba en la década de los cuarentas. (Foto del Archivo de José Royo y Gómez).



**Figura 28.** Aspecto del sector norte de Tierra Bomba en el 2008. Dirección este-oeste.

Dada la escasez de sedimentos en el medio, no se considera que la instalación de espolones sea una medida eficiente para resolver los procesos erosivos que afectan la isla. En este caso para resolver los problemas erosivos las alternativas blandas son las más recomendables aunque no sean económicamente viables

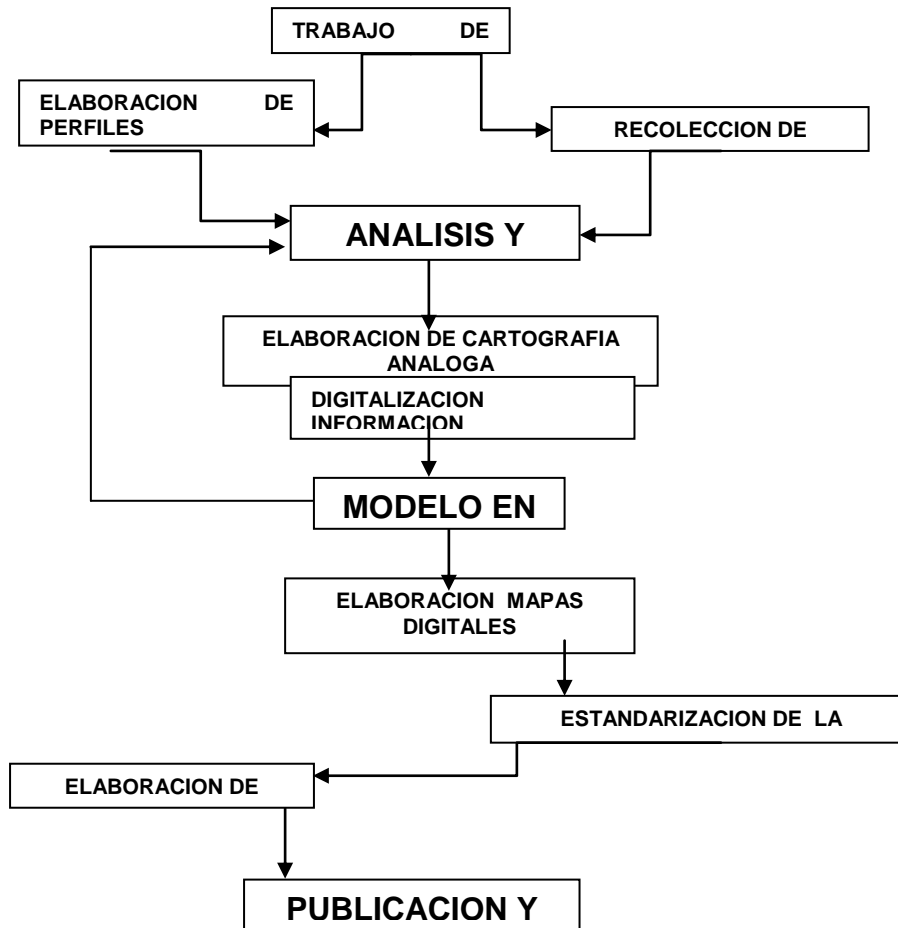
#### **4. ANÁLISIS MICROTEMPORAL PARA EL AÑO 2008. BASADO EN LA TOMA DE DATOS EN CAMPO Y LA GENERACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN COSTERO (SIC) UTILIZANDO LA HERRAMIENTA SIG ARCGIS**

El desarrollo del proceso de la Caracterización Morfodinámica del sector comprendido entre Galerazamba y Punta Barú en el Departamento de Bolívar, se basó en la selección de 68 perfiles tomados a partir de la Base de Datos del Sistema de Información Costero generado para el Proyecto Andén Caribe Colombiano (ver Sistema de información Costero y cronograma Figura 29).

Estos puntos fueron tomados de manera discrecional correspondiendo a cada uno de ellos una información detallada referida a los datos puntuales y específicos tomados durante los reconocimientos de campo llevados a cabo para cada una de las estaciones climatológicas verano-invierno.

La información correspondiente en cada punto de toma de datos en campo está relacionada con: Número del perfil, quien elaboró el perfil de playa, fecha de realización, localización o nombre del lugar de toma, coordenadas, dirección de la línea de costa tanto en invierno como en verano, dirección del viento (verano invierno), dirección del oleaje (verano-invierno), dirección de la corriente de deriva litoral (verano-invierno), pendiente del frente de playa (verano-invierno), periodos de las olas (verano-invierno), longitud de onda del oleaje (verano-invierno) y la caracterización conceptual del área de toma del dato por cada uno de los profesionales que participaron en la exploración de campo (expertos en la evaluación de la Geología costera del país) entre otros.

Durante el proceso investigativo, se procedió a tomar muestras de sedimentos en cada uno de los puntos de toma, los cuales fueron posteriormente fueron enviados al Laboratorio de Granulometría del Instituto, con el objetivo de realizar la correspondiente caracterización granulométrica en laboratorio; los resultados permitieron establecer la clasificación sedimentológica específica para cada muestra, con referencia a la mediana, sorting o selección, asimetría, angulosidad o kurtosis y la definición de las frecuencias granulométricas predominantes Tabla 2.



**Figura 29.** Diseño metodológico Sistema SIC. Sector de Información Costero, Proyecto Andén Caribe Colombiano. Caracterización morfodinámica de playas Sector Uno.

**Tabla 2.** Parámetros granulométricos utilizados con las muestras de arena de playa.

Parámetros estadísticos	Fórmulas del método de momentos	Fórmulas del método gráfico (de Folk y Ward, 1957)
media ( $\bar{x}$ )	$\frac{\sum f \cdot m}{100}$	$\frac{(\phi 16 + \phi 50 + \phi 84)}{3}$
selección ( $\sigma$ )	$\sqrt{\frac{\sum f \cdot (m - \bar{x})^2}{100}}$	$\frac{(\phi 84 - \phi 16)}{4} + \frac{(\phi 95 - \phi 5)}{6,6}$
asimetría ( $SK_1$ )	$\frac{\sum f \cdot (m - \bar{x})^3}{100 \cdot \sigma^3}$	$\frac{(\phi 16 + \phi 84 - 2 \cdot \phi 50)}{2 \cdot (\phi 84 - \phi 16)} + \frac{(\phi 5 + \phi 95 - 2 \cdot \phi 50)}{2 \cdot (\phi 95 - \phi 5)}$
mediana ( $M_d$ )		$\phi 50$
agudeza ( $K_g$ )	$\frac{\sum f \cdot (m - \bar{x})^4}{100 \cdot \sigma^4}$	$\frac{(\phi 95 - \phi 5)}{2,44 \cdot (\phi 75 - \phi 25)}$

Es importante tener en cuenta para el análisis la información producida por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de la Armada Nacional (CIOH) para los meses de toma de datos en campo, la cual es apoyo para el desarrollo de este trabajo.

#### **4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES METEOROMARINAS PRESENTADAS DURANTE EL TRABAJO DE CAMPO (MAYO Y NOVIEMBRE DEL AÑO 2008), REPORTADO POR EL CENTRO DE INVESTIGACIONES OCEANOGRÁFICAS E HIDROGRÁFICAS DE LA ARMADA NACIONAL DE COLOMBIA (CIOH)**

##### **4.1.1. Análisis de condiciones de mayo de 2008 en el mar Caribe colombiano.**

Sobre el centro del litoral Caribe colombiano, se vieron afectadas las condiciones por el continuo posicionamiento de bajas presiones y el tránsito de ondas del este que generaron lluvias sectorizadas que se intensificaron para el día 07 de mayo cuando los rezagos de una onda del este ocasionaron que oficialmente se diera inicio a la primera época humedad del año, caracterizada por fluctuaciones en la cobertura nubosa.

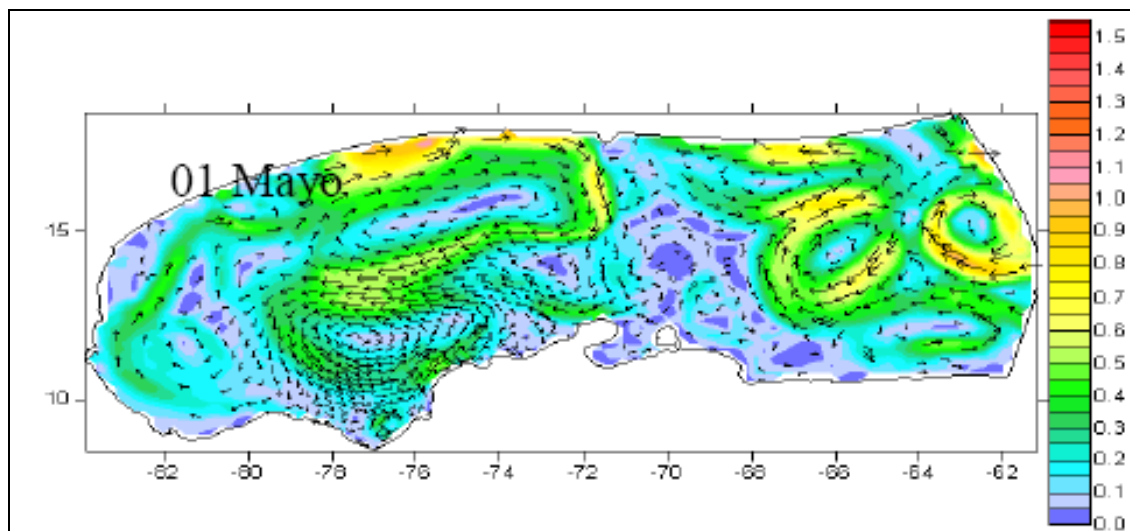
**La precipitación:** En el mes de mayo de 2008 registró un total de 56.3mm de precipitación, el mayor valor fue registrado el día 26 con un total de 16.6mm, por debajo del promedio multianual de 67.3mm/mes; no obstante la lluvia que se presentó para el mes correspondió a un amplio porcentaje con respecto al total del año, haciendo el mes muy lluvioso. Ver tabla 3.

**Tabla 3.** Relación de la cantidad de precipitación para el mes de mayo con respecto al total acumulado para el año 2008 (Tomado de CIOH. 2008).

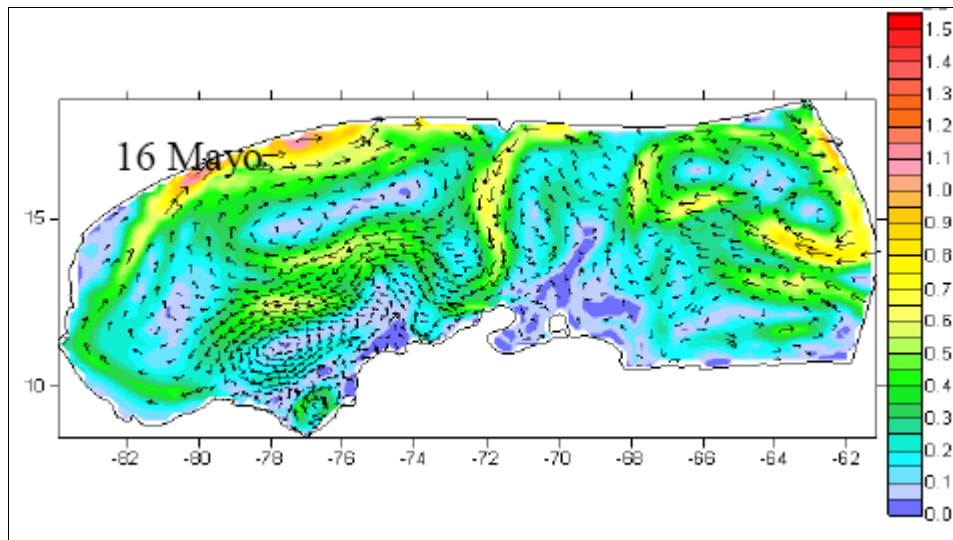
	<b>UNIDADES</b>	<b>MAGNITUD</b>
<b>LLUVIA MENSUAL</b>	mm	56.3
<b>LLUVIA ACUMULADA EN EL AÑO</b>	mm	74.3

La dirección predominante del viento fue desde Norte-sur en mayor proporción que del Sur-norte de acuerdo con los datos tomados del CIOH para mayo 2008. La temperatura del agua oscilo entre los 28 y los 30 grados de acuerdo con CIOH. Mayo 2008.

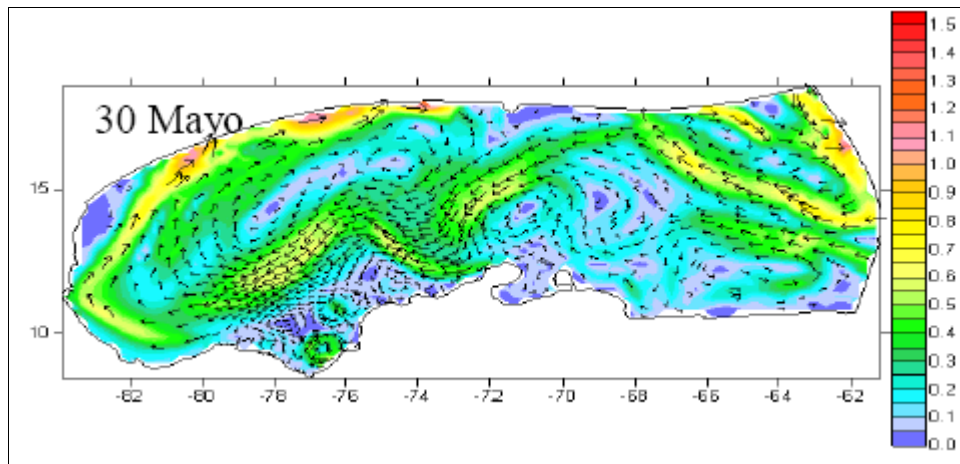
Las direcciones del oleaje predominante para el sector de estudio del 1 al 16 inclusive mantuvieron una dirección hacia el NE; no obstante y partir del 17 el oleaje cambio su dirección con tendencia al S, hasta el 30 de mayo cuando las condiciones de dirección del oleaje tendieron hacia el SW (Figuras 30, 31, 32).



