



INVEMAR

**“ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA
VARIACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA EN LA REGIÓN COSTERA
COMPRENDIDA ENTRE PUNTA BRAVA Y PUNTA BETÍN, PROVINCIA
GEOTECTÓNICA DE SANTA MARTA”**

VICTOR HUGO VARGAS TONCEL

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – INVEMAR

FACULTAD DE FÍSICO-QUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2006

**“ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA
VARIACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA EN LA REGIÓN COSTERA
COMPRENDIDA ENTRE PUNTA BRAVA Y PUNTA BETÍN, PROVINCIA
GEOTECTÓNICA DE SANTA MARTA”**

VICTOR HUGO VARGAS TONCEL

Trabajo de Grado como requisito parcial para optar al título de Geólogo

Director

Geólogo Eliécer Uribe Portilla

Coodirector

Geólogo Msc Carlos Alberto Ríos Reyes

En colaboración con:

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS

“José Benito Vives D’ Andreis” – INVEMAR

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – INVEMAR

FACULTAD FISCOQUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

2006

Dedicatoria

Todos los caminos tienen su principio y su final.....

Que DIOS bendiga este final y el comienzo de un nuevo caminar en mi vida....

Es necesario muchas veces señalar cómo se ha pensado en el pasado lo que hoy nosotros pensamos de otro modo. O simplemente no pensamos.

Quiero dedicar este trabajo a todos los que junto conmigo lo han hecho realidad...

A Dios porque gracias a él soy lo que soy.

A mi madre Neris María y mi hermana Angélica María las cuales se convirtieron en mi principal apoyo y bastión importante para la culminación de este logro.

A mi reina preciosa, Anubis por aparecer cuando más la necesitaba, por todo lo que me ha brindado y la alegría que aporta a mi vida, siempre te querré.

A mis amigos y las personas que en algún momento me ofrecieron el aliento para poder realizar el gran sueño de ser profesional.

Víctor Hugo Vargas Toncel

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

A Dios por darme vida, salud y ganas de seguir adelante sin importar los tropiezos.

Quiero agradecer a la Universidad Industrial de Santander y al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives D’ Andreis” (INVEMAR), en cabeza del Capitán de Navío Francisco Arias, entidades que brindaron el soporte logístico para el desarrollo del trabajo de campo, el cual estuvo acompañado de muestreo sistemático y documentación de los sitios de mayor interés. También expreso mi gratitud a los estudiantes de Geología de la Universidad Industrial de Santander de Campo II y III (2005), quienes participaron con gran entusiasmo y dedicación en cada una de las actividades de campo programadas por la Escuela de Geología, y gracias a quienes fue posible recolectar un importante material de interés científico.

También se agradece a las Geólogas Georgina Guzmán y Blanca Oliva Posada quienes ayudaron con constructivos comentarios y discusiones.

Al Geólogo Eliécer Uribe Portilla por la dirección del proyecto y su ayuda sin importar los inconvenientes.

Al Geólogo Msc Carlos Alberto Ríos Reyes por todo su apoyo, información y coodirección de este proyecto de grado y el interés que mostró siempre por seguir adelante con esta meta.

A los Geólogos Francisco Pérez Cúbides y Nelson Rangel por su apoyo desinteresado y por todas sus enseñanzas, dedicación, amistad y tolerancia.

En Inveemar por su gran colaboración a Paola Reyes, Sonia Chacón, Juan Carlos Diez, Dr Guillermo Díaz, Andrés Martínez, Johana, Adriana Gracia y Henry.

A Corpamag encabezada por el Dr Orlando Cabrera por la información suministrada.

A la Universidad Industrial de Santander por el conocimiento brindado durante estos seis años, que gracias a profesores como: Marcos Álvarez, Mario García, Jairo Clavijo, Juan Diego Colegial, Carlos García, Ricardo Mier, Víctor Caballero, Eliécer Uribe, Carlos Ríos entre los otros mencionados, me gusta la geología cada día más.

A los evaluadores por la lectura crítica, así como a las personas y entidades por el soporte brindado.

A la gente que estuvo conmigo en Bucaramanga y en Santa Marta y a mis amigos en especial: Anubis Peña, Javier Navarro, Aldemar Castillo, Leonardo Olarte, Erwin Ferreira, Sulay Sepúlveda, Julia Coronell, Leidy Niz, Viviana Vega, Mauricio Cáceres, Alejandro Pastrana, Edison Mora, Luís Carlos Barraza, Juan Pablo Sequera, Hafid Hurtado, Jose Pedro Mora, Yazmín Pelayo, Jorge Meza, Julián Vargas, Alba Rocío Castro, y los demás futuros colegas.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCION..... | 1 |
| ESTADO DEL ARTE..... | 3 |
| | |
| 1. GENERALIDADES DE LA ZONA COSTERA COMPRENDIDA ENTRE PUNTA BRAVA Y PUNTA BETIN..... | 6 |
| 1.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO..... | 6 |
| 1.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA REGIÓN..... | 7 |
| 1.3. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DE LA REGIÓN..... | 8 |
| 1.3.1. Corrientes..... | 9 |
| 1.3.1. Oleajes..... | 11 |
| 1.3.3. Mareas..... | 12 |
| 1.4. HIDROGRAFÍA..... | 12 |
| | |
| 2. METODOLOGÍA..... | 15 |
| 2.1. COMPILACION Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN..... | 15 |
| 2.2. TRABAJO DE CAMPO..... | 15 |
| 2.2.1. Reconocimiento del Área de estudio..... | 16 |
| 2.2.2. Cartografía geológica y geomorfológica..... | 16 |
| 2.2.3. Toma de Datos Hidrodinámicos..... | 17 |
| 2.2.4. Muestreo Sedimentológico..... | 17 |
| 2.2.5. Geomorfología, Geología y uso actual del suelo..... | 17 |
| 2.3. TRABAJO DE LABORATORIO..... | 18 |
| 2.3.1. Análisis de Muestras | 18 |
| 2.3.2. Análisis Estadístico..... | 19 |
| 2.3.3. Cartografía Temática..... | 24 |

| | |
|--|----|
| 2.4. TRABAJO DE OFICINA..... | 25 |
| 3. GEOLOGÍA..... | 26 |
| 3.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL..... | 26 |
| 3.1.1. Provincias Geotectónicas..... | 26 |
| 3.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL..... | 27 |
| 3.3. LITOESTRATIGRAFÍA..... | 31 |
| 3.3.1. Rocas Metamórficas..... | 31 |
| 3.3.2. Rocas Ígneas..... | 34 |
| 3.3.3. Depósitos Cuaternarios..... | 35 |
| 4. GEOMORFOLOGÍA..... | 37 |
| 4.1. UNIDADES MORFOSEDIMENTARIAS..... | 37 |
| 4.1.1. Playas..... | 37 |
| 4.1.2. Llanura costera..... | 43 |
| 4.1.3. Colina..... | 44 |
| 4.1.4. Puntas o salientes..... | 45 |
| 4.1.5. Zonas de baja inundación..... | 47 |
| 4.1.6. Lagunas interiores..... | 48 |
| 4.1.7. Acantilados | 48 |
| 4.1.8. Playones con campos de dunas..... | 51 |
| 4.2. RASGOS GEOMORFOLOGICOS..... | 53 |
| 4.2.1. Islas con acantilados..... | 53 |
| 4.2.2 Pilares. | 54 |
| 5. HIDRODINAMICA..... | 56 |
| 5.1. INTERPRETACION DE LA HIDRODIMANICA COSTERA..... | 58 |

| | |
|--|-----|
| 6. SEDIMENTOLOGIA..... | 61 |
| 6.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE SEDIMENTO EN LA ZONA DE ESTUDIO..... | 61 |
| 6.1.1. Erosión de acantilados y playas. | 62 |
| 6.1.2. Transporte por corrientes de deriva..... | 62 |
| 6.1.3. Transporte fluvial. | 63 |
| 6.1.4. Transporte eólico | 63 |
| 6.1.5. Extracción de arenas..... | 64 |
| 6.1.6. Aporte Biogénico..... | 64 |
| 6.2. ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO DE LAS PLAYAS COMPRENDIDAS ENTRE PUNTA BRAVA Y PUNTA BETÍN..... | 64 |
| 6.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMETRICO..... | 66 |
| | |
| 7. PROCESOS DE EROSIÓN-ACRECIÓN..... | 92 |
| 7.1. PARÁMETROS DE EROSIÓN Y ACRECIÓN..... | 93 |
| 7.1.1. Dirección de crecimiento de la espiga..... | 93 |
| 7.1.2 Dirección del frente de oleaje..... | 94 |
| 7.2. PARÁMETROS DE COMPORTAMIENTO DE LA LÍNEA DE COSTA..... | 94 |
| 7.2.1. Estabilidad de la línea de costa..... | 95 |
| 7.2.2. Movimiento de la línea de costa..... | 96 |
| | |
| 8. USOS DE LOS SUELOS..... | 99 |
| 8.1. DEFINICIÓN DE USOS..... | 100 |
| 8.1.1. Uso Urbano..... | 102 |
| 8.1.2. Pesca y Transporte..... | 102 |
| 8.1.3. Obra de Defensa..... | 102 |

| | |
|---|-----|
| 9. VARIACIONES DE LA LINEA DE COSTA ENTRE 1954-2006..... | 105 |
| 9.1. SECTOR PUNTA BETÍN – PUNTA GAIRA..... | 105 |
| 9.2. SECTOR PUNTA GAIRA – PUNTA GLORIA..... | 106 |
| 9.3. SECTOR PUNTA GLORIA – PUNTA LOS MICOS..... | 107 |
| | |
| 10. DISCUSIONES DE RESULTADOS..... | 109 |
| 10.1. OLEAJE Y APORTE DE SEDIMENTOS..... | 112 |
| 10.2. CONDICIONES GEOLOGICAS DE LA ZONA..... | 113 |
| 10.3. CONSTRUCCION INADECUADA DE ESTRUCTURAS..... | 114 |
| 10.4. AMENAZAS GEOLÓGICAS POR INUNDACION..... | 114 |
| | |
| 11. RECOMENDACIONES..... | 116 |
| | |
| 12. CONCLUSIONES..... | 119 |
| | |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 124 |
| | |
| ANEXOS..... | 128 |
| Anexo 1 – Mapa Geológico (Escala 1: 20.000)..... | 129 |
| Anexo 2 – Mapa Geomorfológico (Escala 1: 20.000)..... | 130 |
| Anexo 3 – Mapa de variación de línea de costa (Sector Punta Betín – Punta Gaira)..... | 131 |
| Anexo 4 – Mapa de variación de línea de costa (Sector Punta Gaira – Punta Gloria)..... | 132 |
| Anexo 5 – Mapa de variación de línea de costa (Sector Punta Gloria – Punta Los Micos)..... | 133 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localización del área de estudio. (a) Imágen satelital de la Sierra Nevada de Santa Marta mostrando la zona costera del Magdalena. (b) Zona de estudio desde Punta Brava hasta Punta Betín..... | 6 |
| Figura 2. Localización de la Zona de Convergencia Intertropical. (Tomado de Andrade, 2000, en Molares 2001)..... | 9 |
| Figura 3. Dirección predominante del oleaje en el litoral costero de la zona (Para la época de marzo dirección 10° NE)..... | 11 |
| Figura 4. Geología estructural de la zona, encerrada por la Falla Santa Marta-Bucaramanga y la Falla de Oca..... | 28 |
| Figura 5. (a) Silleta de falla y el desplazamiento del cerro, (b) Cerro aislados localizados en el casco urbano de la ciudad Santa Marta en la Ca 22 con Kra 12 Av Los estudiantes..... | 29 |
| Figura 6. (a) Plegamiento observado en afloramiento de esquistos en la transversa Plenomar - Playa Salguero. (b) Diaclasamiento en los esquistos en el sector Rodadero - Bahía INCA INCA..... | 30 |
| Figura 7. Rasgos litológicos de las unidades aflorantes en el sector comprendido entre Punta Brava y Punta Betín. (a) Granodiorita con presencia de enclaves máficos en Punta Brava, (b) esquistos micáceos de Playa Blanca, (c) y (d) venas de cuarzo concordantes y discordantes, respectivamente, con la foliación metamórfica en esquistos del Rodadero..... | 35 |
| Figura 8. Rasgos litológicos de las unidades aflorantes en el sector comprendido entre Punta Brava y Punta Betín. (a) filitas grafitosas exhibiendo oxidación e intenso replegamiento en la zona costera de Punta Gloria, (b) esquistos micáceos y anfibolitas en Punta Betín. | 36 |
| Figura 9. Playas comprendidas entre Punta Brava y Punta Betín. (a) Playa de Punta Betín, (b) Playa del Centro..... | 40 |

| | |
|--|----|
| Figura 10. Playas comprendidas entre Punta Brava y Punta Betín. (a) Playa Lipe o la Cueva, (b) Playa Blanca, (c) Playa en Bahía INCA INCA, (d) Playa del Rodadero en Bahía Gaira..... | 41 |
| Figura 11. Playas comprendidas entre Punta Brava y Punta Betín. (a) Playa Salguero,(b) Zona de marea alta en Villa Canarias, (c) Playa al oeste del aeropuerto, ancho aproximado de 40 mts, (d) zona vegetada, berma y playa del aeropuerto “Simón Bolívar”..... | 42 |
| Figura 12. Amplia llanura costera en el sector de Plenomar..... | 43 |
| Figura 13. (a) Colinas entre 100 y 200 m con marcada influencia de drenajes en pasado reciente en la Bahía INCA INCA, (b) Morro ubicado en el flanco SE de Punta Gloria..... | 45 |
| Figura 14. Rasgos geomorfológicos correspondientes a puntas o salientes. (a) Costas de inmersión, sector entre Punta Burucuca y Punta Gloria, (b) Playa Blanca y Punta Burucuca, (c) Punta Cabeza de Negro, y (d) Punta Gaira..... | 46 |
| Figura 15. (a) zonas de baja inundación hacia el sector de Plenomar, (b) grietas de desecación en Plenomar..... | 47 |
| Figura 16. Lagunas interiores hacia el sector de Plenomar creadas por la acción del hombre..... | 48 |
| Figura 17. (a) Paleoacantilados en Playa Santo Cristo, (b) acantilados bajos en el sector del aeropuerto, su altura no supera los 10 m, (c) acantilados en Punta Gaira, (d) acantilados en Punta Betín, (e) presencia de bloques caídos en el flanco oeste de Punta Gloria..... | 48 |
| Figura 18. (a) presencia de bloques caídos en el flanco oeste de Punta Gloria, (b) Bloques caídos en el flanco SW de Punta Gloria..... | 51 |
| Figura 19. Playones con campos de Dunas..... | 51 |
| Figura 20. (a) y (b) Islas con acantilados, mostrando, respectivamente, Morro de Gaira y Morro de Santa Marta | 53 |
| Figura 21. Rasgos típicos de la erosión costera que actúa inicialmente sobre zonas de debilidad (fallas o diaclasas) en las rocas con el paulatino desarrollo de cavernas, arcos, "stacks" y "stumps"..... | 54 |

| | |
|--|----|
| Figura 22. (a) El Morrito (ubicado a la derecha), principal pilar de la zona de estudio; (b) Creación de Stacks en el sector de Punta Gloria, con una altura no mayor de 5 mts S.N.M..... | 55 |
| Figura 23. Metodología de las T elaboradas en la zona Mesomareal. (a) T realizada en la zona Mesomareal de la playa de Plenomar, en donde se utilizo la vara de Jacob para realizar las mediciones, (b) T en la zona de las playas del aeropuerto, aquí se aprecian la estratificación en artesa que presenta la arena, (c) T en la playa de la Bahía de Santa Marta, (d) T en el sector de Plenomar..... | 65 |
| Figura 24. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 1 (izquierda) y la muestra 2 (derecha). (Playa del Centro)..... | 67 |
| Figura 25. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 3 (izquierda) y la muestra 4 (derecha). (Playa del Centro)..... | 69 |
| Figura 26. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 5 (izquierda) y la muestra (derecha). (Playa Los Cocos)..... | 70 |
| Figura 27. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 7 (izquierda) y la muestra (derecha). (Playa Los Cocos)..... | 72 |
| Figura 28. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 9 (izquierda) y la muestra 10 (derecha). (Playa Los Nativos)..... | 73 |
| Figura 29. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 11 (izquierda) y la muestra 12 (derecha). (Punta Gaira)..... | 75 |
| Figura 30. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 13 (izquierda) y la muestra 14 (derecha). (Playa Blanca)..... | 76 |

| | |
|---|----|
| Figura 31. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 15 (izquierda) y la muestra 16 (derecha). (Acuario)..... | 78 |
| Figura 32. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 17 (izquierda) y la muestra 18 (derecha). (Bahía Inca Inca)..... | 79 |
| Figura 33. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 19 (izquierda) y la muestra 20 (derecha). (El Rodadero)..... | 81 |
| Figura 34. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 21 (izquierda) y la muestra 22 (derecha). (Playa Salguero)..... | 82 |
| Figura 35. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 23 (izquierda) y la muestra 24 (derecha). (Plenomar)..... | 84 |
| Figura 36. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 25 (izquierda) y la muestra 26 (derecha). (Sector Hotelero)..... | 85 |
| Figura 37. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 27 (izquierda) y la muestra 28 (derecha). (Villa Canarias - Aeropuerto)..... | 86 |
| Figura 38. Costas consolidadas. a. Acantilados de Rocas cohesivas en el sector de Punta Gaira, b. Acantilados de rocas no cohesivas en el sector de Punta Gloria. | 94 |
| Figura 39. Costa no consolidada ubicada en el sector de playa Salguero..... | 95 |
| Figura 40. Rasgos erosivos observados en el sector comprendido entre Punta Brava y Punta Betín. (a) Erosión en las playas del aeropuerto, (b) erosión y formación de acantilados en zona costera de Punta Gloria, (c) rocas afectadas por el diaclasamiento y la erosión en Punta Gloria, (d) socavación de la roca en Punta Gloria..... | 97 |
| Figura 41. (a). Zona de Rompiente de olas en el Gran Manuel, (b) Sector comprendido entre las playas de Cocos y del Centro donde el área construida llega prácticamente hasta la | |

línea de rompiente y los muros de contención se han agrietado y derrumbado parcialmente, (c), (d), Zonas de acreción, en donde existen rasgos de línea de costa por encima del nivel del mar actual, en Playa Lipe y Playa Los Nativos, esto debido a la presencia de paleoacantilados.....98

Figura 42. Usos del suelo. (a) Uso urbano en el sector de la playa del centro (Bahía de Santa Marta), (b) actividad pesquera en Punta Gaira, (c) espolón creado con calizas y bloques de rocas en la playa del centro, y (d) puerto carbonero de la Sociedad Portuaria.....103

LISTADO DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Características de los principales ríos de la región..... | 13 |
| Tabla 2. Clasificación del sorteo de los sedimentos..... | 21 |
| Tabla 3. Clasificación de la asimetría de los sedimentos..... | 22 |
| Tabla 4. Clasificación del índice de Kurtosis de los sedimentos..... | 23 |
| Tabla 5. Clasificación de los sedimentos según su tamaño (Wentworth, 1922, en Restrepo, 2001)..... | 24 |
| Tabla 6. Clasificación de arenas en clases de calibrado basándose en la desviación estándar (Friedman et al., 1922, en Restrepo, 2001)..... | 24 |
| Tabla 7. Características de las Playas desde Punta Betín hasta Punta Brava..... | 39 |
| Tabla 8. Corrientes medidas en la zona de Plenomar. | 56 |
| Tabla 9. Parámetros hidrodinámicos obtenidos para la zona de Plenomar..... | 56 |
| Tabla 10. Corrientes medidas en la zona del Rodadero..... | 57 |
| Tabla 11. Parámetros hidrodinámicos obtenidos en la playa del Rodadero..... | 57 |
| Tabla 12. Corrientes medidas en la Bahía de Santa Marta..... | 57 |
| Tabla 13. Parámetros hidrodinámicos obtenidos en la Bahía de Santa Marta..... | 58 |
| Tabla 14. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 1 (Playa del Centro)..... | 66 |
| Tabla 15. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 2 (Playa del Centro)..... | 66 |
| Tabla 16. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 3 (Playa del Centro)..... | 68 |
| Tabla 17. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 4 (Playa del Centro)..... | 68 |
| Tabla 18. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 5 (Playa Los Cocos)..... | 68 |
| Tabla 19. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 6 (Playa Los Cocos)..... | 68 |
| Tabla 20. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 7 (Playa Los Cocos)..... | 71 |
| Tabla 21. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 8 (Playa Los Cocos)..... | 71 |
| Tabla 22. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 9 (Playa Los Nativos)..... | 71 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 23. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 10 (Playa Los Nativos)..... | 71 |
| Tabla 24. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 11 (Punta Gaira)..... | 74 |
| Tabla 25. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 12 (Punta Gaira)..... | 74 |
| Tabla 26. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 13 (Playa Blanca)..... | 74 |
| Tabla 27. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 14 (Playa Blanca)..... | 74 |
| Tabla 28. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 15 (Acuario)..... | 77 |
| Tabla 29. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 16 (Acuario)..... | 77 |
| Tabla 30. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 17 (Bahía Inca Inca)..... | 77 |
| Tabla 31. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 18 (Bahía Inca Inca)..... | 77 |
| Tabla 32. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 19 (El Rodadero)..... | 80 |
| Tabla 33. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 20 (El Rodadero)..... | 80 |
| Tabla 34. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 21 (Playa Salguero)..... | 80 |
| Tabla 35. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 22 (Playa Salguero)..... | 80 |
| Tabla 36. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 23 (Plenomar)..... | 83 |
| Tabla 37. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 24 (Plenomar)..... | 83 |
| Tabla 38. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 25 (Sector Hotelero)..... | 83 |
| Tabla 39. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 26 (Sector Hotelero)..... | 83 |
| Tabla 40. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 27 (Villa Canarias – Aeropuerto)..... | 87 |
| Tabla 41. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 28 (Villa Canarias – Aeropuerto)..... | 87 |
| Tabla 42. Parámetros estadísticos en las muestras analizadas..... | 88 |
| Tabla 43. Valores de erosión y acreción netos en diferentes puntos sobre la zona de estudio..... | 108 |

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA EN LA REGIÓN COSTERA COMPRENDIDA ENTRE PUNTA BRAVA Y PUNTA BETÍN, PROVINCIA GEOTECTÓNICA DE SANTA MARTA *

AUTOR: VICTOR HUGO VARGAS TONCEL **

PALABRAS CLAVES: Geomorfología, variación de línea de costa, sedimentología, hidrodinámica, procesos de erosión-acreción.

DESCRIPCION

El objetivo del presente trabajo fue establecer un estudio geológico, geomorfológico, hidrodinámico, sedimentológico, de procesos de erosión-acreción y de uso de suelos con la finalidad de determinar como es la variación de la línea de costa en el sector comprendido entre Punta Brava y Punta Betín, Provincia Geotectónica de Santa Marta.

La metodología realizada consta de cuatro fases, la fase de precampo la cual incluye una compilación y análisis de información; la fase de campo consta de un reconocimiento del área de estudio, cartografía geológica y geomorfológica, toma de datos hidrodinámicos, muestreo sedimentológico; la fase de laboratorio en donde se desarrolla unos análisis de muestras, análisis estadístico y una cartografía temática y por último la fase de trabajo de oficina. Se desarrolla un estudio geológico y geomorfológico en el cual se obtienen dos mapas a escala 1: 20000. A la vez se realiza un análisis hidrodinámico para los sectores de la bahía de Santa Marta, Plenomar y El Rodadero con el fin de observar como influye el comportamiento del oleaje y de las corrientes. Se obtuvo un análisis estadístico sedimentológico. Se analizó los procesos de erosión-acreción y los usos de suelos para la zona de estudio. Como parte final se obtuvo unos mapas de variación de línea de costa.

Este trabajo, el cual es una contribución al conocimiento geológico de la provincia geotectónica de Santa Marta, surge como alternativa para el desarrollo de soluciones a esta problemática, y promueve la investigación en nuestro litoral costero, debido a la creciente actividad económica marina, aumento de población en las zonas costeras, el fortalecimiento del desarrollo turístico de las localidades ubicadas en el área de estudio, así como una serie de procesos geológicos evolutivos que se ven reflejados en su morfología costera.

* Tesis de Pregrado

** Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Geología. Director Eliécer Uribe Portilla

ABSTRACT

TITLE: GEOMORPHOLOGIC STUDY TO THE DETERMINATION OF THE VARIATION OF THE COASTLINE IN THE COASTAL REGION BETWEEN PUNTA BRAVA AND PUNTA BETÍN, GEOTECTONIC PROVINCE OF SANTA MARTA *

AUTHOR: VICTOR HUGO VARGAS TONCEL **

KEYWORDS: Geomorphology, variation of coastline, sedimentology, hydrodynamics, processes of erosion-accretion.

DESCRIPTION

The aim of the present work was to establish geologic, geomorphologic, hydrodynamic and sedimentologic studies and its relation with erosion-accretion processes and land use with the purpose of determining the variation of the coastline in the sector between Punta Brava and Punta Betín, Geotectonic Province of Santa Marta.

The methodology used consists in four phases, prefield phase, which includes a compilation and information analysis; the field phase consists in recognition of the study area, geologic and geomorphologic cartography, acquisition of hydrodynamic data, sedimentologic sampling; the analyses of samples are developed in the laboratory phase, statistical analysis and a thematic cartography. And the final phase in this work, the office phase. This phase develops a geologic and geomorphologic study in which two maps on scale 1:20000 are obtained. Simultaneously a hydrodynamic analysis for the sectors of the bay of Santa Marta, Plenomar and the Rodadero was made to observe the influence of this hidrodinamic behavior in surge and currents. A sedimentológica statistical analysis was obtained. The processes of erosion-accretion and the land use for the zone of study were studied. We obtained maps of variation of coastline in the final phase.

This work, is a contribution to the geologic knowledge in the geotectonic province of Santa Marta, and it arises like alternative for the development to solutions to this problematic, and promotes the investigation in our coastal coast, due to the increasing marine economic activity, increase of population in the coastal zones, the fortification of the tourist development of the localities located in the study area, as well as a series of evolutionary geologic processes that are reflected in their coastal morphology.

* Tesis de Pregrado

** Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Geología. Director Eliécer Uribe Portilla

INTRODUCCIÓN

La franja litoral es una de las áreas más vulnerables de la superficie terrestre, siendo a su vez una de las más dinámicas como consecuencia de la acción combinada de procesos de erosión y sedimentación, lo cual está condicionado por la interacción de factores climáticos, tectónicos y marinos que pueden ser influenciados por la acción del hombre. Por tal razón, es necesario establecer no solo los rasgos geológicos sino también contar con datos oceanográficos, meteorológicos y climatológicos, para analizar las relaciones que existen entre la batimetría de una región costera y el régimen de oleaje, el estado de las mareas y las corrientes costeras, para establecer criterios en términos de erosión y sedimentación.

Todos estos factores hacen del litoral costero un ambiente geológico interesante y fascinante para ser investigado. Es por eso que la Universidad Industrial de Santander con el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives D'Andreis INVEMAR, apoyó la realización de la presente tesis de grado, **“Estudio geomorfológico para la determinación de la variación de la línea de costa en la región costera comprendida entre Punta Brava y Punta Betín, Provincia Geotectónica de Santa Marta”**.

El objetivo del presente trabajo fue establecer los rasgos geomorfológicos del litoral costero comprendido entre Punta Brava y Punta Betín, enmarcando la sedimentología de playa y el litoral rocoso, analizando los procesos de erosión-acreción, así como el efecto que tiene sobre esta la acción del oleaje y el transporte de sedimentos en esta región, para conocer su influencia en la variación de la línea de costa.

Las costas sobre el litoral Caribe, en particular, presentan ejemplos de como han sido protegidas con obras de infraestructura artificial para resguardarlas del embate a que están sometidas a causa de la dinámica marina con el fin de evitar problemas de erosión que afectan significativamente las actividades productivas y la infraestructura física de las poblaciones que allí se encuentran. Dentro de muchos factores ambientales que podríamos enumerar, el régimen de oleaje es el principal factor generador de los procesos costeros.

Este trabajo, el cual es una contribución al conocimiento geológico de la provincia geotectónica de Santa Marta, surge como alternativa para el desarrollo de soluciones a esta problemática, y promueve la investigación en nuestro litoral costero, debido a la creciente actividad económica marina, aumento de población en las zonas costeras, el fortalecimiento del desarrollo turístico de las localidades ubicadas en el área de estudio, así como una serie de procesos geológicos evolutivos que se ven reflejados en su morfología costera. Por otra parte, este tipo de estudios es de gran importancia como base para el gran desarrollo del plan de rehabilitación del área de influencia de la provincia geotectónica de Santa Marta.

ESTADO DEL ARTE

La Sierra Nevada de Santa Marta en el ámbito de los Andes Colombianos ha sido de interés en muchos estudios, en los cuales se ha hecho especial énfasis en sus rasgos tectonoestratigráficos. La provincia geotectónica de Santa Marta, la cual forma parte del Macizo Sierra Nevada de Santa Marta, está conformada por dos franjas externas de rocas metamórficas (Filitas de Taganga y Esquistos de Gaira) y un cinturón magmático (Batolito de Santa Marta) con dirección NE. La tectónica local está representada por fallas entre las cuales se destacan las fallas de Florín, Palangana y Jordán, y un sinnúmero de fallas satélites y lineamientos importantes que comprometen el casco urbano de la ciudad de Santa Marta. Esta provincia geotectónica se halla en la confluencia de dos grandes sistemas de fallas (Falla Santa Marta - Bucaramanga y Falla de Oca) muy importantes en la tectónica de nuestro país y del continente. Muchos modelos tectónicos para el Caribe sur postulan la acreción durante el Cretáceo tardío y/o Terciario de rocas oceánicas de arco de islas de edad Mesozoica, aunque con inquietudes geológicas planteadas por Radelli (1962) y Tchaz (1969) aún por resolver.

Diversos estudios (e.g., Andrade, 1993; Ardila et al., 2001; Botero & Mancera, 1996; Díaz et al., 1996; Díaz- Pulido & Garzón-Ferreira, 2002; Donoso, 1990; Garay et al, 2002; Franco, 1990; Martínez, 1989; Martínez, 1993; Rodríguez-Ramírez & Garzón-Ferreira, 2003; Suzunaga, 1990) se han referido al Caribe colombiano, describiéndolo desde diferentes puntos de vista: estado de los ambientes marinos y costeros, rasgos geológicos, geográficos y geomorfológicos, amenazas, climatología, hidrografía, biología y ecología, calidad ambiental, ecosistemas, diversidad de especies, manejo y uso de recursos, entre otros aspectos. La variedad y complejidad del paisaje que se ha desarrollado en la zona costera continental comprendida entre Punta Brava y Punta Betín es el resultado de la interacción de condiciones geológicas particulares, aspectos hidrodinámicos y atmosféricos, actividades antrópicas y bióticas, ocupación de las costas, entre otros.

La zona litoral es la más dinámica de todos los ambientes marinos. Las playas y extensiones submarinas de playas no son superficies estables pues se acrecientan y erosionan en respuesta a los cambios en los niveles de energía asociados con el oleaje. Una sola tormenta puede desgastar una gran porción de la playa en horas. La arena usualmente retorna en un periodo de meses por un régimen de olas menos severo (Swift y McGrath, 1972).

Muchos esfuerzos se han realizado tratando de comprender el comportamiento de los perfiles de playa bajo la acción del oleaje. Krumbein (1974) estudió la interacción de las variables implicadas en la transformación de una playa en la costa de California. Putman y Johnson (1949) estudiaron la disipación de la energía del oleaje por la fricción del fondo intentando explicar la formación de barras y rizaduras en la zona de rompientes. Rector (1954) y Saville (1957) desarrollaron numerosos experimentos de laboratorio tratando de conocer la relación entre las características de las olas de aguas profundas y la formación de los perfiles de playa. Winant et al. (1975) aplicaron funciones empíricas de Eigen para analizar estadísticamente los cambios en los perfiles de playa. Freemont (1935) reportó observaciones concernientes al movimiento de sedimentos y corrientes que aportaron criterios para el diseño de las estructuras de protección del puerto. Montaña (1986) efectuó mediciones de transporte litoral de arenas, utilizando trazadores fluorescentes.

Las unidades geomorfológicas están representadas por llanuras costeras, planicies aluviales, salares, zonas de inundación, pantanos de manglar, lagunas costeras, playones, playas, espigas, barras, campos de dunas, plataformas, barras de arrecifes, colinas, montañas, plataformas de abrasión elevadas y terrazas marinas (INVEMAR 2000). La estabilidad de las zonas costeras esta condicionada a una serie de factores que se relacionan entre sí y que tienen que ver con los aspectos físicos de la configuración y constitución de la franja costera como con los agentes dinámicos que actúan sobre ella (INVEMAR, 2003). El área comprendida entre Bocas de Ceniza y Punta Gloria en la Bahía de Gaira (El Rodadero), aunque reducida, tienen características ecológicas que ameritan considerarla como un sector aparte (Franco, 1990) Aquí, la plataforma se presenta inicialmente estrecha frente a Bocas de Ceniza, a causa de la presencia de cañones submarinos excavados por las

corrientes de turbidez del río Magdalena (Shepard et al., 1969), que en repetidas ocasiones han roto cables submarinos de comunicaciones.

La zona costera comprendida entre Punta Gloria (El Rodadero) y la desembocadura del río Piedras en el extremo oriental del Parque Natural Tayrona se considera como un solo sector, dadas sus características fisiográficas y ecológicas particulares (Tschanz, 1973) Aquí no hay plataforma continental. Se trata de un quebrado talud que se profundiza rápidamente hacia los fondos abisales de la Cuenca de Colombia. Esta característica esta asociada a los procesos orogénicos y tectónicos que originaron el macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta, limitado en dos de sus flancos por las fallas de rumbo Santa Marta - Bucaramanga y de Oca (Tschanz et al., 1973; Shepard,1973). El litoral de este sector es rocoso, con una serie de bahías y ensenadas que dan el aspecto de una "costa de rías" (Wilhelms, 1956), en cuyo interior se formaron extensiones de playas arenosas. Esta morfología litoral tan variada favorece, por la existencia de amplios gradientes físicos, la presencia de diversas unidades ecosistemitas reducidas en área y distribuidas en mosaico.

1. GENERALIDADES DE LA ZONA COSTERA COMPRENDIDA ENTRE PUNTA BRAVA Y PUNTA BETÍN

1.1. LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra localizada en el departamento del Magdalena al noroeste (NW) de Colombia (**Figura 1**), sobre la costa Caribe. La región costera de Santa Marta comprende desde la desembocadura de la Quebrada del Doctor en el límite con Ciénaga, hasta la desembocadura del río Palomino en que determina el límite con el departamento de la Guajira; comprendiendo una franja costera de aproximadamente 100 Km.

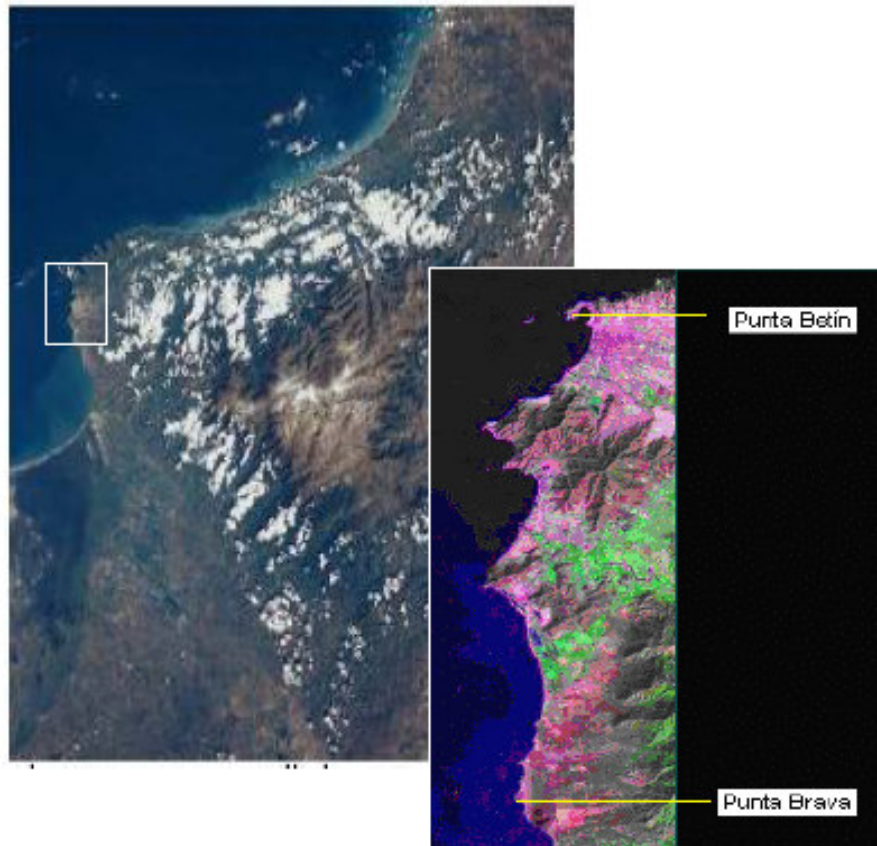


Figura 1. Localización del área de estudio. (a) Imágen satelital de la Sierra Nevada de Santa Marta mostrando la zona costera del Magdalena. (b) Zona de estudio desde Punta Brava hasta Punta Betín.

Para el siguiente estudio se tuvo en cuenta un sector dentro de la provincia geotectónica de Santa Marta, en la cual se incluye un ancho de 2 Km. en la parte costera (playas y

acantilados principalmente) y una longitud aproximada de 20 Km. de línea de costa, medida desde punta Betín al norte hasta Punta Brava al sur. En este sector se encuentra la ciudad de Santa Marta, corregimientos como el Rodadero y Gaira, el sector hotelero y el Aeropuerto Simón Bolívar.

Coordenadas:

Punta Betín 11° 15' N - 74°13' W; Punta Brava 11°07' N - 74°13' W

En la línea litoral sobresalen las Bahías de Santa Marta y Gaira, así como las puntas de Betín, Gaira, Gloria y Brava.

1.2. CARACTERISTICAS CLIMÁTICAS DE LA REGIÓN

Por su ubicación geográfica y su morfología la zona presenta un clima asociado a múltiples factores; existe desde el más cálido hasta climas propios de las nieves perpetuas y páramos permanentes, fenómeno que es exclusivo de las montañas litorales (Sierra Nevada de Santa Marta).

En la costa del departamento del Magdalena y en general para el Caribe colombiano el clima es controlado básicamente por la Zona de Convergencia Intertropical y los vientos alisios. En su parte baja se generaliza por presentar un clima cálido seco, siendo una de las zonas más áridas del país, con temperatura media anual de 28°C y una oscilación extrema entre los 23° y 34°C, humedad relativa promedio de 77% y precipitación media anual de 362 mm; con vegetación de monte tropical, predominando cactáceas columnares, árboles y arbustos espinosos y un sotobosque dominado por la vegetación herbácea. Presenta fluctuaciones en el estado del tiempo por la influencia de fenómenos locales (vientos y humedad de la Sierra Nevada).

El régimen de lluvias es bimodal, con dos temporadas anuales de precipitación y variaciones debidas a fenómenos locales: la primera entre los meses de Abril y Mayo, y la segunda Octubre y Noviembre.

El alisio del noreste es el viento más importante de la región a lo largo del año y domina de noviembre a marzo, periodo seco y carente de lluvias, no sobrepasan los 50 mm/mes,

siendo los meses de Enero y Febrero los de más baja precipitación (Molina et al., 1994, Molares 2001).

Durante esta época, en la costa caribe colombiana suele presentarse el fenómeno de mares de leva, definido como el aumento anormal de la altura del oleaje. Las estadísticas muestran que se presenta de manera general entre los meses de Enero-Marzo. Este fenómeno suele producir inundaciones en sectores aledaños a las playas y origina considerables daños en estructuras como muelles y viviendas (INVEMAR, 2002).

Entre Abril y Julio, la influencia del alisio es mínima y domina el viento del S-SW, que ocasiona amplios movimientos de aire y lluvia, y en sus mayores frecuencias constituye el llamado vendaval. (Blanco, 1989; INVEMAR, 1990). En el periodo de transición los vientos no exceden los 10 nudos, siendo más frecuentes los valores más bajos, mientras que las direcciones presentan un predominio de los componentes norte y este. Las precipitaciones no sobrepasan los 120 mm/mes, con máximos valores en los meses de Julio y Agosto. (Andrade, 2000, en Molares 2001).

Durante la influencia del alisio se presenta un fenómeno de “surgencia”. Como resultado durante los meses en que no se presenta surgencia (Abril a Julio), el agua costera esta afectada por los ríos de la Sierra Nevada (R. Manzanares), y por la Ciénaga grande. En el periodo seco (Noviembre a Marzo), el agua costera está afectada por agua oceánica profunda y en menor proporción por los Sierra Nevada (R. Manzanares), que en esta época presentan su más bajo caudal.

La época húmeda o invierno (Agosto-Noviembre) se caracteriza por vientos variables y abundantes lluvias; los máximos valores de precipitación se dan en el mes de octubre con un promedio de 270 mm/mes. Los vientos alcanzan valores máximos de velocidad de hasta 17 nudos en el mes de octubre, con dirección sureste y este-sureste (Andrade, 2000, en Molares 2001).

1.3. CARACTERISTICAS OCEANOGRÁFICAS DE LA REGIÓN

Para comprender la dinámica marina que afecta la línea de costa se hace necesario el entendimiento de parámetros oceanográficos que controlan las aguas marinas allí presentes,

sometidas al régimen climático de la zona y en especial el comportamiento del viento, que juega un papel primordial en la formación de corrientes y oleaje.

1.3.1. Corrientes

La circulación de corrientes marinas en el área depende del sistema de vientos. En el periodo seco, el alisio del NE crea una corriente E-W paralela a la costa, que durante el periodo lluvioso se contrarresta por otra corriente W-E, originada en el Caribe Suroccidental (INVEMAR, 1990). Según Escobar (1981), en época lluviosa el río Manzanares crea una corriente dentro de la bahía que toma su configuración geográfica hacia el Norte.

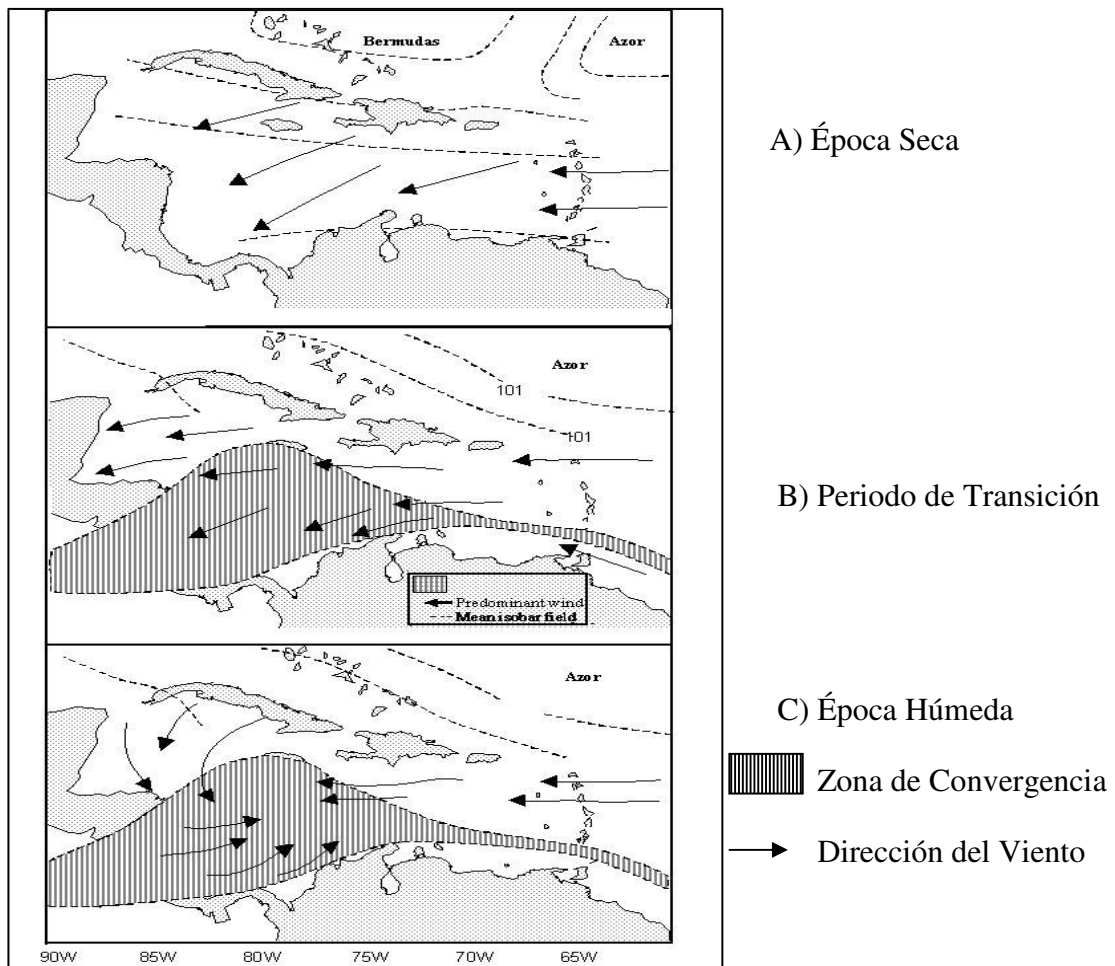


Figura 2. Localización de la Zona de Convergencia Intertropical. (Tomado de Andrade, 2000, en Molares 2001).

En el mar Caribe, la circulación ciclónica genera una corriente central denominada corriente del Caribe, que se desplaza hacia el oeste cuando la Zona de Convergencia Intertropical se encuentra en posición meridional (estación seca) (**Figura 2**). Al aproximarse a Panamá una parte de la corriente se dobla hacia el sur y vuelve en dirección este a lo largo de las costas colombianas, produciendo así la denominada “contracorriente de Panamá”. Esta se desplaza a lo largo de la costa colombiana con velocidades de 0.7 a 12 nudos dependiendo de la época climática.

En el mar Caribe, la circulación ciclónica genera una corriente central denominada corriente del Caribe, que se desplaza hacia el oeste cuando la Zona de Convergencia Intertropical se encuentra en posición meridional (estación seca) (**Figura 2**). Al aproximarse a Panamá una parte de la corriente se dobla hacia el sur y vuelve en dirección este a lo largo de las costas colombianas, produciendo así la denominada “contracorriente de Panamá”. Esta se desplaza a lo largo de la costa colombiana con velocidades de 0.7 a 12 nudos dependiendo de la época climática.

De mayo a noviembre predominan los vientos irregulares y variables provenientes del oeste-suroeste, éstos vientos refuerzan la contracorriente de Panamá que puede llegar hasta la Guajira durante la época de invierno (Molina, 1998).

Las corrientes superficiales en la parte norte de la costa Caribe colombiana están dominadas por la corriente del Caribe, mientras que la parte suroeste de la costa, al ser una cuenca semi-cerrada, muestra una circulación más compleja y aparentemente está dominada por la circulación de algunos giros ciclónicos (Andrade, 2000, en Molares 2001).

La deriva litoral se determinó con base a la relación existente entre la dirección del tren de olas y la dirección de la línea de costa, la tendencia de la depositación y de erosión. En general en la zona presenta una tendencia generalizada de deriva litoral apuntando S-SW donde se ve más referenciada en Punta Gaira y Punta Gloria. Mientras que la deriva litoral en época de lluvias tiende a cambiar en sentido N-NW hacia el sector de la desembocadura del río Manzanares por la influencia que este ejerce sobre las corrientes.

Los parámetros oceanográficos están influenciados por las condiciones climatológicas, siendo su principal efecto, el carácter estacional que presentan las corrientes marinas, con importantes variaciones en la velocidad y especialmente en la dirección de las corrientes así como en la distribución de salinidad y temperatura del agua.

1.3.2. Oleaje

Es producido por el roce del viento en la superficie del mar y su dirección depende de la época climática. El oleaje junto con la batimetría del fondo y la forma del litoral, contribuye a la formación de flujos que ponen en peligro la estabilidad de la línea de costa (Molina et al, 1994 en Restrepo 2001).



Figura 3. Dirección predominante del oleaje en el litoral costero de la zona (para la época de Marzo dirección 10° NE).

Durante la época seca (predominio de vientos alisios), el oleaje presenta una tendencia N-NE en correspondencia con el sentido de los vientos (**Figura 3**). De manera general durante el periodo de transición y época húmeda la dirección del oleaje varía entre NE y SW Molares (2001) en la caracterización oceanográfica y meteorológica del Caribe colombiano muestra que las alturas de ola alcanzadas en la zona de estudio no sobrepasan los 1.5 m.

Casi siempre el oleaje se dirige hacia el Noreste y su intensidad varía con la dirección y el perfil de la Costa. Se observan fenómenos de refracción, más fuerte en la zona central de la Bahía de Santa Marta, donde el ángulo incidente del oleaje es grande; difracción en el área norte, alrededores de Punta Betín; y reflexión en la parte sur de la Bahía (Playa Lipe) donde los perfiles de la playa son muy pronunciados (Bernal 2002).

La intensidad de las olas se asocia con las mareas, por cuanto su acción es por lo general moderada en las horas de la mañana y mayor en horas de la tarde (CIOH, 1990; INVEMAR, 2002).

1.3.3. Mareas

El Caribe colombiano presenta un régimen de mareas semidiurno de tipo micromareal (amplitud menor a 1 m) con pleamares de intervalo de oscilación entre 10 y 14 horas, con una mayor frecuencia cada 11.5 horas especialmente para la zona central. Las mareas en el área de estudio son muy irregulares y muestran una combinación de tipo diurno y semidiurno, con un rango mareal de máximo 40 cm.

Su acción sobre la dinámica del medio marino y el litoral es reducida, aunque influyen en las principales corrientes marinas del área, la mayor parte del año.

1.4. HIDROGRAFÍA

El sistema hidrográfico del departamento del Magdalena está conformado por aguas de las vertientes de los ríos Ariguaní y Magdalena, y por las que van directamente al mar, procedentes principalmente de la Sierra Nevada de Santa Marta, como los ríos Aracataca, Don Diego, Frío, Fundación, Sevilla y Tucurín. La mayor cuenca de drenaje ubicada en el Distrito de Santa Marta es la cuenca del río Don Diego, el cual nace en la Sierra Nevada de Santa Marta. Abarca un área aproximada de 536.8 km² y presenta un caudal mínimo de 36,1 m³/s durante la época seca.

Según las condiciones topográficas y características del valle aluvial (IGAC 1992, En Barreto et al, 1999), bañan los suelos las aguas de los ríos Buritaca, Chiquito, Don Diego, Gaira, Guachaca, Manzanares, Mendihuaca, Palomino y Piedras (**Tabla 1**).

Pero en la zona de estudio, solo se presentan la desembocadura del río Manzanares en la bahía de Santa Marta y el río Gaira en la bahía de Gaira. Las cuencas hidrográficas de los ríos Gaira y Manzanares están localizadas en la vertiente noroeste de la Sierra Nevada de Santa Marta. Se extienden desde el nivel del mar hasta cerca de los 3000 mts y ocupan una extensión aproximada de 30000 hectáreas, de las cuales 10000 corresponden a la de Gaira y 20000 a la de Manzanares.

Las cuencas hidrográficas de los ríos Gaira y Manzanares que han sido estudiadas son, dentro del conjunto de cuencas de la Sierra Nevada, las que tal vez presentan menores problemas, especialmente la del río Manzanares que esta más o menos protegida en sus cabeceras.

Tabla 1. Características de los principales ríos de la región (Tomado de Plan de Ordenamiento Territorial 2000-2009)

| Principales Ríos | Área de la Cuenca (Km ²) | Caudal Promedio (m ³ /seg) |
|------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Río Palomino | 684 | 25,9 |
| Río Don Diego | 536,8 | 36,1 |
| Río Guachaca | 287,9 | 14,8 |
| Río Manzanares | 189,6 | 2,7 |
| Río Piedras | 162,1 | 5,5 |
| Río Gaira | 148,4 | 2,5 |

El río Manzanares es el que presenta mayor importancia por el aporte de sedimentos al mar, influenciando en la geomorfología y sedimentología de la zona, junto con el cambio en la deriva litoral. Mientras que el río Gaira al encontrarse obstruido en su desembocadura, lo hace de menor importancia que el río Manzanares para la influencia en la región. Ambos ríos presentan una alta contaminación, asociada a basuras y aguas negras arrojadas desde casas aledañas a la ribera de los ríos.

Hacia el sector del Cerro de Gaira se observó la presencia de drenajes secos, mostrando la alta presencia hidrográfica en este sector en el pasado. Donde presentaba como sitios de desembocadura las Bahías INCA INCA y la de Gaira.

Para el sector del aeropuerto donde se presentan quebradas; estas se presentan secas, lo cual no causa efecto en la zona de llanura del aeropuerto.

La extracción de agua subterránea para el consumo humano es nula en la zona de estudio, para abastecer el acueducto del distrito de Santa Marta y corregimientos aledaños el agua es tomada de los ríos Manzanares y Piedras.

El río Manzanares es la principal fuente de agua potable de la ciudad de Santa Marta, sirve para la irrigación de un extenso valle y contribuye al funcionamiento de una pequeña planta hidroeléctrica.

El río de Gaira proporciona agua potable al importante centro turístico de Gaira. Sirve para accionar una planta hidroeléctrica y facilita el riego del valle cercano a su desembocadura.

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación se contempló la planificación y ejecución de las fases descritas a continuación.

2.1.COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Durante esta fase se realizó la compilación y el análisis de la información disponible, la cual incluye geología, geomorfología, climatología, hidrografía, procesos oceanográficos (oleaje, corrientes marinas, mareas), mapas cartográfico-geológicos, fotografías aéreas, uso de suelos, planes de ordenamiento, planes de acción hechos por corporaciones involucradas en la zona, así como la información procedente de las autoridades y población beneficiada dentro del área de estudio, entre otros. Todo el material fue compilado y en la búsqueda se hizo especial énfasis en la información existente sobre la zona comprendida entre Punta Brava y Punta Betín, con el fin de establecer los criterios de detalle que orientaron las fases de campo y experimental.

Se efectuó una interpretación preliminar de fotografías aéreas para definir los rasgos geológicos, geomorfológicos y de usos del suelo, más importantes dentro del área de estudio, así como para identificar los diferentes procesos costeros. La fotointerpretación se desarrolló en el Laboratorio de Fotogeología de la Escuela de Geología de la UIS, utilizando las siguientes líneas de vuelo del IGAC: VV WWS M29 AMS 28 JAN 54 136 2608-2609, VV WWS M35 AMS 15 MAR 75 1405-1407 y C-2447 000099-000101.

2.2.TRABAJO DE CAMPO

Esta actividad se llevó a cabo utilizando una base topográfica a una escala 1:25.000. Para obtener la información geológica, geomorfológica, de procesos hidrodinámicos, y de usos del suelo se realizaron trabajos de campo entre Abril y Julio del 2005, lo cual se describe a continuación:

2.2.1.Reconocimiento del área de estudio

Se procedió a realizar un reconocimiento general de la zona con el fin de sectorizarla, estudiando los afloramientos disponibles, lo cual estuvo acompañado de la documentación de campo. La franja costera de interés en el presente estudio se dividió de la siguiente manera: SECTOR 1 (Aeropuerto, entre Punta Brava y Punta Cabeza de Zorra); SECTOR 2 (Zona Hotelera, Pozos Colorados - Plenomar, entre Punta Cabeza de Zorra y Punta Gloria); SECTOR 3 (Bahía de Gaira, entre Punta Gloria y Punta Burucuca); SECTOR 4 (Bahía INCA INCA, entre Punta Burucuca y Punta Gaira); SECTOR 5 (Bahía de Santa Marta, entre Punta Gaira y Punta Betín).

2.2.2. Cartografía geológica y geomorfológica.

La cartografía geológica y de aspectos físicos (geomorfología) se realizó a escala 1:25.000, identificando y caracterizando las unidades geomorfológicas en las zonas costeras bajas y de relieve costero rocoso, describiendo su variedad y complejidad, así como su relación con condiciones geológicas particulares, aspectos hidrodinámicos y atmosféricos, actividades antrópicas y bióticas, y ocupación de las costas. Durante esta actividad se examinaron los afloramientos disponibles, se seleccionaron aquellos afloramientos representativos para realizar análisis más detallados, se pusieron en práctica criterios básicos de geomorfología, litoestratigrafía, paleontología, sedimentología, petrología y tectónica a la hora del proceso de adquisición de datos. Por otra parte, se llevaron a cabo las siguientes actividades: (a) determinación de la estabilidad de las zonas costeras, la cual esta condicionada por los procesos de erosión-acreción, los cuales tienen que ver con los aspectos físicos de la configuración y constitución de la franja costera, así como con los agentes dinámicos que actúan sobre ella, y como esta es afectada por condiciones tectónicas, oceanográficas, meteorológicas, antrópicas y bióticas, asentamientos humanos en las costas, entre otros; (b) valoración ambiental o turística de las playas como recurso nacional, su importancia como habitas de especies silvestres de fauna y flora, extensión y ubicación, estado de conservación, y amenazas naturales y antrópicas; (c) identificación de acuerdo a su origen geológico de litorales rocosos (acantilados y playas rocosas) que sufren procesos de abrasión, con remoción del sustrato, teniendo en cuenta su importancia y relación con el

desarrollo de comunidades de organismos, los factores físicos y condiciones de vida, la bioerosión y los efectos antrópicos.

2.2.3. Toma de datos hidrodinámicos.

Esta actividad se llevó a cabo en las zonas de Plenomar, Bahía de Gaira (Rodadero) y Bahía de Santa Marta, con el fin de abordar gran parte de la zona. Las mediciones fueron efectuadas lanzando unas boyas diseñadas para que no fueran influenciadas directamente por el viento y el oleaje; en la parte inferior de cada boya se ubicó un peso que la mantenía a un metro de profundidad con el fin de determinar el desplazamiento de la corriente, el posicionamiento de estas boyas se efectuó con un GPS diferencial GARMIN desde el comienzo y hasta el final del recorrido. Adicionalmente y con una brújula, se tomó desde la playa la dirección de los trenes de olas al llegar a la costa. Para determinar el periodo se ubicó un punto fijo mar adentro y se contabilizó el número de olas que pasaban por ese punto en un minuto. Los datos de dirección de deriva se obtuvieron relacionando los dos vectores que forman la dirección de la línea de costa con la ortogonal del oleaje. En el resto de la zona de estudio los datos fueron tomados de forma esporádica.

2.2.4. Muestreo sedimentológico

Se llevaron a cabo algunos perfiles de playa con el fin de recolectar muestras de sedimentos en los sitios donde se apreciaron cambios en la topografía al igual que en los afloramientos. Por lo general la recolección de material geológico se hizo en la berma y/o cordones litorales. Se recogieron 200 g de muestra los cuales fueron guardados en bolsas debidamente rotuladas.

2.2.5. Geomorfología, geología y uso de la franja litoral

La realización de diversos recorridos a lo largo de la línea costera permitió el levantamiento geomorfológico, geológico y de usos de suelo, procurando cubrir en su totalidad los sectores definidos. Se georeferenció con la ayuda de una brújula utilizando la metodología de los tres puntos del geólogo, en donde se buscan tres puntos arbitrarios con características particulares como puntas o cerros, se determinaron contrarumbos y se interceptaron estos

en un mapa, de esta forma se marcaron estaciones de trabajo en los sitios donde se detectaron cambios morfológicos, litológicos, de procesos erosivos o en donde la escala de trabajo así lo exigía. En cada estación de trabajo se describieron los rasgos geomorfológicos y litológicos, se caracterizaron en forma detallada las zonas de playas, al igual que los procesos erosivos que las afectan y se recolectó la información concerniente al uso de la franja costera.

2.3. TRABAJO DE LABORATORIO

2.3.1. Análisis de Muestras

En los laboratorios de preparación de muestras del INVEMAR y de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander se llevaron a cabo el análisis granulométrico y mineralógico, respectivamente, para las muestras recogidas en campo.

La metodología empleada fue la siguiente:

➤ Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico se efectuó separando 150 g de cada una de las muestras, las cuales se pesaron en una balanza de precisión y secaron en un horno a 102-103° durante un tiempo de 24 horas, y finalmente se disgregaron y pesaron 100 g de cada muestra, los cuales se tamizaron en un Rotap Fritch Vibratory Sieve Shaker durante 15 minutos, con 6 tamices de malla 2, 1 mm, 500, 250, 125, 63 μm .

➤ Análisis mineralógicos y texturales.

En todas las muestras se observaron los tamaños de grano 125 μm y 250 μm , esto se hizo con la ayuda de una lupa binocular LEICA GZG para su descripción mineralógica y textural. Estos 2 tamaños fueron seleccionados ya que aquí es donde mejor se aprecia la composición del sedimento debido a que por lo general coinciden con el tamaño de grano más frecuente.

Para la descripción mineralógica, las muestras fueron cuarteadas procurando sacar una porción representativa de cada una; luego se dieron porcentajes de todos los constituyentes de la roca, siendo estos minerales como: cuarzo, feldspatos, micas y/o rocas re trabajadas.

Para la textura de la roca se tuvieron en cuenta parámetros como la esfericidad y redondez que son resultado del transporte y dureza de los granos de la roca.

2.3.2 Análisis Estadístico

A partir de los datos obtenidos del análisis granulométrico, se procedió a llevar a cabo el análisis estadístico del porcentaje de sedimento con base en los siguientes parámetros estadísticos.

➤ *Distribuciones de tamaño de grano de frecuencia simple:* La curva de distribución de frecuencia simple indica la frecuencia con la cual un tamaño de grano se encuentra en el sedimento (histogramas). Este tipo de gráfica se denomina de distribución normal cuando en la parte central de la curva, se observa una mayor frecuencia de tamaños con valores que se acercan al 68% de la distribución total y el restante 32% es distribuido simétricamente entre material más grueso y más fino. Generalmente y especialmente en sedimentología las curvas que resultan no pertenecen a distribuciones normales, tomando una forma asimétrica.

➤ *Distribuciones de tamaño de grano de frecuencia acumulada en escala aritmética:* En la grafica de distribución acumulada cada punto de la curva representa no solo el porcentaje de un tamaño de grano, sino la suma de los tamaños precedentes.

La curva se puede graficar en escala aritmética o de probabilidades, con la primera la curva tiene forma de “S”, en ella se pueden leer todos los parámetros estadísticos, aunque la interpolación no sea tan exacta.

Aquí la forma de la curva es independiente de los tamices usados, a diferencia de las distribuciones de tamaño de grano de frecuencia simple.

Parámetros estadísticos de los sedimentos de las playas.

Entre los parámetros estadísticos encontramos:

➤ *La Desviación Estándar (σ_G):* Es utilizada como una medida del calibrado del sedimento. En la grafica de frecuencia simple es la desviación en el tamaño de grano (en milímetros) desde la mitad de la distribución hasta 8 a 16mm, o hasta 1/8 a 1/4mm.

➤ El Calibrado o Selección (So): Indica la cantidad de grados granulométricos o el índice de selección. Se define como la raíz cuadrada de la relación entre los cuartiles Q3/Q1, siendo Q3 mayor que Q1. Según Trask (1932), un sedimento con un coeficiente de selección igual a 1.0 está perfectamente seleccionado, los valores de So menores de 2.5 indican un sedimento bien seleccionado, mientras que los cercanos a 3.0 son normales y los iguales o mayores de 4.5 se caracterizan por ser poco seleccionados.

$$S_o = \sqrt{Q_3/Q_1}$$

➤ Asimetría (Sk): Determina la predominancia de fracciones gruesas o fracciones finas se mide por Q1*Q3 sobre el cuadrado de la media. Un valor positivo indica que el sedimento tiene una predominancia de finos, y un valor negativo indica una predominancia de gruesos.

$$S_k = (Q_1 * Q_3) / M^2$$

➤ La Agudeza o Kurtosis (KG): Este parámetro es importante porque indica en la gráfica de frecuencias simple la relación que hay entre el calibrado en la parte central de la curva y en sus extremos. Cuando sobre la curva se observa una mejor selección en la parte central que en los extremos, la gráfica muestra un pico más agudo. Si la porción central está mejor clasificada que en las puntas se dice que la curva está demasiado puntiaguda o leptocúrtica. Si las puntas están mejor clasificadas que la porción central se dice que la curva es deficientemente puntiaguda o platicúrtica, cuando hay un término medio se dice que la curva es mesocúrtica.

Para el cálculo de los parámetros estadísticos se utilizaron las fórmulas descritas anteriormente correspondientes al método de los percentiles, también se efectuó para términos prácticos un cambio de unidades, de mm a unidades phi Φ ; la cual se puede realizar por medio de la siguiente fórmula:

$$\Phi = -\log_2(d_{mm})$$

Donde d = diámetro de las partículas en milímetros

Además se utilizarán como base las tablas de clasificación propuestas por Folk (1974) para la clasificación verbal de los parámetros estadísticos en el análisis de sedimentos, las cuales se dan a continuación:

Tabla 2. Clasificación del sorteo de los sedimentos. (Tomado de Folk, 1974)

Sample Standard Deviation (Sorting)

Graphic Sorting, σ :

$$\sigma = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \quad (5-8)$$

Moment Sorting, σ :

$$\sigma = \left[\frac{\sum f (n_v - \bar{x})^2}{100} \right]^{1/2} \quad (5-9)$$

Descriptive Criteria:

| Sorting Range (Phi) | Description of Sorting |
|---------------------|-------------------------|
| <0.35 | Very well sorted |
| 0.35 - 0.50 | Well sorted |
| 0.50 - 0.71 | Moderately well sorted |
| 0.71 - 1.00 | Moderately sorted |
| 1.00 - 2.00 | Poorly sorted |
| 2.00 - 4.00 | Very poorly sorted |
| > 4.00 | Extremely poorly sorted |

Tabla 3. Clasificación de la asimetría de los sedimentos (Tomado de Folk, 1974)

Sample Skewness

Graphic Skewness, Sk :

$$Sk = \frac{\phi_{16} + (\phi_{84} - 2(\phi_{50}))}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + (\phi_{95} - 2(\phi_{50}))}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \quad (5-10)$$

Moment Skewness, Sk :

$$Sk = \frac{\sum f(m_j - \bar{x})^3}{100 \sigma^3} \quad (5-11)$$

Descriptive Criteria:

| Skewness Range | Description of Skewness |
|----------------|-------------------------|
| +1.0 to +0.3 | Very fine-skewed |
| +0.3 to +0.1 | Fine-skewed |
| +0.1 to -0.1 | Near-symmetrical |
| -0.1 to -0.3 | Coarse-skewed |
| -0.3 to -1.0 | Very coarse-skewed |

Tabla 4. Clasificación del índice de Kurtosis de los sedimentos. (Tomado de Folk, 1974)

Sample Kurtosis

Graphic Kurtosis, K_g :

$$K_g = \frac{Q_3 - Q_1}{2.44 (Q_3 - Q_1)} \quad (5-12)$$

Descriptive Criteria for Graphic Method:

| Graphic Kurtosis Range | Description of Kurtosis |
|------------------------|----------------------------------|
| < 0.67 | Very platykurtic (flat) |
| 0.65 to 0.90 | Platykurtic |
| 0.90 to 1.11 | Mesokurtic (normal distribution) |
| 1.11 to 1.50 | Leptokurtic |
| 1.50 to 3.00 | Very leptokurtic |
| > 3.00 | Extremely leptokurtic (peaked) |

Moment Kurtosis, k :

$$k = \frac{\sum f (m_p - \bar{x})^4}{100 \sigma^4} \quad (5-13)$$

Descriptive Criteria for Moment Method:

| Moment Kurtosis Range | Description of Kurtosis |
|-----------------------|----------------------------------|
| < 3.00 | Platykurtic (flat) |
| Around 3.00 | Mesokurtic (normal distribution) |
| > 3.00 | Leptokurtic |

Tabla 5. Clasificación de los sedimentos según su tamaño (Wentworth, 1922, en Restrepo, 2001).

| Diámetro | | CLASIFICACIÓN | CLASE |
|--------------------|--------|--------------------|--------|
| | Φ | | |
| 2 mm | -1 | GRÁNULOS | GRAVAS |
| 1 mm | 0 | ARENAS MUY GRUESAS | ARENAS |
| 500 μm | 1 | ARENAS GRUESAS | |
| 250 μm | 2 | ARENAS MEDIAS | |
| 125 μm | 3 | ARENAS FINAS | |
| 63 μm | 4 | ARENAS MUY FINAS | |
| < 63 μm | 5 | LIMOS | LODOS |

Tabla 6. Clasificación de arenas en clases de calibrado basándose en la desviación estándar (Friedman et al., 1922, en Restrepo, 2001).

| VALORES DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR | VALOR DE SELECCIÓN |
|--------------------------------|----------------------------------|
| < 0.35 Φ | MUY BUENA SELECCIÓN |
| 0.35 Φ - 0.50 Φ | BUENA SELECCIÓN |
| 0.50 Φ - 0.71 Φ | MODERADAMENTE BIEN SELECCIONADAS |
| 0.71 Φ - 1.00 Φ | MODERADAMENTE SELECCIONADA |
| 1.00 Φ - 2.00 Φ | MAL SELECCIONADA |
| 2.00 Φ - 4.00 Φ | MUY MAL SELECCIONADA |
| >4.00 Φ | EXTREMADAMENTE MAL SELECCIONADA |

2.3.3. Cartografía Temática

Con base en la información de campo se elaboraron los mapas temáticos, teniendo como base cartográfica los mapas topográficos previamente adquiridos y levantados. Se digitalizaron y editaron los mapas a partir de borradores en papel o formato digital, con la ayuda del software Autodesk Map 2004. Debido a que los mapas deben servir como un sistema de información geográfica, se transformó la información al formato DXF, compatible con el software Arcview 3.2. Los datos fueron exportados y corregidos para asignar a cada polígono y/o segmento su respectivo atributo, permitiendo así diferenciar cada unidad cartografiada. Luego de asignar atributos a cada unidad, se exportaron los

polígonos y/o segmentos al programa ArcMap para la realización de las salidas gráficas. Las variaciones en la línea de costa en los últimos 50 años se realizaron escaneando fotografías aéreas para los años de 1954 y 2006, estableciéndose en estas elementos de fácil reconocimiento, ubicación y principalmente que no hubieran cambiado a lo largo del tiempo estudiado (puerto, construcciones, etc). Las coordenadas de estos puntos fueron tomadas durante las salidas de campo. Posteriormente, se realizó un mosaico mediante el programa Autodesk Map 2004, y con los puntos tomados en campo se procedió a georeferenciar las fotografías tratando de que sobre cada una de ellas quedará como mínimo 2 puntos reconocibles. Debido a que algunas fotografías presentaban diferente escala, se llevaron todos los vuelos a una misma escala. De esta manera, se procedió a trazar sobre ellas las líneas de costa correspondientes a cada año, las cuales al superponerse permitió observar las variaciones en la línea de costa. No obstante, es necesario mencionar que la metodología utilizada para el análisis estas variaciones, aunque confiable, presenta cierto grado de error principalmente como consecuencia de la diferencia de escalas en las fotografías aéreas utilizadas.

2.4. TRABAJO DE OFICINA

Durante la fase final de este estudio se realizó el análisis e interpretación, así como la discusión de los resultados obtenidos en las fases anteriores con el fin de elaborar el informe final de investigación. Se efectuó la sustentación de este documento ante el personal del INVEMAR y de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander. Por otra parte, se dio inicio a la preparación de un artículo científico para la divulgación de resultados en el boletín científico del INVEMAR.

3. GEOLOGÍA

3.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El macizo triangular de la Sierra Nevada de Santa Marta está limitado por fallas y rodeado por cuencas terciarias y por la fosa estructural de los ríos Cesar y Ranchería que tienen alturas cercanas al nivel del mar. La geología es compleja como resultado de tres orogénesis principales y por lo menos tres periodos de fallamiento (**Figura 4**). Más de las tres cuartas partes de este macizo consta de rocas volcánicas y metamórficas. Las rocas sedimentarias están confinadas hacia los extremos sur y sur-oriental. Estas se ven reflejadas en las estribaciones en el litoral rocoso costero.

3.1.1 Provincias Geotectónicas

El macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta comprende tres grandes provincias geotectónicas (Santa Marta, Sevilla y Sierra Nevada) que tienen basamentos cristalinos característicos y edades diferentes.

➤ La Provincia de Santa Marta: presenta dos franjas metamórficas paralelas de igual rumbo; una franja exterior que consta de esquistos verdes del Grupo Taganga y una franja interior que consta de esquistos anfibolíticos del Grupo de Gaira, cuyas rocas fueron metamorfoseadas durante el Jurásico e intruidos longitudinalmente por el Batolito de Santa Marta. Es en esta provincia donde se concentra el desarrollo del presente estudio.

➤ La Provincia de Sevilla: consta de un basamento simático, de probable corteza oceánica, representado por el Neis de Buriticá. Las granulitas precámbricas y rocas anortosíticas que ocurren en esta provincia, se consideran como fragmentos de placas falladas o bloques movidos por gravedad que fueron desgarrados de alguna manera del basamento del antiguo cratón adyacente. Algunas de las rocas del precámbrico, limitadas por fallas, fueron retrogradadas a las facies de esquistos verdes. La actividad magmática está representada por plutones del Paleoceno y el Eoceno, incluyendo el Plutón de Buriticá, de

dirección este-oeste y limitado principalmente por metadioritas del Pérmico.

📌 *La Provincia de la Sierra Nevada:* comprende el macizo del mismo nombre, el cual tiene un basamento de granulitas precámbricas con edades radiométricas tan antiguas como 1400 m.a., aunque probablemente son del Arcaico y posiblemente representan un fragmento de la parte Noroccidental del escudo de Guayana, desgarrado quizás durante el Precámbrico superior. La probable ocurrencia de actividad magmática del Triásico inferior al Paleoceno es un rasgo notable en esta provincia. Aunque los magmas fueron emplazados en un cratón no orogénico, ellos se originaron en la parte más profunda de sistemas de subducción adyacentes, durante la orogénesis de Sevilla y Santa Marta y están relacionados genéticamente, tanto con el alineamiento de Sevilla como con una u otra de las franjas metamórficas al norte del macizo.