**Figura 30.** Dirección de oleaje predominante para el sector de estudio en el sentido NE fecha 1 de Mayo de 2008 (Tomado de CIOH. Mayo 2008).



**Figura 31.** Dirección de oleaje predominante para el sector de estudio en el sentido S en fecha 16 de Mayo de 2008 (Tomado de CIOH. Mayo 2008).



**Figura 32.** Dirección de oleaje predominante para el sector de estudio en el sentido SW fecha 30 de Mayo de 2008 (Tomado de CIOH. Mayo 2008).

#### 4.1.2. Análisis del CIOH para los meses cercanos a la segunda toma de datos para el período de invierno en el sector de estudio septiembre 2008

La cobertura nubosa para la primera quincena DEL MES DE SEPTIEMBRE tuvo la incidencia directa del huracán “HANNA”, lo cual incidió indirectamente en la permanencia de cielo semicubierto a cubierto, el aumento de las precipitaciones y en la intensidad de los vientos.

Durante el transcurso del resto de la quincena la cobertura nubosa se mantuvo con cielo semicubierto en horas de la mañana y tarde. Para la segunda quincena las condiciones mejoraron en gran parte de la Península de la Guajira, manteniéndose cielo en escala de despejado a semicubierto, debido a la incidencia de una leve subsidencia proveniente de la alta presión de Azores.

Sobre el litoral Caribe centro la cobertura nubosa fue de cielo semicubierto a cubierto, debido a la reactivación del sistema de baja presión anclada de Panamá que registro valores de aproximadamente 1008 milibares.

Sobre el litoral Caribe centro la permanencia de la Zona de Confluencia Intertropical fue un factor de incidencia para el desarrollo de nubes tipo cumulonimbos. Asimismo sobre esta área se destaca la intensificación de las lluvias producto del paso continuo de ondas del este, las cuales este mes tuvieron un poco mas de profundidad meridional que generaba alta convectividad, lo cual ocasiono que el promedio de precipitación para el litoral Caribe centro estuviese por encima del promedio multianual.

### **Octubre 2008**

Al centro del litoral Caribe colombiano se presentó un predominio de cielo en escala semicubierto a cubierto y en algunos casos despejado, Los vientos fueron Procedentes del suroeste y sur-suroeste con velocidades que oscilaron entre 5 y 10 nudos, ráfagas de 15 nudos.

Asimismo, esta área fue afectada por los sistemas ciclónicos que tuvieron incidencia en el mar Caribe, viéndose reflejada en aumentos en la intensidad de los vientos, alturas de oleaje moderas y aumentos de los índices de pluviosidad.

### **Mes de noviembre de 2008**

El Litoral Caribe centro: Sobre esta área se presentaron lluvias moderadas a fuertes durante gran parte del mes. Asimismo, oleaje fue moderado principalmente hacia la segunda quincena, debido a la ubicación de la Zona de Confluencia Intertropical y al ingreso de varios frentes fríos sobre el área.

#### **4.1.3 Análisis general de los parámetros meteorológicos en Cartagena.**

En el mes de noviembre se presentaron fuertes precipitaciones, con una sumatoria mensual de 191.2mm el cual superó el promedio multianual que para este mes es de 93.8 mm, ver tabla 4. Las precipitaciones más fuertes se presentaron los días 2 y 25 como consecuencia de la reactivación del sistema



de baja presión del Darién lo que provocó abundantes precipitaciones a lo largo de todo el litoral Colombiano.

Estos fenómenos también se ven reflejados en los valores de temperatura en los cuales se encuentran los promedios diarios más bajos así como en horas de sol durante estos días se obtuvieron 0 horas, por la permanencia de abundante nubosidad sobre la ciudad. Las precipitaciones del día 25 estuvieron ayudadas por la alimentación que hizo una línea de inestabilidad atmosférica, dejada como rezago de un frente frío al sistema de baja presión.

**Tabla 4.** Relación de la cantidad de precipitación para el mes de Noviembre con respecto al total acumulado para el año 2008; nótese la mayor precipitación correspondiente con el mes lluvioso esperado (Tomado de CIOH. 2008).

PRECIPITACIÓN			
Suma mensual (mm)	Suma máxima diaria (mm)	Cantidad de días con lluvia	Total acumulado en el año (mm)
191.2	96.3	8	971.9

La dirección predominante del viento fue desde Noroeste en mayor proporción que hacia el Norte de acuerdo con los datos tomados del CIOH para el mes de Noviembre de 2008. La temperatura del agua oscilo entre los 28 y los 28.5 grados de acuerdo con CIOH.

Las direcciones del oleaje predominante para el sector de estudio del 1 al 8 de Noviembre inclusive mantuvieron una dirección hacia el NE; no obstante y partir del 12 de Noviembre el oleaje cambio su dirección con tendencia al SW, hasta el 30 de Noviembre.

Una vez indicado el aporte de información del CIOH, se tuvieron en cuenta las condiciones de mayor detalle con el objetivo de establecer la Caracterización Morfodinámica del sector costero en estudio con carácter microtemporal. La caracterización micro temporal se llevó a cabo al igual que el análisis Multitemporal por sectores, dividiendo la zona d estudio en 12 transectos específicos saber:

#### 4.1.3.1. Sector 1

Ubicado en el extremo norte del área de estudio, el lugar denominado Ensenada de Galerazamba y hasta la punta La Garita al Sur oeste. En este sector se encuentran las Salinas de Galerazamba. Esta franja está constituida morfológicamente por una barra espiga, la cual encierra una laguna costera utilizada en el beneficio de sal marina.

En esta zona la amplitud de la plataforma y su grado de pendiente por debajo de los 6 grados, hacen que la franja de rompientes sea amplia, aproximadamente de 100 a 200 m. La dinámica es muy alta y se caracteriza por presentar en la berma de playa un depósito considerable de material vegetal transportado por el mar desde las desembocaduras de los ríos, especialmente desde el río Magdalena y afluentes cercanos.

El oleaje se presenta casi perpendicular a la línea de costa, incidiendo en una dinámica significativa en cada uno de los periodos de verano-invierno. En este sector las playas son cortas, con bermas angostas limitadas por dunas vegetadas de tamaño de 0.50 a 1.50 m. La vegetación se puede considerar como xerofítica con alturas no mayores 1 metro

Como producto de la evaluación de campo y con carácter microtemporal verano –invierno (2008), se pudo establecer que para el sector de estudio la pendiente del frente de playa fue mayor que para en periodo de invierno; en contraposición con el normal perfil del frente playa que correspondería a una mayor pendiente del frente de playa en el periodo de verano. Este aspecto se puede entender dado que para esta época se presentaron periodos anómalos que incidieron en el comportamiento del equilibrio de la playa (Eventos de Mar de Leva); lo relacionado anteriormente presentó un cambio significativo en la orientación de la línea de costa con carácter puntual.

En la evaluación de los perfiles de playa que se levantaron en cada punto de estudio a lo largo de la línea de costa del sector y los cuales fueron plasmados en modelos gráficos, se pudo establecer, que en este sector se presentó una erosión de acuerdo al análisis comparativo.

En la evaluación de las direcciones de oleaje predominantes, estas oscilaron en un rango entre 170 y 200 grados, indicando una dirección cercana a ser perpendicular a la línea de costa para el periodo de verano; la dirección de la corriente de deriva litoral para el periodo de verano, se presentó entre los 270 y los 290 grados y en algunos casos puntuales y como producto de la morfología de la playa se presentó con una dirección con 260 grados.

La dirección del viento para el sector se presentó en un rango entre los 180 y los 230 grados durante el verano; no obstante se determina que su dirección puede cambiar en función de la hora de toma de los datos.

El comportamiento de los datos en lo que refiere a la época de invierno, permitieron establecer que la dirección predominante del oleaje para el sector se ubicaron entre los 180 y los 200 grados; la dirección de la corriente de la

deriva continental osciló entre los 230 y los 280 grados y los rangos de la dirección del viento se presentaron entre los 90 y los 170 grados.

La evaluación para los parámetros anteriormente referidos, estableció que en las diferentes épocas climáticas del año se mantuvieron constantes las condiciones de oleaje y clima para el sector de estudio.

En el análisis comparativo del periodo de oleaje para verano e invierno se observó que los periodos de las olas en invierno fueron mayores que en verano, otro aporte significativo del comportamiento anómalo del clima en la zona costera del Caribe Colombiano durante el año 2008; esto se complementa con el análisis de las mediciones de las diferentes longitudes de onda del oleaje; éstas expresaron una amplitud de la onda mayor durante el verano, caracterizando la anormalidad en las constantes oceanográficas y climatológicas para la región.

Aspecto adicional monitoreado durante el estudio, se refiere a las condiciones de la línea de agua del mar durante la toma del perfil en cada época climática. En la zona de estudio la línea de agua se presentó por encima de la línea de agua tomada durante el periodo de invierno significando una acumulación de agua mayor hacia los sectores costeros durante la temporada de lluvias.

La caracterización macroscópica de los sedimentos hecha en campo, permite clasificar los sedimentos presentes en esta zona como arenas medias color pardo oscuro: El análisis granulométrico permitió establecer que la determinación de la mediana o Phi de 50% (energía cinética media del agente de transporte) de la distribución de las partículas corresponde con un material bien seleccionado.

En lo que refiere a la Selección o Sorting, se caracterizó como un sedimento perfectamente seleccionado. La Asimetría permitió establecer que el material es muy asimétrico hacia los finos; la Curtosis definió el rango para el sector como muy Platicúrtica asemejándose a una distribución normal.

Dentro de la evaluación de la frecuencia granulométrica, se identificó que este factor se presenta con un carácter bimodal ver SIC perfil 101 – Tabla 5.

Las condiciones sedimentológicas referenciadas permiten evidenciar la ocurrencia de arenas de playa influenciadas por aportes finos de la laguna costera aledaña.

Los sedimentos que constituyen las geoformas asociadas, corresponde a arenas finas a medias, bien seleccionadas y posiblemente depositadas en un

ambiente de energía moderada generado por el mar como el más importante agente geomorfológico. Finalmente al hacer una observación en la cartografía multitemporal (cartografía décadas 1950, 1970, 1990 y actual), no se identificó ningún avance o retroceso significativo en la línea de costa.

**Tabla 5.** Ejemplo de los datos tomados en cada uno de los perfiles de playa estudiados. Tomado de la Base de datos del Sistema de Información Costero para el sector 1).

NUMERO	PERFIL	SECTOR	COORD_X	COORD_Y	PENDIENTE VERANO	PENDIENTE INVIERNO	DIRECCION LINEA DE COSTA VERANO	DIRECCION LINEA DE COSTA INVIERNO
101	101(1)	1	1686794	875434	5	5	275	180
DIRECCION VIENTO EN VERANO	DIRECCION VIENTO EN INVIERNO	DIRECCION DEL OLEAJE EN VERANO	DIRECCION DEL OLEAJE EN INVIERNO	DIRECCION DE LA CORRIENTE DE DERIVA LITORAL - VERANO	DIRECCION DE LA CORRIENTE DE DERIVA LITORAL - INVIERNO	PERIODO DE LAS OLAS EN VERANO	PERIODO DE LAS OLAS EN INVIERNO	LONGITUD EN VERANO
90	92	75	190	220	240	3	8	5
LONGITUD EN INVIERNO	Grava	Arena media Gruesa A.m.g	Arena Gruesa Ag	Arena media A.md	Arena Fina Arena f	Arena muy Fina A.m.f.	RELACION VERANO INVIERNO	Relación línea de agua. Respecto a invierno
3	No	No	No	Si	No	No	Erosión	Encima
fotos tomadas en verano	fotos tomadas en invierno	Mediana - Clasificación (Phi de 50%)	Sorting (So)	Asimetría (Sk)	Angulosidad - Curtosis (Kg)	Distribución granulométrica	Comentarios técnicos En base de datos	
Si	Si	BS	SpS	MAhf	MP	DB	Si	

#### 4.1.3.2. Sectores Dos y Tres

Sector ubicado entre la Punta La Garita al norte, Punta Juan Moreno sur y la Ensenada Amansaguapos; donde se localiza la Población de Pueblo Nuevo. El sector ha sido afectado constantemente por dinámica de su sector costero; aspecto que se refleja al observar las diferentes líneas de costa plasmadas en la cartografía generada para el proyecto y concretamente en el análisis multitemporal por décadas basado en el análisis de planchas del IGAC.

Este aspecto ha mostrado un continuo cambio en desplazamiento de la línea de costa en sentido Este-Oeste. Se evidencia en el cambio de área temporal de la Ciénaga de La Redonda al observar las diferentes ampliaciones o alargamientos de la espiga de Pueblo Nuevo. Un aspecto importante a tener en

cuenta significa el Volcán de Lodo cercano a la población, que afecta de manera importante la morfología del sector y por ende la plataforma adyacente.

En esta zona se refleja y de acuerdo con imágenes de satélite, fotografías aéreas, consultas Google y Nasa y el reconocimiento de campo que la plataforma se presenta como de tipo disipativo y con un movimiento de sedimentos alto en una franja de aproximadamente 2 kilómetros, implicando la alta dinámica en el sector.

En el análisis microtemporal, se pudieron establecer las siguientes características de acuerdo con la toma de datos de campo y los análisis de laboratorio respectivos.

La toma de los datos durante las épocas de verano e invierno el rango de pendiente en el frente de playa osciló entre los 4 y los 8 grados. El análisis comparativo de las pendientes de los frentes de playa con respecto a las estaciones de verano e invierno, contrario a lo esperado, la pendiente fue mayor para la época de invierno, aspecto que es coherente de acuerdo con las condiciones anómalas del clima que se presentaron en este año y básicamente con los dos eventos de mar de leva que se generaron.

La evaluación de la erosión y la acreción con carácter microtemporal (año 2008), evidenció para el sector, erosión hacia la Punta La Garita y hasta la Punta Juan Moreno sur; en el sector central del área y básicamente hacia el centro de la Espiga de Pueblo Nuevo. El agente principal fue la acreción para posteriormente en el extremo sur del sector volverse a presentar erosión; este aspecto puede determinar la ampliación de la espiga de Pueblo Nuevo hacia el sector central.

En la observación de las variables climáticas y oceanográficas para el sector; se determinó para la época de verano que la dirección del viento predominante fue hacia el SE; aunque de acuerdo con el horario de toma de datos en algunos sitios de toma de perfiles no concordaron con la tendencia; de igual manera la dirección del oleaje predominante concuerda con direcciones entre 150 y 170 (azimut) al SE; las direcciones de las corrientes de deriva litoral correspondieron en su mayoría con rangos entre 180 y 210 grados (azimut).

En el comportamiento de las variables oceanográficas y climatológicas durante el invierno, se pudo establecer que las direcciones del viento predominantes oscilaron en un rango entre los 110 a 140 grados (azimut). Concordantes con las direcciones de los vientos durante el verano.

El oleaje durante el invierno se caracterizaron por presentar una dirección entre los 110 y los 180 grados (azimut), estando en algunos caso esta corriente relacionada con los accidentes topográficos característicos del sector. Las direcciones de las corrientes de la deriva litoral corresponden con rangos entre 190 y los 200 grados, concordantes con la tendencia de verano.

Las condiciones mencionadas anteriormente determinan el comportamiento de los sedimentos a lo largo del sector costero en estudio durante las épocas de verano e invierno. Se infiere la dinámica continua y la constante asociada con las direcciones de vientos, oleajes y corrientes de deriva litoral, permitiendo generar una tendencia acerca del futuro cercano del sector costero y la espiga de Pueblo Nuevo.

Una de las consideraciones específicas a tener en cuenta con la evaluación, se determina en la medición del periodo del oleaje tanto para verano como para invierno (Mapa 10. Anexo - Evaluación del periodo de oleaje); esta variable permitió medir la intensidad del oleaje manifiesta para el sector de estudio; el resultado estableció que el oleaje presentado durante el invierno fue mayor que durante la época de verano con periodos entre 4 y 8 segundos en promedio.

La evaluación de la longitud de onda del oleaje correspondiente con los periodos de verano e invierno (mapa 11), mostró que siguiendo las características presentadas en el oleaje, su mayor incidencia se presentó durante el invierno, mostrando una menor longitud de onda, en contraposición de la manifestación posible de verano. Esta inconsistencia se pudo presentar como producto del evento climático anómalo presentado para la época.

La relación de la línea de agua en el perfil perpendicular elaborado para cada una de las épocas de verano e invierno (ver perfiles 110, 105, 114 119, 118 en Sistema de Información Costero utilizando como herramienta el SIG) estuvo por encima de la línea de agua medida para el periodo de verano, aspecto correlacionable con la cantidad de agua acumulada en las zonas costeras durante el invierno; en el sector central del sector de estudio la línea de agua estuvo por debajo de la línea de agua en verano aspecto normal desde el punto de vista multitemporal.

Los sedimentos característicos presentes en el sector corresponden con diferentes grados de selección de materiales; hacia el sector de la Punta La Garita, el material predominante es la grava; hacia el sector del faro arena media gruesa, en la conformación de la Espiga de Pueblo Nuevo arena fina a media y hacia el extremo sur del sector la principal característica del sedimento corresponde con arena media.

El análisis granulométrico permitió establecer que la determinación de la mediana o Phi de 50% (energía cinética media del agente de transporte) de la distribución de las partículas corresponde con un material bien seleccionado a lo largo del sector de estudio con excepción del sector de la Punta La Garita donde el material se presentó como muy mal seleccionado (ver mapa 15 Anexo)

Los resultados permiten indicar la buena selección de los sedimentos hacia la parte norte del sector; hacia la parte media y concretamente sobre la Espiga de Pueblo Nuevo los sedimentos son muy bien seleccionados; mientras al sur del sector de estudio, los sedimentos se presentan bien seleccionados.

Los resultados de Asimetría permite indicar la tendencia de los sedimentos hacia los tamaños gruesos en el sector de la Punta La Garita (ver mapa 17) y se presentan como simétricos a muy asimétricos a hacia los finos en el área correspondiente a la Espiga de Pueblo Nuevo; no obstante en algunos perfiles estudiados la asimetría se determinó como muy asimétricos hacia los gruesos.

La Curtosis definió el rango general para el sector como muy Platicúrtica asemejándose a una distribución normal; en algunos perfiles puntuales se determinó la curtosis como platicúrtica (ver mapa 18); dentro de la evaluación de la frecuencia granulométrica, se identificó que este factor se presenta predominantemente con un carácter Unimodal (ver mapa 19 y perfiles 110, 115 120) y en algunos casos bimodal.

Finalmente las condiciones sedimentológicas referenciadas permiten clasificar el sector dos (2) como playas formadas un Ambiente marino con aportes de material de los sectores rocosos adyacentes a la línea de costa. Los sedimentos que constituyen las geoformas de acumulación costera, corresponden a arenas finas a medias, bien seleccionadas y posiblemente depositadas en un ambiente de energía moderada generado por el mar como el más importante agente geomorfológico.

#### 4.1.3.3. Sector 4

Sector ubicado entre la Ensenada de Amansaguapos al norte y la Isla Cascajo o Punta Santa Rita en el extremo SW del sector de estudio; esta área corresponde con una dinámica muy activa del comportamiento de los sedimentos, manifestándose como su mayor expresión el acrecimiento de la Isla Cascajo al continente en lo que se denomina actualmente como Tómbolo de la Isla Cascajo. En este aspecto los análisis de variación de línea de costa muestran un continuo en dirección norte-sur.

Los cambios se reflejan en la presencia de dunas vegetadas antiguas y recientes, canales de marea y áreas sujetas a inundación entre otros (con direcciones muy cercanas a las direcciones del viento predominante en el sector) y dunas no vegetadas en proceso de estabilización por la cobertura vegetal.

En esta zona se refleja y de acuerdo con imágenes de satélite, fotografías aéreas, consultas de imágenes Google y Nasa y el reconocimiento de campo que la plataforma se presenta como de tipo disipativo y con un movimiento de sedimentos alto en una franja de aproximadamente un (1) kilómetro de amplitud, implicando la alta dinámica en el sector.

En este estudio se pudo determinar y cartografiar la presencia de la Isla Arena al norte y justo enfrente del sector cuatro en referencia y a una distancia aproximadamente de 5,8 km, y a 9km.al Oeste de Pueblo Nuevo. La isla presenta una dirección SW-NE, y se caracteriza por tener abundantes fragmentos de corales producto de la barrera coralina sobre la cual se localiza la isla y su disposición parece ser producto del diapirismo de lodos en la plataforma continental (Figura 33).



**Figura 33.** Vista de la Isla Arena localizada al Norte frente al Sector cuatro.

La dinámica en la isla es alta, a tal punto, se ha formado una espiga, cuya dirección (en sentido SE) tiende hacia el sector de la Isla Cascajo, aspecto que



posiblemente genere una acreción de esta isla al continente. La isla tiene una superficie de 11.805 m<sup>2</sup>.

El análisis micro temporal permite para este sector, permite indica lo siguiente: La pendiente de playa fue mayor para la época de invierno, aspecto coherente si se tienen en cuenta las condiciones anómalas del clima que se presentaron en el año y los dos eventos de mar de leva que se generaron en el 2008. En la toma de los datos durante las épocas de verano e invierno el rango de pendiente en el frente de playa osciló entre los 5 y los 8 grados.

En lo que refiere a la caracterización microtemporal sobre la dirección de la línea de costa, se midió esta dirección para cada una de las épocas climáticas del año en evaluación; la medición del cambio tiene un carácter de acuerdo con el profesional que tomó el dato y cuyas direcciones principales oscilaron entre los 190 y 260 grados (azimut). En la determinación de la variabilidad de la línea de costa se caracterizaron rangos de magnitudes pequeñas, logrando con esta circunstancia la identificación de cambios micro temporales en la línea costera.

La evaluación de la erosión y la acreción con carácter microtemporal en el año 2008, permitió evidenciar crecimiento en el sector de la Isla Cascajo, ver mapa 13 y base de datos SIC) en los perfiles 121A y 123. Esta situación concuerda con el continuo crecimiento de sedimentos que significó la formación del Tómbolo de la Isla Cascajo.

Durante la toma de datos de los perfiles de este sector, se definió la dirección del viento predominante hacia el NE; no obstante y de acuerdo con el horario de toma de datos en algunos sitios de toma de perfiles no concordaron con esta tendencia. De igual manera la dirección del oleaje predominante concuerda con direcciones entre 160 y 170 (azimut) al SE; las direcciones de las corrientes de deriva litoral correspondieron en su mayoría con rangos entre 120 y los 250 grados (azimut) y varían de acuerdo con las conformaciones de las costas sobre las que se tomaron los diferentes de playa.

En el comportamiento de las variables oceanográficas y climatológicas durante la época húmeda, se pudo establecer que las direcciones del viento predominantes oscilaron en un rango entre los 40 y los 110 grados (azimut) al NE. Concordantes con las direcciones de los vientos durante el verano; sin embargo se debe tener en cuenta la hora de toma del dato puesto que en algunos sectores los vientos se determinaron con dirección E - W.

Las crestas del oleaje para la época húmeda, se dispusieron hacia el NE con rango entre los 65 y los 115 grados (azimut) las corrientes de deriva litoral

durante el mismo periodo se movilizaron hacia los de los 210 a los 275 grados (azimut) en direcciones cercanas tangenciales a la línea de costa.

La medición del periodo del oleaje tanto para época seca como húmeda (Mapa 10. Evaluación del periodo de oleaje); permite establecer un periodo de oleaje mayor en verano que en el periodo de invierno. No obstante en algunos sitios cercanos al Morro de la Venta el oleaje se presentó con mayores periodos en invierno que en el verano; adicionalmente los resultados obtenidos indican la ocurrencia de periodos entre 4 y 7 segundos en promedio.

Concordante con lo expuesto anteriormente, la evaluación de la longitud de onda del oleaje correspondiente con los periodos de verano e invierno (mapa 11), mostró que siguiendo las características presentadas en el oleaje, su mayor amplitud se presentó durante el verano excepto para los sitios cercanos al Morro de La venta. La longitud de onda para los dos periodos en estudio correspondió al rango entre los 5 y los 7 metros.

En el análisis de los perfiles 121<sup>a</sup> y 123, elaborados en época seca – húmeda, ver Sistema de Información Costero), la relación de la línea de agua para el periodo de invierno en confrontación con la medida en verano, estuvo por encima; esta consideración puede ser producto de la cantidad de agua acumulada en las zonas costeras durante el invierno; no obstante para el tramo correspondiente en sectores del Morro de la Venta en el sector central (perfiles 211 y 209), la línea de agua en invierno estuvo por debajo de la línea de agua en verano, aspecto que no es común en las condiciones de la zona.

El análisis granulométrico, permitió inicialmente contemplar las caracterizaciones dadas a los sedimentos en el trabajo de campo y la descripción en el sitio del tipo de sedimento predominante de acuerdo con el criterio de quien tomó el dato; posteriormente se generaron los análisis sedimentológicos correspondientes con la clasificación de los datos de granulometría elaborados para cada una de las muestras tomadas en campo. Los resultados se presentan de la siguiente forma:

Los sedimentos característicos presentes en el sector corresponden a arena media de colores pardos oscuros a pardo amarillentos con abundantes materiales ferruginosos, micas, líticos y muy baja proporción de calcáreos; a excepción del aporte significativo de materiales calcáreos y finos observados en los perfiles realizados en la Isla Cascajo.

La Selección o Sorting, indica la forma en que se distribuyen los elementos de una población alrededor de un valor central. Los sedimentos en este sector muy bien Seleccionados en el todo el sector de estudio con la excepción de los

sedimentos tomados en la Isla Cascajo (perfil 123, mapa 16) caracterizados como bien seleccionados).

Las curvas de los materiales son muy asimétricas hacia los finos en el sector de estudio; no obstante en la zona que corresponde a la Isla Cascajo el material es muy asimétrico hacia los gruesos (ver mapa 17 y perfiles 209, 211, 121A y 123 en el SIC utilizando como herramienta SIG ArcGis), lo cual está de acuerdo con la contribución de los materiales erodados de la isla de carácter arrecifal.

La agudeza o Curtosis definió el rango general para el sector como Muy Platicúrtica asemejándose a una distribución normal con excepción de las muestras que fueron tomadas en la Isla Cascajo donde la caracterización correspondió como Leptocúrtica. (Ver mapa 18).