3.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta está afectado por dos grandes sistemas de fallas (Santa Marta - Bucaramanga, sinextral, y Oca, dextral) (**Figura 4**) de gran importancia en la tectónica de nuestro país y del continente. Los rasgos estructurales descritos a continuación se definieron con base en la interpretación fotogeológica debido a que el acceso a las zonas más elevadas del área es muy difícil y peligroso por las características áridas y la vegetación espinosa que cubre las laderas de las montañas, aunque el control de campo permitió precisar acerca de algunos de ellos. La tectónica local está representada por fallas entre las cuales se destacan las de Florín, Palangana y Jordán, y un sinnúmero de fallas satélites y lineamientos importantes que comprometen el casco urbano de la ciudad de Santa Marta, las cuales se manifiestan en la presencia de ganchos de falla, silletas de falla, cerros aislados y desplazados, destacándose aquí el desplazamiento de un cerro en cercanías con el Club de Suboficiales del Batallón Córdoba

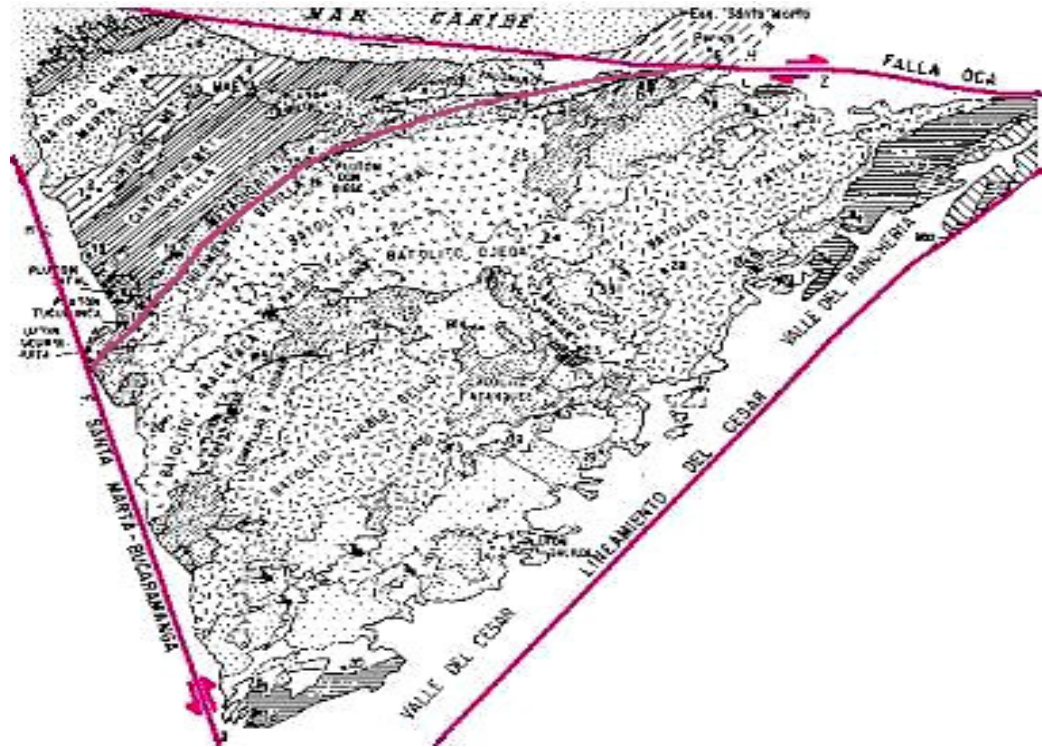


Figura 4. Geología estructural de la zona, enmarcada entre las fallas Santa Marta-Bucaramanga y de Oca y el lineamiento del Cesar. (Tomado de Plan de Ordenamiento Territorial 2000-2009)

el cual presenta una forma alargada que se distingue de los demás por su linealidad, lo cual es el resultado del trazo de la Falla del Tigre, la cual se manifiesta en el desarrollo de silletas de falla (**Figura 5a**), así como la presencia de pequeños cerros aislados dentro del casco urbano de la ciudad de Santa Marta que representan otra evidencia de esta falla (**Figura 5b**). Se presenta un fuerte diaclasamiento hacia el sector de acantilados del litoral costero de Punta Gloria (**Figura 6b**), marcándose una tendencia de fallas satélites y lineamientos como los anteriormente mencionados. La estribación septentrional del macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta consiste de dos franjas metamórficas paralelas de dirección general NE. En general la foliación metamórfica es N15-50° W buzando 20-45° SE, aunque puede variar en algunas zonas donde esta es aproximadamente EW buzando al

sur N20-40° E o buzando 15-40° SE. Las estructuras internas de estas dos franjas son en general de plegamiento y fractura, con zonas fuertemente plegadas constituyendo el rasgo más destacado. No se pueden determinar megaestructuras en general, como pliegues antiformes o sinformes cartografiables debido a la gran complejidad estructural que se presenta en esta región. Con lo que respecta a los plegamientos se observan más hacia las colinas (p.ej., Cerro La Gloria), en donde en una transversa se identificó un plegamiento de gran relevancia (**Figura 6a**). Los tipos de pliegues incluyen paralelos, ptigmaticos, disarmónicos sin presentar una distribución específica.

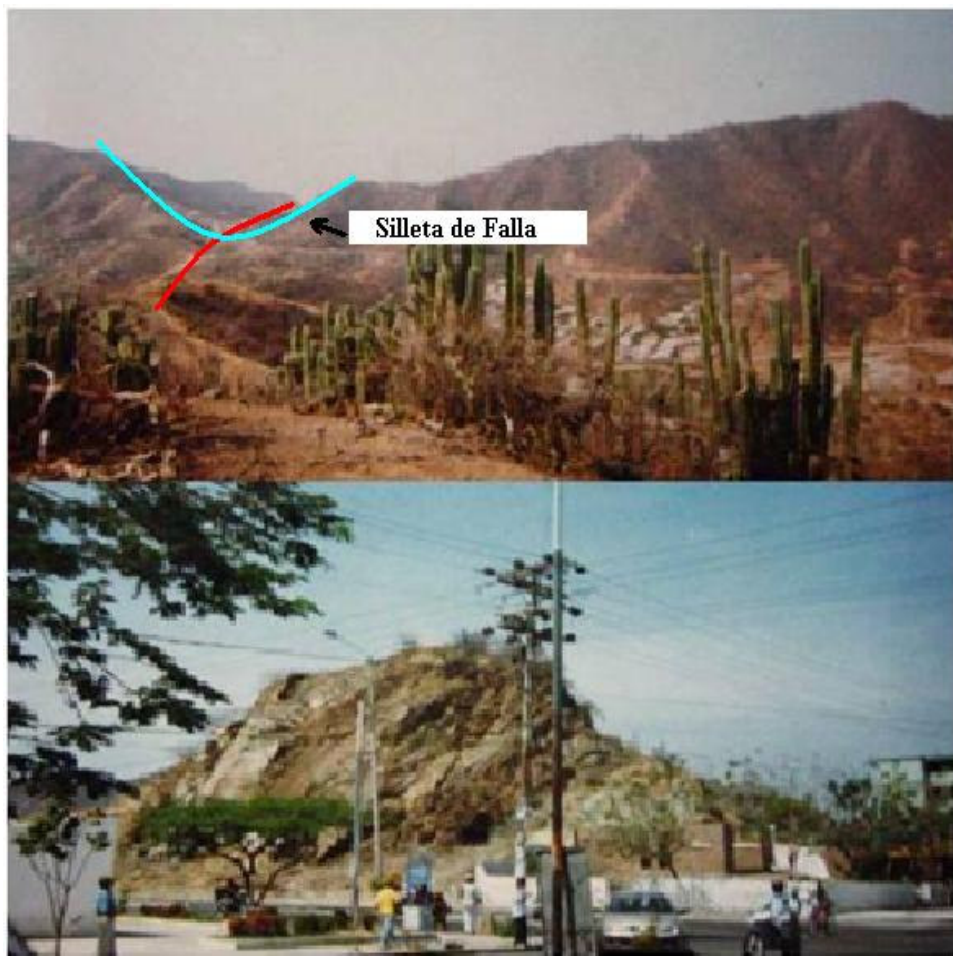


Figura 5. (a) Silleta de falla y el desplazamiento del cerro, (b) Cerro aislado localizado en el casco urbano de la ciudad Santa Marta en la Calle 22 con Carrera 12 Av Los estudiantes.

Un rasgo estructural muy evidente en la zona es la presencia de una gran cantidad de venas hidrotermales, las cuales en contextos metamórficos pueden manifestarse con espesores de

escala milimétrica a métrica. Su morfología y relación con la foliación regional igualmente es muy variada. Con base en sus relaciones estructurales con la roca encajante fue posible identificar diversas topologías de venas principalmente de cuarzo y en menor cantidad de calcita reconocibles a escala de afloramiento.

Los tipos de venas observados son:

- Venas de cuarzo de escala milimétrica a centimétrica concordantes con la foliación metamórfica y con estructura de deformación de tipo boudins. Estas venas son contemporáneas con la foliación y anteriores a los eventos de deformación de la roca metamórfica.
- Venas de cuarzo con espesores que varían de 0,5 a 2 cm, las cuales son discordantes (aproximadamente perpendiculares) con la foliación metamórfica. Su formación fue posterior a las venas descritas anteriormente.
- Venas de cuarzo con espesores de 0,5 a 3 cm, discordantes (oblicuas con diferentes ángulos) con la foliación metamórfica. Las relaciones de campo indican que estas son las más jóvenes de las tres familias de venas de cuarzo observadas.



Figura 6. (a) Plegamiento observado en afloramiento de esquistos en la transversa Plenomar - Playa Salguero. (b) Diaclasamiento en los esquistos en el sector Rodadero -Bahía INCA INCA.

3.3.LITOESTRATIGRAFÍA

La provincia geotectónica de la Sierra Nevada de Santa Marta está conformada por dos franjas externas de rocas metamórficas (Filitas de Taganga y Esquistos de Gaira), así como un cinturón de rocas ígneas (Batolito de Santa Marta) con dirección NE y una serie de depósitos de playa. En este apartado se describen brevemente las unidades litoestratigráficas cartografiadas en el área de estudio. En las figuras 7 y 8 se destacan los rasgos litológicos de las unidades aflorantes en el sector de interés.

3.3.1. Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas constituyen la litología predominante en el área y están representadas por:

Filitas Cloríticas con pirita

Esta unidad a lo largo de la línea de costa del mar Caribe desde playa Blanca hasta playa Lipe, se encuentra constituida por una morfología suave de colinas no muy potentes, con una distribución areal de 0,8 km². Con un drenaje dendrítico paralelo moderado.

Se encuentran constituidas principalmente por filitas cloríticas las cuales presentan porfidoblastos de pirita con tamaños que oscilan entre 0,3 cm a 1,5 cm, además de esto presentan venas de cuarzo paralelas a la foliación N40°E/80°SE, esta litología se encuentra intruidas por diques gabroicos de grano fino los cuales se encuentran foliados. Las piritas se encuentran emplazadas totalmente por goetita, donde sectorialmente encontramos manchas rojizas ocasionadas por patinas debido a la alteración de la pirita. **(Véase anexo 1-Mapa Geológico).**

Filitas Cloríticas

Esta unidad se encuentra aflorando, en su parte sur occidental desde inmediaciones de Punta Cabeza Negro hasta playa Blanca, y en su parte nororiental en el Batallón Córdoba distrito N° 5 con una distribución areal de 4 km². Representa una morfología suave hasta originar depósitos de playa debido a su erosión y meteorización hasta entrar al mar, con un drenaje dendrítico paralelo denso. **(Véase anexo 1-Mapa Geológico).**

Se encuentra composicionalmente constituidas por clorita y cuarzo, su aspecto difiere de las filitas cloríticas piríticas solo por la ausencia de pirita y su color es más verdoso, geomorfológicamente tiene un aspecto similar y con foliación casi vertical N40°E/80°SE.

Dentro de esta unidad se encuentran distribuidos diques de composición gabroica – andesítica, en donde se reconocen muy bien los cristales de anfíboles de una matriz afanítica, los cuales cortan la foliación N35°W/36°NE, estos diques no presentan una orientación preferencial de sus fenocristales; además se presentan en algunos sectores (Playa Blanca) se encuentran costras de Yeso, color negro a translúcidos, con un espesor aproximado de 20 m.

Se presentan venas de cuarzo, en ocasiones translúcidas, paralelas a la foliación, con espesores de 1 a 7 cm.

Esquistos Cuarzíticos

Esta aflora en su parte suroccidental en una pequeña porción en la línea de costa de la parte norte de la bahía de Gaira, y el restante aflora hacia la parte norte del corregimiento del Rodadero. En su parte nororiental se encuentra aflorando a lo largo de la carretera que conduce de Santa Marta al Rodadero (Ziruma), y en algunos otros lugares de Santa Marta como producto de cerros aislados. Con una distribución areal aproximadamente 6 km². Presenta una morfología de moderada a alta, constituidas por lomas alargadas en formas de crestas constantes, con un drenaje acusado encajamiento de la red subparalela dendrítica. **(Véase anexo 1-Mapa Geológico).**

Esta unidad se encuentra compuesta esencialmente de esquistos ricos en cuarzo de color gris oscuro competentes, los cuales se diaclasan fuertemente y presentan fallamiento y se observa una variación composicional (cambia ligeramente el color) desde el NW hacia el SE, presentando un carácter más foliado a medida que se dirige hacia el SE, se distingue un diaclasamiento prominente de las siguientes familias N35°W/60°NE y N35°W/70°SE ; así mismo se encuentra una foliación de N40°E/56°SE en el cual se distinguen algunos porfidoblastos de pirita los cuales oscilan en su tamaño entre 0.5 cm hasta 1.5 cm, además hacia la izquierda se observa un plegamiento asimétrico.

Se puede apreciar como en algunos sectores se presentan venas de cuarzo que siguen la foliación, que van disminuyendo su espesor hacia el tope de la unidad con un rango de espesores que varían desde 3 a 15 cm. Formándose lentejones de cuarzo que siguen también la foliación. Se encuentra un gran número de cuerpos.

Esquistos Micáceos

Esta unidad aflora a lo largo de la carretera que conduce de Santa Marta al Rodadero. Presenta una morfología suave formando una colina, con una distribución areal de 1 km². Esta unidad está caracterizada por esquistos micáceos los cuales presentan una foliación predominante de N45°E/39°SE donde se encuentran alternando con venas de cuarzo que siguen la foliación de la roca, se encuentran esfuerzos que generan crenulación, además de estrías en la misma dirección de la foliación, debido al paso del sistema de fallas de la Oca (Falla del Tigre). **(Véase anexo 1-Mapa Geológico).**

Esquistos anfibolíticos

Esta unidad se encuentra aflorando a lo largo de la carretera que conduce de Santa Marta al corregimiento de Gaira (carretera troncal). La cual presenta una morfología fuerte, creando crestas en todas las direcciones, que dan la apariencia de una estrella. Se encuentran constituidos en su mayoría por esquistos anfibolíticos, los cuales también contienen un significativo porcentaje de carbonato sectorialmente y minerales opacos. Los anfíboles se encuentran orientados longitudinalmente en la dirección de la foliación como lo reveló el estudio petrográfico. **(Véase anexo 1-Mapa Geológico).**

En esta unidad cabe destacar la presencia de cuerpos ultramáficos en forma de globos los cuales han sufrido un metamorfismo retrogrado, y originan cuerpos talcosos siguiendo la foliación predominante N54°E/57°SE, donde sectorialmente se puede apreciar anfíboles como actinolita – tremolita; también cabe resaltar que se encuentran enrejados de magnesita derivadas del talco, cuerpos pegmatíticos y algunos diques máficos que cortan la foliación. Se presenta una alternancia de esquistos verdes de composición actinolita tremolita de espesores centímetros en donde algunos puntos este material verdoso se presenta solo a

manera de lente de unos 30 cm por 7 cm de espesor los cuales se encuentran embebidos dentro de los esquistos anfíbolíticos.

Dentro de los paquetes de 30 cm de espesor observamos nuevamente el material verdoso mencionado a manera de niveles centimétricos embebidos en un material talcos que ocupa gran parte del litosoma que muestra una importante cristalinidad al punto de reconocer en muestra de mano los cristales de actinolita tremolita y estos asociados a niveles de biotita.

3.3.2. Rocas ígneas

Batolito del Complejo de Santa Marta, el cual está representado por un complejo plutónico dentro del cual se pueden reconocer cinco variedades composicionales (cuarzodiorítica, granodiorítica a granodiorítica hornbléndica) con base en sus características petrográficas.

Es un cuerpo plutónico de carácter granodiorítico el cual se determinó mediante procesos petrográficos, este cuerpo presenta una variación en su tamaño de grano así como la ocurrencia de él en diferentes lugares de la zona de estudio, del que se intruye se encuentra ocupando gran extensión. **(Véase anexo 1-Mapa Geológico).**

Dentro del casco urbano del Rodadero se observan algunos residuos de roca que prevalecieron a la urbanización los cuales permiten analizar su textura y estructura; presentan una mineralogía típica de granitos tipo S pues estos contienen granates visibles en muestra de mano. Cabe destacar que su tamaño de grano es fino pero se puede observar una alineación preferencial de los minerales máficos y tiene una venas pegmatíticas de color claro que sobresale a simple inspección. En el mismo afloramiento se encuentra un dique de composición máfica que presenta la misma alineación del cuerpo ígneo.

Más hacia la costa NW del área de estudio se encuentra el mismo cuerpo ígneo con tamaño de grano más diferenciado y con características más definidas a la muestra tomada en esta estación se le realizaron estudios petrográficos indicando que es una granodiorita.

En la parte NE del estudio se encuentra expuesta un afloramiento que muestra una intrusión pegmatítica rico en granate, con un espesor aproximado es de 6,43 m, se observa que las micas moscovitas y biotitas se presentan en paquetes con su forma muy definida y su tamaño que oscilan de 0.5 a 5 cm. Se observó una familia de diaclasas con dirección predominante N60W/ 70SW.

3.3.3. Depósitos cuaternarios

Las rocas sedimentarias están ausentes en el área de estudio aunque es posible reconocer depósitos cuaternarios relacionados a los drenajes que depositan el sedimento en las planicies costeras y las playas formadas por el transporte de sedimento ocasionado por el mar. (Véase anexo 1-Mapa Geológico). Los depósitos de playa, característicos del Mar Caribe, afloran entre Santa Marta, Ciénaga y la desembocadura del río Magdalena.



Figura 7. Rasgos litológicos de las unidades aflorantes en el sector comprendido entre Punta Brava y Punta Betín. (a) Granodiorita con presencia de enclaves máficos en Punta Brava, (b) esquistos micáceos de Playa Blanca, (c) y (d) venas de cuarzo concordantes y discordantes, respectivamente, con la foliación metamórfica en esquistos del Rodadero.

Los depósitos entre la desembocadura del Río Palomino y Santa Marta, incluyendo el Parque Natural Tayrona y las bahías Concha, Taganga, Santa Marta y el Rodadero, entre otras son de color gris, algo estratificadas semiconsolidadas, con niveles de arenas finas y arcillas. La edad de estos depósitos ha sido asignada como Holoceno (TSHANZ et al., 1969). En algunos sectores es común la ocurrencia de sedimentos arcillosos y limosos, principalmente en zonas de inundación, donde se producen como resultado de épocas de intensa lluvia.

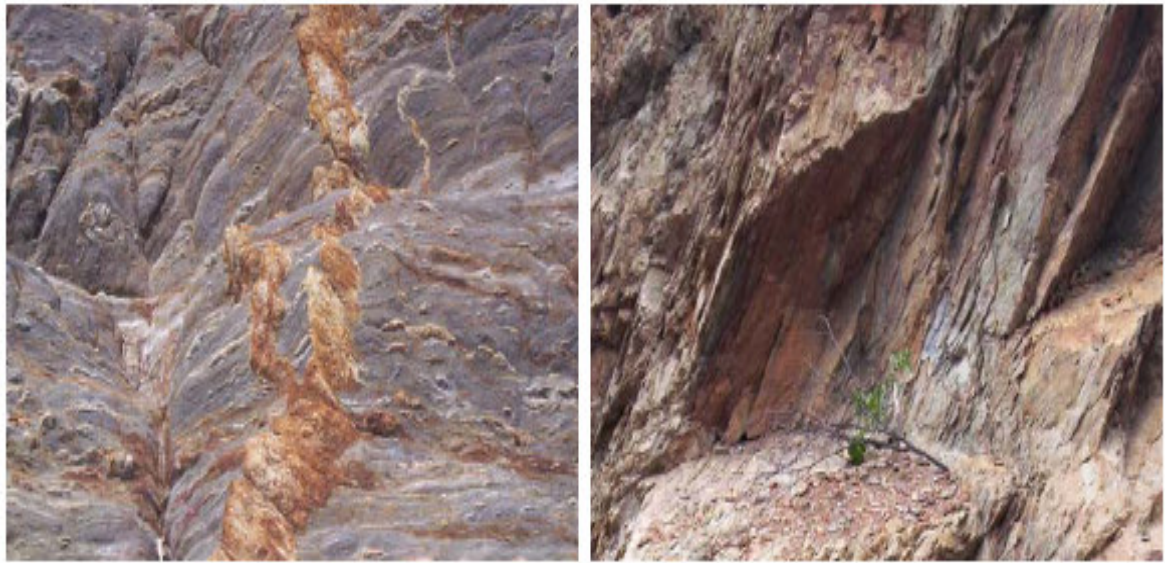


Figura 8. Rasgos litológicos de las unidades aflorantes en el sector comprendido entre Punta Brava y Punta Betín. (a) filitas grafitosas exhibiendo oxidación e intenso replegamiento en la zona costera de Punta Gloria, (b) esquistos micáceos y anfibolitas en Punta Betín.

4. GEOMORFOLOGÍA

Los rasgos geomorfológicos observados en el área de estudio representan zonas frágiles e inestables donde actúan un sin número de fenómenos (oleaje, corrientes, mareas, descarga de sedimentos, escorrentía, movimientos de remoción en masa y modificaciones del paisaje causadas por la acción del hombre), y pueden brindar elementos útiles para su estudio, entendimiento y comprensión de la evolución de los fenómenos geológicos que han ocurrido en esta región, en donde se han identificado dos grandes zonas: una interior montañosa, con altitudes que alcanzan los 200 m.s.n.m., y otra costera constituida por llanuras litorales, las cuales se encuentran truncadas en algunos sectores en los que el litoral rocoso se prolonga hasta la misma línea costera, lo cual se manifiesta en la presencia de bahías (entrantes) y puntas (salientes) que destacan la generación de una serie de geoformas que le dan una gran vistosidad al paisaje. En estas llanuras se presentan costas de acumulación (playas). Las costas escarpadas son mucho menos abundantes y llegan a formar verdaderos acantilados, aunque sin sobrepasar los 50 m de altura, y por lo tanto representan pequeños acantilados. A continuación se describen los diferentes geoformas identificadas.

4.1. UNIDADES MORFOSEDIMENTARIAS

4.1.1. Playas

Estas constituyen una unidad geomorfológica caracterizada por la acumulación de material arenoso no consolidado de origen terrígeno y color pardo amarillento depositado en la franja litoral, y que se considera como la zona actual entre el continente y el mar, la cual generalmente puede ser dividida en tres subzonas: (1) supramareal, (2) Mesomareal e (3) inframareal. La generación de playas se ve principalmente influenciada por el aporte de sedimentos.

En el área de estudio, la mayor cantidad de playas se encuentran en las Bahías de Santa Marta, INCA INCA, Gaira y hacia el sector hotelero, (**Véase anexo 1-Mapa Geomorfológico**). como respuesta a los procesos de sedimentación que ocurren allí. A lo

largo del perfil costero la zona de playas esta definida por una faja angosta, la cual es cortada por arroyos y por los ríos Manzanares y Gaira e interrumpida por salientes rocosas que conforman, de norte a sur, los acantilados. De esta manera, las playas bordean en algunos sectores de la franja litoral. Todas las playas ubicadas en el área están compuestas por sedimentos arenosos de origen terrígeno (arenas finas a medias), con una buena selección, granos subredondeados, alta esfericidad, compuestos en su gran mayoría por cuarzo, chert y pequeños fragmentos de conchas y un porcentaje mínimo de material biogénico. Esporádicamente, en algunos sectores como playa Blanca se presenta material tipo grava. En el sector comprendido entre Punta Brava y Punta Gloria, existen numerosas playas, lo cual favorece el incremento de la demanda hotelera y turística. Las playas para este sector son de material fino a medio, observándose en algunos sectores mayor espacio de playa que en otros, hacia el sector de las playas del aeropuerto se presentan playas de 30-40 m, y hacia las playas de algunos complejos hoteleros (p.ej., Irotama o Zuana) del sector, las playas pueden ser de hasta 60 m; debido a la actividad antrópica, presentándose en algunas la presencia de bermas. Normalmente, en el sector de playa Salguero y hacia las playas del sector hotelero se presenta una berma bien definida y continua. En estas se acumula material (troncos, maderas y fragmentos gruesos de conchas u otros materiales de origen antrópico) traído por el mar en marea alta o tormentas. En los sectores donde se presentan acantilados hay carencia de playas, debido principalmente a la presencia de bloques caídos. En temporada de invierno, las playas de los Cocos suelen aumentar ligeramente su tamaño por el aporte de sedimentos traídos por el río Manzanares, disminuyendo considerablemente en verano, lo cual marca zona de rompiente de olas. Las playas del sector de Punta Gaira presentan mayor pendiente, sedimentos más gruesos y geoformas típicas de acción eólica (dunas y rodaderos). Hacia el norte, transicionalmente, las playas disminuyen su pendiente y tamaño de grano de los sedimentos y desaparecen las dunas y rodaderos.

De norte a sur, las playas de las bahías son las siguientes:

Tabla 7. Características de las playas desde Punta Betín hasta Punta Brava.

| Playa | Características |
|------------------|--|
| Punta Betín | Esta playa no se pudo caracterizar en campo debido a la restricción para su acceso. (Figura 9a). |
| Centro | Sedimentos de arenas medias a finas litoclásticas. Morfología simple, muy modificada por el hombre, ya que soporta el flujo turístico de la ciudad. La desembocadura del río Manzanares forma una barra variable de gran parte del tiempo se refleja al SW. Históricamente se han registrado varias crecientes de río como son la del 13 de Noviembre de 1723, 17 de Noviembre de 1850, otra importante en 1962 y la peor recordada en la historia conocida como el ciclón del 94, el 6 de diciembre de 1994, que causo grandes desastres. (Algunos pobladores mencionan la ocurrencia de otras crecientes, p.ej. en 1988). (Figura 9b) |
| Los Cocos | Sedimentos de arenas medias a finas litoclásticas. Morfología que incluye la barra de la boca del río. En la parte norte quedan indicios de dunas que debieron ser removidas para construcción. Berma y cúspides de playa. Se encuentra en la zona norte una rompiente de olas, esto hace que no existan playas en el sector norte. |
| Batallón | Sedimentos de arenas medias litoclásticas. Morfología simple con una berma bien definida. |
| Lipe o La Cueva | Sedimentos de arenas medias a gruesas litoclásticas. Morfología cuyo limite posterior rocoso presenta evidencias de erosión marina (grietas, stacks abandonados y formas alveolares en la roca), haciendo suponer que corresponde a antiguos acantilados; depresión topográfica de suelos arenosos; cordón de dunas de hasta 8 m de altura; berma y cúspides de playa. (Figura 10a) |
| Punta del Cuerno | Sedimentos de arenas gruesas a medias litoclásticas. Morfología: el Rodadero (acumulación de arena en forma de talud, localizado en una pared rocosa y producida por acción eólica). |
| Santo Cristo | Sedimentos de arenas gruesas litoclásticas. Morfología: el Rodadero, cúspides de playa. |
| Punta Gaira | Sedimentos predominantemente de granulos y arenas muy gruesas, litoclásticos. Morfología de dunas traseras de 80 cm de altura, berma, cúspides de playa. |
| Blanca | Sedimentos de granulos y arenas muy gruesas, litoclásticos. Presentan un limite posterior rocoso, el cual corresponde a paleoacantilado. Las playas son entre 20 y 40 m aprox. Este sector carece de bermas. (Figura 10b) |
| Inca Inca | Sedimentos de arenas gruesas y medias litoclásticas. Morfología de playas no muy amplias, entre 10 y 20 m, lo cual se debe a que el litoral rocoso se encuentra más cerca del litoral. Esta carece de bermas y en general la playa presenta pendientes muy bajas (Figura 10c). |
| Rodadero | Sedimentos predominantemente de arenas medias a finas litoclásticas. Morfología simple, muy modificada por el hombre, y al igual que la playa del centro soporta el flujo turístico de la ciudad (Figura 10d). |

| | |
|--|--|
| Salguero | Sedimentos de arenas medias a finas litoclásticas. Morfología en la que se observan bien marcadas la berma y cúspides de playa. Son un poco más oscuras las playas. Hacia este sector se presenta una alta concentración de troncos en la zona de berma. (Figura 11a) |
| Plenomar | Sedimentos predominantemente de arenas medias a finas litoclásticas. Morfología con poco espesor entre 10 y 30 m. Aquí se comienza a observar la presencia de espolones para evitar el embate de las olas en los hoteles. |
| Sector Hotelero (Zuana, Santamar, Irotama) | Sedimentos de arenas medias a finas litoclásticas, lo cual es una constante hasta Punta Brava. Morfología caracterizada por un alto régimen de oleaje por encontrarse una marcada presencia de troncos en zona de berma. Aquí sigue la presencia de espolones (6 espolones), estos modifican de manera considerable el litoral. Las playas son las más amplias de la zona, están entre 30 y 60 m, las cuales han sido modificadas por el hombre. |
| Villa Canarias | Sedimentos de arenas medias a finas litoclásticas. Morfología con presencia de arroyos, espolones y zonas de carcavamiento y se empieza a mostrar litoral rocoso en zona de playa (granodiorita). Hacia un sector en límites con la zona vegetada se aprecia la presencia de crestas longitudinales (Figura 11b) . |
| Aeropuerto | Sedimentos de arenas medias a finas litoclásticas. Morfología con presencia de puntas que en su mayoría están conformadas por granodiorita y por una especie de coral solo en Punta los Micos. Estas me modifican la playa y en gran manera repercute en la alta influencia de oleaje. Para el sector del Aeropuerto se observan la formación de bermas, llanuras de playas y zonas vegetadas (Figuras 11c, 11d) . Las playas ubicadas en la parte sur de la zona entre Punta Gloria y Punta Brava, se extienden aproximadamente 6.5 Km, conformando una línea de costa muy recta y homogénea. Son playas amplias (20-60 m), con una pendiente aproximada de 3-5° y una berma bien desarrollada y continua en algunos sectores. |

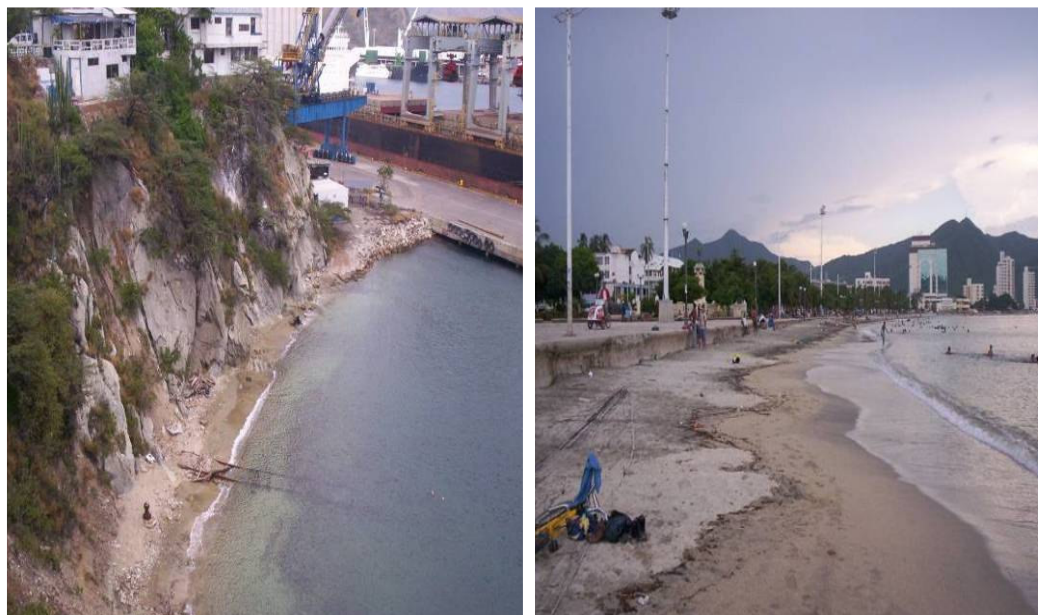


Figura 9. Playas comprendidas entre Punta Brava y Punta Betín. (a) Playa de Punta Betín, (b) Playa del Centro.

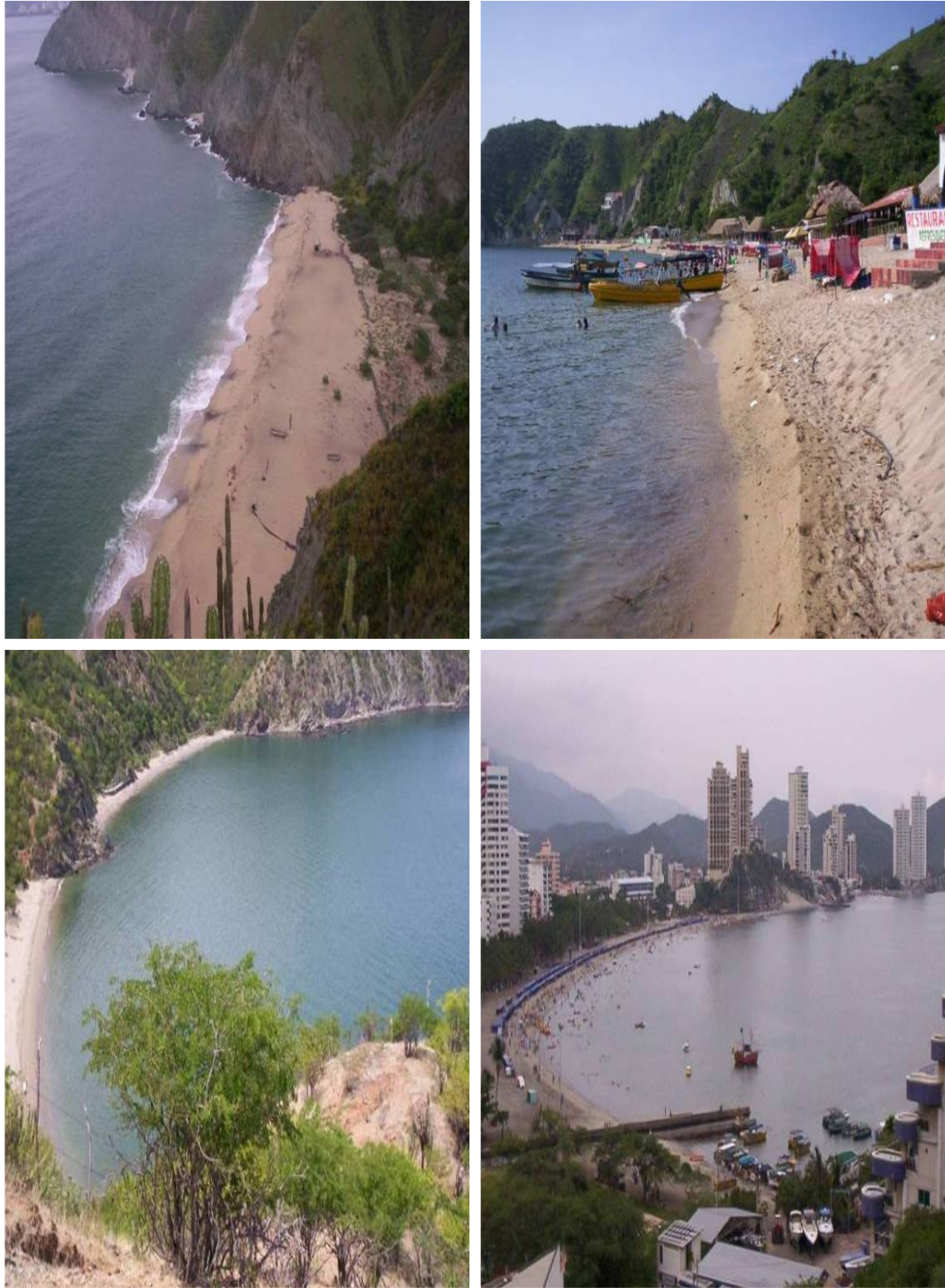


Figura 10. Playas comprendidas entre Punta Brava y Punta Betín. (a) Playa Lipe o la Cueva, (b) Playa Blanca, (c) Playa en Bahía INCA INCA, (d) Playa del Rodadero en Bahía Gaira.