La evaluación de la frecuencia granulométrica, identificada para el sector corresponde para la parte norte con una Distribución Bimodal en donde priman las arenas de tamaño medio a fino; en el sector adyacente a la Isla Cascajo, se presenta una Distribución bimodal con el tamaño de arena media como tamaño de grano predominante.

En esencia las condiciones sedimentológicas referenciadas permiten definir el sector, como generado en un Ambiente marino de Playa con aportes de sectores rocosos adyacentes a la línea de costa y materiales calcáreos y finos procedentes de la Isla Cascajo y la plataforma adyacente, entre otros de la Isla Arena.

Los sedimentos que constituyen las geoformas de acumulación de carácter litoral son arenas finas a medias, bien seleccionadas y posiblemente depositadas en un ambiente de energía moderada generado por el mar como el más importante agente geomorfológico.

#### 4.1.3.4. Sector 5

Sector ubicado entre la Isla Cascajo al extremo NE del sector y La Punta Corralito en su parte más al SW del área. En el área se localizan los poblados de Bocacanoas y Las Canoas.

En este sector se ha evidenciado mediante la fotointerpretación geomorfológica con fotografías aéreas de la década 1950 (IGAC), la presencia de otra isla de amarre cercana a la línea de costa antigua la cual unida al continente por barra arenosas.

Esta situación se muestra desde el punto de vista geomorfológico como una sucesión de crestas de playa, dunas muy antiguas vegetadas y sin vegetar y con una serie de lagunas traseras alineadas, localmente colmatadas por mantos de arena de origen eólico como lo indican Carvajal y Otros (2010). En este sector se encuentra el complejo turístico de Bocacanoas.

El área presenta una dinámica muy activa de sedimentos, justificando el crecimiento de la isla y la ampliación de la zona costera adyacente. Aspecto destacable dentro de la observación de las imágenes Google, Nasa y ArcGis Explorer para el sector, es el considerable flujo de sedimentos marinos a lo largo de la plataforma cercana al sector; en una franja de aproximadamente 8 kilómetros de amplitud.

En el análisis microtemporal para el sector, se pudieron establecer las siguientes características:

En consideración con el evento anómalo presentado para el año 2008 y siguiendo la tendencia presentada para los diferentes sectores al norte de la Ciudad de Cartagena las pendientes de los frentes de playa con respecto a las estaciones climatológicas, la pendiente del frente de playa fue mayor para la época de húmeda, acorde con las condiciones del clima presentadas en el año 2008. La toma de los datos durante las épocas verano – invierno, el rango de pendiente en el frente de playa osciló entre los 4° y los 10° (ver perfiles 129 y 127 SIC utilizando como herramienta SIG ArcGis).

La dirección de la línea de costa, oscilaron entre los 190 y 250 grados (azimut). Se observaron algunos cambios en la línea para el sector, los cuales se presentaron en algunos sitios de toma de perfiles como en el perfil 125 durante el verano (ver mapa 2, Perfiles con cambios drásticos en la Línea de costa evaluados entre los periodos de verano-invierno de 2008).

La evaluación de la erosión y la acreción con carácter microtemporal (año 2008), indican en el extremo sur occidental del sector hacia Punta Corralito y en las zonas cercanas a las localidades de Bocacanoas y Las Canoas, procesos erosivos temporales (ver mapa 13 y base de datos SIC) en los perfiles 125, 127 y 130; mientras se evidenciaron procesos de crecimiento, hacia el extremo NE del sector de estudio. (Ver perfil 123 Base de datos SIC)

Las variables climáticas y oceanográficas tomadas in situ para el sector; indican para la época de verano, dirección del viento predominante hacia el SW en las localidades de Bocacanoas y Las Canoas; sin embargo, hubo variaciones hacia los extremos Ne y SW donde las tendencias de los vientos estuvieron entre los 90 y 180 grados (azimut) (Ver mapa 4).

Las direcciones de oleaje hacia el extremo NE del sector y hasta la localidad de Las Canoas presentaron direcciones correspondientes entre 80 y 110 grados (azimut); a partir del sitio mencionado con anterioridad y en lugares adyacentes a Bocacanoas y Punta Corralito el oleaje osciló entre los 195 y los 210 grados (azimut) (ver mapa 6)

En las corrientes de deriva litoral prevalecieron las direcciones entre los 240 y los 265 grados (azimut) con excepción de la Punta Corralito en donde la dirección se midió en 185 grados aproximadamente. Se determina que las direcciones de las corrientes de deriva litoral varían en función de la conformación y orientación de la costa

En el comportamiento de las variables oceanográficas y climatológicas durante el invierno, se observaron las direcciones de los vientos entre los 85 y los 140 grados (azimut) al SW, concordantes con las direcciones de los vientos durante el verano.

La dirección del oleaje para la época de invierno tendió a hacia el NE con rango entre los 85 y los 150 grados (azimut) al SE; no obstante a partir de Bocacanoas las direcciones variaron entre 190 y 210 grados (azimut) al SW en Punta Corralito (ver mapa 7, perfil 130. SIC).

Las corrientes de deriva litoral durante el mismo periodo de invierno se enmarcaron dentro del rango de los 210 a los 265 grados (azimut - SW) en direcciones cercanas tangenciales a la línea de costa. (Ver perfiles 127, 129 SIC, utilizando como herramienta SIG ArcGis)

El periodo del oleaje tanto para época seca como húmeda (Mapa 10. Evaluación del periodo de oleaje); permitió establecer la tendencia a un periodo de oleaje en verano mayor que, en el periodo de invierno con oscilaciones entre 4 y 8 segundos. Acorde con el periodo del oleaje, la longitud de ola, fue mayor en verano con rangos entre los 5 y los 8 metros.

la relación de la línea de agua para el periodo de invierno, comparativamente los datos de verano, estuvo por debajo; posiblemente como consecuencia de las condiciones de la plataforma adyacente y la configuración de la costa hacia el sector NE, ver mapa 14 y perfiles 125 y 127; sin embargo se determinó que la línea de agua para la parte sur de la zona de estudio, a partir de Bocacanoas, la línea de agua medida en época húmeda, estuvo por encima de la línea de agua en tiempo seco, posiblemente por la posible cantidad de agua acumulada en las zonas costeras durante el invierno y un mar de leva (ver perfiles 129 y 130 SIC)

Acorde con la descripción macroscópica, los sedimentos encontrados en el sector corresponden a arenas tamaño medio de colores pardo oscuro a pardo

amarillento con abundantes materiales ferruginosos, micas, líticos y muy baja proporción de calcáreos (ver Mapa 12).

Los resultados de granulométricos de Selección o Sorting, para las arenas de este sector muestran en general una tendencia hacia los sedimentos bien seleccionados; sin embargo, en la localidad de Bocacanoas el sedimento son muy bien seleccionados (perfil 127, mapa 16 del SIC).

La información de asimetría muestra tendencias hacia los finos en las playas de Las Canoas y Punta Corralito; mientras en las zonas costeras de Bocacanoas y La Isla Cascajo al NE, el material se clasificó como muy asimétrico hacia los gruesos; Tal situación está de acuerdo con la disposición morfológica de las playas. (Ver mapa 17 y perfiles 123, 125, 127 y 130 en el SIC utilizando como herramienta SIG ArcGis).

La agudeza o Curtosis definió el rango general en dos condiciones: Leptocúrtica hacia en NE del sector y Platicúrtica en el extremo comprendido entre Bocacanoas y Punta Corralito (ver mapa 18 SIC). Estos datos indican un ambiente de depositación de moderada a alta energía.

La evaluación de la frecuencia granulométrica, identificada para el sector norte, una Distribución Unimodal en donde priman las arenas de tamaño medio.

#### 4.1.3.5. Sector Seis (6)

Sector ubicado entre las puntas Corralito y Punta de piedra al norte y la Punta Canoas al extremo SW. En sus inmediaciones se encuentra localizada la población de Arroyo de Piedra y las Lomas de Guayacana y la Playa El Faro.

La conformación del sector desde el punto de vista de la dinámica costera corresponde a la barra espiga de Arroyo de Piedra, asociada con una zona con amplias playas hacia la Población cuya evolución indica procesos de acrecimiento para la década 1950 a 1960 y la actualidad de un kilómetro aproximadamente. En la zona son características, crestas de playa antiguas, con algunos canales de marea y lagunas traseras.

En referencia a la parte más al SW (Punta Canoas), la zona de costa se encuentra restringida por afloramientos rocosos asociados con acantilados de baja altura. La amplitud de la zona de rompientes identificada para el momento de la toma de datos correspondió entre 150 y 250 m a partir de la Línea de costa.

El área presenta una dinámica muy activa de sedimentos hacia Punta Canoas (Observaciones de la Imagen NASA World Wind. 2008); sin embargo gran parte del sector mantiene una dinámica de equilibrio hacia el centro y NE del sector, con un nivel bajo de transporte de sedimentos.

Fundamentados en el análisis microtemporal para el sector, se pudieron establecer las siguientes características:

Las pendientes de los frentes de playa para el sector fueron mayores en invierno, aspecto diferente a lo esperado. (Ver perfiles 134 y 222 SIC utilizando herramienta SIG); sin embargo para los dos periodos, el rango de pendiente en el frente de playa osciló entre los 2 y los 5 grados.

Las variaciones de la dirección de líneas de costa, oscilaron entre los 190 y 250 grados (azimut). Hacia el extremo NE, hacia Punta de Piedra, se presentaron cambios menores hacia la época de invierno.

La evaluación de la erosión y la acreción con carácter microtemporal (año 2008), tomando como base la evaluación de los perfiles de playa tomados en las diferentes épocas climáticas, se evidencia en general acrecimiento de playas, ver perfiles 213, 222. Base de datos SIC; no obstante, hacia el extremo SW en cercanías a Punta Canoas se determinó una erosión.

Las observaciones de campo de las variables climáticas y oceanográficas para el sector, permitió establecer para la época de verano una dirección del viento predominante hacia el SE. Las tendencias de vientos estuvieron entre los 90 y 130 grados (azimut) (Ver mapa No 4 SIC).

Concordante con la dirección del viento, la dirección del oleaje en el verano, presentó una tendencia entre los 100 y los 140 grados (azimut). En la zona costera cercana a Punta de Piedra la dirección de oleaje varió como producto de la conformación lineal de la playa y el macizo rocoso cercano, en que se midieron oleajes entre 190 y los 200 grados (azimut) (Ver perfiles 213 y 130 en el SIC utilizando como herramienta SIG ArcGis).

Las corrientes de deriva litoral en verano presentaron direcciones entre los 240 y los 265 grados (azimut); sin embargo hacia Punta de Piedra las direcciones observadas variaron entre los 185 y los 200 grados (azimut) (Ver mapa 8).

La dirección del viento para la época de invierno presentó variaciones entre los 100 y los 140 grados (azimut), cercanas a las direcciones de verano (Ver mapa 5, Perfiles 234 y 134 SIC, Utilizando como herramienta SIG Arc Gis). Las direcciones del oleaje durante el invierno y para la mayor parte del sector

estuvieron dentro del rango de los 95 y los 130 grados (azimut); sin embargo, hacia Punta de Piedra las direcciones fueron mayores de 180 grados (azimut). Lo referido concuerda con las direcciones medidas para el periodo de verano (Ver mapa 7, perfiles 134, 222, 213 SIC Utilizando como herramienta SIG Arc Gis).

Las direcciones de las corrientes de deriva litoral para el invierno, mostraron tendencia de desplazamiento hacia los 220 y los 260 (azimut - SW) en direcciones cercanamente tangenciales a la línea de costa; no obstante hacia la Punta de Piedra las direcciones oscilaron entre los 180 y los 210 grados (azimut). (Ver mapa No 9).

La medición del periodo del oleaje tanto para verano como para invierno (Mapa 10. Evaluación del periodo de oleaje); permitió establecer que, el periodo de oleaje en verano fue mayor que en el periodo de invierno, con oscilaciones entre 4 y 6 segundos en promedio (Ver mapa 10). La mayor longitud de onda se presentó durante el verano con rangos entre los 5 y los 6 metros.

Referente a la línea de agua para periodo de invierno, en relación con la medida en verano, estuvo por encima, aspecto asociado con la cantidad de agua cercana a las zonas costeras característica del invierno. No obstante, hacia la Punta Canoa la línea de agua se presentó por encima de la línea de invierno; lo cual puede ser producto de las condiciones de la plataforma adyacente y la conformación del sector costero. (Ver perfiles 222 y 134 SIC).

Los materiales de este sector, en general son arenas medias; con variaciones en cercanías de Punta de Canoa donde la arena es fina. Las arenas son de colores pardo oscuro a pardo amarillento con abundantes material ferruginoso, micas, líticos y muy baja proporción de calcáreos (Ver Mapa 12).

La Selección o Sorting, indicando de la forma como se distribuyen los elementos de una población alrededor de un valor central, permitieron clasificar estos sedimentos, como bien seleccionados en la mayor parte del sector; a diferencia de los materiales encontrados en cercanías de Arroyo de Piedra, clasificados como muy bien seleccionados. (Ver perfil No 213, mapa 16 del SIC).

La Asimetría permitió establecer que el material tiene tendencias hacia los finos hacia Punta de Piedra; en las zonas costeras de Arroyo de Piedra y cercanías a Punta Canoas. En las playas adyacentes a Punta Canoas los sedimentos se presentaron como simétricos a casi simétricos; este aspecto se enmarca de acuerdo con la disposición morfológica de las playas. (Ver mapa 17 y perfiles 134, 222, 130 y 213 en el SIC utilizando como herramienta SIG ArcGis)



La agudeza o Curtosis definió el rango general en tres condiciones: Leptocúrtica hacia los extremos NE en Punta de Piedra y extremo SW en Punta Canoas; Muy platicúrtica hacia cercanías de Arroyo de Piedra y Lomas de Guayacama y mesocúrtica en sectores cercanos al perfil 213 (Ver mapa No 18 SIC). Estos resultados granulométricos indican un ambiente de moderada a alta energía, para su acumulación.

La evaluación de la frecuencia granulométrica, identificada para el sector corresponde de igual manera que en la curtosis con tres rangos para el sector. Distribución Unimodal hacia los extremos NW y SE del sector en donde priman las arenas de tamaño medio; Bimodal hacia las localidades de Arroyo de Piedra y las Lomas de Guayacana en donde además se presentan arenas de tamaño medio a fino

#### 4.1.3.6. Sectores Siete y Ocho (7 y 8)

El transecto de este análisis, se encuentra ubicado entre Punta Canoas al NE y los sitios denominados Morrogrande, Morro Medio y El Morrito al SW; en sus inmediaciones se encuentran la desembocadura de los arroyos Guayepo y Ballesteros y las poblaciones de Punta Canoas al N y Manzanillo del Mar al S.

La zona está asociada a una serie de acantilados bajos de la plataforma de abrasión elevada donde se encuentra Punta Canoas y acantilados altos de las localidades de Morro Grande, Medio y el Morrito. Localmente se encuentran bloques caídos en el sector de los Morros.

Gran parte del sector limita con una llanura costera amplia en donde se ubican las poblaciones referidas anteriormente. En el extremo norte de la zona de estudio en cercanías a la población de Punta Canoas, se desprende una espiga, la cual ha sido monitoreada con base en análisis cartográfico para las décadas de 1950, 1970, 1990 y 2008, además de la fotointerpretación con fotografías aéreas correspondientes con los años 1950 a 1962. (Ver mapa imagen Google. SIC).

Inicialmente esta geoforma se desarrolló como una espiga; no obstante esta unidad morfológica alcanzó el extremo distal, convirtiéndose en una barra espiga con sus correspondientes crestas antiguas de playa y sus lagunas traseras.

Tiene una extensión aproximada de 3.5 kilómetros y une la Punta Canoas y su punta más distal a 800 metros al sur de la desembocadura del Arroyo Guayepo. Su máxima amplitud se encuentra localizada hacia el sur de la población de

Punta Canoas con una longitud de 770 metros aproximadamente (dato tomado de Google earth. 2008).

Al observar las diferentes imágenes de satélite (Spot, Landsat y Google entre otros) de diferentes años para los sectores relacionados, así como en el reconocimiento de campo, se pudo establecer un gran flujo de sedimentos en suspensión de aproximadamente 3.5 kilómetros a partir de la línea de costa actual (Off Shore); sin embargo la zona de rompientes no es amplia, lo cual se debe a la deflexión de línea de costa y la tendencia de la deriva litoral a seguir avanzando hacia el occidente

Según los datos obtenidos en campo, las pendientes de los frentes de playa fueron mayores en invierno, aspecto diferente a lo esperado. (Ver perfil 219 SIC utilizando la herramienta SIG ArcGis). El rango de pendiente en el frente de playa para los dos periodos osciló entre los 6 y los 9 grados.

La dirección de la línea de costa, oscilaron entre los 190 y 250 grados (azimut). No se observaron cambios significativos en la línea de costa en gran parte del sector.

En la evaluación de la erosión y la acreción con carácter micro temporal (año 2008), tomando como base la evaluación de los perfiles de playa tomados en las diferentes épocas climáticas, se establece erosión puntual hacia Morro Grande, Morro Medio y El Morrito (Ver perfiles 138, 141 y 221. Base de datos SIC). El crecimiento, se presentó en la espiga de Punta Canoas, siguiendo el patrón de crecimiento de la ahora denominada barra - espiga (Ver mapa No 13. Anexo y SIC)

La dirección predominante del viento en época seca fue hacia el SE en la mayor parte del sector; las tendencias de los vientos estuvieron entre los 190 y 250 grados (azimut) (Ver mapa No 4, SIC anexo aplicando la herramienta SIG ArcGis. Concordante con la dirección del viento, la dirección del oleaje en el verano, presentó una tendencia entre los 170 y los 180 grados (azimut) (Ver mapa No 7 SIC); las corrientes de deriva litoral en verano presentaron direcciones entre los 190 y los 200 grados (azimut) (Ver mapa No 8. SIC y anexo)

La dirección del viento para la época de invierno presentó tendencias entre los 170 y los 190 grados (azimut) al S, algo similares a las direcciones de verano (Ver mapa No 5 anexo, SIC, Utilizando como herramienta SIG Arc Gis).

Las direcciones del oleaje durante el invierno se comportaron en forma similar al verano con rangos entre los 175 y los 185 grados (azimut) (Ver mapa anexo)

No 7. SIC); las direcciones de las corrientes de deriva litoral para el invierno, determinaron un rango entre los 185 y los 210 grados (azimut - SW) en direcciones cercanas tangenciales a la línea de costa. (Ver mapa No 9 anexo. SIC) siguiendo la tendencia actual para los dos periodos.

El periodo de oleaje en invierno fue mayor que en el periodo de verano en las localidades de Morro Grande, Morro Medio Y El Morrito, con variaciones entre 7 y 8 segundos (ver perfiles 138 y 141 SIC y mapa No 10 anexo); no obstante en la barra - espiga de Punta Canoas, el periodo de oleaje fue mayor en el verano con rangos entre 5 y 6 segundos menores a los presentados para el periodo de invierno para la localidad. (Ver perfil 219 SIC).

La evaluación de la longitud de onda del oleaje correspondiente con los periodos de verano e invierno (mapa 11, SIC), mostró que siguiendo las características presentadas en el oleaje, su mayor amplitud se presentó durante el verano hacia la espiga de Punta Canoas (Ver perfil 219 en SIC) con rangos entre los 7 y 8 metros; sin embargo la longitud de onda del oleaje fue mayor en el invierno en sitios denominados como Morro Grande, Morro medio y Los Morritos con rangos entre 9 y 11 metros. (Ver mapa No 11 anexo y SIC utilizando herramienta SIG ArcGis).

La línea de agua establecida en campo para el periodo de invierno en relación con la medida en verano, estuvo por encima, aspecto relacionable con la cantidad de agua cercana a las zonas costeras característica del invierno (Ver Mapa No 14 anexo, perfiles 219, 138 y 141 SIC utilizando herramienta SIG ArcGIs).

Los materiales encontrados corresponden a arenas finas a medias, de color pardo oscuro a gris, con minerales ferruginosos, micas, líticos y muy baja proporción de calcáreos (Ver Mapa No 12 anexo y SIC). Al extremo sur del sector en estudio en cercanías a Morro Grande, Morro medio y El Morrito, el material se clasificó como de arena fina, de color pardo amarillento, con materiales ferruginosos en alta proporción, líticos, micas y muy baja proporción de calcáreos.

La Selección o Sorting, indicador de la forma en que se distribuyen los elementos de una población alrededor de un valor central, caracterizaron los sedimentos como bien seleccionados en este sector (Ver perfiles Nos 212, 138 y 141, Mapa 16 del SIC). Los sedimentos tienden hacia los finos en la barra – espiga de Punta Canoas. En los sitios denominados Morro Grande, Morro Medio y Los Morritos los materiales, igualmente se caracterizaron como muy asimétricos hacia los finos (Ver mapa 17, SIC).

Las zonas costeras de Arroyo de Piedra y cercanías a Punta Canoas el material se clasificó de acuerdo con la asimetría como muy asimétrico hacia los finos; En las playas adyacentes a Punta Canoas los sedimentos se presentaron como simétricos a casi simétricos. (Ver mapa No 17 y perfiles 138, 141, y 219 en el SIC utilizando como herramienta SIG ArcGis).

La agudeza o Curtosis, permite definir para este sector dos condiciones: Mesocúrtica en la costa adyacente a la flecha de Punta Canoas y muy platicúrtica hacia Morro Grande, Morro Medio y Los Morritos (Ver Mapa No 18 anexo y perfiles 138 y 219) Estos valores granulométricos permiten inferir algunas condiciones bajo las cuales se depositaron los sedimentos de la playa, los cuales corresponden a un ambiente de moderada a alta energía.

La evaluación de la frecuencia granulométrica, identificada para el sector permite definir dos rangos: Distribución Unimodal hacia Morro grande caracterizada por arenas de tamaño medio y Bimodal hacia las localidades de Punta Canoas y Los Morritos en donde el material predominante son las arenas de tamaño medio y arenas de tamaño fino. (Ver Mapa No 19 anexo y SIC)

#### **4.1.3.7. Sector 9**

Este sector, se encuentra entre Los Morritos en su extremo más al NE en donde comienza la zona costera de La Boquilla (corregimiento de Cartagena) y El Parque de La Marina, (frente a la Ciudad amurallada) en la Ciudad de Cartagena en el extremo SW. En sus inmediaciones se encuentran el Corregimiento de la Boquilla, las zonas costeras del Barrio Crespo, Marbella y la Ciudad amurallada en la Ciudad de Cartagena.

En este transecto de aproximadamente 11.8 kilómetros, se encuentran localizadas 23 obras de protección y acreción de sedimentos, las cuales se han discriminado de la siguiente manera: 12 rompeolas, 10 espolones y una bocana o espolón justo en la zona de intercambio de aguas entre la Ciénaga de Tesca y el Mar Caribe en cercanías a la pista del Aeropuerto Rafael Núñez de la Ciudad Cartagena.

A partir del Morrito y en una distancia de 650 m aproximadamente, se encuentra localizada la primera boca de intercambio de aguas entre El Mar Caribe y La Ciénaga de Tesca; y un (1) Km más al sur se localiza la boca principal de la Boquilla, donde se presentan deltas de reflujos de marea asociadas con barras litorales, de aproximadamente unos doscientos metros de longitud. Más al sur y a 4 kilómetros aproximadamente, se encuentra localizada la bocana, obra construida para facilitar el intercambio de aguas y descontaminar la ciénaga de Tesca a donde llega el 60% de las aguas negras de la ciudad.

Es de resaltar que en una distancia de 5.7 kilómetros, que va desde El Morrito hasta la Bocana, no se encuentra ninguna obra de protección antrópica visible, aun cuando en la actualidad, se está desarrollando desde el punto de vista urbanístico y hotelero intenso.

Este sector se considera una barra espiga, la cual ha ido progradando hacia el sector de la Boquilla, como se puede apreciar en el mapa-imagen Google en el que se han localizado las diferentes líneas de costa para las décadas de 1970, 1990 y 2007 y la línea de fotointerpretación de los años cincuenta. Esta geoforma separa la Ciénaga de Tesca y el Mar Caribe en una considerable extensión.

Las playas de la Boquilla, que no presentan ningún tipo de infraestructura de protección visible, generalmente oscilan entre los 700 m de amplitud. Mientras en sectores como el Barrio Crespo son del orden de 50 – 200 m.

Desde el Centro Vacacional de Confenalco, en la parte sur del Barrio Crespo, las playas presentan una serie de obras de protección (espolones) hasta el Parque de La Marina; éstos les han permitido tener amplitudes de playa que van desde 500 m aproximadamente, en el sector cercano a Confenalco, hasta 50 m en cercanía de la zona amurallada. Estas playas están protegidas por rompeolas, los cuales generan una especie de triángulos a arena de hasta 800 metros de largo por seiscientos metros de ancho.

Al observar las diferentes imágenes de satélite (Spot, Lansat y Google entre otros) de los diferentes años para los transectos relacionados, se pudo determinar que existe un considerable flujo de sedimentos en suspensión principalmente frente a La Boquilla en donde se observa un ancho de los sedimentos bordeando el sector costero de 2.4 km, hacia la Bocana el ancho corresponde con 1.2 km, y finalmente hacia las playas de Marbella la amplitud de la franja de sedimentos en suspensión corresponde es de 450 m aproximadamente. Tal situación marca la zona de sombra generada por la saliente localizada al norte de la Boquilla. Se consideran estas playas, como de tipo disipativo, con base en la amplitud de la zona de rompientes observada.

A partir de los sitios mencionados y hacia el sur en el Parque de La Marina, en el sector costero no se evidencian sedimentos en suspensión significativamente. Igualmente en el tramo (la Avenida San Martín), es donde donde los procesos de inestabilidad por acción del oleaje son mayores a pesar de los enrocados que sustentan la protección de la vía. Este tipo de playas se pueden considerar como de tipo intermedio.

En el análisis microtemporal (verano – invierno 2008) para el sector, se pudieron establecer las siguientes características de acuerdo con la toma directa de datos en campo y los análisis de laboratorio respectivos.

De acuerdo con las condiciones de la variación climática representada en el comportamiento en la zona de estudio, se establece que las pendientes de los frentes de playa fueron mayores en invierno, aspecto diferente a lo esperado, (Ver perfil 226, 224, 145 y 142 SIC utilizando la herramienta SIG ArcGis y mapa anexo No1). El rango de pendiente en el frente de playa para los dos periodos osciló entre los 2 y los 9 grados.

Fundamentados en los datos obtenidos, se pueden indicar cambios menores en esta línea de costa durante el verano, particularmente hacia las Playas de Marbella. (Ver perfiles 224 y 148 SIC y mapa No 2, SIC y anexo).