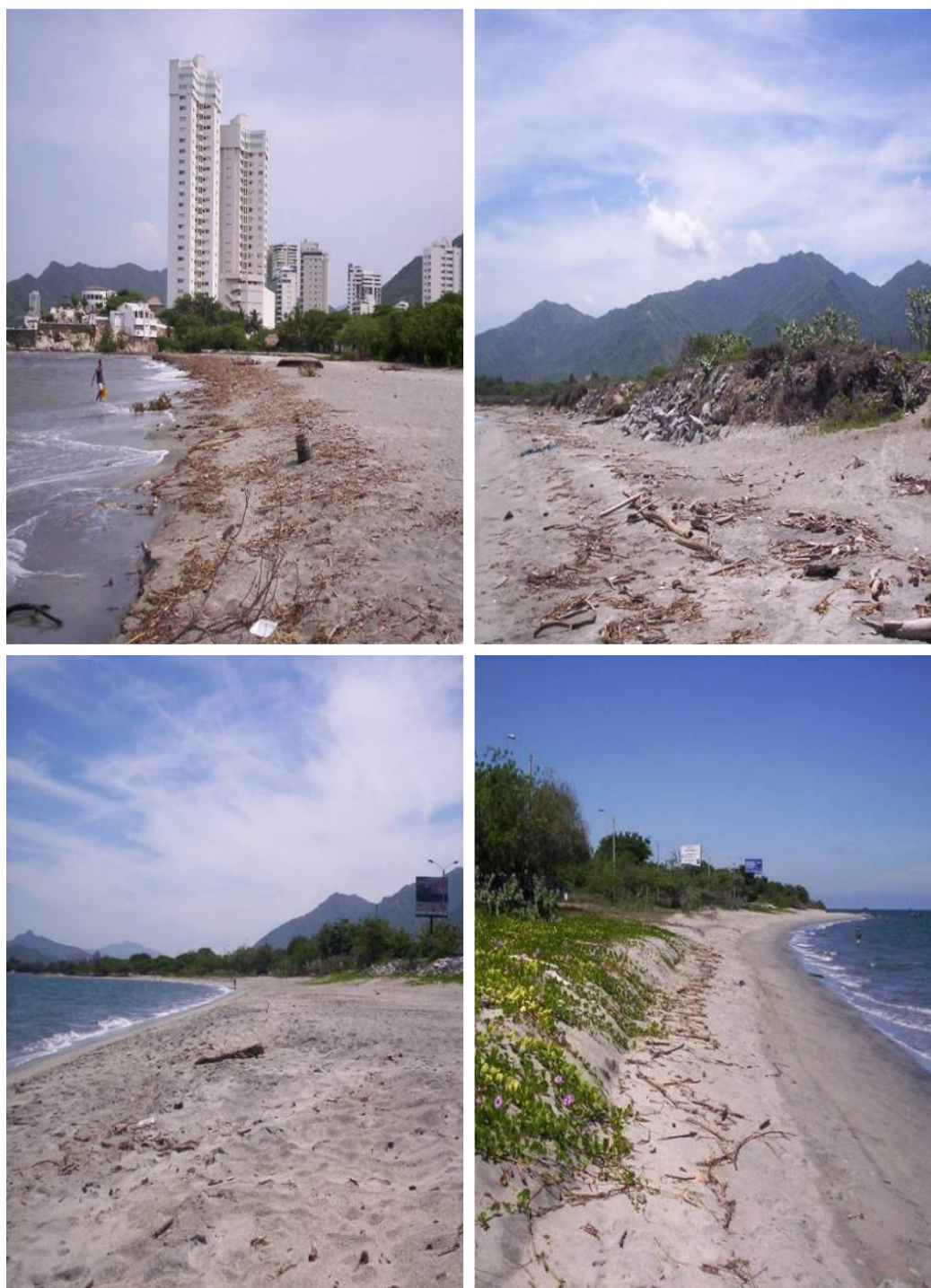


Figura 11. Playas comprendidas entre Punta Brava y Punta Betín. (a) Playa Salguero, (b) Zona de marea alta en Villa Canarias, (c) Playa al oeste del aeropuerto, ancho aproximado de 40 mts, (d) zona vegetada, berma y playa del aeropuerto “Simón Bolívar”.

4.1.2. Llanuras Costeras

Estas representan planicies costeras bajas y extensas que presentan algunas veces ligeras ondulaciones topográficas. Las llanuras costeras finalizan en la línea costera y generalmente se hallan limitadas por colinas o zonas montañosas que irrumpen en la planicie en diferente dirección. En algunos sectores estas se ubican cerca al nivel actual del mar en zonas adyacentes a la línea costera, y en otros el inicio de las llanuras costeras adyacentes al mar se ubica a varios metros sobre el nivel del mar(**Véase anexo 1-Mapa Geomorfológico**). Su origen está asociado a procesos fluvio marinos. Las llanuras costeras presentan una extensión de 100 a 200 m, en la mayoría de la zona se alcanza a perder significativamente la llanura costera debido a la utilización de los suelos, empleándolo para la construcción de hoteles, zonas habitadas como El Rodadero y Santa Marta. En el sector del Aeropuerto se desarrolla tanto la llanura costera como cierta parte de zona vegetada, esto es debido a la escasa utilización para la construcción.(**Figura 12**)



Figura 12. Amplia llanura costera en el sector de Plenomar.

4.1.3. Colinas

Son un promontorio topográfico adyacente a la costa, los cuales sobresalen a lo largo de una amplia llanura costera. Generalmente, las colinas presentan un relieve con pendientes suaves y alturas de aproximadamente 100-200 mts y están constituidas por una gran variedad de material sedimentario; en algunos sectores se observan movimientos de remoción en masa y erosión debido a sobrepastoreo y cárcavamiento. La morfología ondulada se debe a la acción de procesos endogénicos (fallamiento o plegamiento) y exogénicos (clima y procesos erosivos). Los primeros se observan más hacia las colinas, por ejemplo, Cerro La Gloria, en donde en una transversa se identificó un plegamiento de gran relevancia, mientras que un fuerte diaclasamiento hacia el sector de acantilados del litoral costero de Punta Gloria, marcándose una tendencia de fallas satélites. Los procesos exogénicos actúan, aunque con menor importancia, pero modifican de alguna manera las colinas que ocurren en el sector de la Bahía INCA INCA.

Este tipo de geoforma en la zona de estudio se ve influenciado principalmente en dos sectores: Bahía INCA INCA y Punta Gloria (Pozos Colorados - Plenomar). (**Véase anexo 1-Mapa Geomorfológico**). En el sector de Bahía INCA INCA se presentan colinas con alturas topográficas entre 100 y 200 mts y una densidad drenaje moderada a alta (**Figura 13a**), mientras que en el sector de Punta Gloria (Cerro Gloria) las alturas topográficas no superan los 100 mts y la densidad de drenaje es baja. Estas colinas constituyen parte de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, las cuales llegan hasta el litoral costero, influenciando significativamente el desarrollo de la geoforma costera, ya que en las puntas al ser más resistentes a la erosión se forman una serie de acantilados y entre estas se originan las bahías. En el área de estudio se destacan una serie de colinas de norte a sur: Colina de Punta Betín, Cerro Gaira, Cerro de Punta Burucuca y Gloria junto con otros promontorios en las inmediaciones de la carretera Santa Marta - Barranquilla, especialmente en los sectores del Rodadero-Ziruma y Pozos Colorados (**Figura 13b**).



Figura 13. (a) Colinas entre 100 y 200 mts con marcada influencia de drenajes en pasado reciente en la Bahía INCA INCA, (b) Morro ubicado en el flanco SE de Punta Gloria.

4.1.4. Puntas o Salientes

Las puntas o salientes son otro tipo de rasgo geomorfológico destacable, y se caracterizan por presentarse en medio de dos bahías, en donde estas son de material ígneo a metamórfico, el cual es más resistente a la abrasión, en estas puntas se presentan fuertes diaclasamiento (con presencia de fallas satélites) y a sus alrededores acantilados que van de menores a mayores. Estos rasgos son primordiales porque influyen de manera sustancial en el efecto erosión – acreción ya que modifican la dirección del oleaje y en cierta forma la de la deriva litoral, siendo determinantes en la sedimentología de la zona.

Las salientes me permiten determinar la configuración de las costas, siendo en esta zona un tipo de costa de inmersión o de trasgresión, las cuales se caracterizan por presentar unas líneas de costa abandonadas o bermas que son cordones de arena que muestran el retroceso de la línea de costa, en donde se presenta una elevación del nivel del mar o un hundimiento de las tierras que conduce a la inmersión de relieves montañosos (Colinas y Cerros)

(Figura 23a) con presencia de drenajes, lo cual origina una costa recortada por bahías y ensenadas dentro de las cuales se destacan las de Santa Marta, INCA INCA y Gaira, separadas por salientes o puntas, tales como Punta Brava, Punta Cabeza de Negro, Punta Gloria, Punta Burucuca (Figura 23b), Punta Gaira (Figura 23d) y Punta Betín. (Véase anexo 1-Mapa Geomorfológico).

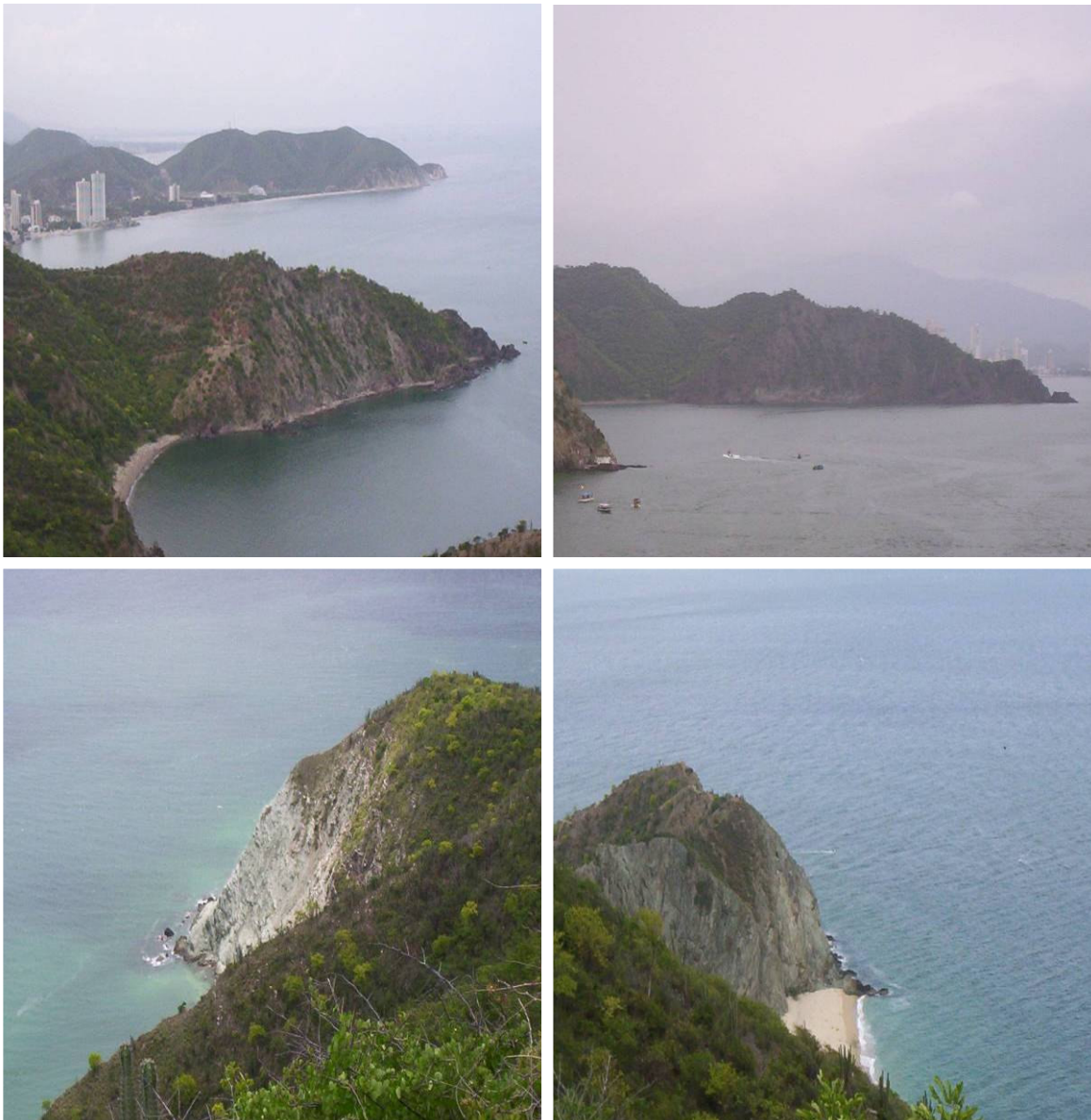


Figura 14. Rasgos geomorfológicos correspondientes a puntas o salientes. (a) Costas de inmersión, sector entre Punta Burucuca y Punta Gloria, (b) Playa Blanca y Punta Burucuca, (c) Punta Cabeza de Negro, y (d) Punta Gaira.

4.1.5. Zonas bajas de inundación

Son áreas costeras llanas y bajas cuya extensión es variable, las cuales se asocian a espigas de arena. En invierno estas zonas captan aguas lluvias, comportándose por lo tanto como lagunas temporales de fondo somero, mientras que en verano estas constituyen superficies que presentan suelos arcillosos, los cuales generalmente muestran grietas de desecación. Las zonas bajas o depresiones localizadas muy cerca de la línea de costa, son con frecuencia inundadas en razón a mareas altas o en casos particulares a mares de leva. En el área de estudio, estas zonas se presentan hacia el NW del Laguito La Escollera, entre el Cerro La Gloria y Plenomar, junto con una zona de inundación antigua, en el sector de Pescadito, (**Véase anexo 1-Mapa Geomorfológico**), que se encuentra fuera del área de estudio, pero sirve como referencia para analizar el comportamiento en los otros sectores. En los alrededores del Laguito La Escollera no se ven bien marcadas las grietas de desecación, pero se presenta la ocurrencia de lagunas temporales, con desarrollo de suelos arcillosos, lo cual es característico en épocas de lluvia. En el sector de Plenomar se evidencia mucho más la ocurrencia de una gran llanura de inundación, debido a que en invierno se forman unas lagunas temporales, con desarrollo de suelos arcillosos y en verano se generan las grietas de desecación (**Figura 15a, 15b**).



Figura 15. (a) zonas de baja inundación hacia el sector de Plenomar (b) grietas de desecación en Plenomar.

4.1.6. Lagunas interiores

Estas geoformas presentan diferente extensión y se encuentran adyacentes a la línea de costa. No obstante, algunas de estas están separadas del mar por delgadas barras de arena, creando por consiguiente una relativa influencia del mar sobre la laguna. En contraposición a la situación anterior se encuentran lagunas que a pesar de su situación sobre espigas, se hayan distantes de la actual línea de costa y como tal no reciben el influjo directo del mar. Las lagunas interiores se presentan cercanas a las zonas de baja inundación; (**Véase anexo 1-Mapa Geomorfológico**). unas incluso como consecuencia de inundaciones pasadas y otras generadas por acción antrópica. Algunos ejemplos de este tipo de geoformas ocurren en los sectores de El laguito La Escollera y Plenomar (**Figura 16**).



Figura 16. Lagunas interiores hacia el sector de Plenomar creadas por la acción del hombre.

4.1.7. Acantilados

Estas geoformas representan escarpes que marcan cambios bruscos en la pendiente, formados por la erosión marina; generalmente están constituidas por un sustrato rocoso y su altura es variable (acantilados elevados y bajos). En los acantilados elevados, la línea de costa presenta una playa estrecha acompañada de un talud de paredes generalmente inclinadas y que en algunos casos limita terrazas o plataformas con alturas iguales o mayores a 10 mts.



Figura 17. (a) Paleoacantilados en Playa Santo Cristo, (b) acantilados bajos en el sector del aeropuerto, su altura no supera los 10 m, (c) acantilados en Punta Gaira, (d) acantilados en Punta Betín.

Este es el tipo de acantilado que se observa en la mayor parte de la zona, en donde los acantilados presentan perfiles convexos a verticales con alturas de 10 a 30 mts, encontrándose excelentes ejemplos en las puntas de Gaira (**Figura 17c**), Betín

(Figura 17d), Burucuca y Gloria. (Véase anexo 1-Mapa Geomorfológico), En ocasiones los escarpes que fueron originados por la acción del mar, ya no reciben su acción directa y están separados de la línea actual de costa, por lo que son considerados como paleoacantilados, los cuales están bien representados entre Playa Lipe y Playa Blanca en el costado NE de Punta Gaira, (Véase anexo 1-Mapa Geomorfológico), en la Playa de Santo Cristo (Figura 17a), donde se observa la playa y al final de esta se aprecia como resurge un paleoacantilado de 20 a 30 m aproximadamente. Este evidencia no solo el retroceso que el mar ha tenido en este sector sino también el desarrollo de un proceso de acreción. En el área de estudio los acantilados no están relacionados a terrazas fluvio-marinas como ocurre generalmente en los acantilados de la costa Caribe, por el contrario, se presentan acantilados asociados a colinas y montañas pertenecientes a las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta. La acción del oleaje genera geoformas erosivas típicas que dependen de la compactación y estructura de la roca que constituyen estas estribaciones rocosas; entre las cuales se destacan los esquistos y filitas, actuando el oleaje y la erosión a través de las foliaciones y diaclasas que estas presentan. Estas interacciones producen salientes rocosos o puntas y pilares. La erosión sobre los acantilados es somera y se da por caída de rocas, deslizamientos eventuales, acción del agua (grietas, cavernas y formas alveolares o de panal) y posible bioerosión. Esta última favorecida por la presencia de organismos (moluscos y plantas) que se adhieren al substrato rocoso.

Por otra parte, en los acantilados bajos en la línea de costa formada, su altura no supera en ningún caso los 10 mts. Generalmente la base se encuentra socavada y es común encontrar bloques de roca separados y hacia la base del acantilado. Este tipo de acantilados se ven más marcados donde la erosión marina ha actuado con mayor fuerza en las playas como ocurre en los acantilados del aeropuerto que no superan los 5 m y presentan una playa muy angosta (Figura 17b). Al pie de los acantilados activos es frecuente las acumulaciones de bloques cuyo tamaño puede llegar hasta 2 m de diámetro, formados por el material desprendido del mismo acantilado (Figura 18a, b).

La acumulación de estos bloques refleja la inestabilidad que sufren los frentes de tales bordes rocosos por la acción de las olas que trabajan la base de este.

4.1.8. Playones con campos de dunas

Estos constituyen zonas costeras bajas formadas por arena, las cuales se hallan asociadas con la formación de espigas. Los playones se extienden desde la playa actual hasta el límite formado por antiguos acantilados, y son áreas extensas de material no consolidado asociado a playas antiguas que en la actualidad pueden o no estar vegetadas.



Fig 18 (a) presencia de bloques caídos en el flanco oeste de Punta Gloria, (b) Bloques caídos en el flanco SW de Punta Gloria



Figura 19. Playones con campos de Dunas para el sector de Playa Los Nativos

A menudo sobre estos playones se localizan cubiertas delgadas de arenas; en otras zonas de los mismos se presentan montículos dispersos de arena de escasa elevación (menos de un metro) y sin ninguna orientación preferencial, los cuales se hallan relacionados al igual que los primeros a la acción dinámica del viento.

La presencia de dunas en las playas es importante ya que constituyen barreras para protección de áreas interiores contra la acción del oleaje. Representan también reservas de aprovisionamiento de arena para la alimentación natural de las playas (US Army Corps of Engineers, 1973).

Playones con campos de dunas se observan en general en todas las espigas de arena que ocurren en el área de estudio. Estas geofomas sólo se presentan en el sector de la playa de Punta Gaira; (**Véase anexo 1-Mapa Geomorfológico**), aquí se manifiesta como una planicie con campos de arena, cuyo ancho varía de 10 a 15 m. Los playones se encuentran alejados aproximadamente 30 m de la playa actual. Por su morfología y ubicación son susceptibles a inundaciones periódicas. En general, las dunas están constituidas de arenas gruesas a muy gruesas (**Figura 19**).

4.2. RASGOS GEOMORFOLOGICOS

4.2.1. Isla con acantilados

Son porciones de tierra que se encuentra totalmente rodeada de agua. En donde en este caso particular se observa una masa rocosa con presencia de acantilados en sus alrededores, denotándose una acción influenciada del oleaje y sometimiento a la constante erosión.. El tamaño de las islas es variable, pudiendo tener desde unos pocos metros cuadrados hasta más de dos millones de km².

Para la zona de estudio se presentan El Morro Grande de Santa Marta (**Figura 20b**) que se encuentra a una distancia de 1 Km (**Véase anexo 1-Mapa Geomorfológico**), dirección SW de Punta Betín y la otra isla de gran importancia es el Morro de Gaira (**Figura 20a**) ubicado en el sector de Punta Burucuca, a unos 300 mts de esta misma, al costado W de la Bahía de Gaira con un tamaño que alcanza hasta los 30 mts de alto.



Figura 20. (a) y (b) Islas con acantilados, mostrando, respectivamente, Morro de Gaira y Morro de Santa Marta.

4.2.1. Pilares o "stacks"

Dentro del proceso de erosión que realiza el mar sobre una zona acantilada, las olas pueden atacar el pie de un acantilado haciendo que se formen cavernas, las cuales pueden unirse con las de lados opuestos hasta formar arcos litorales, los cuales finalmente como consecuencia del desmoronamiento paulatino de su techo llegan a desarrollar remanentes de roca aislados a manera de pequeñas islas rocosas, denominados pilares o "stacks", los cuales suelen representar porciones más resistentes del antiguo acantilado que pueden sobrevivir por un tiempo hasta formar "stumps", antes de ser destruidos por el mar (**Figura 21**).

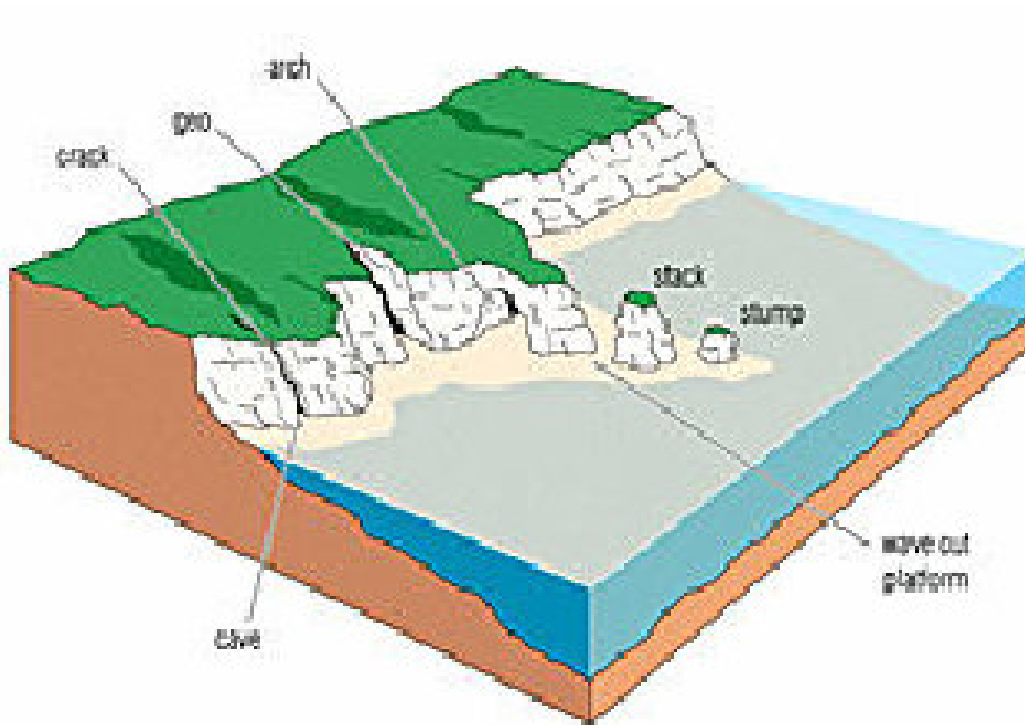


Figura 21. Rasgos típicos de la erosión costera que actúa inicialmente sobre zonas de debilidad (fallas o diaclasas) en las rocas con el paulatino desarrollo de cavernas, arcos, "stacks" y "stumps".

Al Suroeste, al frente de Punta Betín se encuentran el pilar del Morrito (**Figura 22**) que corresponden a prolongaciones de la formación rocosa de Punta Betín (**Véase anexo 1- Mapa Geomorfológico**). Algunos pilares que no alcanzan a sobresalir por encima del nivel

del mar, se convierten en bajos y son una amenaza para cualquier tipo de embarcación que se desplace cerca de la línea de costa. Estos bajos pueden estar marcados en las zonas de Puntas que hoy en día no presentan pilares como Punta Gloria y Punta Gaira. Hacia el sector de Punta Gloria se presenta un pilar costero no mayor de 5 mts que no es de carácter cartografiable (**Figura 23**).



Figura 22. (a) El Morrito (ubicado a la derecha), principal pilar de la zona de estudio; (b) Creación de Stacks en el sector de Punta Gloria, con una altura no mayor de 5 mts S.N.M.

5. HIDRODINÁMICA

En este aparte se presentan los parámetros hidrodinámicos medidos en los sectores de Plenomar, El Rodadero y Bahía de Santa Marta. Las mediciones se efectuaron en época de transición con vientos variables y poca energía de oleaje.

En la playa de Plenomar se efectuaron 3 medidas de corrientes empleando boyas de deriva. Estas se hicieron en una franja comprendida entre los -2.5 y los -4.5 m de profundidad. En el momento en que se efectuaron las mediciones el viento presentaba una velocidad de 8 nudos proveniente del SW y las olas alcanzaban una altura de 0.2 metros. (**Tabla 8**).

Adicionalmente, a lo largo de toda la playa del Aeropuerto, se tomaron en las zonas de playa datos de dirección de trenes de olas, frecuencia del oleaje y dirección de la línea de costa con el fin de obtener la dirección de la deriva. Los datos obtenidos mostraron una frecuencia promedio de 6 olas cada minuto, en algunos sectores los trenes de olas llegaban paralelos a la línea de costa, con una dirección promedio de N45E; (**Tabla 9**).

Tabla 8. Corrientes medidas en la zona de Plenomar.

| LÍNEA | PROFUNDIDAD DEL LECHO | VELOCIDAD (M/S) | DIRECCIÓN COSTA |
|-------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 4.0-4.5 | 0.245 | N48E |
| 2 | 2.5-3.5 | 0.250 | N48E |
| 3 | 3.5-4.0 | 0.275 | N45E |

Tabla 9. Parámetros hidrodinámicos obtenidos para la zona de Plenomar.

| ESTACIÓN | DIRECCIÓN OLAS | FRECUENCIA OLAS / MINUTO | DIRECCIÓN COSTA |
|------------|----------------|--------------------------|-----------------|
| Plenomar 1 | N50E | 6 | N40E |
| Plenomar 2 | N38E | - | N45E |
| Plenomar 3 | N52E | 6 | N43E |
| Plenomar 4 | N34E | 7 | N38E |
| Plenomar 5 | N48E | 8 | N45E |
| Plenomar 6 | N15W | 6 | N-S |

En el momento en que se efectuaron las mediciones de corrientes en el Rodadero, el viento presentaba una velocidad de 7 nudos proveniente del SW, las olas alcanzaban una altura de 0.2 metros (**Tabla 10**).

Tabla 10. Corrientes medidas en la zona del Rodadero.

| LÍNEA | PROFUNDIDAD DEL LECHO | VELOCIDAD (M/S) | DIRECCIÓN COSTA |
|-------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 4.0-5.0 | 0.145 | N40E |
| 2 | 4.0 | 0.145 | N37E |
| 3 | 2.0-3.0 | 0.145 | N45E |
| 4 | 3.5-4.5 | 0.145 | N35E |

Las medidas en la playa del Rodadero muestran que el oleaje presenta una frecuencia promedio de 7 –10 olas por minuto; los trenes de olas por lo general entran paralelos a la línea de costa o con un ángulo que no sobrepasa los 40°. A continuación se muestran los datos tomados en las estaciones de campo (**Tabla 11**).

Tabla 11. Parámetros hidrodinámicos obtenidos en la playa del Rodadero.

| ESTACIÓN | DIRECCIÓN OLAS | FRECUENCIA OLAS / MINUTO | DIRECCIÓN COSTA |
|------------|----------------|--------------------------|-----------------|
| Rodadero 1 | N45W | 8 | N55W |
| Rodadero 2 | - | - | - |
| Rodadero 3 | N12W | 10 | N25W |
| Rodadero 4 | N24W | - | N33W |
| Rodadero 5 | - | 9 | - |
| Rodadero 6 | N30E | 7 | N38E |
| Rodadero 7 | N25E | 8 | N32E |

En la Bahía de Santa Marta las mediciones se efectuaron hacia las horas de la tarde, el viento presentaba una velocidad de 3 nudos proveniente del NW y las olas alcanzaban un alto de 0.1 m. Las condiciones de la corriente se muestran en la siguiente tabla (**Tabla 12**).

Tabla 12. Corrientes medidas en la Bahía de Santa Marta.

| LÍNEA | PROFUNDIDAD DEL LECHO | VELOCIDAD (M/S) | DIRECCIÓN COSTA |
|-------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 2.5-4.5 | 0.115 | N56E |
| 2 | 3.5-5.5 | 0.115 | N50E |
| 3 | 3.0-4.5 | 0.115 | N60E |
| 4 | 2.0-3.5 | 0.115 | N55E |

Las mediciones de oleaje muestran que la frecuencia de llegada es 11 olas por minuto, la dirección promedio es N55E. La siguiente tabla muestra los datos recopilados en campo (**Tabla 13**).

Tabla 13. Parámetros hidrodinámicos obtenidos en la Bahía de Santa Marta.

| ESTACIÓN | DIRECCIÓN OLAS | FRECUENCIA OLAS / MINUTO | DIRECCIÓN COSTA |
|----------|----------------|--------------------------|-----------------|
| Bahía 1 | N50E | 6 | N50E |
| Bahía 2 | - | 8 | N50E |
| Bahía 3 | N48E | 7 | N48E |
| Bahía 4 | N32E | 9 | N37E |

5.1. INTERPRETACIÓN DE LA HIDRODINÁMICA EN LA ZONA COSTERA.

Se decidió realizar el estudio hidrodinámico en las zonas anteriormente mencionadas debido a que se presentan cercanas a puntas y están influenciadas a la vez por corrientes tanto de la deriva litoral como de corrientes marinas, también por ser zonas de alto riesgo al estar en zona continental, son geoformas de zonas de baja inundación. La dirección de deriva se obtuvo relacionando la dirección de la línea de costa con la dirección del oleaje. Estos datos son una aproximación muy confiable de la dirección de la corriente cercana a la costa; para una mayor validez, se compararon los datos con la acumulación de sedimentos cerca de los espolones de Plenomar y su distribución en los primeros -4 metros de profundidad.

El sector de Plenomar presenta una corriente de deriva con tendencia N-NE, los sedimentos son arrastrados por esta corriente y retenidos en la parte norte en Punta Gloria, en la cual se encuentran unas series de acantilados y bloques caídos que sirven de retención de sedimentos. En este sector se presentan unas acumulaciones en sentidos contrarios a la dirección de la deriva litoral debido a que se encuentran unas series de espolones y a la vez la configuración de la costa hace que se de la acumulación de sedimentos de esta manera.

En el sector del Rodadero las corrientes de deriva muestran 2 tendencias, hacia el sur la corriente se desplaza N-NE igual que en el sector de Plenomar. Hacia el sector norte se encuentra en una dirección S-SW, este se debe a que el oleaje al llegar a punta Burucuca encuentra un obstáculo en su desplazamiento y se refracta produciendo un cambio en la ortogonal y en la dirección de la corriente de deriva. Para darle una mayor validez a esta hipótesis es necesario efectuar nuevas medidas.

En el sector de la Bahía de Santa Marta se presenta corrientes de deriva con tendencia SW; son corrientes provenientes de sedimentos, sin embargo, la corriente que más influye en este sector es la generada por el Río Manzanares hacia el sur. Por lo general el oleaje tiene la misma dirección de la línea de costa y el lavado y relavado que actúa hacia la base de los acantilados, produce su socavación.

Las corrientes de deriva cuando se manifiestan se ajustan para la época a la variabilidad de los vientos que son los que influyen de manera directa en el oleaje que actúa en la zona de estudio.

A lo largo de la zona de estudio se manifiesta un comportamiento diferente de la costa ante la interacción de los procesos hidrodinámicos con las diferentes unidades geomorfológicas. En este estudio según las características geomorfológicas e hidrodinámicas se han clasificado una serie de zonas:

- **Zona Tipo A:** Estas son zonas cuyas playas presentan un ancho mucho mayor que oscila entre los 40 a 60 metros, y se encuentran limitadas por llanuras costeras y de inundación, en esta zona presenta pendientes muy bajas y el oleaje rompe en la costa lo que favorece la formación de las playas. Ejemplos de estas se encuentran en playas del sector hotelero, del aeropuerto y de la bahía de Santa Marta.
- **Zona Tipo B:** En esta zona sus playas son muchos menores; entre 10 a 30 metros. Son zonas acantiladas (con presencia de Acantilados o Paleoacantilados), en estas pueden presentarse o no playa, sus anchos son variables siempre están rodeadas de colinas. En esta zona se presentan en la costa una secuencia de bloques caídos, esto es como consecuencia a que se encuentran en zonas de salientes las cuales presentan unas series de acantilados que debido a efectos abrasivos ocasionan que se den estas zonas, ejemplos de ellas son Punta Gloria, Punta Gaira, Punta Burucuca, Punta Cabeza de Cuerno. En estas zonas influye principalmente la pendiente del perfil de playas en la línea de costa, las cuales son mayores a diferencia de las Zonas Tipo A, así el rompimiento de las olas se presenta más lejano de la línea de costa.

Esta clasificación que se propuso se tuvo en cuenta las pendientes de playa principalmente y como consecuencia el rompimiento del oleaje.

Para estos tres sectores se tuvo una frecuencia de llegada distinta:

En el sector de Plenomar se presentaba una frecuencia de llegada del oleaje para la zona (6-7), para el Rodadero de (8-9) y para la Bahía de Santa Marta (7-8), en general presenta una frecuencia promedio de (7-8), pero se puede observar que presenta una mayor frecuencia en el sector del Rodadero, debido a la influencia de Punta Burucuca, ya que se encuentra como un obstáculo en su desplazamiento y se refracta produciendo un cambio en la ortogonal y en la dirección de la corriente de deriva, lo cual se ve evidenciado en la alta presencia de oleaje para este sector. Para la Bahía de Santa Marta hacen efecto los espolones y a la vez la corriente generada por el Río Manzanares hacia el sur en donde me influye en la hidrodinámica de esta zona. Con lo que respecta a Plenomar aquí es en cierta forma menor debido a que la dirección de deriva y la dirección de oleaje van en la misma tendencia N-NE, y los sedimentos se acumulan en la parte norte haciendo que se retrase su frecuencia de oleaje.

6. SEDIMENTOLOGÍA

La dinámica de la línea de costa está altamente relacionada con la interacción de los procesos de transporte, erosión y depositación de sedimentos, convirtiéndose en una preocupación constante para el hombre en el momento de brindar un manejo adecuado al ambiente costero. El transporte de sedimentos está directamente relacionado con la energía del oleaje, su ángulo de incidencia y fundamentalmente con la disponibilidad de material. En términos generales, el patrón general de la circulación costera superficial de la costa Atlántica es Sur-Norte y en el sector comprendido entre Punta Brava y Punta Betín es Suroeste- Noreste.

6.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE SEDIMENTO EN LA ZONA DE ESTUDIO.

Generalmente, las actividades antrópicas desarrolladas a lo largo de la zona costera del área de estudio incluyen la construcción de barreras (espolones y muros) en la playa, lo cual hace que el transporte de sedimentos a lo largo del litoral tienda a alterar los procesos de erosión y sedimentación. Este fenómeno viene impactando la dinámica litoral costera, generando condiciones de depositación de arenas en unas playas y una disminución en el aporte de sedimentos, lo cual se manifiesta en la ocurrencia de procesos erosivos y de retracción costera en las playas. Sin duda la disminución de la playa en Santa Marta se ha acentuado como consecuencia de la construcción de la Escollera, ya que esta forma una barrera que limita el transporte de sedimentos, impactando negativamente sobre la morfología costera de la región, lo cual se manifiesta en el aumento de la profundidad de interrupción de la deriva litoral, acompañado de una intensa erosión de la costa. Por lo tanto, es necesario tener en cuenta todos los elementos que permiten este equilibrio, como los procesos que aumentan o disminuyen la cantidad de sedimentos (entradas y salidas). A pesar de que para el área de estudio no se contó con datos sobre volúmenes de entrada y salida de sedimentos, se definen a continuación las principales entradas de sedimentos y sus características, lo cual es valioso para entender de qué manera influyen estas variables.

6.1.1. Erosión de Acantilados y Playas

El principal aporte de material se lleva a cabo a través de la erosión de acantilados y playas. La carga de sedimentos que lleva la corriente está relacionada con factores tales como tipo de roca por el que fluye, grado de erosión de la roca, precipitaciones y efectos antrópicos que aceleran la erosión y el aporte de sedimentos, entre otros. El material proveniente de los acantilados se caracteriza por presentar mayores tamaños con relación al sedimento aportado por fuentes fluviales; esto se observa en zonas como las Puntas de Gaira, Burucuca y Gloria en donde se presentan bloques caídos como resultado de la erosión presentada en esos acantilados. Además, características como su angulosidad y redondez permiten identificar un menor transporte desde su área fuente. En el área de estudio se identificó esta fuente de aporte de sedimentos gracias a la composición cuarzosa de los sedimentos encontrados en las playas, similar a aquella que presentaban las rocas encontradas en los acantilados presentes en el área.

En el área de estudio se presentan zonas tanto de aportes de playas como de acantilados, las primeras son transportadas debido a la deriva litoral, y en su mayoría son todas las playas presentes en la zona de estudio (Playa del Centro, Playa Los Cocos, Playa Los Nativos, Playa Blanca, entre otras) y la segunda es resultado de efectos erosivos, en esta corresponde a las zonas de acantilados que por lo general en la zona se presentan en las puntas.

6.1.2. Transporte por corrientes de Deriva

La segunda fuente en importancia es el transporte por corriente de deriva. Las corrientes de deriva son irregulares y resultan de la descomposición de la dirección del tren de oleaje en dos componentes: uno perpendicular a la playa y otro paralelo a esta, cuyas magnitudes indican si ocurre depositación o transporte. Estas corrientes arrastran los sedimentos de un lado a otro dependiendo de la dirección del oleaje y de la presencia o no de sedimento. En el área de estudio este mecanismo de transporte es el que interviene en el movimiento de los sedimentos a lo largo de la costa; transporta los sedimentos aportados tanto por los ríos como por la erosión de los acantilados. Su orientación general es hacia el SW, aunque cambia con las estaciones climáticas y en ocasiones es inexistente. Para la zona de estudio se puede determinar que debido a efectos del oleaje se presenta una erosión hacia el flanco

en zonas que presentan menor resistencia a la abrasión, en la mayoría de sectores son en zonas a los costados de las puntas, para el sector sería en una tendencia NE y se presentan una mayor depositación hacia la zona de playa central o en la costa con tendencia SW.

6.1.3. Transporte Fluvial

La fuente de transporte fluvial en la región de interés está representada por los ríos Manzanares y el Gaira. Durante las épocas de lluvias se dan los aportes más importantes de sedimentos generalmente de arenas finas a muy finas, compuestas esencialmente por cuarzo y en menor cantidad minerales micáceos y pesados. El río Manzanares es el que presenta mayor importancia por el aporte de sedimentos al mar, influenciando en la geomorfología y sedimentología de la zona, junto con el cambio en la deriva litoral, mientras que el río Gaira, por encontrarse obstruido en su desembocadura, tiene menor influencia en la región.

6.1.4. Transporte Eólico

El viento es otro agente de transporte de sedimentos, pudiendo transportar partículas principalmente de tamaño muy fino, aunque también de tamaño arena. En casos donde se presenten altas velocidades del viento las partículas pueden volar algunos kilómetros para depositarse en regiones lejanas a su zona de origen. En el área de estudio el viento puede llegar a transportar sedimentos principalmente de arenas finas que se encuentran haciendo parte de los cordones litorales de la zona supramareal, y su efecto sobre los procesos de sedimentación puede ser considerado bajo a moderado. Esto manifiesta en el desarrollo de dunas y crestas de playas, Este se puede observar en la Playa los Nativos, donde se presentan una serie de Dunas. La construcción de casas sobre las zonas de berma impide que los sedimentos acarreados por el viento se desplacen, favoreciendo (de forma mínima) el déficit en los aportes de sedimentos en esta región.

6.1.5. Extracción de arenas

La extracción de arenas por ejemplo en las desembocaduras de los ríos Manzanares y Gaira es otra causa importante en la disminución en el aporte de sedimentos, favoreciendo la erosión de las playas y la profundización y ensanchamiento de las entradas costeras, lo que

puede producir la penetración de aguas salinas más allá de su límite natural. La extracción de sedimentos causa un fuerte impacto en las áreas adyacentes al sitio de extracción, ya que contribuye en la degradación de sus ecosistemas, lo cual conlleva a una pérdida de la productividad, la biodiversidad y el potencial de recreación.

6.1.6. Aporte Biogénico

Además de los sedimentos originados por la erosión de los acantilados y las playas, el aporte biogénico es importante, aunque este no se da en grandes proporciones a lo largo de la zona, permanece constante en las arenas de las playas (restos de conchas, algas, etc.), un ejemplo ocurre en Playa Blanca donde en la plataforma de arrecifes de coral somera contigua se encuentran cantidades considerables de sedimento de origen biogénico.

6.2. ANALISIS SEDIMENTOLOGICO DE LAS PLAYAS COMPRENDIDAS ENTRE PUNTA BRAVA Y PUNTA BETÍN

En cada una de las playas se llevó a cabo un muestreo en pequeñas trincheras en forma de “T”, las cuales permitieron visualizar no solo la variación del tamaño de granos de las arenas, sino también su composición y rasgos estructurales. Estas T se elaboraron en la zona Mesomareal de cada una de las playas, y sus dimensiones fueron 20-25 cm. de profundidad por 1 m² de área tal como se ilustra en los ejemplos de la **Figura 24**. En total se recolectaron 28 muestras para su posterior análisis sedimentológico, siendo en su mayoría de arena de grano fino a medio, variando en proporción de acuerdo a la zona. Por lo general, no presentaban ninguna estructura sedimentaria. Las tendencias de las playas están conformadas por una línea de costa semicircular y homogénea y sectores amplios (aproximadamente 4-8 mts), con una pendiente de 3° y una berma bien desarrollada y continua.

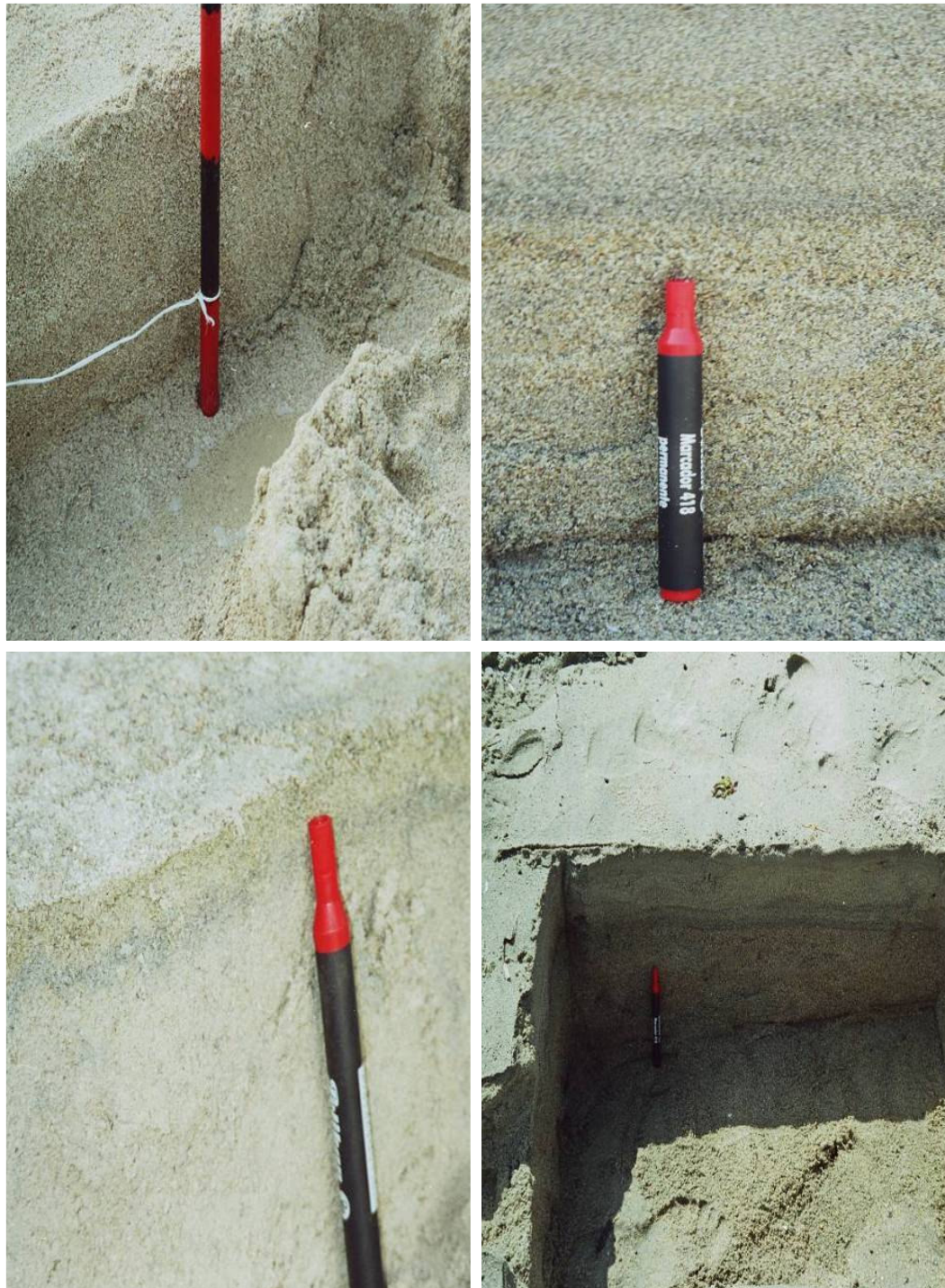


Figura 23. Metodología de las T elaboradas en la zona Mesomareal. (a) T realizada en la zona Mesomareal de la playa de Plenomar, en donde se utilizó la vara de Jacob para realizar las mediciones, (b) T en la zona de las playas del aeropuerto, aquí se aprecian la estratificación en artesa que presenta la arena, (c) T en la playa de la Bahía de Santa Marta, (d) T en el sector de Plenomar.

6.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANALISIS GRANULOMETRICO

El estudio sedimentológico se llevó a cabo a partir del análisis granulométrico de los sedimentos muestreados en las diferentes playas del sector comprendido entre Punta Brava y Punta Betín, cuyos datos están tabulados en las **Tablas 14-41** y se ilustran en gráficas de distribución de tamaño de grano de frecuencia simples (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada en escala aritmética **Figuras 25-38**, los cuales se presentan a continuación.

Playa del Centro (Bahía de Santa Marta)

Tabla 14. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 1 (Playa del Centro)

| Tamiz | Muestra 1 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2 mm | 50,4 | 6,98 | 6,98 |
| 1 mm | 56 | 11,09 | 18,07 |
| 500µm | 71 | 27,06 | 45,13 |
| 250µm | 72,93 | 29,91 | 75,04 |
| 125µm | 56,68 | 15,06 | 90,1 |
| 63µm | 46,81 | 5,15 | 95,25 |
| < 63µm | 46,15 | 4,69 | 99,94 |
| | | 99,94 | |

Tabla 15. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 2 (Playa del Centro)

| Tamiz | Muestra 2 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2 mm | 44,64 | 1,22 | 1,22 |
| 1 mm | 57,28 | 12,37 | 13,59 |
| 500µm | 67,4 | 23,46 | 37,05 |
| 250µm | 73,38 | 30,36 | 67,41 |
| 125µm | 69,33 | 27,71 | 95,12 |
| 63µm | 45,73 | 4,07 | 99,19 |
| < 63µm | 42 | 0,54 | 99,73 |
| | | 99,73 | |

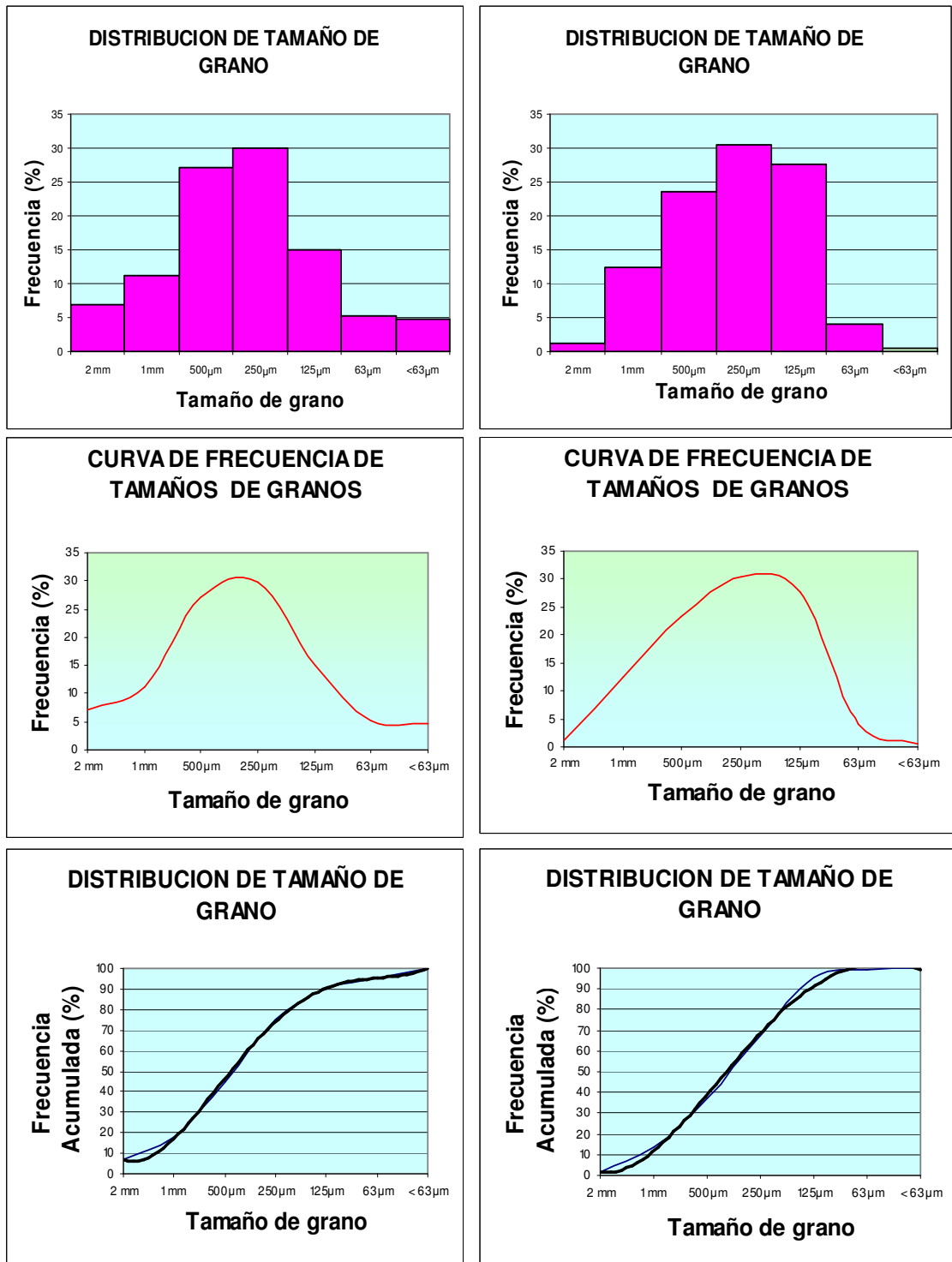


Figura 24. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 1 (izquierda) y la muestra 2 (derecha). (Playa del Centro).

Tabla 16. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 3 (Playa del Centro)

| Tamiz | Muestra 3 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2 mm | 47,75 | 4,33 | 4,33 |
| 1 mm | 55,85 | 10,94 | 15,27 |
| 500µm | 62,57 | 18,63 | 33,9 |
| 250µm | 73,49 | 30,47 | 64,37 |
| 125µm | 67,89 | 26,27 | 90,64 |
| 63µm | 48,21 | 6,55 | 97,19 |
| < 63µm | 44,09 | 2,63 | 99,82 |
| | | 99,82 | |

Tabla 17. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 4 (Playa del Centro)

| Tamiz | Muestra 4 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2 mm | 43,59 | 0,17 | 0,17 |
| 1 mm | 46,51 | 1,6 | 1,77 |
| 500µm | 58,6 | 14,66 | 16,43 |
| 250µm | 97,69 | 54,67 | 71,1 |
| 125µm | 69,76 | 28,14 | 99,24 |
| 63µm | 42,46 | 0,8 | 100,04 |
| < 63µm | 41,5 | 0,04 | 100,08 |
| | | 100,08 | |

Playa Los Cocos

Tabla 18. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 5 (Playa Los Cocos)

| Tamiz | Muestra 5 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2 mm | 43,61 | 0,19 | 0,19 |
| 1 mm | 45,53 | 0,62 | 0,81 |
| 500µm | 47,95 | 4,01 | 4,82 |
| 250µm | 75,42 | 32,4 | 37,22 |
| 125µm | 98,83 | 57,21 | 94,43 |
| 63µm | 46,59 | 4,93 | 99,36 |
| < 63µm | 41,68 | 0,22 | 99,58 |
| | | 99,58 | |

Tabla 19. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 6 (Playa Los Cocos)

| Tamiz | Muestra 6 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2 mm | 43,59 | 0,17 | 0,17 |
| 1 mm | 46,65 | 1,74 | 1,91 |
| 500µm | 56,62 | 12,68 | 14,59 |
| 250µm | 82,45 | 39,43 | 54,02 |
| 125µm | 84,37 | 42,75 | 96,77 |
| 63µm | 44,7 | 3,04 | 99,81 |
| < 63µm | 41,63 | 0,17 | 99,98 |
| | | 99,98 | |

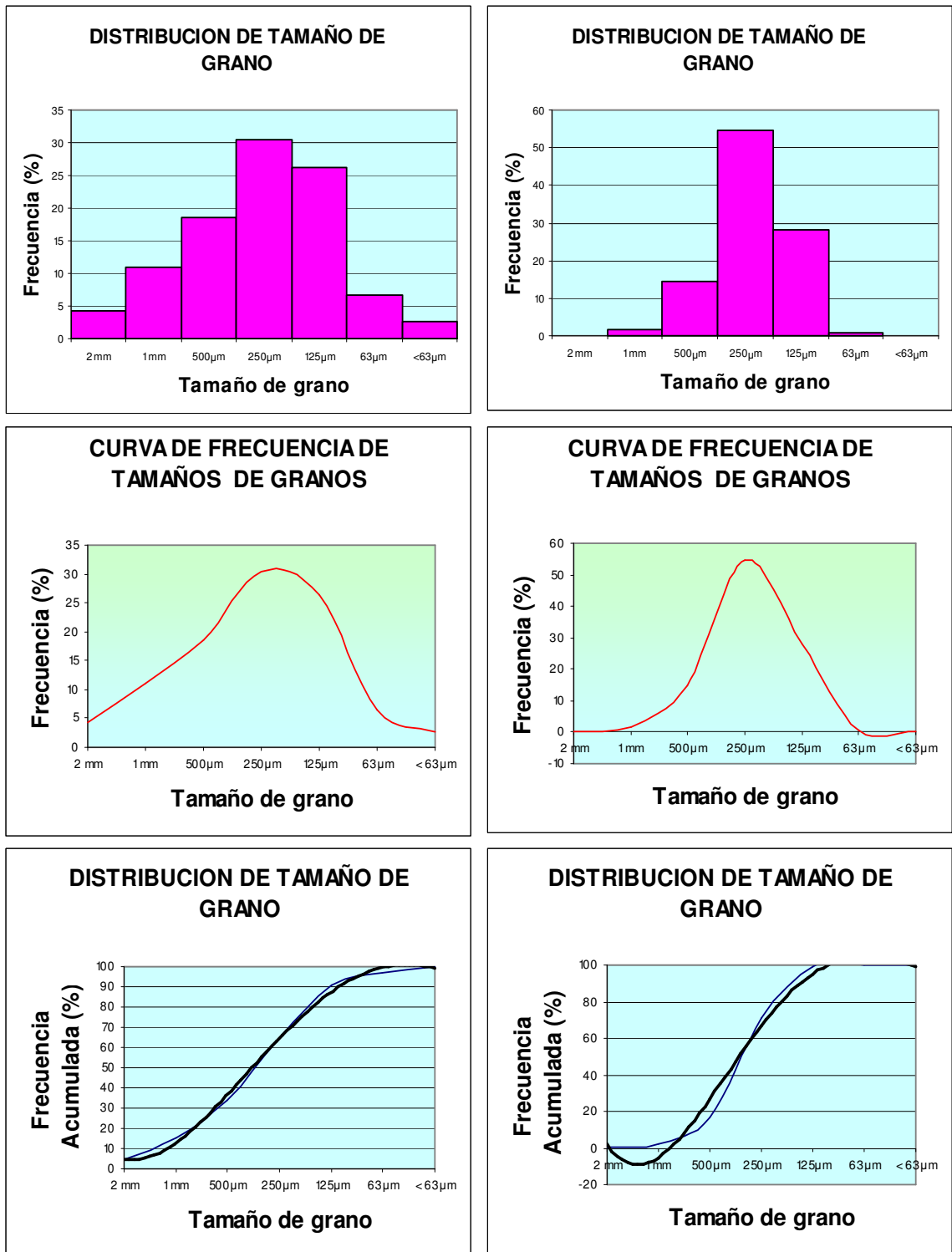


Figura 25. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 3 (izquierda) y la muestra 4 (derecha). (Playa del Centro).

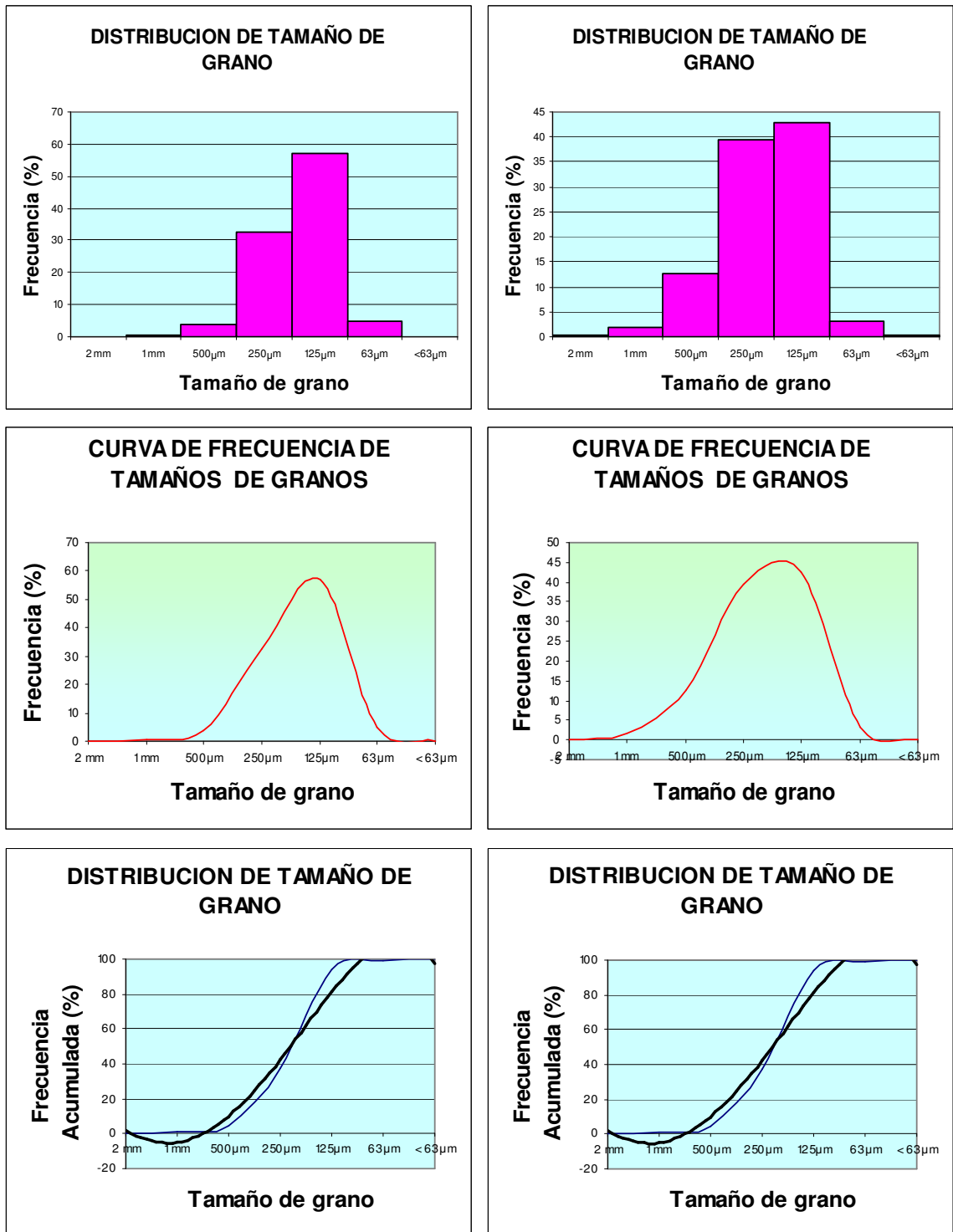


Figura 26. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 5 (izquierda) y la muestra 6 (derecha). (Playa Los Cocos).

Tabla 20. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 7 (Playa Los Cocos)

| Tamiz | Muestra 7 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2 mm | 43,93 | 0,51 | 0,51 |
| 1 mm | 46,55 | 1,64 | 2,15 |
| 500µm | 52,32 | 8,38 | 10,53 |
| 250µm | 82,74 | 39,72 | 50,25 |
| 125µm | 86,84 | 45,22 | 95,47 |
| 63µm | 41,89 | 0,23 | 95,7 |
| < 63µm | 44,75 | 3,29 | 98,99 |
| | | 98,99 | |

Tabla 21. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 8 (Playa Los Cocos)

| Tamiz | Muestra 8 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2 mm | 46,24 | 2,82 | 2,82 |
| 1 mm | 84,48 | 39,57 | 42,39 |
| 500µm | 72,32 | 28,38 | 70,77 |
| 250µm | 60,7 | 17,68 | 88,45 |
| 125µm | 50,6 | 8,98 | 97,43 |
| 63µm | 43,1 | 1,44 | 98,87 |
| < 63µm | 42,11 | 0,65 | 99,52 |
| | | 99,52 | |

Playa Los Nativos

Tabla 22. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 9 (Playa Los Nativos)

| Tamiz | Muestra 9 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2 mm | 44,85 | 1,43 | 1,43 |
| 1 mm | 135,89 | 90,98 | 92,41 |
| 500µm | 51,49 | 7,55 | 99,96 |
| 250µm | 43,07 | 0,05 | 100,01 |
| 125µm | 41,64 | 0,02 | 100,03 |
| 63µm | 41,67 | 0,01 | 100,04 |
| < 63µm | 41,47 | 0,01 | 100,05 |
| | | 100,05 | |

Tabla 23. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 10 (Playa Los Nativos)

| Tamiz | Muestra 10 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 44,8 | 1,38 | 1,38 |
| 1 mm | 92,58 | 47,67 | 49,05 |
| 500µm | 90,84 | 46,9 | 95,95 |
| 250µm | 45,82 | 2,8 | 98,75 |
| 125µm | 42,84 | 1,22 | 99,97 |
| 63µm | 41,7 | 0,04 | 100,01 |
| < 63µm | 41,47 | 0,01 | 100,02 |
| | | 100,02 | |

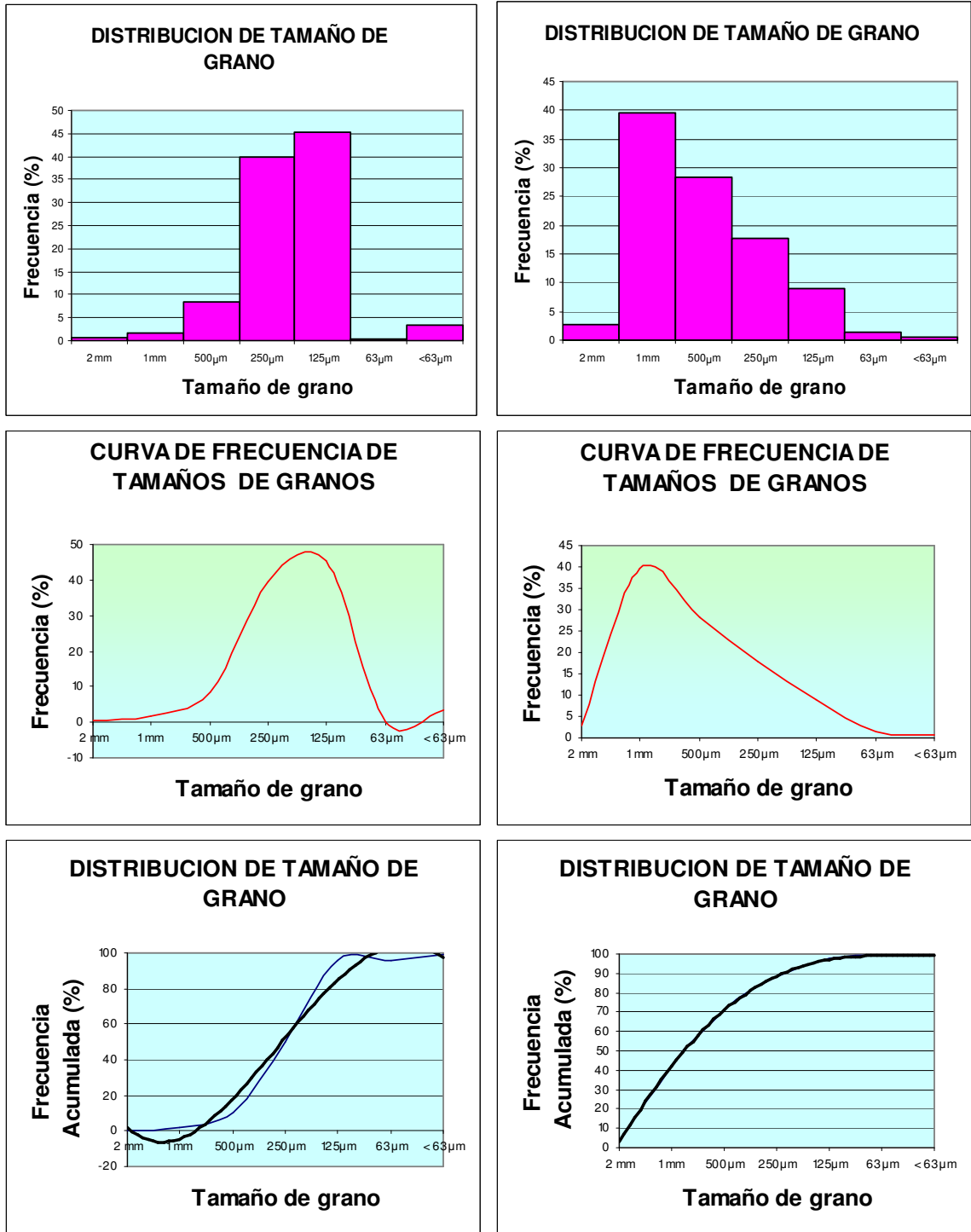


Figura 27. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 7 (izquierda) y la muestra 8 (derecha). (Playa Los Cocos).

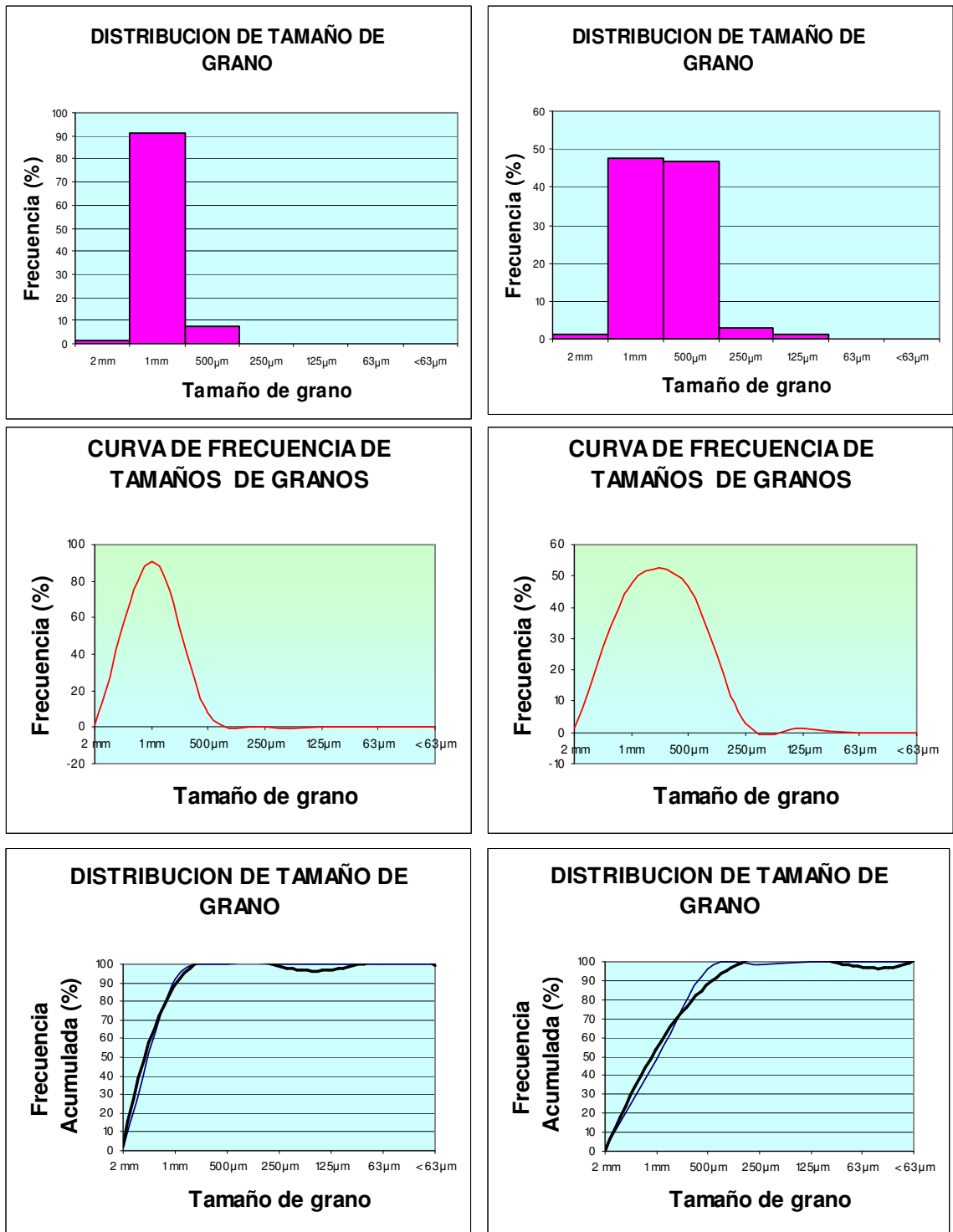


Figura 28. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 9 (izquierda) y la muestra 10 (derecha). (Playa Los Nativos).

Punta Gaira

Tabla 24. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 11 (Punta Gaira)

| Tamiz | Muestra 11 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 53,4 | 9,98 | 9,98 |
| 1 mm | 119,3 | 74,39 | 84,37 |
| 500µm | 59,19 | 15,25 | 99,62 |
| 250µm | 43,08 | 0,06 | 99,68 |
| 125µm | 41,63 | 0,01 | 99,69 |
| 63µm | 41,69 | 0,03 | 99,72 |
| < 63µm | 41,47 | 0,01 | 99,73 |
| | | 99,73 | |

Tabla 25. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 12 (Punta Gaira)

| Tamiz | Muestra 12 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 45,3 | 1,88 | 1,88 |
| 1 mm | 138,65 | 93,74 | 95,62 |
| 500µm | 48,26 | 4,32 | 99,94 |
| 250µm | 43,05 | 0,03 | 99,97 |
| 125µm | 41,66 | 0,04 | 100,01 |
| 63µm | 41,68 | 0,02 | 100,03 |
| < 63µm | 41,47 | 0,01 | 100,04 |
| | | 100,04 | |

Playa Blanca

Tabla 26. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 13 (Playa Blanca)

| Tamiz | Muestra 13 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 117,75 | 74,33 | 74,33 |
| 1 mm | 70,47 | 25,56 | 99,89 |
| 500µm | 43,97 | 0,03 | 99,92 |
| 250µm | 43,05 | 0,03 | 99,95 |
| 125µm | 41,63 | 0,01 | 99,96 |
| 63µm | 41,68 | 0,02 | 99,98 |
| < 63µm | 42,45 | 0,99 | 100,97 |
| | | 100,97 | |

Tabla 27. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 14 (Playa Blanca)

| Tamiz | Muestra 14 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 54,33 | 10,91 | 10,91 |
| 1 mm | 87,04 | 42,13 | 53,04 |
| 500µm | 69,76 | 25,82 | 78,86 |
| 250µm | 50,03 | 7,01 | 85,87 |
| 125µm | 46,17 | 4,55 | 90,42 |
| 63µm | 45,81 | 4,15 | 94,57 |
| < 63µm | 46,59 | 5,13 | 99,7 |
| | | 99,7 | |

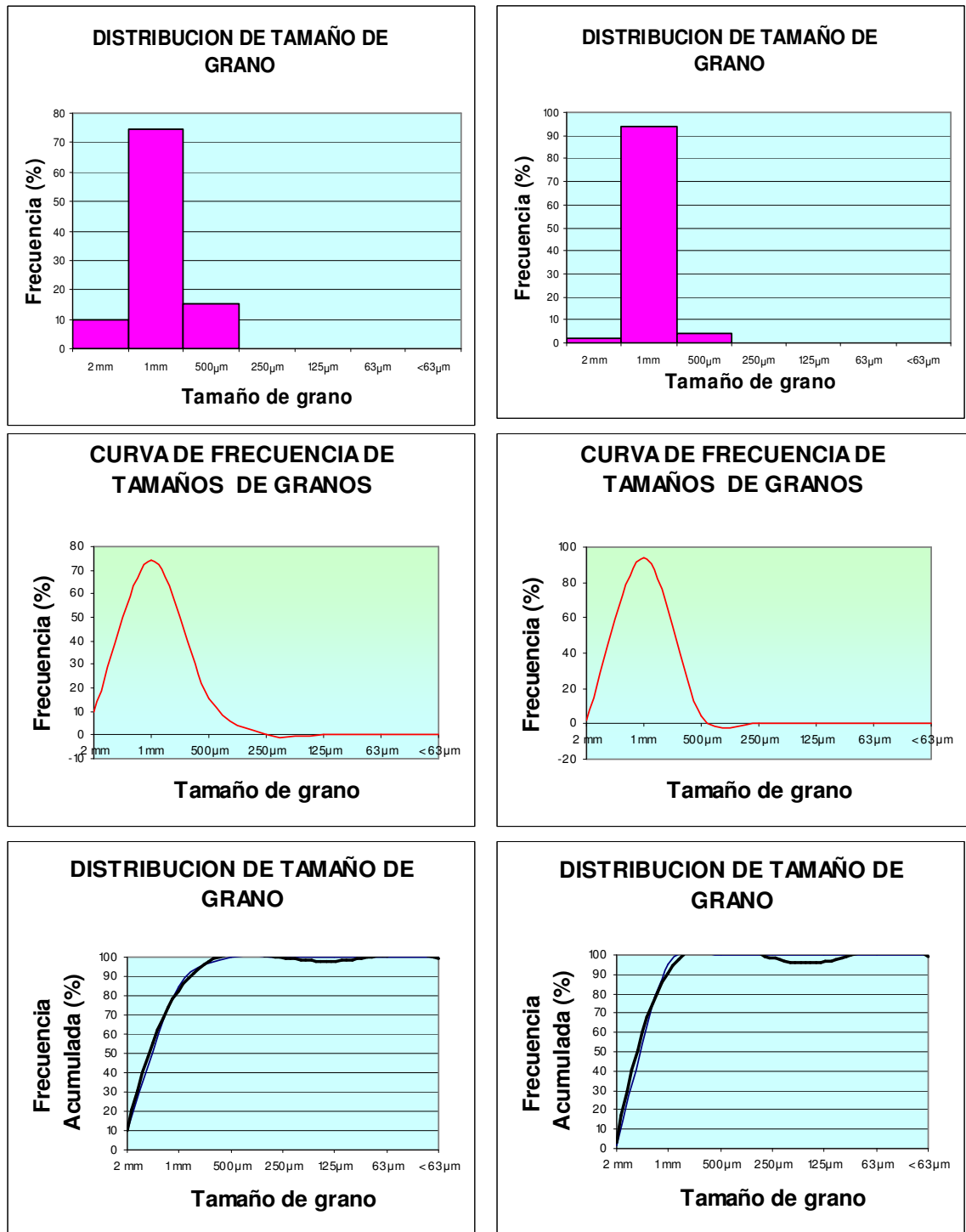


Figura 29. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 11 (izquierda) y la muestra 12 (derecha). (Punta Gaira).