La evaluación de la erosión y la acreción con carácter microtemporal (año 2008), fundamentada en los datos obtenidos permiten indicar procesos erosivos locales en cercanías de la Bocana, Barrio Crespo y las playas Marbella (Ver perfiles 221, 223, 224 y 148 SIC utilizando Herramienta SIG ArcGIs. Los procesos de acrecimiento se documentan hacia la parte central del Corregimiento de La Boquilla, cercanías al Confenalco y en la zona que rodea la Ciudad amurallada (Ver perfiles 226, 149, 225, 147 y 142 SIC y Mapa No 13 anexo).

La dirección predominante del viento, se presentó de dos maneras: En el tramo correspondiente entre El Morrito y la Bocana, los vientos oscilaron en direcciones Ne y SE principalmente con direcciones que oscilaron entre los 40 y 170 grados (azimut). El tramo correspondiente entre la Bocana y El Parque de la Marina las direcciones predominantes concordaron hacia SW y los rangos oscilaron entre 190 y los 330 grados (azimut) (Ver mapa No 4, SIC anexo aplicando la herramienta SIG ArcGis). Esta variación se relaciona con la hora de toma de los datos.

La dirección del oleaje en el verano, presentó una tendencia entre los 170 y los 240 (azimut); no obstante el oleaje en el sector de la Boquilla presentó direcciones entre los 160 y los 180 grados (azimut). Las corrientes de deriva litoral en general para verano presentaron direcciones entre los 190 y los 265 grados (azimut); para el sector de La Boquilla tuvieron unas direcciones, entre 90 y 110 grados (azimut) (Ver mapa No 8. SIC y anexo).

La dirección del viento en el tramo El Morrito y la Bocana, se presentó hacia en NEe y SE principalmente con direcciones que oscilaron entre los 30 y 170 grados (azimut): El tramo correspondiente entre la Bocana y El Parque de la

Marina las direcciones predominantes concordaron hacia SW y los rangos oscilaron entre 190 y los 340 grados (azimut) (Ver mapa No 4, SIC anexo aplicando la herramienta SIG ArcGis). Esta variación se relaciona con la hora de toma de los datos.

Las direcciones del oleaje durante el invierno se comportaron en forma similar al verano con rangos entre los 190 y 210 grados (azimut) concordantes con la dirección del oleaje para el verano; las direcciones de las corrientes de deriva litoral para el invierno, determinaron un rango entre los 210 y los 290 grados (azimut - SW) en direcciones cercanas tangencialmente a la línea de costa. (Ver mapa No 9 anexo. SIC).

Con la medición del periodo del oleaje se establece, que el periodo de oleaje en verano fue en la mayor parte del sector, más alto que en el periodo para el invierno; los rangos estuvieron entre 3 y 7 segundos (ver SIC y mapa No 10 anexo).

La evaluación de la longitud de onda del oleaje mostró su mayor longitud en verano en el sector, aunque en algunos sectores puntuales como Marbella y Las Tenazas la longitud de onda del oleaje fue mayor en invierno (Ver perfiles 149 y 224 en SIC). El rango de la longitud de onda estuvo entre los 4 y los 10 metros.

La línea de agua para el periodo de invierno en relación con la medida en verano, estuvo por encima aspecto relacionable con la cantidad de agua cercana a las zonas costeras característica del invierno; no obstante, hacia el sector norte de La Boquilla la línea de agua en invierno estuvo por debajo de la línea de agua de verano.

Los materiales predominantes en el sector, corresponde a arena fina; sin embargo para los sectores del Parque La Marina y La ciudad amurallada el material predominante correspondió con arena media. Los materiales son arenas de color pardo oscuro a gris, con minerales ferruginosos, micas, líticos y muy baja proporción de calcáreos (Ver Mapa No 12 anexo y SIC).

La Selección o Sorting de los sedimentos se considera como bien seleccionados hacia el Corregimiento de La Boquilla; a partir de la Bocana y hacia el SW el material se clasificó como muy bien seleccionados (Ver perfiles en SIC y Mapa No 16 anexo y SIC).

La Asimetría o distribución espacial de la simetría (sesgo), permitió establecer que a lo largo de todo el sector costero se presentan materiales con tendencia hacia los gruesos; no obstante en algunos sitios intercalados del tramo de

estudio se presentan materiales clasificados como muy asimétricos hacia los finos. Este aspecto es considerado producto del carácter de la intervención antrópica continua de las playas, mediante obras de protección o manejo de materiales de las costas. (Ver mapa 17, SIC).

La agudeza o kurtosis en condiciones muy similares a las referidas en la Asimetría, presentan características diferentes a saber: Mesocúrtica en la costa adyacente al Corregimiento de La boquilla, Muy Platicúrtica a partir de La Bocana y hasta cercanías al Parque La Marina; y en este último lugar se clasifican Platicúrticos (Ver Mapa No 18 anexo y SIC utilizando herramienta SIG ArgGIS).

Estos valores granulométricos permiten inferir algunas condiciones bajo las cuales se depositaron los sedimentos de la playa; no obstante la intervención antrópica ha determinado en buena medida el perfil de equilibrio del sector costero.

La evaluación de la frecuencia granulométrica, para el sector presenta dos rangos de distribución Unimodal hacia el tramo comprendido entre Las Tenazas y el Parque de La Marina, predominando arena tamaño fino a medio y Bimodal hacia las localidades de Marbella y La Boquilla en donde predominan las arenas de tamaño fino (Ver Mapa No 19 anexo y SIC)

#### 4.1.3.8. Sector 10

Este sector está comprendido entre El Parque de La Marina, (frente a la Ciudad amurallada) en la Ciudad de Cartagena y la Punta de la Península de Castillo Grande en el SW. En sus inmediaciones se encuentran localizadas las playas de Bocagrande, la principal zona hotelera de la ciudad de Cartagena y áreas de alto desarrollo urbano y turístico.; justo al sur frente a las denominadas Playas del Hotel Hilton comienza la entrada norte a la Bahía de Cartagena cuyo acceso, se limitó en la antigüedad por una escollera cercana al Espolón Iribarren.

Dentro de este transecto de aproximadamente 6.9 kilómetros, se encuentran localizadas 36 obras de protección y acrecimiento de sedimentos que son visibles en imágenes de satélite, las cuales se han discriminado de la siguiente manera: 5 rompeolas y 31 espolones. Las obras presentan una separación entre 150 y 200 m en el sector de Bocagrande; mientras en Castillo grande, la separación es menor entre espolones y espolón.

Este sector es geomorfológicamente es considerado una espiga la cual está sustentada localmente en bajos arrecifales subactuales, como se evidencia en



los cambios de las diferentes líneas de costa para las décadas de 1970, 1990 y 2007.

La amplitud de las playas generalmente oscilan entre los 100 y los 200 m en sectores como Bocagrande y de 50 a 100 metros en el área de Castillo Grande. Al observar las diferentes imágenes de satélite (Spot, Lansat y Google entre otros) de los diferentes años para los transectos relacionados, así como en el reconocimiento de campo, se evidencia que no existe un considerable flujo de sedimentos en suspensión principalmente hacia la zona de Castillo Grande.

Las imágenes de satélite permiten observar que la pluma de sedimentos provenientes del Canal del Dique y desde la población de Pasacaballos, siguen un patrón de asentamientos hacia la zona del Club Naval y el Faro de acceso hacia el antiguo Muelle de Los Pegasos; aspecto relatado en varios documentos sobre el carácter coralino del fondo de la Bahía de Cartagena.

El análisis de la conformación de las playas de la zona de Bocagrande permiten clasificar preliminarmente estas playas como de tipo disipativo. Tal situación se evidencia por la abundancia de rompientes y la pendiente de la plataforma adyacente; mientras las playas de Castillo Grande corresponde con una caracterización de tipo intermedia.

En el análisis microtemporal (verano – invierno 2008) para el sector, se pudieron establecer las siguientes características de acuerdo con la toma directa de datos en campo y los análisis de laboratorio respectivos.

De acuerdo con las condiciones de la variación climática representada en el comportamiento en la zona de estudio, en el sector se observó que las pendientes de los frentes de playa fueron mayores en época húmeda, aspecto diferente a lo esperado. (Ver perfil 230, 233, 22 y 227 SIC utilizando la herramienta SIG ArcGis y mapa anexo No1. El rango de pendiente en el frente de playa para los dos periodos osciló entre los 3 y los 10 grados.

Fundamentado en los datos obtenidos se puede indicar que, se presentaron cambios en la línea de costa durante el invierno en el sector; sin embargo en la costa cercana al Hotel Caribe se presentaron cambios en las dos épocas climáticas (ver perfiles 230, 233, y 236 y Mapa No 2, SIC y anexo).

En la evaluación de la erosión y la acreción con carácter micro temporal (año 2008), permite establecer que la mayor parte del sector estuvo sometido a una erosión con algunas excepciones de acrecimiento en los perfiles 228 y 230, en

el sector de Castillo Grande. (Ver perfiles SIC utilizando Herramienta SIG ArcGis y Mapa No 13).

En la observación de las variables climáticas y oceanográficas para el sector, se estableció para la época de verano una dirección predominante del viento hacia el NW (direcciones entre 210 y los 300 grados azimut) en las playas de Bocagrande; las direcciones hacia el SE, se presentaron al norte de las Playas de Bocagrande con direcciones que oscilaron entre los 130 y los 180 grados (azimut).

La dirección del oleaje en el verano, presentó una tendencia entre los 200 y 320 grados (azimut) hacia el sector de Castillo Grande y el Laguito; hacia las playas de Bocagrande la dirección predominante del oleaje fue hacia el SE con rangos entre 110 y los 170 grados (azimut). Las corrientes de deriva litoral en verano presentaron direcciones entre los 240 y los 265 grados (azimut); los perfiles cercanos a la parte más al sur de Bocagrande presentaron direcciones de corrientes de deriva litoral entre 190 y 210 (azimut) (Ver mapa No 8. SIC y anexo).

La dirección del viento para la época de invierno indican tendencias en su mayoría hacia en NW, con algunos contrastes en donde la dirección del viento se presentó hacia el SE como al norte de Bocagrande (Ver mapa No 4, SIC anexo aplicando la herramienta SIG ArcGis). Esta variación se relaciona con la hora de toma de los datos.

Las direcciones del oleaje durante el invierno se comportaron en forma similar al verano con rangos entre los 200 y 290 grados (azimut) hacia Castillo Grande y rangos entre los 130 y los 180 hacia Bocagrande (Ver mapa No 7 SIC anexo). Las direcciones de las corrientes de deriva litoral para el invierno, determinaron un rango entre los 270 y los 330 grados (azimut – SW) en direcciones cercanas tangenciales a la línea de costa hacia Castillo Grande; los rangos de 190 a 260 grados (azimut), se presentaron hacia las Playas de Bocagrande, (Ver mapa No 9 anexo. SIC) siguiendo la tendencia actual para los dos periodos.

Se estableció que el periodo de oleaje fue mayor en verano en gran parte del sector, sin embargo la parte más al SW de Bocagrande el periodo fue mayor en invierno que en verano. Los rangos estuvieron entre 2 y 10 segundos (ver SIC y mapa No 10 anexo).

La evaluación de la longitud de onda del oleaje indican ser mayores durante la época seca en la mayor parte del sector (Ver perfiles 233 y 232 en SIC). El rango de la longitud de onda estuvo entre los 3 y los 12 metros.

La línea de agua para el periodo de invierno en relación con la medida en verano, estuvo por encima, aspecto correlacionable con la cantidad de agua cercana a las zonas costeras en época húmeda.

Los sedimentos en este sector son predominantemente arenas finas; sin embargo para los sectores al norte de Bocagrande el material fue caracterizado como arena media. En general son arenas de color pardo oscuro a gris, con minerales ferruginosos, micas, líticas y muy baja proporción de calcáreos, asociados a fragmentos de concha. (Ver Mapa No 12 anexo y SIC).

La Selección o Sorting, indicador de la forma como se distribuyen los elementos de una población alrededor de un valor central, caracterizaron los sedimentos como muy bien seleccionados hacia Bocagrande; Inmediatamente al sur del sector descrito y hasta el sector de Castillo Grande, el material fue descrito como Sedimento Bien Seleccionado (Ver perfiles en SIC y Mapa No 16 anexo y SIC).

La Asimetría o distribución espacial de la simetría (sesgo), permitió establecer que a lo largo de todo el sector costero se presentan materiales muy asimétricos hacia los finos; no obstante frente al Hotel Caribe la clasificación fue como muy Asimétricos Hacia Los gruesos. Este aspecto tiene que ver con el continuo retrabajamiento antrópico de las playas generalmente alimentadas con material traído de otras partes. (Ver mapa 17, SIC).

La agudeza o kurtosis en condiciones muy similares a las referidas en la Asimetría, permitió definir un rango general que presenta dos condiciones (2) a saber: Muy Platicúrtica en la mayoría del sector y Extremadamente leptocúrtica hacia la parte extrema del Castillo Grande (Ver Mapa No 18 anexo y SIC utilizando herramienta SIG ArgGIS).

Estos valores granulométricos pueden inferir algunas condiciones bajo las cuales se depositaron los sedimentos de la playa; no obstante la intervención antrópica ha determinado en buena medida el perfil de equilibrio del sector costero.

La evaluación de la frecuencia granulométrica, identificada para el sector permite establecer dos rangos de distribución de los sedimentos: Uno Unimodal hacia el tramo comprendido entre La Parte sur de las Playas de Bocagrande y el extremo SE de Castillo Grande en donde priman las arenas finas; y otro Bimodal que corresponde con arenas de grano fino y arenas de grano medio se localizan principalmente en las playas de Bocagrande, posiblemente por la intervención antrópica (Ver Mapa No 19 anexo y SIC).