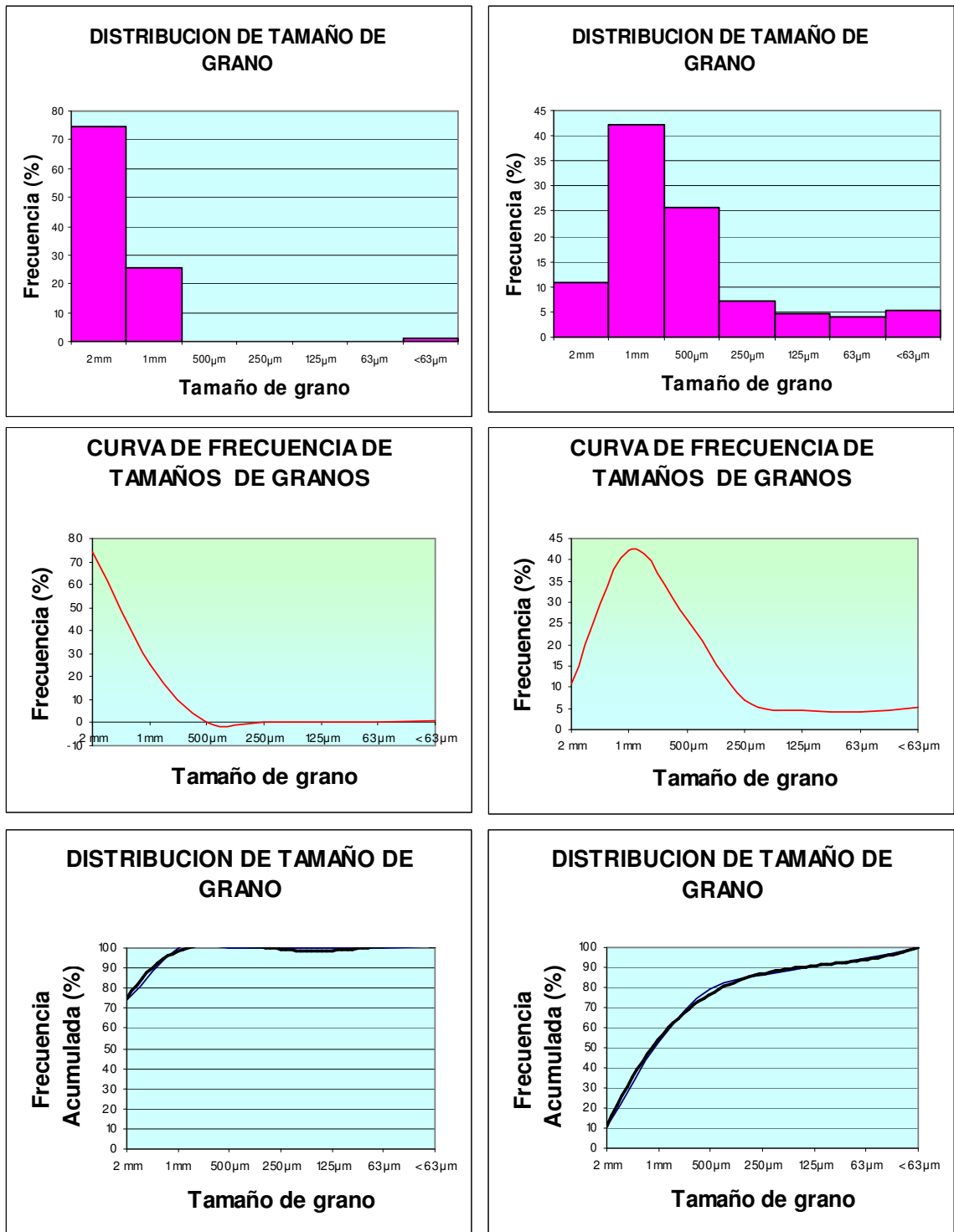


Figura 30. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 13 (izquierda) y la muestra 14 (derecha). (Playa Blanca).

Acuario

Tabla 28. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 15 (Acuario)

| Tamiz | Muestra 15 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 45,32 | 1,9 | 1,9 |
| 1 mm | 57,32 | 12,41 | 14,31 |
| 500µm | 66,88 | 22,94 | 37,25 |
| 250µm | 72,13 | 29,11 | 66,36 |
| 125µm | 69,86 | 28,24 | 94,6 |
| 63µm | 46,16 | 4,5 | 99,1 |
| < 63µm | 42,03 | 0,57 | 99,67 |
| | | 99,67 | |

Tabla 29. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 16 (Acuario)

| Tamiz | Muestra 16 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 111,87 | 68,45 | 68,45 |
| 1 mm | 52,35 | 7,44 | 75,89 |
| 500µm | 48,92 | 4,98 | 80,87 |
| 250µm | 47,89 | 4,87 | 85,74 |
| 125µm | 46,38 | 4,76 | 90,5 |
| 63µm | 46,39 | 4,73 | 95,23 |
| < 63µm | 46,21 | 4,75 | 99,98 |
| | | 99,98 | |

Bahía Inca Inca

Tabla 30. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 17 (Bahía Inca Inca)

| Tamiz | Muestra 17 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 76,43 | 33,01 | 33,01 |
| 1 mm | 45,1 | 0,19 | 33,2 |
| 500µm | 44,97 | 1,03 | 34,23 |
| 250µm | 54,78 | 11,76 | 45,99 |
| 125µm | 89,65 | 48,03 | 94,02 |
| 63µm | 47,52 | 5,86 | 99,88 |
| < 63µm | 41,51 | 0,05 | 99,93 |
| | | 99,93 | |

Tabla 31. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 18 (Bahía Inca Inca)

| Tamiz | Muestra 18 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 128,45 | 85,03 | 85,03 |
| 1 mm | 51,52 | 6,61 | 91,64 |
| 500µm | 48,34 | 4,4 | 96,04 |
| 250µm | 46,01 | 2,99 | 99,03 |
| 125µm | 42,63 | 1,01 | 100,04 |
| 63µm | 41,71 | 0,05 | 100,09 |
| < 63µm | 41,48 | 0,02 | 100,11 |
| | | 100,11 | |

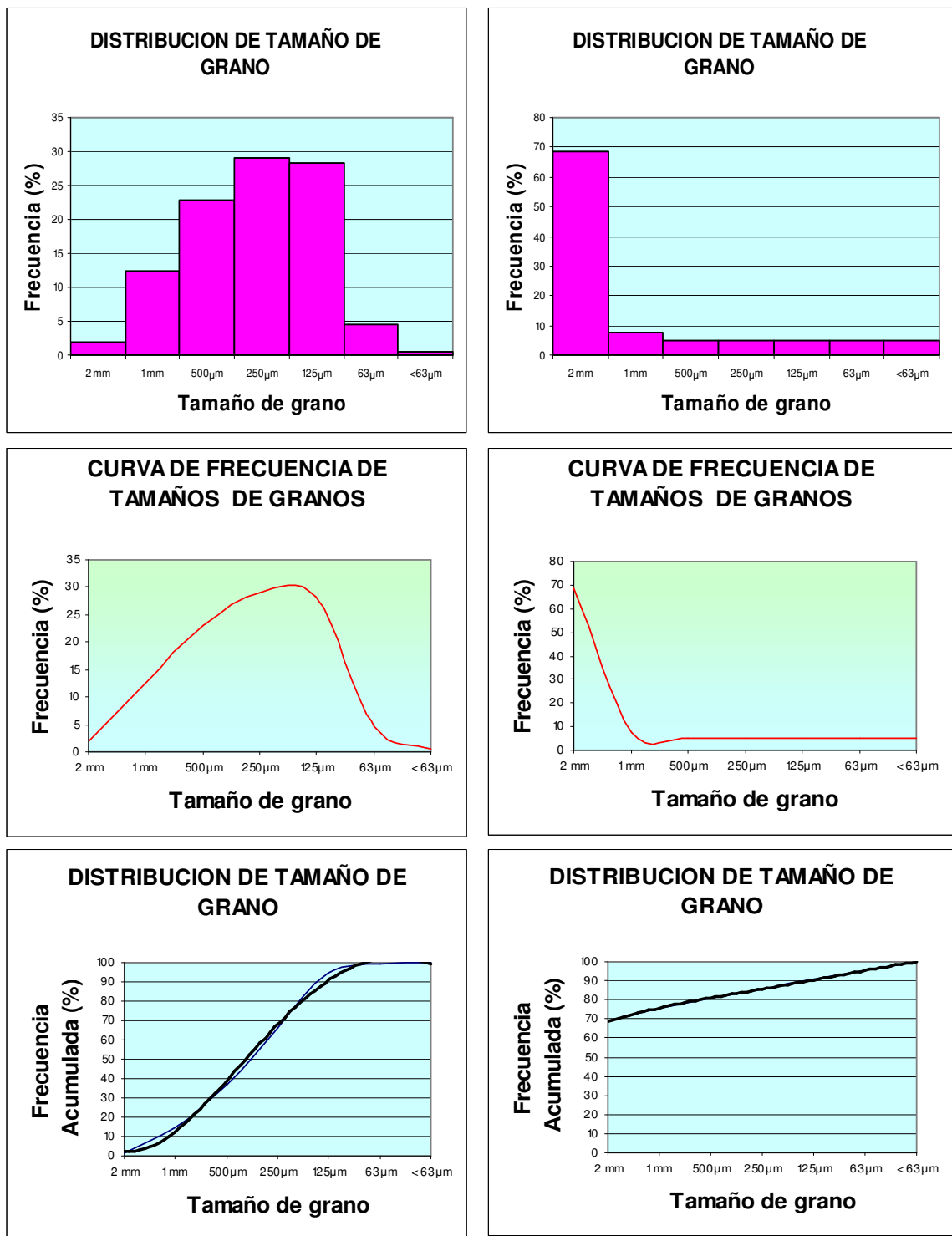


Figura 31. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 15 (izquierda) y la muestra 16 (derecha). (Acuario).

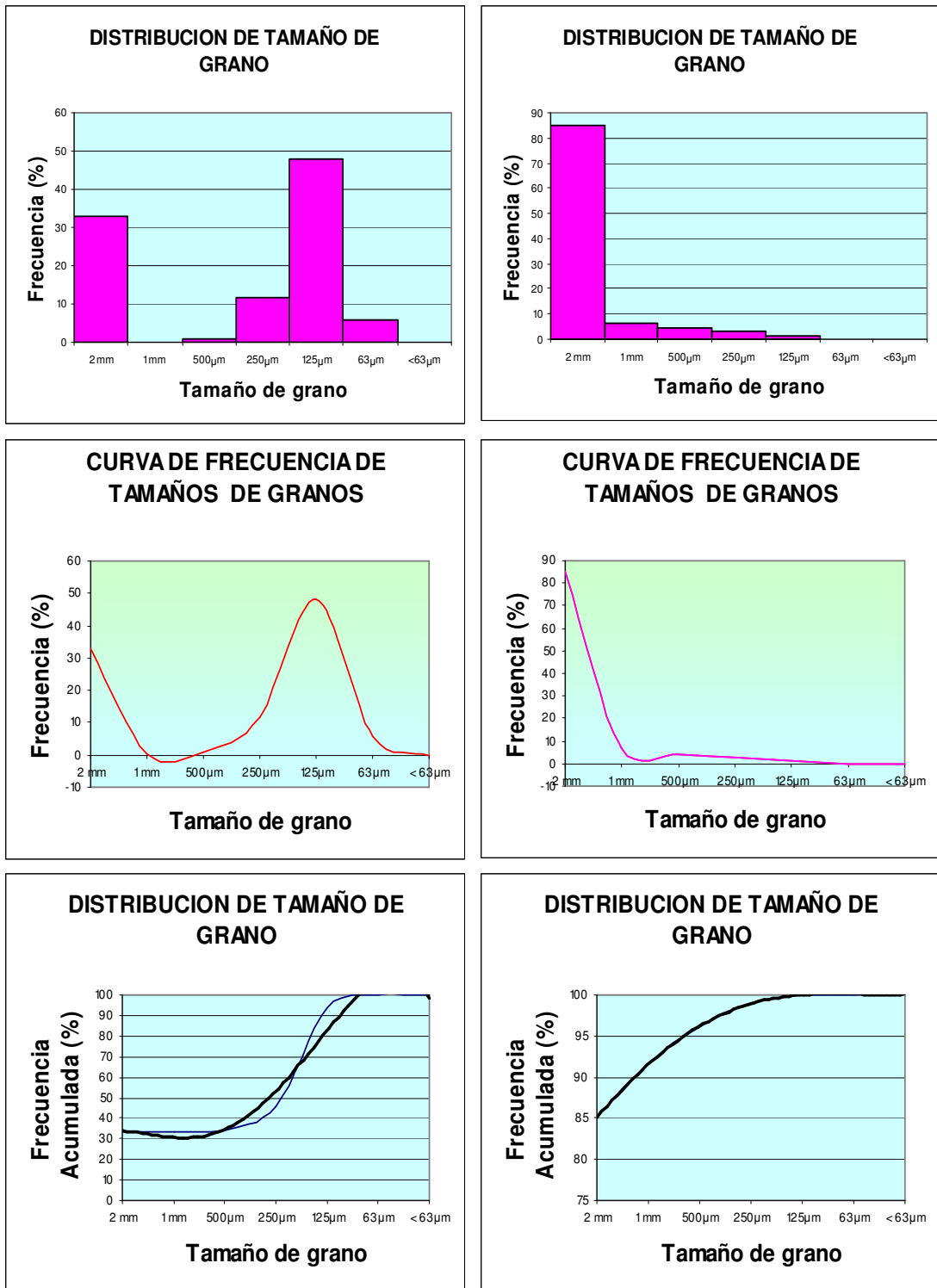


Figura 32. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 17 (izquierda) y la muestra 18 (derecha). (Bahía Inca Inca).

El Rodadero

Tabla 32. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 19 (El Rodadero)

| Tamiz | Muestra 19 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 141,43 | 98,01 | 98,01 |
| 1 mm | 46,71 | 1,8 | 99,81 |
| 500µm | 44,14 | 0,2 | 100,01 |
| 250µm | 43,06 | 0,04 | 100,05 |
| 125µm | 41,63 | 0,01 | 100,06 |
| 63µm | 41,67 | 0,01 | 100,07 |
| < 63µm | 41,52 | 0,06 | 100,13 |
| | | 100,13 | |

Tabla 33. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 20 (El Rodadero)

| Tamiz | Muestra 20 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 48,24 | 4,82 | 4,82 |
| 1 mm | 50,04 | 5,13 | 9,95 |
| 500µm | 55,12 | 11,18 | 21,13 |
| 250µm | 75,71 | 32,69 | 53,82 |
| 125µm | 74,17 | 32,55 | 86,37 |
| 63µm | 50,44 | 8,78 | 95,15 |
| < 63µm | 46,38 | 4,92 | 100,07 |
| | | 100,07 | |

Playa Salguero

Tabla 34. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 21 (Playa Salguero)

| Tamiz | Muestra 21 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 47,8 | 4,38 | 4,38 |
| 1 mm | 56,52 | 11,61 | 15,99 |
| 500µm | 59,34 | 15,4 | 31,39 |
| 250µm | 60 | 16,98 | 48,37 |
| 125µm | 81,58 | 39,96 | 88,33 |
| 63µm | 52,34 | 10,68 | 99,01 |
| < 63µm | 42,05 | 0,59 | 99,6 |
| | | 99,6 | |

Tabla 35. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 22 (Playa Salguero)

| Tamiz | Muestra 22 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 43,5 | 0,08 | 0,08 |
| 1 mm | 45,7 | 0,79 | 0,87 |
| 500µm | 48,34 | 4,4 | 5,27 |
| 250µm | 82,03 | 39,01 | 44,28 |
| 125µm | 94,69 | 53,07 | 97,35 |
| 63µm | 44,23 | 2,57 | 99,92 |
| < 63µm | 41,58 | 0,12 | 100,04 |
| | | 100,04 | |

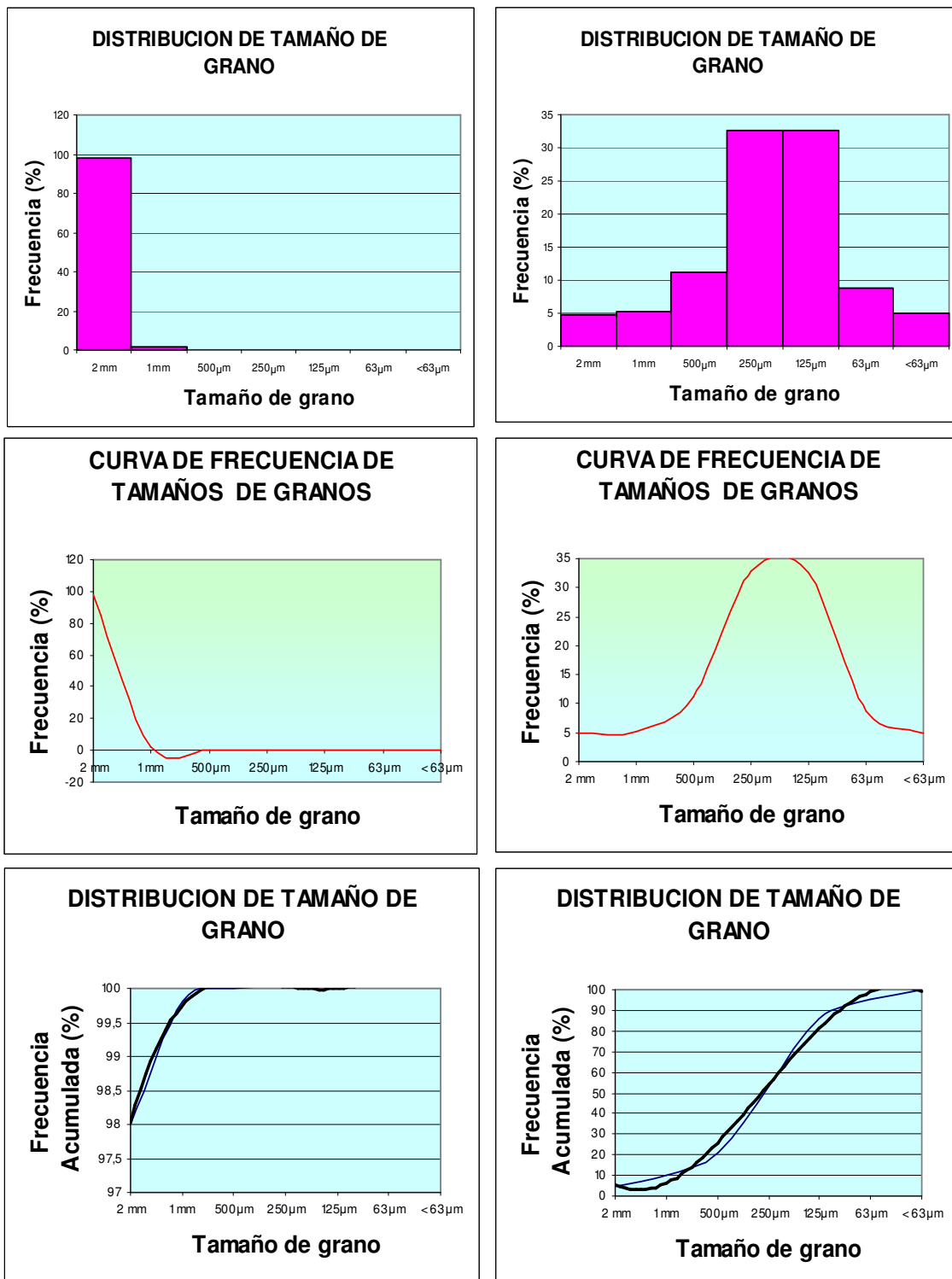


Figura 33. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 19 (izquierda) y la muestra 20 (derecha). (El Rodadero).

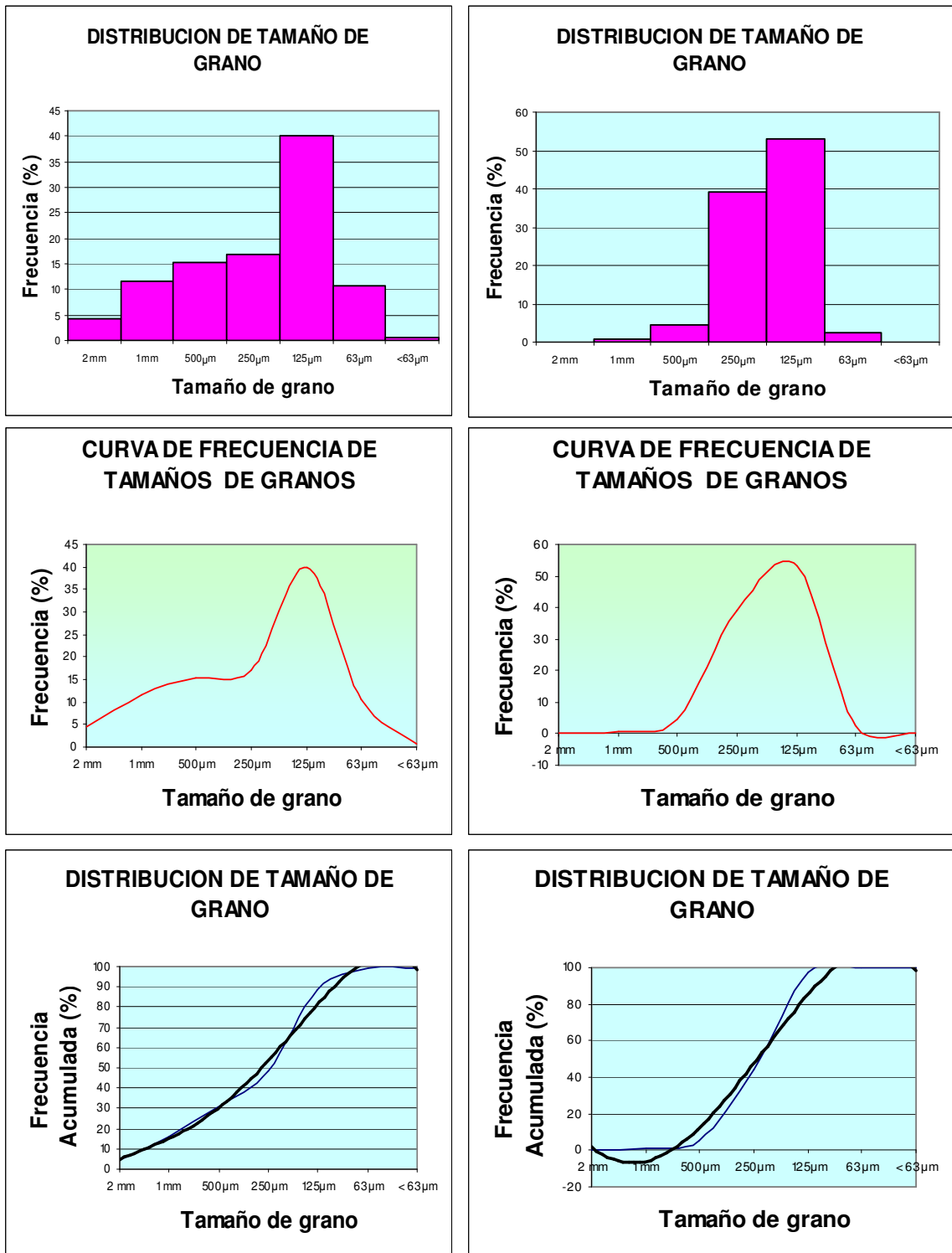


Figura 34. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 21 (izquierda) y la muestra 22 (derecha). (Playa Salguero).

➤ Plenomar

Tabla 36. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 23 (Plenomar)

| Tamiz | Muestra 23 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 43,51 | 0,09 | 0,09 |
| 1 mm | 45,17 | 0,26 | 0,35 |
| 500µm | 45,63 | 1,69 | 2,04 |
| 250µm | 70,65 | 27,63 | 29,67 |
| 125µm | 106,64 | 65,02 | 94,69 |
| 63µm | 46,86 | 5,2 | 99,89 |
| < 63µm | 41,59 | 0,13 | 100,02 |
| | | 100,02 | |

Tabla 37. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 24 (Plenomar)

| Tamiz | Muestra 24 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 43,47 | 0,05 | 0,05 |
| 1 mm | 45,02 | 0,11 | 0,16 |
| 500µm | 45,02 | 1,08 | 1,24 |
| 250µm | 65,91 | 22,89 | 24,13 |
| 125µm | 110,71 | 69,09 | 93,22 |
| 63µm | 48,46 | 6,8 | 100,02 |
| < 63µm | 41,56 | 0,1 | 100,12 |
| | | 100,12 | |

➤ Sector Hotelero

Tabla 38. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 25 (Sector Hotelero)

| Tamiz | Muestra 25 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 43,43 | 0,01 | 0,01 |
| 1 mm | 45 | 0,09 | 0,1 |
| 500µm | 44,63 | 0,69 | 0,79 |
| 250µm | 59,27 | 16,25 | 17,04 |
| 125µm | 114,11 | 72,49 | 89,53 |
| 63µm | 51,92 | 10,26 | 99,79 |
| < 63µm | 41,55 | 0,09 | 99,88 |
| | | 99,88 | |

Tabla 39. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 26 (Sector Hotelero)

| Tamiz | Muestra 26 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 43,48 | 0,06 | 0,06 |
| 1 mm | 45,03 | 0,12 | 0,18 |
| 500µm | 44,63 | 0,69 | 0,87 |
| 250µm | 57,39 | 14,37 | 15,24 |
| 125µm | 117,37 | 75,75 | 90,99 |
| 63µm | 50,6 | 8,94 | 99,93 |
| < 63µm | 41,55 | 0,09 | 100,02 |
| | | 100,02 | |

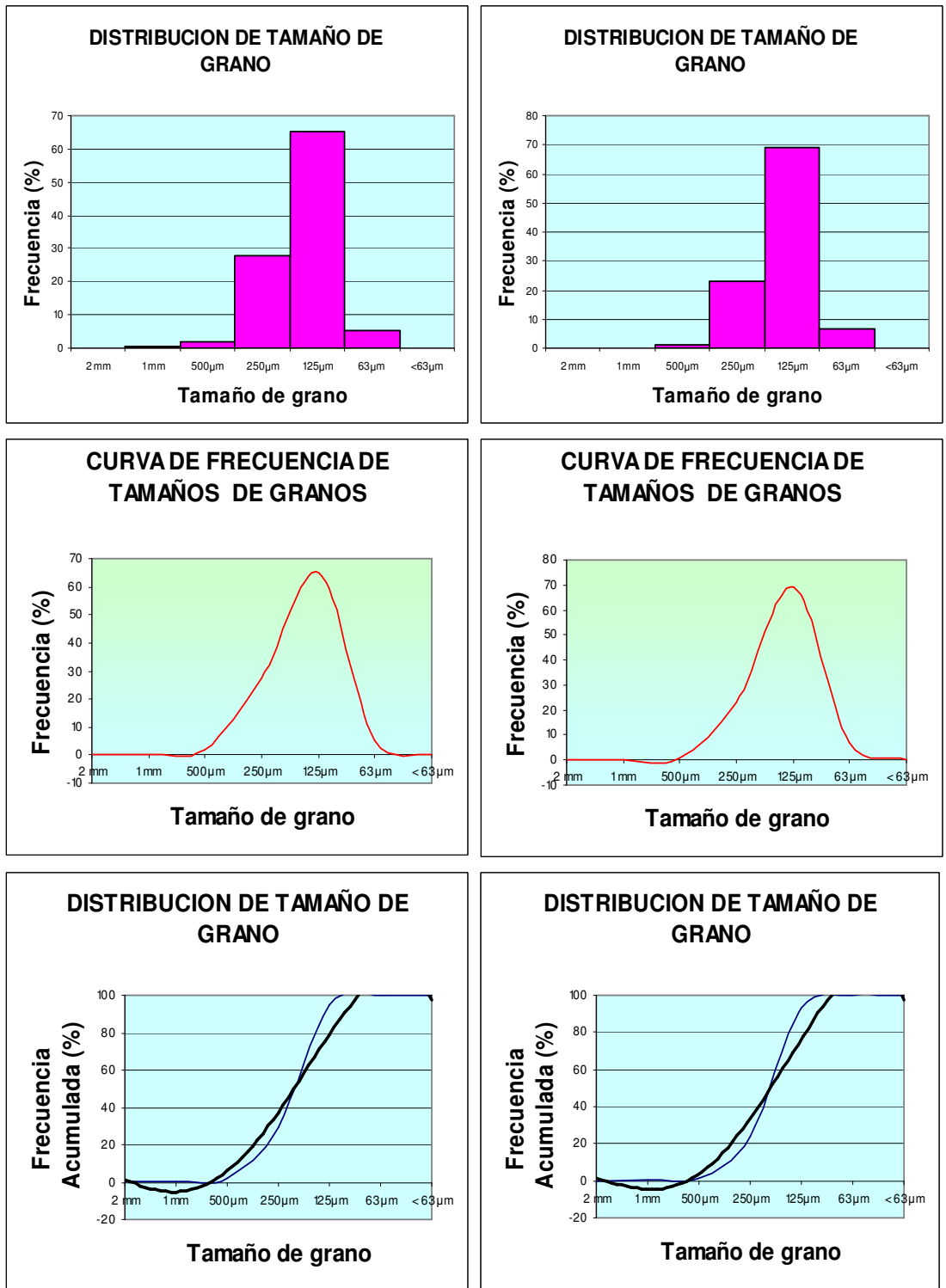


Figura 35. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 23 (izquierda) y la muestra 24 (derecha). (Plenomar).

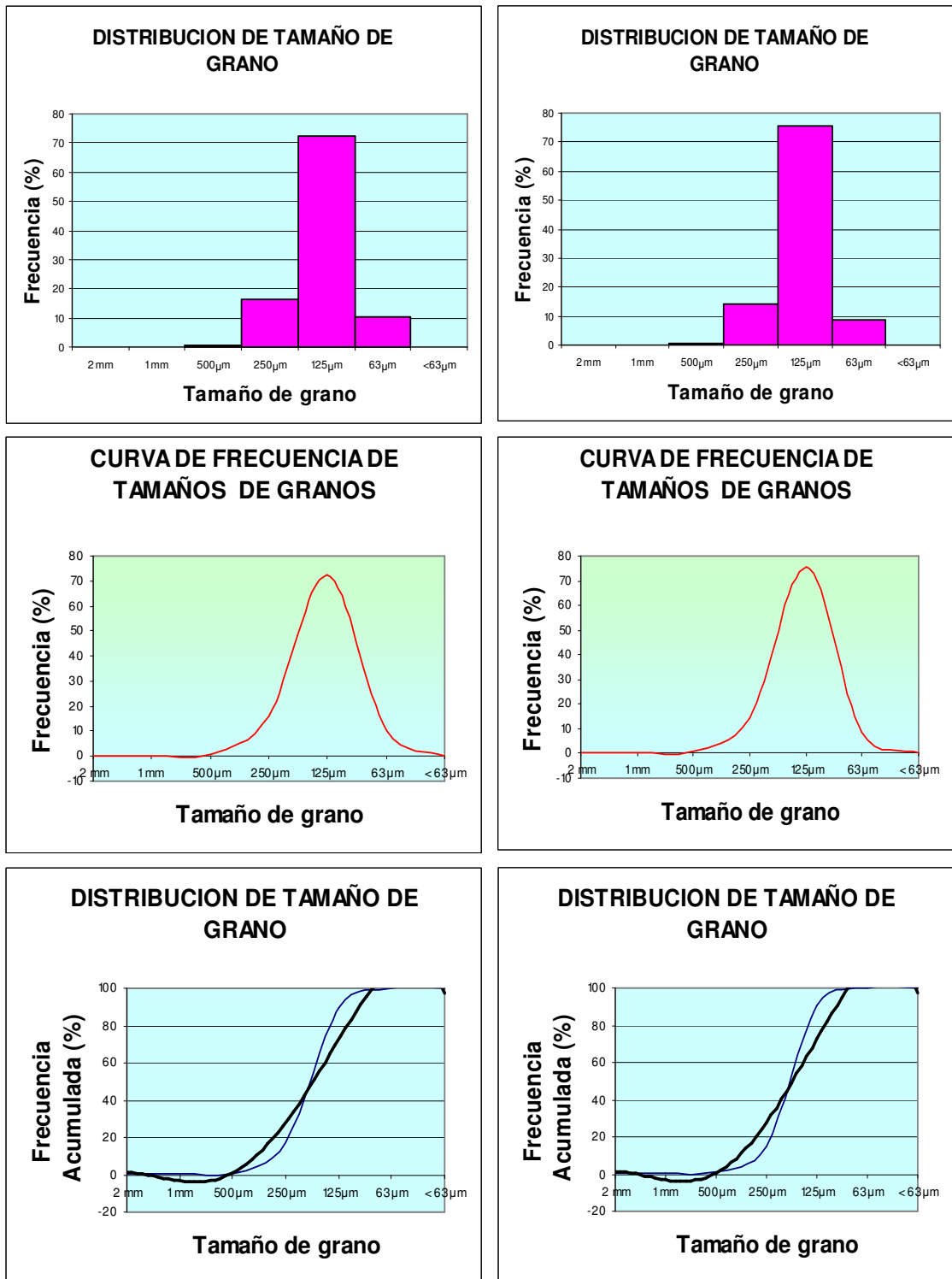


Figura 36. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 25 (izquierda) y la muestra 26 (derecha). (Sector Hotelero).

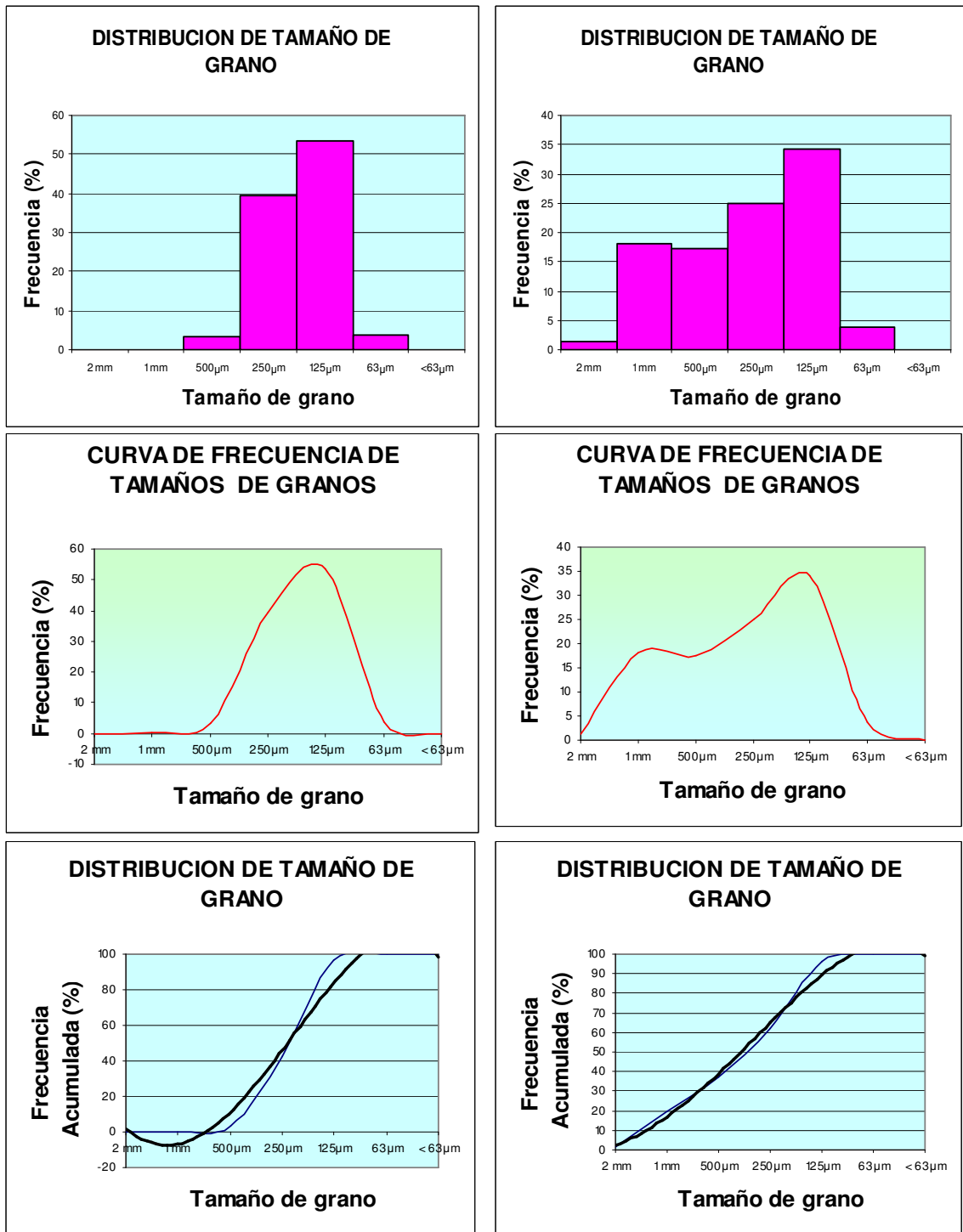


Figura 37. Gráficas de distribución de tamaño de grano, de frecuencia simple (histogramas y curvas de frecuencia simple) y de frecuencia acumulada para la muestra 27 (izquierda) y la muestra 28 (derecha). (Villa Canarias - Aeropuerto).

Villa Canarias – Aeropuerto

Tabla 40. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 27 (Villa Canarias – Aeropuerto)

| Tamiz | Muestra 27 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 43,44 | 0,02 | 0,02 |
| 1 mm | 45,05 | 0,14 | 0,16 |
| 500µm | 47,14 | 3,2 | 3,36 |
| 250µm | 82,44 | 39,42 | 42,78 |
| 125µm | 95,16 | 53,54 | 96,32 |
| 63µm | 45,34 | 3,68 | 100 |
| < 63µm | 41,56 | 0,1 | 100,1 |
| | | 100,1 | |

Tabla 41. Datos de porcentaje de sedimentos en la muestra 28 (Villa Canarias – Aeropuerto)

| Tamiz | Muestra 28 | Peso Neto | Acumulado |
|--------|------------|-----------|-----------|
| 2 mm | 44,81 | 1,39 | 1,39 |
| 1 mm | 63,06 | 18,15 | 19,54 |
| 500µm | 61,33 | 17,39 | 36,93 |
| 250µm | 67,92 | 24,9 | 61,83 |
| 125µm | 75,81 | 34,19 | 96,02 |
| 63µm | 45,56 | 3,9 | 99,92 |
| < 63µm | 41,49 | 0,03 | 99,95 |
| | | 99,95 | |

De acuerdo a las gráficas anterior realizadas, y teniendo en cuenta los parámetros estadísticos como asimetría, selección y kurtosis se pudo interpretar las gráficas. Donde So (Selección o sorteado), Sk (asimetría) y KG (Kurtosis). En la Tabla 42 se resumen los parámetros estadísticos obtenidos a partir del análisis granulométrico de las muestras recolectadas en los sectores descritos a continuación.

Tabla 42. Parámetros estadísticos en las muestras analizadas.

| SEDIMENTO | Playa | So | Sk | KG |
|------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Muestra 1 | Centro | 0,7 | 0,1 | 1,2 |
| Muestra 2 | Centro | 0,8 | 0,2 | 1,5 |
| Muestra 3 | Centro | 0,6 | 0,1 | 1,3 |
| Muestra 4 | Centro | 1,5 | -0,1 | 1,5 |
| Muestra 5 | Los Cocos | 1,4 | 0,25 | 1,8 |
| Muestra 6 | Los Cocos | 1,5 | 0,3 | 1,4 |
| Muestra 7 | Los Cocos | 0,8 | 0,1 | 3,2 |
| Muestra 8 | Los Cocos | 1,0 | -0,25 | 0,88 |
| Muestra 9 | Los Nativos | 0,8 | -0,4 | 1,6 |
| Muestra 10 | Los Nativos | 0,9 | -0,3 | 1,4 |
| Muestra 11 | Punta Gaira | 1,5 | -0,5 | 1,3 |
| Muestra 12 | Punta Gaira | 1,6 | -0,4 | 1,5 |
| Muestra 13 | Blanca | 1,5 | -0,6 | 0,7 |
| Muestra 14 | Blanca | 0,9 | -0,1 | 1,2 |
| Muestra 15 | Acuario | 0,8 | -0,15 | 1,4 |
| Muestra 16 | Acuario | 2,5 | -0,6 | 0,75 |
| Muestra 17 | Inca Inca | 1,6 | 0,1 | 1,1 |
| Muestra 18 | Inca Inca | 1,2 | -0,3 | 0,85 |
| Muestra 19 | El Rodadero | 1,3 | -0,4 | 0,8 |
| Muestra 20 | El Rodadero | 0,9 | 0,1 | 1,4 |
| Muestra 21 | Salguero | 0,65 | 0,1 | 0,95 |
| Muestra 22 | Salguero | 1,2 | 0,2 | 1,45 |
| Muestra 23 | Plenomar | 0,85 | -0,1 | 1,3 |
| Muestra 24 | Plenomar | 0,9 | 0,,2 | 1,55 |
| Muestra 25 | Sector Hotelero | 0,7 | 0,16 | 1,54 |
| Muestra 26 | Sector Hotelero | 1,2 | 0,25 | 3,2 |
| Muestra 27 | Villa Canarias - Aeropuerto | 1,35 | 0,3 | 2,7 |
| Muestra 28 | Villa Canarias - Aeropuerto | 0,7 | -0,2 | 1,1 |

↗ Playa del Centro

En esta zona se tomaron 4 muestras, la muestra 1 hacia la parte más norte de la Bahía y la muestra 4 hacia la parte más sur. Los datos de estas muestras reflejan que en general se encuentran los sedimentos moderadamente bien sorteados, a diferencia de la muestra 4 que presenta una pobre selección, los valores de asimetría indican que las muestras en general presentan una simetría en los sedimentos tanto finos como gruesos, con más tendencia a finos. Con respecto al valor de la agudeza de la curva indica que en general es leptocúrtica.

↗ Playa Los Cocos

Esta zona en general presenta una mala selección, con respecto a la asimetría se puede decir que en los extremos presenta en su mayoría porcentaje de gruesos, exceptuando en la Muestra 8 con mayor porcentaje de material grueso. Esto se ve reflejado en el valor de la agudeza, presentándose en general leptocúrticas, aunque en la muestra 8 se presenta una agudeza platicúrtica. Cabe destacar que la muestra 7 presenta una anomalía en la curva de frecuencia anomalía, debido a la inconsistencia con los valores de finos.

↗ Playa Los Nativos

Los datos obtenidos de estas muestras reflejan que los sedimentos se encuentran moderadamente bien seleccionados, los valores de asimetría reflejan que hay mayor predominio de las fracciones gruesas y el valor para la agudeza de las curvas indican que hay una tendencia muy leptocúrtica.

↗ Punta Gaira

En estas muestras se observan una pobre selección de los sedimentos, los valores de asimetría están cercanos a tamaños de granos más gruesos de acuerdo al valor calculado y el índice de agudeza de las curvas denota que las muestras son de leptocúrticas a muy leptocúrtica.

↗ Playa Blanca

En esta zona se presenta un contraste en sus extremos, la muestra 13 presenta un selección muy pobre, con una asimetría en alta proporción de gruesos y una curva platicúrtica. En lo que respecta con la muestra 14 se presenta es una selección moderada y una curva leptocúrtica. Al igual que las muestras anteriores, esta muestra presenta una buena selección, con una asimetría fina, lo que indica que hay una mayor proporción de fracciones finas, con respecto a las fracciones gruesas.

↗ Zona del Acuario

Al igual que la zona anterior, presenta dos zonas con discrepancias, en donde se observa como en la muestra 15 se da una selección moderada, con una asimetría media y una curva leptocúrtica, mientras en la muestra 16 se observa una selección muy pobre con una asimetría de gruesos en su mayoría y una curva platicúrtica.

↗ Bahía INCA INCA

En estos puntos las muestras denotan una pobre selección, el valor de la asimetría denota que es cercana a ser simétrica en la muestra 17 y en la 18 con más presencia de gruesos y el valor de la agudeza de la curva, denota que la muestra es muy leptocúrtica en la primera y en la segunda platicúrtica.

↗ Playa El Rodadero

En la muestra 19 los sedimentos están pobremente seleccionados, con una asimetría extremadamente gruesa, indicando una mayor proporción de fracciones gruesas y con una agudeza de la curva la cual es platicúrtica.

En la muestra 20 recolectada se encuentra que los sedimentos están bien seleccionados, con una asimetría cercana a la asimétrica, y un valor de agudeza que la muestra es muy leptocúrtica.

↗ Playa Salguero

Para la muestra 21 está moderadamente bien sorteada, con un índice de asimetría que esta cercano a la simetría y un valor de Kurtosis que es mesocúrtico.

La muestra 22 posee una pobre selección con una asimetría cercana a los finos (mayor proporción de finos) y con una agudeza de la curva leptocúrtica.

↗ Plenomar

Los datos de estas muestras reflejan que en general se encuentran los sedimentos moderadamente bien sorteados, los valores de asimetría indican que las muestras en general presentan una simetría en los sedimentos tanto finos como gruesos. Con respecto al valor de la agudeza de la curva indica que en general es leptocúrtica.

↗ Sector Hotelero

Al igual que las anteriores se sigue presentando la misma tendencia, con un calibrado moderadamente bien sorteado, con una asimetría en cierto modo simétrica aunque un poco más de predominancia de material fino y sigue manteniendo la curva leptocúrtica.

↗ Villa Canarias - Aeropuerto

Con lo que respecta a la muestra 27 está moderadamente bien sorteada, con un índice de asimetría con predominancia de finos y un valor de Kurtosis que es muy leptocúrtico.

En esta última muestra en el sector del Aeropuerto se denota nuevamente y al igual que las muestras anteriores una buena selección de los sedimentos, con una asimetría extremadamente gruesa (mayor proporción de fracciones gruesas) y la agudeza de la curva denota que la muestra es muy mesocúrtica.

7. PROCESOS DE EROSIÓN-ACRECIÓN

La zona en donde interactúan el océano (mar) y el continente es la línea de costa o litoral. Comprende toda una franja; paralela a esta línea se desarrollan procesos complejos relacionados con la parte continental y de los océanos. Por ello se le considera una zona especial con características, estructuras y procesos particulares. La zona costera incluye la línea de costa en el continente y en la parte oceánica, la plataforma continental.

En esta zona, los procesos geomorfológicos son bastante rápidos en comparación con otras zonas continentales y oceánicas. El oleaje, las corrientes marinas, las mareas y otros fenómenos oceánicos erosionan el material sólido de la costa transportándolo y depositándolo en otros lugares de ésta, modificando continuamente su morfología, lo que significa entonces diferentes geoformas, como playas, dunas costeras, entre otras. Los ríos, por su parte, transportan los sedimentos continentales y los acumulan en el litoral formando los deltas. Gracias a estos fenómenos se forman dos tipos de costas: de erosión y de sedimentación. Las costas de erosión se caracterizan por presentar peñascos escarpados o acantilados, grutas y farallones (Para el sector de puntas y salientes). Generalmente, el proceso activo de erosión ocasionado por las olas, las mareas y las corrientes marinas desmorona los acantilados por la base y acarrea finalmente su desplome y el retroceso de la costa. De esta manera, se forman las denominadas plataformas de abrasión. Las costas de sedimentación muestran playas arenosas (Playa Lipe, Playa Blanca, Playa del Rodadero etc), arrecifes (si el mar es poco profundo), atolones y deltas. Los sedimentos aportados por los ríos son transportados por las corrientes (Río Manzanares y Gaira). El proceso de sedimentación puede formar nuevas playas, islas y tómbolos en la zona costera y todo un sistema estuarino complejo.

En el litoral, los procesos de interacción entre la litosfera, la hidrosfera, la biosfera y la atmósfera son bastante marcados y rápidos. Por ello, las zonas costeras juegan un papel importante en los ciclos biogeoquímicos y, en general, en el ecosistema global.

Generalmente, las playas de la región del Caribe Colombiano están sujetas a cambios climáticos estacionales. Para la zona de estudio se presenta un predominio de vientos alisios de dirección N-NE, estas unidades son afectadas por fenómenos erosivos que se

manifiestan en retrocesos considerables de su frente de playa, y por otra, en el período de lluvias cuando los vientos son de poca intensidad y dirección variable, las playas se reconstruyen incrementando su amplitud. Estas dos situaciones explican como la configuración del contorno costero y la deriva suroeste litoral (en su relación directa con la acción del oleaje) son determinantes en la influencia de la hidrodinámica sobre este sector del litoral. La interacción de estos factores se manifiesta principalmente en la pérdida y ganancia de terrenos, responsables de las extensas flechas litorales como las que se presentan en Punta Betín, Punta de Gaira, Punta Burucuca y Punta Gloria. Las costas pueden ser modificadas rápidamente por procesos de erosión y sedimentación fluviomarina y marina, dando como resultado nuevas y variadas geoformas litorales.

Los principales agentes que contribuyen en dicho remodelado litoral son: el oleaje, las corrientes de marea, las corrientes de deriva litoral o corrientes costeras, las corrientes fluviales, los vientos, organismos (corales), y actividad antrópica. Dentro de estos agentes geomórficos cabe destacar que las principales fuerzas de erosión que actúan en el medio costero proceden directamente del elemento marino, siendo el oleaje el agente más importante en la denudación costera, aún cuando también se atribuye alguna acción denudativa a las corrientes de marea y corrientes litorales. Con respecto al aporte o pérdida de sedimentos las corrientes o derivas litorales influyen de cierta manera en la región, creando una corriente en sentido SW que permite el desplazamiento de sedimentos en dicha dirección generando un cambio significativo en las geoformas características del sector. Con relación a las corrientes fluviales, estas actúan principalmente en épocas de lluvias, cuando aumenta el caudal del río Manzanares, arrastrando gran cantidad de sedimentos, lo cual llega a influir incluso en la dirección de la deriva para el sector de la Playa Los Cocos.

7.1. PARÁMETROS DE EROSIÓN Y ACRECIÓN

7.1.1. Dirección de crecimiento de la espiga

Se refiere a la dirección en la cual la espiga de arena va creciendo. En general, la dirección de crecimiento de la flecha posee la misma dirección de la deriva continental, es decir que para el sector del Caribe Central Oriental, la dirección de crecimiento de las espigas es hacia SW. Esto está evidenciado en la dirección que presentan las espigas en la zona de

estudio (Pej. Punta Gloria, Punta Cabeza de Cuerno).

7.1.2. Dirección del frente de oleaje

Hace referencia a las diferentes direcciones de los trenes de ola (direcciones de las crestas que delimitan al valle de la onda) al arribar a la costa y los cuales reflejan hasta cierto punto la dirección de los vientos predominantes adyacentes a la zona costera. Para este sector presenta una tendencia N-NE en donde en la mayoría de los sectores se encuentra con esta tendencia, a diferencia de otros sectores con dirección SW.(Playa Lipe).

7.2. PARÁMETROS DE COMPORTAMIENTO DE LA LÍNEA DE COSTA

Los parámetros de comportamiento de la línea de costa incluyen la estabilidad de la línea de costa y el movimiento de la línea de costa.



Figura 38. Costas consolidadas. a. Acantilados de Rocas cohesivas en el sector de Punta Gaira, b. Acantilados de rocas no cohesivas en el sector de Punta Gloria.

7.2.1. Estabilidad de la línea de costa.

Con base en la estabilidad de la línea de costa ante la acción dinámica del mar, las costas se pueden clasificar en dos tipos (consolidada y no consolidada).

Costa consolidada: Se refiere a la línea de costa que esta conformada por acantilados que están compuestos por material rocoso, generalmente perteneciente a las rocas ígneas o metamórficas que constituyen el litoral rocoso. Este tipo de costa se presenta en las puntas de Gaira, Burucuca y Gloria, donde se observan acantilados que han sido originados por efecto erosivo de las olas. La costa consolidada puede ser de dos tipos con base en el tipo de material presente en los acantilados: acantilados de rocas cohesivas y acantilados de rocas no cohesivas. Los acantilados de rocas cohesivas están formados por material duro resistente a la erosión y se manifiesta en el área en sectores donde afloran rocas de composición granodiorítica que presentan cierta resistencia a la erosión y un desprendimiento por gravedad. Un ejemplo de este tipo de acantilados ocurre en Punta Gaira, con alturas hasta de 30 m (**Figura 39a**). Los acantilados de rocas no cohesivas se caracterizan por su debilidad física ante el embate de las olas cuando estas golpean la base del acantilado. Por lo general, las rocas de este tipo de escarpes son compactas y en algunos casos presentan fuerte diaclasamiento, lo cual permite que el mar actúe con relativa facilidad sobre estas, lo cual es característico en el sector de Punta Gloria (**Figura 39b**).



Figura 39. Costa no consolidada ubicada en el sector de playa Salguero.

Costa no consolidada: Se define como una costa baja, generalmente formada por playas y playones que son modificados fácilmente por las olas, produciendo en la mayoría de los casos avances y retrocesos (ganancias y pérdidas) de la línea de costa en un tiempo relativamente corto. En el caso de Playa Salguero donde la costa es baja esta formando unas playas y a la vez por encontrarse influenciado por la desembocadura del río Manzanares se puede considerar este tipo de costa como no consolidada (**Figura 40**).

7.2.2. Movimiento de la línea de Costa

El movimiento de la línea de costa tiene en cuenta la tendencia direccional que afecta a línea de costa bajo los procesos dinámicos ejercidos por el mar. Tres tipos de movimientos pueden reflejar el comportamiento de la línea de costa: (1) erosión, (2) erosión rápida y (3) acreción.

La erosión se define como el proceso a través del cual el material de las playas o de los acantilados es disgregado o removido por la acción del mar. Este se presenta en la zona en sectores de acantilados y donde este influenciados por fuerte abrasión (**Figura 41 a,b**). Hacia el sector de Punta Gloria se presentan rocas afectadas por el diaclasamiento y socavaciones (**Figura 41 c,d**).

La erosión rápida es similar proceso anteriormente descrito pero se ejecuta rápidamente en el tiempo. Este proceso puede evaluarse a través de registros históricos, mapas topográficos, fotografías aéreas, y/o observaciones directas de campo, ya que la erosión es un proceso muy dinámico que debe estudiarse en el tiempo. Se puede considerar como zona de erosión muy rápida en el sector de Playa Los Cocos, en donde se da una erosión tan rápida que ya está en la zona de rompiente de olas (**Figura 42 a,b**).

La acreción es un término aplicado para indicar el proceso opuesto a la erosión, y se trata de una gradual adición de terreno costero, mediante la depositación de material transportado por las olas y corrientes. Existen rasgos de línea de costa por encima del nivel del mar actual, en Playa Lipe y Playa Los Nativos, esto debido a la presencia de paleoacantilados (**Figura 42 c,d**). Durante el estudio no se encontraron evidencias de línea de costa por debajo del nivel del mar actual, pero no se descarta su existencia. La línea de costa de la Bahía de Santa Marta es estable con problemás de erosión locales (**Figura 42**

a,b). En la playa del Batallón Córdoba, la erosión puede asociarse a un pequeño canal hacia el mar y a silletas en las rocas.

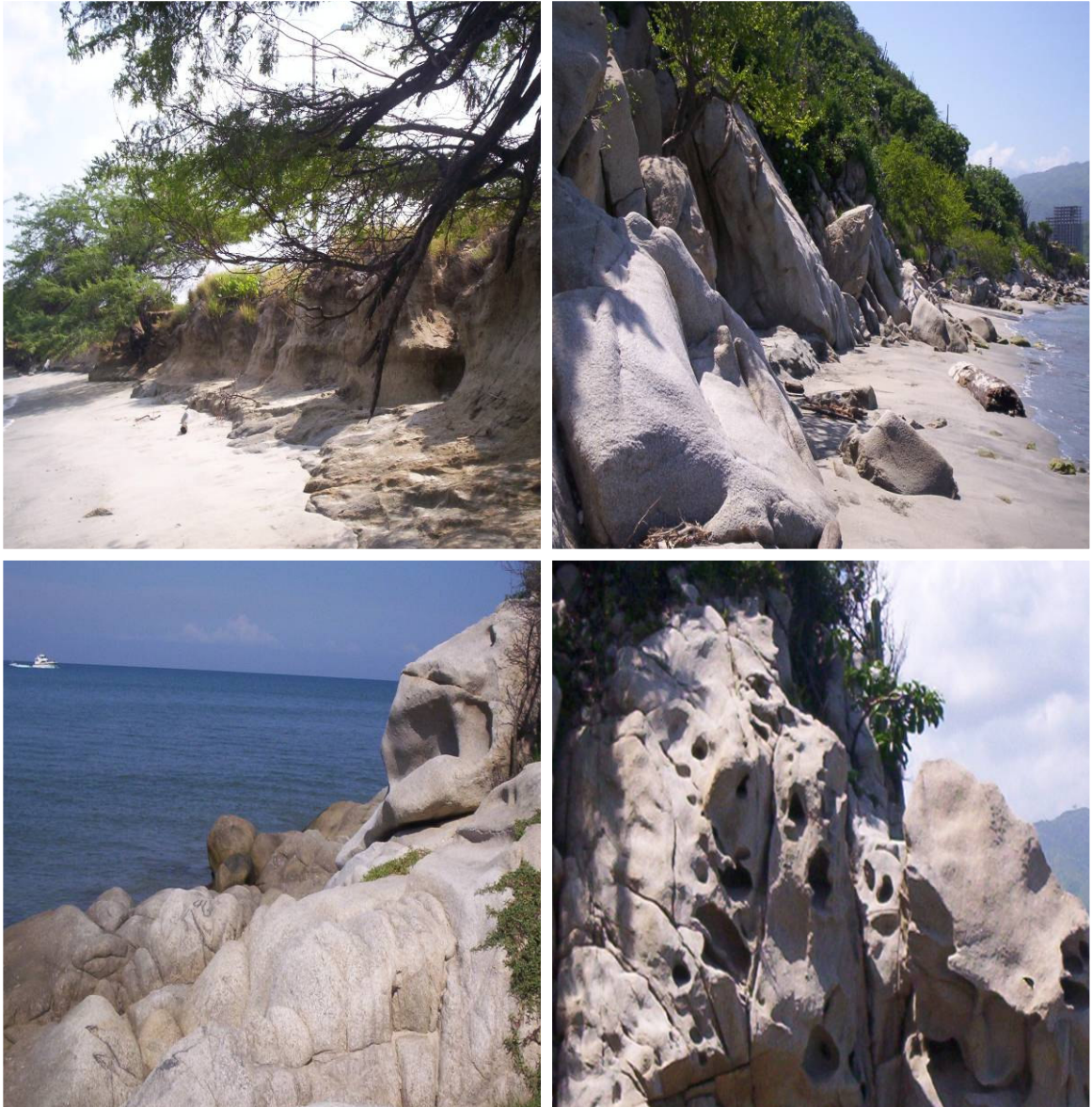


Figura 40. Rasgos erosivos observados en el sector comprendido entre Punta Brava y Punta Betín. (a) Erosión en las playas del aeropuerto, (b) erosión y formación de acantilados en zona costera de Punta Gloria, (c) rocas afectadas por el diaclasamiento y la erosión en Punta Gloria, (d) socavación de la roca en Punta Gloria.

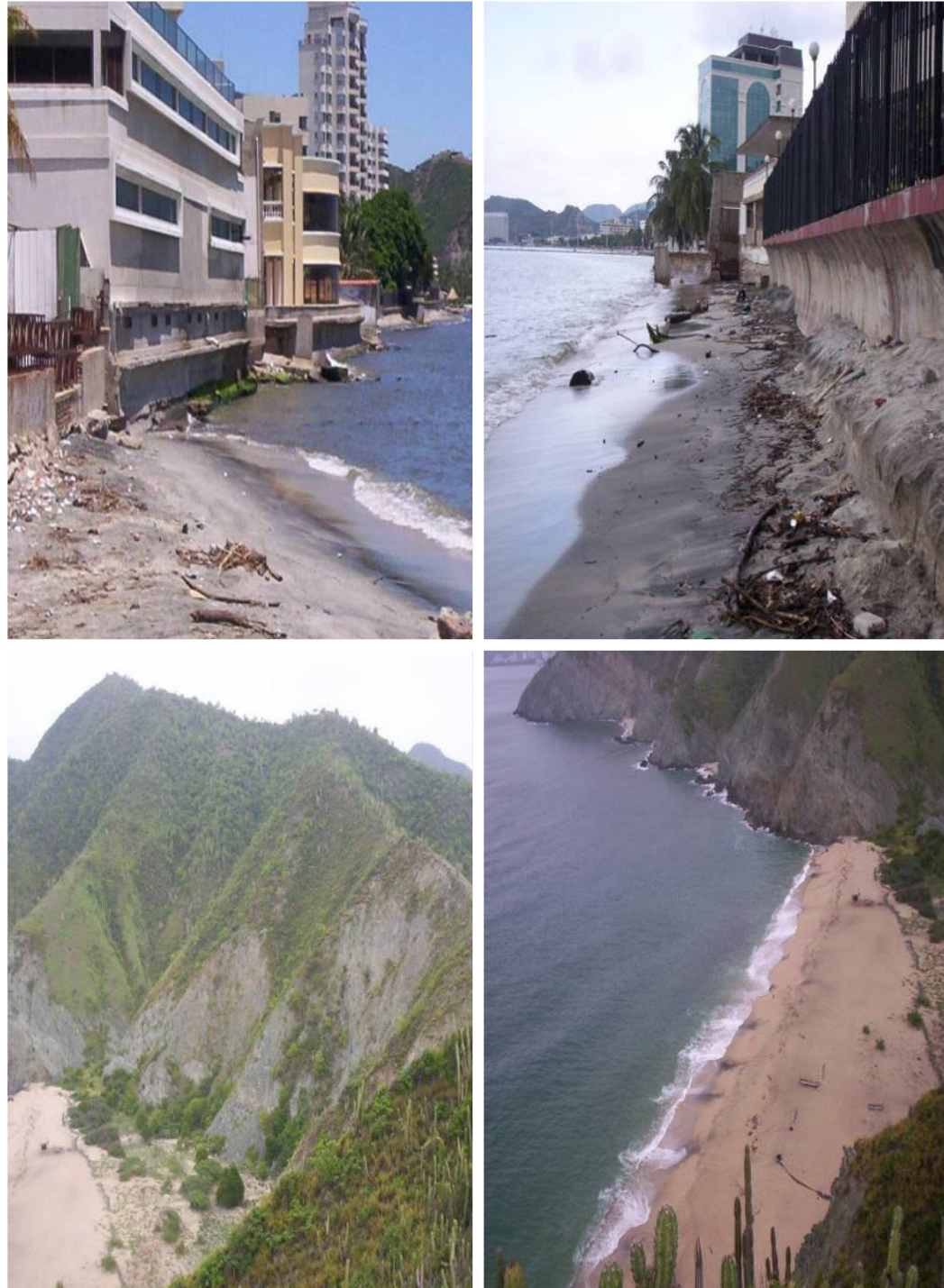


Figura 41. (a). Zona de Rompiente de olas en el Gran Manuel, (b) Sector comprendido entre las playas de Cocos y del Centro donde el área construida llega prácticamente hasta la línea de rompiente y los muros de contención se han agrietado y derrumbado parcialmente, (c), (d), Zonas de acreción, en donde existen rasgos de línea de costa por encima del nivel del mar actual, en Playa Lipe y Playa Los Nativos, esto debido a la presencia de paleoacantilados.

8. USOS DE LOS SUELOS

Al identificar el uso actual del suelo, el cual incluye las estructuras que sobre éste se realizan para su protección, ya sean muros, espolones, rompeolas, etc, se definen las unidades y utilidades del paisaje, lo cual es una herramienta clave en cualquier estudio de manejo de zonas costeras. En el área de estudio se han definido a grandes rasgos tres sectores con base en el uso del suelo que estos presentan.

El primero es el sector que está comprendido entre Punta Betín y Playa Lipe, y sobre este se concentran actividades importantes como el puerto local con su muelle de exportación de carbón, la zona comercial del centro Histórico y áreas recreativas de las Playas. Las desembocaduras de los ríos Manzanares y Gaira, merecen especial atención debido a los altos niveles de contaminación que presentan, las apropiaciones de sus riberas y el cambio permanente de sus bocas o canales de acceso al mar. Dicha contaminación es la consecuencia directa de la disposición de residuos sólidos y aguas residuales arrojados desde casas aledañas a sus riberas, lo cual representa no solo un grave problema ambiental en la red de drenaje que alimenta a estos ríos que desembocan en las costas del Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta, sino que también ha traído cambios drásticos en sus ecosistemas y áreas urbanizadas, así como en los ecosistemas marinos, en donde es un problema que cada día produce un impacto ambiental mayor, y la inadecuada disposición de las mismas han llevado a una globalización de la problemática debido a la depredación del medio ambiente. Por lo tanto, es necesario el desarrollo de procesos industriales que implementen tecnologías menos contaminantes junto con procesos que permitan el adecuado manejo de aguas residuales y basuras, considerando igualmente el papel de las aguas lluvias y el volumen de sedimentos, ya que estos generalmente se depositan en los acuíferos más próximos, contaminándolos, produciendo un cambio drástico en los ecosistemas marinos y costeros. De esta manera, estos procesos que deben ser manejados al interior del territorio para eliminar o minimizar el impacto. La accesibilidad de algunas playas es dificultosa por la ubicación del Batallón Córdoba, como también la continuidad del tráfico peatonal a lo largo del borde marino.

El segundo sector, entre Playa Lipe y Punta Gloria, es el que presenta un mayor uso de sus

playas en el Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta. Este presenta un borde de fuertes pendientes con un alto potencial de uso residencial turístico como los cerros de San Fernando y La Gloria. Su aporte hídrico lo constituye el río Gaira, la quebrada Bureche y el cuerpo acuático del Laguito de la Escollera, aunque su problema más importante lo constituye el vertimiento de aguas negras por sobrecarga de los colectores de la zona norte de El Rodadero, principalmente en temporada altas.

El tercer sector, comprendido entre Punta Gloria y Punta Brava, se destaca por presentar una homogeneidad de sus playas, las cuales son destinadas principalmente al desarrollo residencial, turístico y hotelero, con alternancia de zonas de equipamiento institucional. Desde Punta Cabeza de Zorra hasta Punta Brava se presentan una serie de salientes que interrumpen la continuidad de las playas y demarcan algunos cambios en el litoral. El uso actual del suelo que se destina al área costera descrita en el presente trabajo esta acorde con las estrategias generales, las políticas y los criterios rectores de la zonificación de los mismos en la ciudad. A continuación se resume la información con relación al uso principal definido para el área costera de interés.

8.1. DEFINICION DE USOS

➤ Zona Central de la ciudad de Santa Marta: Puerto Marítimo y Turístico. Litoral con usos recreativo y pesquero. Usos recreativos urbanos y mixtos, adecuados para el desarrollo de actividades turísticas. En la playa del centro se encuentra ubicado un parque. Muelle de transporte turístico y local. El sector entre Punta Betín y el parqueadero del puerto se cataloga como área de equipamiento institucional.

➤ Zona de Bella Vista: área recreativa de playa, residencial y de prestación de servicios turísticos. área residencial 7-AR-7. El sector del río Manzanares se caracteriza por una ronda hidráulica. La playa del Batallón Córdoba se cataloga como un área residencial turística y hotelera 2-ART- 2.

➤ Zona Cerro San Fernando: Usos residenciales turísticos y recreativos de baja densidad, acordes a las características topográficas del sector. Litoral con usos

recreativos y de transporte marino. Las zonas de colina son catalogadas como reservas ecológicas.

- **Zona del Rodadero:** Usos residenciales y recreativos, disminuyendo la intensidad especialmente hacia el área norte. Se propone enfatizar el uso hotelero en la zona de Playa Salguero. Usos recreativos y transporte de turismo. área residencial turística y hotelera 1-ART 1. El sector del Laguito La Escollera es considerado como una zona de parque propuesto, aunque en la actualidad se presenta allí una discoteca. Playa Salguero se cataloga como un área residencial turística y hotelera 2-ART 2.
- **Zona de Plenomar y Urbanización Microrefugio:** Usos residenciales, turísticos y hoteleros, con disminución de la intensidad habitacional. área residencial turística y hotelera 2-ART 2. El sector de Pozos Colorados se cataloga como área de equipamiento institucional.
- **Zona Hotelera (Irotama-Zuana):** Área destinada a desarrollo urbanístico especial con usos turísticos y residenciales, marinos y hotelería, de desarrollo cerrado, de alta densidad y perfil ecoturístico. área residencial turística y hotelera 3-ART 3.
- **Zona de Bello Horizonte y Bello Mar:** Residencial de densidad media y baja, con posibilidad de muelles de transporte local. área residencial turística y hotelera 2-ART 2.
- **Zona Aeropuerto:** área aeroportuaria, destinada al desarrollo del plan maestro del Aeropuerto Simón Bolívar. Como actividades complementarias se establecen usos recreativos turísticos sobre el lado oriental del aeropuerto. área de equipamiento institucional.

A continuación se describen los principales usos del suelo identificados en la zona de interés.

8.1.1. Uso urbano

Son las áreas construidas, corregimientos y municipios que se encuentran a lo largo de la zona costera de interés (ciudad de Santa Marta y corregimientos de El Rodadero y Gaira). En la ciudad de Santa Marta se encuentran localizados el Centro Histórico, Los Cocos y otros sectores urbanísticos aledaños (**Figura 29a**), así como el Batallón Córdoba. En los corregimientos de El Rodadero y Gaira, en donde se concentra el complejo hotelero y turístico residencial. En el sector hotelero, se presenta una intensa demanda urbanística debido al continuo incremento hotelero de la región. Algunas casas se encuentran ubicadas sobre la zona de playa, como ocurre en Bahía INCA INCA y Punta Gloria, lo cual representa una seria amenaza en épocas de invierno.

8.1.2. Pesca y transporte

Esta actividad se presenta principalmente en la zona marina donde en general se efectúa la pesca artesanal, con ayuda de pequeñas embarcaciones (**Figura 29b**) en zona de mar alto, y su impacto no es tan importante ya que la pesca artesanal se realiza hacia el litoral costero, utilizando redes de arrastre pesadas que se utilizan para capturar diferentes especies. Por otra parte, el transporte terrestre es de gran utilidad para el comercio y desarrollo económico de la región, pero en la zona el transporte férreo y marítimo juega el papel más importante para el traslado y la comercialización de mercancías pesadas y de gran volumen, pues la red ferroviaria se encuentra conectada con el terminal marítimo. La actividad económica básica es la ecoturismo ya que es el destino preferido por numerosos turistas nacionales y extranjeros debido a una infraestructura hotelera sólida.

Las playas son un excelente lugar para la práctica de deportes acuáticos; y como actividades complementarias se destacan el comercio, la prestación de servicios a la industria bananera y carbonífera, así como la explotación a cielo abierto de rocas ornamentales y la pesca artesanal.

8.1.3. Obras de defensa

Barreras artificiales tales como espolones y muros son las obras de defensa que predominan en el área de estudio. Por lo general, estas obras fueron construidas sin prever el impacto

que generarían en sus alrededores, ya que se convierten en un problema para los residentes de la zona donde se encuentran construidas debido a que obstaculizan el tránsito de los habitantes y no actúan de manera efectiva para la mitigación de la erosión (**Figura 29c**). En la Bahía de Santa Marta y el sector Hotelero (Irotama-Zuana) se encuentra la mayor cantidad de obras de defensa, destinadas a la protección de la erosión marina y ayuda en la formación de playas. En la Bahía de Santa Marta se han construido 2 grandes espolones en todo el frente de la Playa del Centro, los cuales están constituidos por bloques de caliza o rocas ígneas y cemento; en la Playa Cocos se han construido muros de contención, debido a que en este sector se presenta una continua rompiente de ola.