#### 4.1.3.9. Sector 11)

Este sector se encuentra ubicado al SE de Castillogrande y al sur de la Isla de Barú; corresponde con la denominada Isla de Tierra Bomba con área de 19.9 Km<sup>2</sup>, donde se encuentran cuatro corregimientos a saber: Punta Arena, Caño del Oro, Bocachica y Tierrabomba.

La isla desde el punto de vista Morfológico presenta unidades de origen costero y estructural como plataformas de abrasión elevadas, espigas, lagunas costeras y cuevas, desarrolladas sobre rocas Terciarias.

En el análisis de este transecto de aproximadamente 11 kilómetros, se determinaron tramos de estudio a saber 6.9 km en el sector norte de la Isla, 2 Km en Caño del Oro y 2.2 km, hacia la población de Bocachica (Ver SIC)

Dentro de la isla se encuentra obras de protección costera artesanales predominantemente con muy bajo nivel de efectividad, por la falta de sedimentos. En algunos sitios puntuales, estas obras han generado procesos erosivos en detrimento del equilibrio de las costas de la isla.

La gran mayoría de los materiales asociados a las playas son de tipo coralino con algunas excepciones presentadas en el sector oriental de la isla cuyos sedimentos de origen detrítico provienen del río Magdalena y locales aportes del Canal del Dique.

La mayoría de las playas en el sector presentan una amplitud promedio de 2 a 6 m; no obstante se han generado playas antrópicamente en la parte norte de la isla. A manera ejemplo de la incidencia del espolón construido, el cual en dirección al SE genera erosión por déficit de sedimentos. Lo cual en sectores más alejados han ocasionado la afectación de algunas viviendas del sector (Figuras 34 y 35).

Al observar las diferentes imágenes de satélite (Spot, Landsat y Google entre otros), se puede establecer un flujo constante de sedimentos en suspensión principalmente hacia la zona suroriental de la Isla, como producto del aporte de sedimentos del Canal del Dique

En el análisis de acuerdo a la conformación de las playas en se presentan como de tipo intermedio manifestada en el número menor de rompientes, la amplitud y pendiente de la plataforma adyacente al sector.

El análisis micro temporal (verano – invierno 2008) para el sector, se pudieron establecer las siguientes características:

Las pendientes de los frentes de playa fueron mayores o iguales en invierno que en el verano, aspecto diferente a lo esperado. (Ver perfil 24, 156, 157, 155 SIC utilizando la herramienta SIG ArcGis y mapa anexo No1). El rango de pendiente en el frente de playa para los dos periodos osciló entre los 5 y los 10 grados.

Las direcciones de la línea de costa, oscilaron entre los 230 y los 301 grados (azimut) en las dos épocas del año.

La mayor parte del sector estuvo sometido a erosión como se muestra en los perfiles 24, 159, 152, 154, 155, 156, 157 y 158 del sector norte de la Isla. (Ver perfiles SIC utilizando Herramienta SIG ArcGIs y Mapa No 13).

La observación de las variables climáticas y oceanográficas para el sector, permitieron establecer para la época de verano, direcciones predominantes del viento hacia el S y el SW con rangos entre 140 y los 250 grados (azimut) (Ver mapa No 4 anexo y SIC).

Las direcciones del oleaje en el verano, presentaron tendencias entre los 95 y los 170 grados (azimut) en el sector (Ver Mapa No 6 anexo y SIC). Las corrientes de deriva litoral en verano se movieron en direcciones entre los 80 y los 95 grados (azimut) en el sector nororiental NE de la isla (Ver perfiles 152 y 159 entre otros SIC). En el sector NW la isla, las direcciones de las corrientes de deriva litoral corresponden con rangos de 250 a 270 grados (azimut) (Ver mapa No 8. SIC y anexo).



**Figura 34.** Efectos erosivos de espolones, Sector norte de la Isla de Tierra Bomba.



**Figura 35.** Efectos de la erosión generada por deficiencia de sedimentos en el sector SE del norte de la isla de Tierrabomba. Sitio cercano al Hotel Las Tres Banderas.

Para la época de invierno la dirección del viento estuvo dentro del rango entre los 170 y los 220 grados (azimut), básicamente hacia el S y SW (Ver mapa No 5, SIC anexo aplicando la herramienta SIG ArcGis). Estas variaciones están relacionadas con la hora de toma de los datos.

Las direcciones del oleaje durante el invierno se presentaron en rangos entre los 175 y 230 grados (azimut), en el sector norte de la isla de Tierra Bomba (Ver mapa No 7 anexo y SIC perfiles 152, 159 y 24). Las corrientes de deriva litoral en el invierno presentaron direcciones entre los 95 y los 110 grados (azimut) hacia el sector NE de la isla (Ver perfiles 159 y 154 entre otros SIC y Mapa No 9 anexo). En el NW de la isla las direcciones de las corrientes de deriva litoral corresponden con rangos de 250 a 270 grados (azimut) en forma similar al comportamiento en el verano (Ver perfil No 24 SIC).

El periodo de oleaje fue mayor en verano que en el invierno, haciendo énfasis en el sector norte de la Isla de Tierra Bomba. Los rangos estuvieron entre 2 y 8 segundos (ver SIC y mapa No 10 anexo).

La evaluación de la longitud de onda del oleaje correspondiente con los periodos de verano e invierno (Ver mapa No 11, SIC utilizando herramienta SIG ArcGis), indican una mayor longitud durante el verano, en la mayor parte del sector (Ver perfiles 152, 154, 155, 158, y 24 en SIC). El rango de la longitud de onda estuvo entre los 4 y los 7 metros.

La línea de agua para el periodo de invierno en relación con la medida en verano, estuvo por encima aspecto correlacionable con la cantidad de agua cercana a las zonas costeras característica del invierno; no obstante en la línea de costa NW del la Isla, el nivel de la línea de agua se comportó contrariamente. (Ver perfil No 24 SIC)

La descripción macroscópica de los sedimentos en la isla de Tierrabomba, permite diferenciar tres tipos de materiales predominantes: arena media hacia la población de Tierra Bomba; arena gruesa hacia el NE de la Isla con algunos sectores con abundancia de gravas. Esta situación se da por la erosión de antiguos arrecifes coralinos. Los materiales encontrados son arenas de color amarillo claro a gris claro de origen coralino principalmente (Ver mapa No 12 anexo y SIC).

El análisis granulométrico permitió establecer que la determinación de la mediana o Phi de 50% (energía cinética media del agente de transporte) de la distribución de las partículas corresponde con sedimentos bien seleccionado, particularmente en las playas del sector norte de la isla. Sin embargo la presencia de fragmentos de coral y fragmentos de concha mezclados con el

sedimento, le confieren a los sedimentos una a muy mala selección (Ver perfil 154 SIC y mapa No 15).

La Asimetría o distribución espacial de la simetría (sesgo), permitió establecer que a lo largo de todo el sector costero se presentan materiales Simétricos o Casi Simétricos; no obstante en los lugares caracterizados como playas con gravas la clasificación correspondió con materiales Asimétricos hacia los gruesos. (Ver mapa 17, SIC).

La agudeza o Kurtosis en condiciones muy similares a las referidas en la Asimetría, permitió definir tres (3) condiciones a saber: Mesocúrtica, hacia la parte norte de la Isla de Tierrabomba (Ver perfiles 155 y 159 Mapa No 18 y SIC), Muy Platicúrtica, hacia los lugares en donde el material predominante fueron las gravas y Platicúrtica hacia el sector NE de la Isla (Ver perfil 152 SIC).

La evaluación de la frecuencia granulométrica, evidencia tres rangos de distribución para el sector: Distribución Unimodal en las cercanías al extremo nororiental de la Isla; Distribución Bimodal correspondiente con arenas de grano fino y arenas de grano fino a medio localizadas en cercanías a la población de Tierrabomba y un Distribución Polimodal en cercanías a la población de caño del Oro.

#### 4.1.3.10. Sector 12

El sector está ubicado al extremo sur de la zona de estudio y corresponde con la denominada Isla de Barú. Su localización se referencia entre la Isla Abanico al extremo NE y la Punta Barú en su extremo más al SW. Entre los sitios en referencia, se encuentran en este transecto, La Ciénaga de los Vásquez; Punta Gigante, Isla Barú, Playa Blanca, Cholón Barú, Cholón, Sunset, Puerto Naito y el Hotel Isla del Encanto entre otros.

El sector de la Isla de Barú hace parte de antiguas terrazas marinas y plataformas de abrasión elevadas, limitadas por acantilados de 3 - 20 m de altura, desarrollados en rocas de la formación Popa de edad Pleistoceno Inferior. Igualmente en la zona se desarrollan lagunas costeras bordeadas de planos de manglar.

Dentro de este transecto de aproximadamente 32.15 kilómetros, no se encuentran obras de protección significativas que incidan en el comportamiento de los sedimentos dentro del perfil de equilibrio de la costa. Dado el carácter rocoso de la línea de costa, no se evidencian cambios significativos en la misma, tal y como se pudo comprobar en las líneas de costa de las décadas de 1970, 1990 y 2007 y la línea de fotointerpretación de los años cincuenta.



Al observar las diferentes imágenes de satélite (Spot, Landsat y Google entre otros) de los diferentes años para los transectos relacionados, así como en el reconocimiento de campo, se ha podido determinar, bajo flujo de sedimentos y una amplitud de arrecifes de barrera y costeros, entre 50 m en sector NE del área de estudio hasta los 1500 m, hacia los Cholones Barú y Sunset, en la parte central de la Isla de Barú en cercanías al Islote de Periquillo. De manera similar las imágenes permitieron observar que la pluma considerable de sedimentos provenientes del Canal del Dique en los denominados Caños Matunilla y Lequerica entregan sedimentos en gran proporción a la Bahía de Barbacoas, siguiendo un patrón de depositación hacia la Ciénaga de Mohan.

En el análisis de acuerdo a la conformación de las playas, la zona de la Isla de Barú presenta playas de tipo reflectivo en lugares cuya línea de costa está configurada por acantilados hacia el NE del área de estudio, e intermedio en el resto del sector de acuerdo con el número de rompientes evidenciadas y la conformación de la plataforma continental adyacente.

El análisis micro temporal (verano – invierno 2008) para el sector, permitió establecer las siguientes características, de acuerdo con la toma directa de datos en campo y los análisis de laboratorio respectivos.

Las pendientes de los frentes de playa fueron mayores o iguales, tanto en invierno como verano, lo cual es congruente con los aportes de sedimento producto predominantemente de la erosión de los acantilados cercanos. Las pendientes de los frentes de playa para los dos periodos osciló entre los 4 y los 13 grados.

La dirección de la línea de costa, varió entre los 100 y los 210 grados (azimut) con diferencia de la Punta Barú en donde la dirección se presentó sobre los 130 grados).

En la evaluación de la erosión y la acreción con carácter micro temporal (año 2008), tomando como base la evaluación de los perfiles de playa tomados en las diferentes épocas climáticas, se observó que la mayor parte del sector estuvo sometido a erosión (Perfiles 15, 11, 8, 5, 6 y 7; a excepción del perfil más al sur del sector, en la Punta Barú, donde se presentó acrecimiento (Ver perfiles SIC utilizando Herramienta SIG ArcGIS y mapa No 13).

La observación de las variables climáticas y oceanográficas para el sector, indican para la época de verano, direcciones predominantes del viento hacia el sur variables entre 180 y 190 grados (azimut) (Ver mapa No 4 anexo y SIC).

Las direcciones de crestas del oleaje en el verano, presentaron tendencias entre los 170 y los 180 grados (azimut) en el sector (Ver Mapa No 6 anexo y SIC). Las corrientes de deriva litoral en verano presentaron direcciones entre los 220 y los 240 grados (azimut) en la mayoría del transecto de estudio (Ver perfiles 7 y 8 entre otros en SIC. Hacia la parte SW de la isla en Punta Barú, las direcciones de las corrientes de deriva litoral corresponden con rangos de 110 a los 120 grados (azimut) (Ver mapa No 8. Anexo y SIC).

El periodo de oleaje fue mayor en verano que en el invierno para el sector de estudio. Los rangos estuvieron entre 4 y 8 segundos (ver SIC y mapa No 10 anexo).

La evaluación de la longitud de onda del oleaje correspondiente con los periodos de época seca y húmeda (Ver mapa No 11, SIC utilizando herramienta SIG ArcGis), indica para la época seca de verano, mayor longitud de onda con respecto a la época húmeda de invierno en la mayor parte del sector (Perfiles 7, 8, 11, 15). El periodo varió entre 3 y los 8 m; sin embargo hacia Punta Barú el comportamiento determinó que la longitud de onda fue mayor en el invierno con rangos entre los 4 y los 7 m.

La línea de agua para el periodo de invierno en relación con la medida en verano, estuvo por encima aspecto correlacionable con la cantidad de agua cercana a las zonas costeras característica del invierno.

La caracterización macroscópica de los sedimentos en este sector, corresponden a Arena media hacia la parte norte del sector y Punta Barú; mientras hacia el Cholón Barú la son Arenas Media Gruesa (Ver perfiles 7 y 8 SIC y Mapa No 12 anexo). Esta clasificación es característica de materiales procedentes de antiguos arrecifes coralinos, rocas arrecifales y calcáreos recientes. Los materiales son arenas de color amarillo claro a gris claro de origen coralino principalmente.

El análisis granulométrico permitió establecer que la determinación de la mediana o Phi de 50% (energía cinética media del agente de transporte) de la distribución de las partículas corresponde con un Material Bien seleccionado en la parte sur de Punta Barú; hacia el Cholón de Barú el material se clasificó como moderadamente seleccionado (Ver perfiles 7 y 8 SIC); en el perfil 15 al NE del sector el material se presentó mal clasificado, dada su posición cercana a acantilados (Ver Mapa No 15).

La Asimetría o distribución espacial de la simetría (sesgo), permitió establecer que hacia la parte central y norte del sector los materiales se clasificaron como Asimétricos hacia los Finos; en el transecto entre el Cholón de Barú y la Punta

Barú al occidente; los materiales se clasificaron como Muy Asimétricos hacia los gruesos y en la Punta Barú los sedimentos se determinaron como Simétricos a Casi Simétricos, ver (Ver mapa No 17, SIC).

En el análisis de la agudeza o Kurtosis, se definieron tres (3) condiciones a saber: Mesocúrtica, hacia la parte sur en Punta Barú (ver perfiles 4, 6 y 11 SIC y Mapa No 18 anexo), Muy Platicúrtica, Como dato significativo en el sector central de la Punta Barú y Leptocúrtica hacia la parte norte del área de estudio y sur del la Isla de barú (ver perfiles 7, 8 y 15 del SIC)

Se definieron tres rangos de distribución de sedimento para el sector así: Distribución Unimodal hacia la Punta barú en cercanías al Hotel y al Norte del Cholón Barú (perfiles 11 y 4 Mapa No 19 Anexo); Distribución Bimodal hacia Punta barú, Cholón Barú y extremo NE del sector (Perfiles 15, 5, 6 y 8 SIC) y Distribución Polimodal en el extremo SW del sector (Perfil 7). Esta caracterización es típica en playas de origen coralino.

## **5. CONCLUSIONES**

- Las playas de mayor estabilidad en el largo plazo son las que tienen dirección aproximada de N60E a este-oeste. Esto se debe a que presentan una menor deriva litoral por ser aproximadamente paralelas al oleaje proveniente del norte, sin embargo es importante aclarar que en estos sectores la erosión depende de la energía del oleaje, lo cual puede generar migración de las barras barrera, formación de deltas de sobrelavado de playas y colmatación local de lagunas costeras.
- En contraste, las costas alineadas en dirección norte-sur, están sujetas a una alta tasa de transporte de sedimento. En el caso de que haya suficiente sedimentos en el medio y un obstáculo (saliente) difractor del oleaje, suelen formarse espigas asociadas con barras litorales. De hecho en la región se presentan procesos de acrecimiento significativos por la mayor cantidad de sedimentos provenientes del río Magdalena, lo cual se ha dado por la presencia de barras frontales en su desembocadura, que impiden el tránsito de sedimentos hacia zonas abisales.
- Es así como en los sectores de Pueblo Nuevo, Arroyo de Piedra y Punta Canoas, es evidente la sedimentación que ha ocurrido desde la década los cincuenta hasta la actualidad, al parecer asociada a un aumento del material en suspensión proveniente del continente.
- Entre los meses de mayo y noviembre de 2008, los perfiles de playa evidenciaron el transporte de sedimentos de la zona supralitoral (subareal) a la zona litoral y un aumento en la pendiente del frente de playa.
- Es reconocido que la extracción de material de playa tiene un efecto acumulativo sobre el balance sedimentario de las playas. En el área de estudio se identificó este tipo de práctica en los poblados de Pueblo Nuevo, Tierra Bomba, y en el pasado en Manzanillo del Mar, lo cual ha significado

un volumen importante de pérdidas en el balance sedimentario de la zona de estudio.

- En el sector de Pueblo Nuevo es de esperarse que en el mediano plazo continúen los procesos de acrecimiento en la espiga que se ha formado frente al poblado. No obstante, pueden ocurrir episodios temporales que rompan esta geoforma y que generen erosión en el corto plazo.
- Los acantilados presentes en la zona están compuestos por arcillolitas y lodolitas de baja cohesión, con un ángulo de fricción interna bajo, baja densidad, y con taludes donde se presentan procesos de carcavamiento. El manejo inadecuado de las aguas residuales o la instalación de infraestructura sobre ellos, acelera el proceso natural de retroceso e los acantilados, particularmente, en algunos sectores de Galerazamba y Tierra Bomba.
- La presencia de parches aislado de coral ha contribuido a la formación de Isla Arena y Cayo Ratones. Esta última, en la actualidad constituida en un tómbolo que se formó en los últimos cincuenta años y que implicó tasas de acreción de hasta 27m/año, ha sido determinante en los cambios en la dinámica costera del área. El tómbolo en sí ha conformado un rompeolas natural que ha contribuido a la acelerada acreción de las playas en dirección hacia Palmarito.
- Los aportes del río Magdalena sumados a la erosión por acantilados y algunos parches aislados de material arrecifal, proporcionan una buena disponibilidad de sedimentos en el tramo de costa Galerazamba-Bocagrande. Los problemas erosivos presentes en la zona están asociados, predominantemente a la ocurrencia de eventos de alta energía. Igualmente, los cambios en las características batimétricas de la plataforma cercana posiblemente por diapirismo de lodos, inciden en la localización local de procesos erosivos sobre la línea de costa. También las prácticas inadecuadas sobre el litoral como la extracción de arena de las playas, mal diseño de estructuras, construcciones sobre las playas traseras, destrucción de dunas y modificación del perfil natural de playa, han jugado un papel importante en el retroceso de la línea de costa.
- Como consecuencia del incremento de las urbanizaciones en la zona costera, se encontró una tendencia en el aumento de la instalación de estructuras de protección (i.e. rip-rap al sur de cerro Púa y espolones en

Tierra Bomba). Dada la fuerte deriva litoral en dirección N-S a SW, la presencia de cualquier estructura artificial que obstaculice el paso de los sedimentos, va a producir ganancia de sedimentos al norte de la estructura y déficit al sur de la misma. Esta circunstancia, irá en detrimento de las playas ubicadas deriva debajo de las estructuras perpendiculares a la playa.

- Las fuentes de sedimentos de la isla de Tierra Bomba son restringidas y provienen de la erosión de acantilados de origen arrecifal y parcialmente provenientes del río Magdalena y del canal del Dique. El carácter erosivo que predomina en el costo norte y noreste de Tierra Bomba, obliga a que se tomen medidas como reubicación de viviendas o un plan de generación de playas, acompañadas de rellenos antrópicos.
- Durante el desarrollo del presente trabajo se elaboró una base de datos con la información obtenida de los perfiles de playa, la cual se diseñó para ser visualizada en ARCGIS. Este sistema proporciona información de las características topográficas de los perfiles, fotos tomadas durante la toma de datos, características granulométricas de los sedimentos entre otros factores analizados.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- AFANADOR, F., TORRES, R. R., GÓMEZ, J. C. Y GUTIÉRREZ, J. C. 2006. Lidar y fotografía aérea digital en la determinación del impacto del aumento en la elevación del nivel medio del mar en el sector de La Boquilla, Cartagena de Indias; Caribe colombiano. Boletín Científico CIOH 24: 94-106.
- ANDRADE, C., YVES, T., LONIN, S., PARRA, C., MENANTEAU, L., BARRERA, RODOLFO., 2001. Geología de las planchas 16 – 17 Galerazamba y Barranquilla. Plancha escala 1: 100.000 con Memoria explicativa INGEOMINAS. 54 p. Bogotá.
- CARDIQUE., 2005.
- CARVAJAL JOSÉ HENRY 1992 a Características sedimentológicas de la plataforma continental frente a Galerazamba. Informe 2173 INGEOMINAS Cartagena de Indias.
- CARVAJAL JOSÉ HENRY, 1999. Características de la erupción del volcán de lodo Los Olivos en Pueblo Nuevo – Santa Catalina, departamento de Bolívar. Informe de atención de emergencia. INGEOMINAS, inédito.20 p. Cartagena Colombia.
- CARVAJAL, J. H. Y PEREZ, F. 1993. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe colombiano. Sector La Boquilla-Bahía Barbacoas. INGEOMINAS, 125 pp.
- CARVAJAL, JOSÉ HENRY., 2001. Amenazas geológicas asociadas al volcanismo de lodos. Memorias del VIII Congreso Colombiano de Geología. CD aparte de Volcanes. 15 páginas. Manizales.
- CARVAJAL J H, MENDIVELSO D, FORERO H, CASTIBLANCO C, PINZÓN L Y PRADA M., 2010. Investigación del diapirismo de lodos y evolución costera del Caribe Colombiano. Geomorfología Sector 1. 207 p. Informe INGEOMINAS inédito. Bogotá

- CORREA IVÁN DARÍO., 1984. Variaciones históricas de la línea de costa entre La Boquilla y la Punta de la Garita en el periodo 1947 – 1983/1984. Informe Inédito. INGEOMINAS. 20 p. Cartagena.
- CORREA, IVAN DARIO., 1991. Inventario de erosión y acreción litoral (1793-1990) entre los Morros y Galerazamba. Departamento de Bolívar, Colombia. AGID report No 13:129-142.
- DE PORTA, J. Y DE PORTA, N. S. 1960. El Cuaternario marino de la isla de Tierra Bomba (Bolívar). Boletín de Geología 4: 19-44.
- DUQUE HERMMAN., 1979. Geotectónica y evolución de la región noroccidental Colombiana. INGEOMINAS. Boletín Geológico (S. L). Vol 23, N° 3. P 1 – 80. Bogotá.
- DUQUE HERMMAN 1984. Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú - San Jacinto en el Noroccidente de Colombia. Boletín Geológico INGEOMINAS vol. 27 No.2 pp.1-29 Bogotá.
- DEAN R. G. Y DALRYMPLE, R. A. 2002. Coastal processes with engineering applications. Cambridge University Press, 475 pp.
- FRANCO, JOSÉ VICENTE 1996. Aproximación geológica - geofísica al fenómeno diapírico en el sureste de la ciudad de Cartagena de Indias. Informe inédito INGEOMINAS 83 p. Cartagena de Indias. Colombia.
- GOOGLE EARTH., 2007 y 2010. Imagenes Google Earth. Google earth.com
- HSU, T. W., LIN, T. Y. Y TSENG, F. 2007. Human impact on coastal erosion in Taiwan. Journal of coastal research 23 (4): 961-973.
- IMBACHI, O. L. 2008. Estudio multitemporal (1947-2008) de la evolución dinámica de la línea de costa en el corregimiento de Pueblo Nuevo, Municipio de Santa Catalina (Bolívar). Tesis Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogotá, 102 pp.
- MANTILLA, A. M., GENTZSCH, J., KLEY, J. Y PAVA, C. A. 2009. Configuration of the Colombian Caribbean margin: Constraints from 2D seismic reflection data and potential field's interpretation. En: S. Lallemand y F. Funicello (ed.). Subduction Zone Geodynamics, pp 247-271. Springer-Verlag, Berlin.



- MARTINEZ JAIME ORLANDO., 1993. Geomorfología y Amenazas geológicas de la línea de costa del Caribe Central Colombiano. INGEOMINAS. Publicación Geológica especial N°19. 62 p. Bogotá.
- MOLINA, L. E. 1994. Informe síntesis monitoreo de las playas de Cartagena (septiembre de 1992-noviembre de 1993). INGEOMINAS, Cartagena, 21 pp.
- MOLINA L, PEREZ F, MARTINEZ J, GONZALEZ L, MARIN L, Y CARVAJAL J., 1996. Atlas de geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe Colombiano. INGEOMINAS, Publicación geológica especial N° 21. Mapas del litoral escala 1: 100.000. Bogotá.
- ORDOÑEZ A, CAMILO IVAN. 2008. Controle neotectónico de diapirismo de lama na regio de Cartagena, Colombia. Tesis de maestría presentada a la Universidad Federal Fluminense, Área de Geología y geofísica marina. 208 p. Brasil.
- PARRADO, A. M. 2006. Evolución de la flecha de Galerazamba y sus implicaciones ambientales. Senderos Ambientales Vol. 1 (1):9-17.
- PETHICK, J. 1984. AN INTRODUCTION TO COASTAL GEOMORPHOLOGY. EDWARD ARNOLD, LONDON, 260 PP.
- POSADA, P., BLANCA OLIVA Y HENAO P., WILLIAM 2008. Diagnostico de la erosión en la zona costera del Caribe Colombiano. INVEMAR, Serie de publicaciones Especiales N° 13, 124 p. Santa Marta.
- RAMIREZ, JESUS E., 1959. El volcán submarino de Galerazamba. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas y Naturales. Vol X, N° 41. Bogotá. Colombia.
- REYES, G. Y CLAVIJO, J., 1996. Geología estructural de los cinturones de San Jacinto y Sinú norte. VII Congreso Colombiano de Geología. INGEOMINAS Santa fe de Bogotá.
- REYES, G. A., GUZMAN, G., BARBOSA, G. & ZAPATA, G. 1999. Geología de las Planchas 23, Cartagena y 29-30, Arjona. Informe técnico INGEOMINAS: 1-96. Bogotá D. C.
- THIELER, E. R. Y DANFORTH, W. W. 1993. Historical Shoreline Changes in Puerto Rico, 1901-1987. Open File Report 93-574 U. S. Geological Survey, pp. 1-13.



TORRES, F., GÓMEZ, J. C. Y AFANADOR, F. 2006. Variación del nivel medio del mar en el Caribe colombiano. Boletín Científico CIOH 24: 64-72.

VERNETTE, G., BUITRAGO, J., CAMPOS, N. Y LLANO, M. 1977. Variaciones morfológicas de las costas de la bahía de Cartagena. Boletín científico CIOH 1: 21-40.

VERNETTE GEORGE., 1985 La plateforme Continentale Caraibe de Colombie. Importance du diapirisme argeliaux Sur la Morphologie et la Sedimentation 387 p. These de doctorat Universidad Bordeaux. Francia.