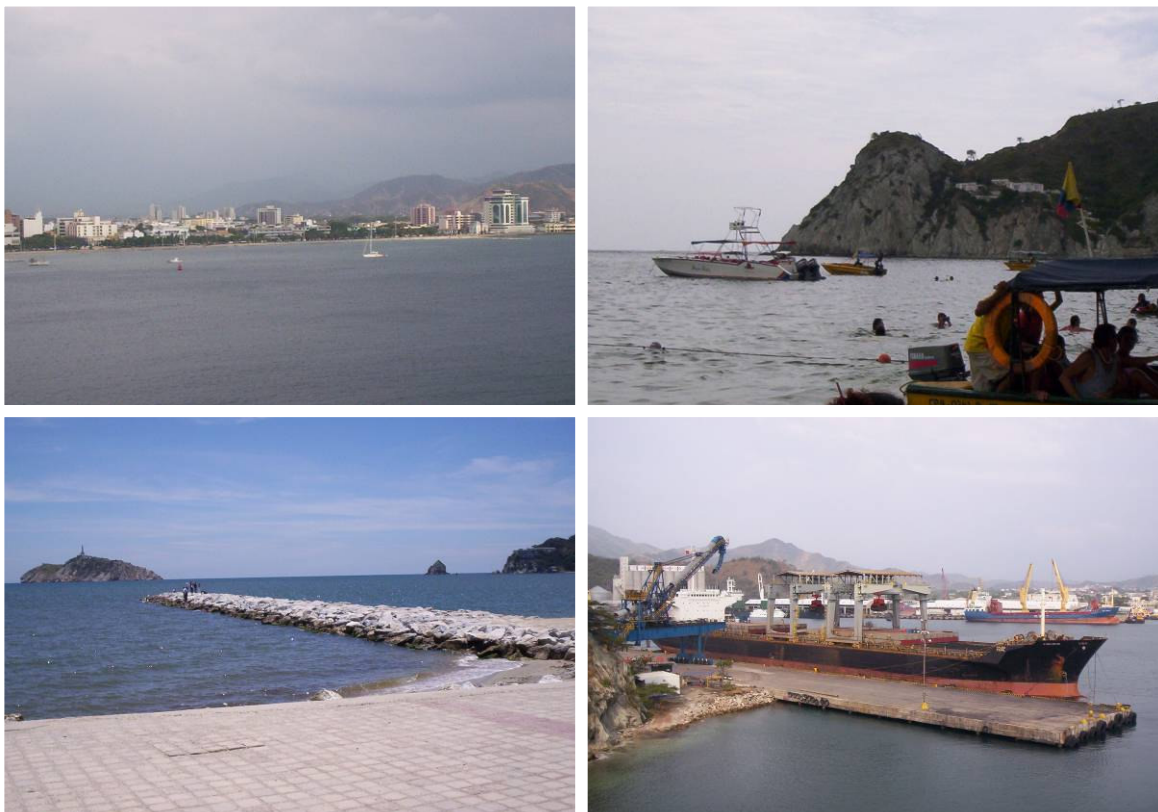


Figura 42. Usos del suelo. (a) Uso urbano en el sector de la playa del centro (Bahía de Santa Marta), (b) actividad pesquera en Punta Gaira, (c) espolón creado con calizas y bloques de rocas en la playa del centro, y (d) puerto carbonero de la Sociedad Portuaria.

En el sector Hotelero se presenta una serie de espolones que no cumplen ningún tipo de función, siendo construidos simplemente por el afán de resguardar los hoteles y las cabañas construidas sobre la playa, por lo cual muchos de estos no presentan las especificaciones requeridas para tal fin. En el sector del Aeropuerto Simón Bolívar, específicamente en Punta Los Micos, se han construido muros de concreto y roca, y frente a éstos se han arrojado bloques de calizas con el fin de evitar el golpe directo de las olas, más aun en las noches cuando sube la marea. Esta medida aunque empírica ha dado buenos resultados ya que ha logrado proteger algunos muros de la socavación causada por el oleaje. Hacia el sector de Punta Betín funciona el puerto carbonero de la Sociedad Portuaria (**Figura 29d**) el cual sirve como una obra de defensa para este sector.

9. VARIACIONES DE LA LINEA DE COSTA ENTRE 1954-2006

La zona comprendida entre Punta Brava y Punta Betín ha sufrido cambios importantes desde 1954 que se tiene precedente, destacándose el retroceso general de la línea de costa (causado por la erosión) como un fenómeno que se ha mantenido constante a lo largo de estos últimos 50 años.

Para una mejor claridad de la escala multi-temporal en la que se está trabajando se debe tener presente que las variaciones en la línea de costa son resultado de la actuación de fenómenos de baja frecuencia (temporales) y procesos que suceden a largo plazo.

El análisis de los datos de erosión y acreción se hizo dividiendo la zona en 3 sectores. En estos se escogieron puntos geográficamente conocidos y representativos para determinar las tasas de erosión.

9.1. SECTOR PUNTA BETÍN – PUNTA GAIRA

Este sector con una longitud aproximada de 8.5 Km., sufrió entre 1954 – 2006 un retroceso máximo de la costa de 135 m en la zona portuaria. Las tasas de erosión oscilan entre 2.35–1.96 metros al año. (**Véase Anexo 3 - Mapa de variación de línea de costa**).

Es evidente la intensa erosión en esta zona por la presencia de Pilares a 300 metros de la costa desde Punta Betín (Morro de Santa Marta) y 60 metros (El Morrito). La pérdida de terreno se ha incrementado en la playa del Centro, en donde la principal causa de este fenómeno es la construcción inadecuada de estructuras rompeolas, sumada a la construcción desorganizada de espolones que impiden el transporte de sedimentos y la extracción de materiales como arenas hacia el sector de la desembocadura del Río Manzanares.

Se ha manifestado una alternancia de procesos tanto de erosión como de acreción, siendo la acreción aparentemente constante en los últimos 50 años hacia el sector de Playa Lipe y Playa Los Nativos es donde se presenta la principal acreción en la zona, la cual se

encuentra evidenciada por los paleoacantilados que quedan como testigo de este hecho. Esto es confirmado por los habitantes del sector que indican un avance de la línea de costa y una amplitud de las playas de 60 - 90 metros en los últimos 50 años.

Punta Gaira ha sufrido cambios notorios a causa de la erosión, a su vez, estos cambios influyeron de forma drástica en las condiciones hidrodinámicas de la zona. La principal causa de la fragmentación de esta punta fue la gran cantidad de fracturamiento y cizallas que presenta esta zona sumado a la intensidad del oleaje que golpea este sector.

9.2. SECTOR PUNTA GAIRA – PUNTA GLORIA

La longitud aproximada de este sector es de 7.5km. El retroceso que registra la línea de costa para el corregimiento de El Rodadero es constante oscilando entre 107 a 88, en donde las tasas de erosión no sobrepasan los 1.98 metros por año. **(Véase anexo 4 -Mapa de variación de línea de costa).**

Es evidente que esta zona ha estado afectada por procesos erosivos severos. A lo largo de la costa se encuentran pilares de roca a una distancia de hasta 200 metros hacia mar adentro con el Morro de Gaira y de 50 metros con pilares menores en Punta Gloria, estos pilares sirven para marcar antiguas posiciones de la terraza y por ende de la línea de costa. **(Véase anexo 4 -Mapa de variación de línea de costa).**

Las arenas arrastradas por los diferentes arroyos y quebradas del sector hasta la costa han ayudado a mantener la estabilidad en la playa correspondiente al corregimiento del Rodadero y el sector de Playa Salguero, en donde se encuentra la desembocadura del Río Gaira. Estos sedimentos mantienen un balance en cuanto a la entrada y salida de material en esta zona.

9.3. SECTOR PUNTA GLORIA – PUNTA LOS MICOS

Comprende 5.5 Km. de costa que ha sufrido retrocesos de hasta 143 m desde el año de 1954, como constante a diferencia de Punta Gloria en donde se dio la reducción considerable de una espiga. Las tasas de erosión fluctúan de 2.5 m/año. (**Véase anexo 5 - Mapa de variación de línea de costa**).

La erosión en esta zona es alta, más si se habla de que actúa sobre una terraza fluvio-marina donde las rocas de los acantilados no ofrecen ninguna resistencia ante el embate directo del oleaje. La esorrentía ha jugado un papel importante en la desintegración de la terraza, facilitando así el debilitamiento de sus materiales para la posterior remoción.

Al norte la zona, el retroceso de la costa se encuentra asociado a la caída de bloques de material perteneciente al Batolito Cuarzodiorítico de Santa Marta, producto de la incesante arremetida del oleaje sobre este material.

Hacia el sector hotelero se observa una serie de playas relativamente amplias, sin embargo la variación de la línea de costa es evidenciada por la presencia de espolones que condicionan la zona y a su vez se observa entre puntas la tendencia erosiva.

Las tasas relativamente bajas de erosión que presenta el sector son favorecidas por la homogeneidad del terreno, principalmente hacia el sector hotelero hasta Villa Canarias. Las bajas pendientes contribuyen a una mínima actuación de los procesos erosivos causados por el oleaje; también se debe tener presente que se trata de una zona donde se ha dado una considerable intervención antrópica. Desafortunadamente se confirma la existencia de una mayor tendencia erosiva en las zonas donde hay mayor intervención por parte del ser humano.

A continuación se presentan las tasas de erosión para toda la zona de estudio.

Tabla 43. Valores de erosión y acreción netos en diferentes puntos sobre la zona de estudio.

| PUNTO | EROSION | ACRECIÓN | TASA DE DESPLAZAMIENTO (m/año) |
|-------|---------|----------|-----------------------------------|
| 1 | -120 | - | -2,31 |
| 2 | -135 | - | -2,5 |
| 3 | -126 | - | -2,33 |
| 4 | -117 | - | -2,17 |
| 5 | -106 | - | -1,96 |
| 6 | - | (+) 525 | (+) 9,72 |
| 7 | - | (+) 225 | (+) 4,17 |
| 8 | - | (+) 350 | (+) 6,48 |
| 9 | -95 | - | -1,78 |
| 10 | - | (+) 189 | (+) 3,5 |
| 11 | -107 | - | -1,98 |
| 12 | -88 | - | -1,63 |
| 13 | -79 | - | -1,46 |
| 14 | -96 | - | -1,78 |
| 15 | -85 | - | -1,57 |
| 16 | -92 | - | -1,7 |
| 17 | -94 | - | -1,74 |
| 18 | -112 | - | -2,07 |
| 19 | -125 | - | -2,5 |
| 20 | -132 | - | -2,44 |
| 21 | -138 | - | -2,56 |
| 22 | -143 | - | -2,65 |
| 23 | -135 | - | -2,5 |
| 24 | -137 | - | -2,54 |
| 25 | -140 | - | -2,59 |

10. DISCUSIONES DE RESULTADOS

Después de haber realizado un análisis de los distintos factores que contribuyen a los procesos de erosión-acreción, tales como la geomorfología, geología, condiciones hidrodinámicas y usos del suelo, se evidencia de una manera muy clara que el sector comprendido entre Punta Brava y Punta Betín (Provincia Geotectónica de Santa Marta) ha sufrido retrocesos importantes en su línea de costa en los últimos años y en algunos sectores procesos de acreción.

Se considera que toda la zona está sometida a fuertes procesos erosivos, observándose un mayor retroceso y afectación en los sectores de Playa Los Cocos, Aeropuerto y Plenomar. Esto es debido principalmente a la acción antrópica, ya que se han creado espolones y construcciones en zonas donde facilitan más la acción erosiva, sumado a esto el fuerte oleaje que afecta a estos sectores y la característica de costa no consolidada (pendiente muy baja).

Al realizar el estudio geomorfológico se tuvo en cuenta que la presencia de los procesos erosivos está íntimamente relacionada con las unidades geomorfológicas. En la zona de estudio la erosión actúa en menor escala en zonas como playas consolidadas, llanuras costeras, y debido a encontrarse constantemente al embate del oleaje las puntas y acantilados son los que mayor se encuentran sometidos a efectos erosivos.

La evolución de las geoformas está ligada a la acción de diferentes agentes. Como lo indica Martínez (1993) las geoformas costeras son producto de las diferentes transgresiones y regresiones.

La zona de estudio también se encuentra sometida a levantamientos, fallamientos y fracturamientos que establecen en gran medida la respuesta de las geoformas a los diferentes procesos que sobre ellas actúan.

Cabe destacar que se encontró una gran similitud en zonas de llanuras de inundación, tales como el sector de Pescadito, la zona de la Escollera y el sector de Plenomar, en donde se presentaron grietas de desecación, que evidencian este tipo de ambiente, sumado a su ubicación, ya que se encuentran en el flanco NE con respecto a las Puntas de Betín,

Burucuca y Gloria, respectivamente para cada uno de los sectores mencionados. Esto es importante resaltar como zona principal de amenaza ante un incremento del nivel del mar, debido a que en un pasado el sector de pescadito fue inundado debido a un ascenso del nivel del mar, de ahí su nombre ya que se dio un ambiente de lagoon (Según relatos de moradores)

Las diferentes características morfológicas de la zona de estudio permitieron dividirla en dos tipos:

➤ Zona Tipo A: Estas son zonas cuyas playas presentan un ancho mucho mayor que oscila entre los 40 a 60 metros, y se encuentran limitadas por llanuras costeras y de inundación, en esta zona presenta pendientes muy bajas y el oleaje rompe en la costa lo que favorece la formación de las playas. Ejemplos de estas se encuentran en playas del sector hotelero, del aeropuerto y de la bahía de Santa Marta.

➤ Zona Tipo B: En esta zona sus playas son muchos menores; entre 10 a 30 metros. Son zonas acantiladas (con presencia de Acantilados o Paleoacantilados), en estas pueden presentarse o no playa, sus anchos son variables siempre están rodeadas de colinas. Aquí se presentan en la costa una secuencia de bloques caídos, esto es como consecuencia a que se encuentran en zonas de salientes las cuales presentan unas series de acantilados que debido a efectos abrasivos ocasionan que se den en estas zonas; ejemplos de ellas son Punta Gloria, Punta Gaira, Punta Burucuca, Punta Cabeza de Cuerno. En estas zonas influye principalmente la pendiente del perfil de playas en la línea de costa, las cuales son mayores a diferencia de las Zonas Tipo A, así el rompimiento de las olas se presenta más lejano de la línea de costa.

Esta clasificación que se propuso se tuvo en cuenta las pendientes de playa principalmente y como consecuencia el rompimiento del oleaje y de su relación con algunas geoformas. Debido a que la geomorfología condiciona los procesos que actúan sobre las diferentes unidades se puede asegurar que la mayor erosión actúa en las zonas clasificadas como Zona Tipo B.

Estos cambios en la morfología son muy importantes ya que están relacionados de manera directa con la hidrodinámica del sector, De acuerdo al caso de Punta Burucuca el cambio en las direcciones de deriva estaría relacionado con una estructura (malecón) asociada a la punta.

De manera local para la zona de estudio se encontró que las mayores pendientes están asociadas a las zonas de mayor erosión; en estas zonas el oleaje rompe con más fuerza y más cerca de la costa lo que produce una respuesta negativa (retroceso) de la costa por la acción del oleaje.

En cuanto a las relaciones existentes entre las características sedimentarias y la erosión se pudo identificar que para la zona de estudio se cuenta con dos fuentes principales de sedimento: el aporte fluvial que producen los ríos Manzanares y Gaira (Principales vertientes hidrológicas), y el aporte ocasionado por la erosión de los acantilados en la zona de estudio. El transporte de sedimento se da principalmente por los ríos, sumado al transporte efectuado por las corrientes de deriva.

Las características encontradas para las arenas de las playas, como composición, granulometría, selección, insinúan un alto reabajamiento de los sedimentos de origen fluvial antes de llegar a las playas. Esto puede deberse a que las áreas fuente de los sedimentos están muy alejadas del área final de depositación.

De acuerdo a análisis efectuados en los sedimentos de playas se encontró que presentan características composicionales similares a las de las rocas encontradas en los acantilados de las zonas de salientes. De acuerdo a esas características se pudo observar variaciones en cuanto al tamaño de grano, distribución y redondez que permiten insinuar un menor reabajamiento y transporte desde su área fuente.

Con el estudio anteriormente descrito de geoformas, geología, usos de suelo, hidrodinámica y sedimentología se evidencia un retroceso en la línea de costa en los últimos 50 años.

Entre las causas principales para que se den los procesos de erosión-acreción en la zona de estudio se encuentran tanto factores antrópicos como naturales:

10.1. OLEAJE Y APORTE DE SEDIMENTOS

En la zona de estudio se pudo analizar que el oleaje presentaba una frecuencia variable que oscilaba entre 7-8. De acuerdo al estudio Hidrodinámico efectuado se obtuvo una frecuencia de llegada del oleaje para la zona de Plenomar de 6-7, para el Rodadero de 8-9 y para la Bahía de Santa Marta 7-8. Este cambio en la frecuencia del oleaje influye de alguna forma en la estabilidad y en el aumento o disminución del ancho de las zonas de playa.

El transporte de los sedimentos a la zona de playas esta determinado por el oleaje, el cual incide sobre la costa generando corrientes responsables de transportar el sedimento hasta estas zonas, sedimento proveniente por lo general de la erosión litoral en salientes (acantilados). Se observaron durante el estudio dos tendencias de corrientes de deriva, las cuales son N-NE y S-SW, que son las mismas tendencias de transporte de sedimentos.

El sector de Plenomar presenta una corriente de deriva con tendencia N-NE, los sedimentos son arrastrados por esta corriente y retenidos en la parte norte en Punta Gloria, en la cual se encuentran unas series de acantilados y bloques caídos que sirven de retención de sedimentos. Los sedimentos ubicados en este litoral tienden a desplazarse hacia la parte norte del corregimiento. En este sector se presentan unas acumulaciones en sentidos contrarios a la dirección de la deriva litoral debido a que se encuentran unas series de espolones y a la vez la configuración de la costa hace que se de la acumulación de sedimentos de esta manera.

En el sector del Rodadero las corrientes de deriva muestran 2 tendencias, hacia el sur la corriente se desplaza N-NE igual que en el sector de Plenomar y hacia el sector norte se encuentra en una dirección S-SW, esto se debe a que el oleaje al llegar a Punta Burucuca encuentra un obstáculo en su desplazamiento y se refracta produciendo un cambio en la ortogonal y en la dirección de la corriente de deriva. Observándose una formación de playas en dirección contraria a la tendencia de la corriente de deriva, esto se debe a la forma de bahía que se presenta en el sector del Rodadero (Punta Burucuca-Punta Gloria).

En el sector de la Bahía de Santa Marta se presenta corrientes de deriva con tendencia SW; donde la corriente que más influye en este sector es la generada por el Río Manzanares

hacia el sur. Este aporte permite mantener las playas con un ancho relativamente grande para el sector de Playa Los Cocos, Batallón y Playa Lipe.

Dentro de la zona de estudio, los drenajes capaces de aportar cantidades suficientes de sedimento para mantener la estabilidad de las playas son muy pocos y su aporte está limitado a la época de lluvias. Este déficit de sedimentos se convierte en uno de los principales causantes de la erosión. Teniendo en cuenta que al disminuirse el aporte de sedimentos la energía del oleaje empleada en el transporte del material será enfocada al trabajo erosivo de las playas buscando así una estabilidad del sistema.

Además de los procesos repetidos de erosión costera por parte del oleaje, los mares de leva, aunque esporádicos pueden generar también grandes daños ocasionando la mayoría de las veces retrocesos considerables de la línea de costa.

10.2. CONDICIONES GEOLOGICAS DE LA ZONA

Las diferentes características geológicas de la zona de estudio repercuten de manera circunstancial en los procesos de erosión-acreción, esto se ve evidenciado en la facilidad para erosionar en los sectores de acantilados, ya que estos se encuentran conformados de filitas y esquistos, las cuales por sus características de mayor fisilidad presentan una mayor oportunidad a que se den procesos erosivos en este sector.

También hay puntas en donde se da la erosión en rocas graníticas, tal es el caso de Punta Gloria, en donde al encontrarse compuesta por granodiorita se observan una series de bloques caídos producto del retrabajamiento y el embate del mar hacia este sector ayudado por el fracturamiento de este tipo de roca, y sucede la caída de estos bloques por gravedad e incluso la formación de pequeños stacks.

Hacia los sectores de Playas la acreción viene determinada en vez de la litología, mas bien es por el tipo de pendiente, para que suceda una acumulación considerable.

10.3. CONSTRUCCION INADECUADA DE ESTRUCTURAS

La construcción empírica de estructuras de protección, por lo general espolones y muros influyen significativamente, debido a que la construcción en la playa, zonas de berma (tales como casas, espolones) actúan de forma negativa e incrementa la erosión. Esto es porque el frente de oleaje sobre la pared u obra de defensa ocasiona que la energía de la ola sea empleada en poner en movimiento una mayor cantidad de material

Estas construcciones por lo general se dan en la zona de límite (Mesomareal) lo cual hace que actúen hacia los sectores aledaños la abrasión. Esto se ve marcado en la zona en la tendencia o forma que muestran las bahías con una concavadura apuntando hacia el NE y menor acumulación de sedimentos hacia esta zona.

10.4. AMENAZAS GEOLÓGICAS POR INUNDACIÓN

Para muchos autores la elevación en el nivel del mar va relacionando con cambios climáticos globales que constituye una de las principales causas de la erosión en las playas. Estos cambios dependen en buena medida de las acciones irracionales de los seres humanos. La emisión de dióxido de carbono, la presencia de trazas de gases, la sensibilidad climática, el incremento de la temperatura, entre otras, se constituyen en factores determinantes que influyen e influirán en el aumento del nivel del mar.

La posibilidad de que el ascenso relativo del nivel del mar esté involucrado en el problema erosivo se confirma al considerar la información disponible sobre los ascensos del nivel del mar en el Caribe. El último ascenso del nivel del mar ocurrió hace aproximadamente 2.500 años y alcanzó 2 m por encima del nivel actual. Por esta razón, gran parte de las costas son de sumersión.

Esta zona se caracteriza por ser una región seca, en donde las amenazas por deslizamientos son muy bajas. Debido al encontrarse en la zona la presencia de la Falla Bucaramanga-Santa Marta y una serie de Fallas satélites o locales, esto me genera mucho esfuerzo y acumulación de energía que, al liberarse, da origen a un considerable número de sismos en la zona, pero que al igual se considera una amenaza baja.

En un grado de amenaza medio se encuentran las playas de Santa Marta debido a los desechos orgánicos como madera de deriva que son arrojados por los ríos provenientes de la Sierra Nevada (Manzanares y Gaira). En el sector entre Taganga y Tasajera también posee un grado de amenaza medio, debido a la compactación de la arena, la contaminación del mar por desechos urbanos y la actividad portuaria.

En la región del Caribe colombiano en su historia se evidenciaron fuertes cambios ambientales con aumentos y disminuciones del nivel del mar, dando origen al sistema lagunar actualmente inmerso en el delta del Río Magdalena. Desde principios del siglo XX el sistema sufrió alteraciones antrópicas, como la construcción de canales a lo largo del Río Magdalena y de sus tributarios de la Sierra Nevada de Santa Marta y la desecación de ciénagas menores. Adicionalmente el flujo del Río Magdalena fue interrumpido por la construcción de carreteras, diques y bordos. Éstos últimos, con propósitos de prevenir inundaciones en las zonas agrícolas y ganaderas y para desviar aguas del río con fines de irrigación. Más exactamente hacia la zona de estudio se presentan amenazas altas en zonas de baja inundación hacia futuros aumentos del nivel del mar y en temporadas de mares de leva.

11. RECOMENDACIONES

Para establecer una serie de recomendaciones se tuvo en cuenta, como una serie de criterios entre los más principales:

- Se considera necesario realizar unos perfiles de playa en zonas donde se observa mayor tendencia erosiva. Sería ideal realizar una medición mensual de perfiles de playa para analizar como son los cambios de niveles de arena resultantes de los procesos de erosión y acreción.
- Realizar unas acciones para la recuperación y mantenimiento de la zona costera, desarrollando unos estudios técnicos previos en la zona antes de construir obras de protección o defensa, ya que por lo general las malas construcciones en la zona se convierte en un grave problema para un futuro, por obstaculizar los transportes de sedimentos en el litoral favoreciendo el aumento en la erosión.
- Se podría tener en cuenta la demolición de estas obras de defensa mal construidas, ya que no están cumpliendo su función y a su vez se tendría como objetivo la recuperación de las condiciones originales de la zona donde las obras fueron construidas.
- De acuerdo a los usos de suelos impuestos por el Plan de Ordenamiento Territorial para la zona costera del Magdalena deben respetarse sus usos. Esto va implícito con las medidas, regulaciones y leyes que permitan un manejo adecuado de la zona de estudio y en general cualquier zona costera.
- Deben hacerse cumplir las leyes que prohíben y reglamentan la extracción de arenas en las zonas de playa y en las desembocaduras de los ríos, y tanto el vertimiento de desechos y escombros en sectores costeros, ya que esto modifica en cierta manera con los procesos de erosión-acreción.
- De acuerdo a la ley, deberían ser reubicadas las casas y caminos que se encuentran a la orilla de los acantilados y que se ven afectados directamente por la erosión. Este caso es notorio en construcciones aledañas a las puntas y zonas de acantilados, y en

casas en zonas de playas. Es necesario mirar antes de realizar el traslado que efectos se producirán por tal impacto.

➤ Se debe tomar una serie de medidas geotécnicas en la zona de estudio con la finalidad de contrarrestar esa inestabilidad presente en los acantilados el cual es uno de los principales problemas detectados a lo largo de la línea de costa. Para contrarrestar los efectos de los deslizamientos por medio de sistemas de protección, una forma sería reducir la pendiente del talud con un valor por debajo de su valor estable, luego se recubriría con vegetación.

➤ Debería realizarse una construcción de muros, rompeolas paralelos o inclinados con relación a la línea de costa para estabilizar las puntas; ya que el deterioro acelerado de estas puntas ocasiona un aumento en el efecto erosivo.

➤ Es necesario tener una ampliación del conocimiento que se tiene de la zona de estudio y en general de las zonas costeras; esto con el fin de tener un monitoreo de la zona para evitar posibles catástrofes. Es recomendable realizar una serie de estudios como:

1. Realizar constantemente unos levantamientos topográficos y de perfiles de playa en diferentes épocas climáticas, con estos se tendrá una mayor información acerca de los procesos de erosión-acreción. Para ampliar la eficacia de este estudio se recomienda hacer el levantamiento de perfiles durante las épocas de invierno y verano.
2. Estudio sedimentológico continuo en el litoral costero y además en la zona de plataforma para tener una mayor claridad acerca del tipo de fondo y de la procedencia de los sedimentos.
3. Estudios hidrodinámicos que permitan conocer el comportamiento de las corrientes y oleaje de toda la zona. Con estos se podrían realizar modelos matemáticos para el conocimiento de los efectos de la refracción, difracción y reflexión del oleaje. Realizar medidas de corrientes en zonas cercanas a la playa o en zonas claves (como en el estudio realizado en los sectores de Bahía de

Santa Marta, Rodadero y Plenomar) para determinar tendencias en el transporte de sedimentos en las distintas épocas del año, además de detectar puntos donde se concentre la mayor energía del oleaje.

12. CONCLUSIONES

Dentro de los rasgos geomorfológicos observados en el área de estudio se han identificado dos grandes zonas: una interior montañosa, con altitudes que alcanzan los 200 m.s.n.m., y otra costera constituida por llanuras litorales, las cuales se encuentran truncadas en algunos sectores en los que el litoral rocoso se prolonga hasta la misma línea costera, lo cual se manifiesta en la presencia de bahías (entrantes) y puntas (salientes) que destacan la generación de una serie de geoformas. En la zona de estudio se destacan como unidades geomorfológicas las playas, llanuras costeras, colinas, espigas, zonas bajas de inundación, lagunas interiores, acantilados, playones con campos de dunas, y como rasgos geomorfológicos los pilares y salientes. Todas estas geoformas sirvieron para determinar procesos de erosión-acreción.

Se realizó un estudio hidrodinámico en tres zonas, las cuales fueron: Plenomar, Rodadero y Bahía de Santa Marta, ya que se presentan cercanas a puntas y están influenciadas a la vez por corrientes tanto de la deriva litoral como de corrientes marinas, también por ser zonas de alto riesgo al encontrarse cerca de zonas de baja inundación. Este estudio me permitió determinar un patrón que seguía las corrientes de deriva con una tendencia de:

En el sector de Plenomar presenta una corriente de deriva con tendencia N-NE, los sedimentos son arrastrados por esta corriente y retenidos en la parte norte en Punta Gloria. En el sector del Rodadero las corrientes de deriva muestran 2 tendencias, hacia el sur la corriente se desplaza N-NE igual que en el sector de Plenomar y hacia el sector norte se encuentra en una dirección S-SW. En el sector de la Bahía de Santa Marta se presenta corrientes de deriva con tendencia SW.

Las corrientes de deriva cuando se manifiestan se ajustan para la época a la variabilidad de los vientos que son los que influyen de manera directa en el oleaje que actúa en la zona de estudio.

A lo largo de la zona de estudio se manifiesta un comportamiento diferente de la costa ante la interacción de los procesos hidrodinámicos con las diferentes unidades geomorfológicas.

Esto permitió de acuerdo a las características geomorfológicas e hidrodinámicas clasificarlo básicamente en dos zonas:

➤ **Zona Tipo A:** Estas son zonas cuyas playas presentan un ancho mucho mayor que oscila entre los 40 a 60 metros, y se encuentran limitadas por llanuras costeras y de inundación.

➤ **Zona Tipo B:** En esta zona sus playas son muchos menores; entre 10 a 30 metros. Son zonas acantiladas (con presencia de Acantilados o Paleoacantilados), en estas pueden presentarse o no playa, sus anchos son variables siempre están rodeadas de colinas.

Esta clasificación que se propuso se tuvo en cuenta las pendientes de playa principalmente y como consecuencia el rompimiento del oleaje.

En la zona de estudio hay dos fuentes principales de aporte sedimentario: el aporte proveniente de los ríos y el aporte de los diferentes acantilados erosionados a lo largo de la zona de estudio. El sedimento es transportado principalmente por ríos y por las corrientes de deriva.

Se realizó un estudio sedimentológico con el fin de visualizar la variación del tamaño de grano de arenas, estructuras y su composición, esto se hizo con la elaboración de T en la zona Mesomareal de cada una de las playas.

Para la zona de estudio se intentó abarcar todas las playas en su generalidad con el fin de tener una idea de la sedimentología de la zona. Teniendo en cuenta los análisis estadísticos de los diferentes sedimentos, en donde se realizaron unas distribuciones de tamaño de grano de frecuencia simples (histogramas y curvas de frecuencia simple) y otras distribuciones de tamaño de grano de frecuencia acumulada en escala aritmética.

De acuerdo a este estudio se pudo concluir que se presenta un tamaño de arena uniforme, la cual en su gran mayoría esta compuesta por arena de tamaño generalmente de fino a medio, variando en proporción de acuerdo a la zona. La selección en general es buena a moderada. Por lo general no presentaban ninguna estructura sedimentaria por lo cual se puede decir que en general presentaba una estructura masiva, y en algunos sectores presentaba

estructuras sedimentarias de estratificación. Las tendencias de las playas están conformadas por una línea de costa semicircular y homogénea y sectores amplios (aproximadamente 4-8 mts), con una pendiente de 3° y una berma bien desarrollada y continua.

Las características de la mayoría de los sedimentos de las playas muestran un alto retrabajamiento de estos antes de llegar a su destino final, indicio de un área fuente muy alejada del área de depositación (en el caso de los sedimentos aportados por los ríos). Para los sedimentos cuyo origen está asociado a la erosión de acantilados, las condiciones de retrabajamiento son menores exhibiendo una mayor angulosidad.

El uso de suelo es una herramienta clave en cualquier estudio de manejo de zonas costera, el cual incluye las estructuras que sobre éste se realizan para su protección, ya sean muros, espolones, rompeolas, etc. En el área de estudio se han definido a grandes rasgos tres sectores con base en el uso del suelo que estos presentan.

El primero es el sector que está comprendido entre Punta Betín y Playa Lipe, y sobre este se concentran actividades importantes como el puerto local con su muelle de exportación de carbón, la zona comercial del centro Histórico y áreas recreativas de las Playas. El segundo sector, entre Playa Lipe y Punta Gloria, es el que presenta un mayor uso de sus playas en el Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta. Este presenta un borde de fuertes pendientes con un alto potencial de uso residencial turístico como los cerros de San Fernando y La Gloria. El tercer sector, comprendido entre Punta Gloria y Punta Brava, se destaca por presentar una homogeneidad de sus playas, las cuales son destinadas principalmente al desarrollo residencial, turístico y hotelero, con alternancia de zonas de equipamiento institucional. Desde Punta Cabeza de Zorra hasta Punta Brava se presentan una serie de salientes que interrumpen la continuidad de las playas y demarcan algunos cambios en el litoral. El uso actual del suelo que se destina al área costera descrita en el presente trabajo esta acorde con las estrategias generales, las políticas y los criterios rectores de la zonificación de los mismos en la ciudad.

Los usos del suelo observados a lo largo de la zona de estudio son: Uso urbano, pesca-transporte y obras de defensa. Dentro de las obras de defensa presentes a lo largo de la zona

de estudio (espolones y muros) muy pocas están cumpliendo con los objetivos para los cuales fueron construidas.

De acuerdo al estudio realizado en las tres zonas propuestas para el análisis de variación de línea de costa se concluyó:

Punta Betín- Punta Gaira: Es evidente la intensa erosión en esta zona por la presencia de Pilares a 300 metros de la costa desde Punta Betín (Morro de Santa Marta) y 60 metros (El Morrito). La pérdida de terreno se ha incrementado en la playa del Centro, en donde la principal causa de este fenómeno es la construcción inadecuada de estructuras rompeolas, sumada a la construcción desorganizada de espolones que impiden el transporte de sedimentos y la extracción de materiales como arenas hacia el sector de la desembocadura del Río Manzanares.

Se ha manifestado una alternancia de procesos tanto de erosión como de acreción, siendo la acreción aparentemente constante en los últimos 50 años hacia el sector de Playa Lipe y Playa Los Nativos es donde se presenta la principal acreción en la zona, la cual se encuentra evidenciada por los paleocantilados que quedan como testigo de este hecho. Esto es confirmado por los habitantes del sector que indican un avance de la línea de costa y una amplitud de las playas de 60 - 90 metros en los últimos 50 años.

Punta Gaira – Punta Gloria: Las arenas arrastradas por los diferentes arroyos y quebradas del sector hasta la costa han ayudado a mantener la estabilidad en la playa correspondiente al corregimiento del Rodadero y el sector de Playa Salguero, en donde se encuentra la desembocadura del Río Gaira. Estos sedimentos mantienen un balance en cuanto a la entrada y salida de material en esta zona.

Punta Gloria – Punta Los Micos: Hacia el sector hotelero se observa una serie de playas relativamente amplias, sin embargo la variación de la línea de costa es evidenciada por la presencia de espolones que condicionan la zona y a su vez se observa entre puntas la tendencia erosiva.

Las tasas relativamente bajas de erosión que presenta el sector son favorecidas por la homogeneidad del terreno, principalmente hacia el sector hotelero hasta Villa Canarias. Las

bajas pendientes contribuyen a una mínima actuación de los procesos erosivos causados por el oleaje; también se debe tener presente que se trata de una zona donde se ha dado una considerable intervención antrópica.

Es necesario incrementar la investigación en las zonas costeras. El estudio de las condiciones climáticas, hidrodinámicas, geológicas, geomorfológicas, etc. permitirá dar más y mejores soluciones ante los problemas que se generan en este sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade A., C. A. Análisis de la velocidad del viento en el mar Caribe. Bol. Cient. CIOH N° 13. Cartagena de Indias. p. 33 - 43. 1993.
- Bernal F., G y J. Betancur. Características geomorfológicas como indicadores de procesos físicos en el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Plano deltáico del Magdalena. 2002
- Boggs S. 1985. Principles of sedimentology and stratigraphy. Segunda edición. Prentice hall. New Jersey, United States of América. 774 Pág.
- Botero, L. y J.E. Mancera. 1996. Síntesis de los cambios de origen antrópico ocurridos en los últimos 40 años en la Ciénaga de Santa Marta (Colombia). Rev. Acad. Colomb. Cienc., 20(78): 465-474.
- De Bengoechea, F. Manual de fotointerpretación geomorfológico.
- Díaz, J. M., Sánchez, J.A. y G. Díaz. 1996. Geomorfología y formaciones arrecifales recientes de isla Fuerte y Bajo Bushnell, plataforma continental del Caribe colombiano. Bol. Invest. Mar. Cost., 25: 87-105.
- Donoso, M. C. Circulación de las aguas en el mar Caribe. Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar (Memorias). Comisión Colombiana de Oceanografía. Santiago de Cali. p. 345 - 356. 1990.
- Duque-Caro H. Estudio de la evolución Geomorfológica de la Bahía de Cartagena desde la fundación de la ciudad con la ayuda de mapas antiguos y fotos aéreas. 1986
- Florez A. & Robertson, K., 2001. Morfodinámica del litoral Caribe y amenazas naturales. Cuadernos de geografía, Vol. X (1): Pp 1-35.
- Folk, R. L. 1980. Petrology of Sedimentary Rocks, Hemphill Publishing Company, Austin, TX.
- Forero, L. M. y G. Sánchez. Estudio geomorfológico del litoral Caribe. 1998
- Franco S., J. V. Efecto de los fenómenos meteorológicos en la dinámica de las playas de Cartagena (Julio 1987 - Diciembre 1989). VIII Seminario Nacional de

- Ciencias y Tecnologías del Mar (Memorias). Comisión Colombiana de Oceanografía. Santiago de Cali. p. 132 - 140. 1990.
- Garay, J.A., B. Marín, G. Ramírez, J. Betancourt, W. Troncoso, M.I: Gómez, B. Cadavid. A.M. Vélez, D. Rozo, P. Lozano, M. Casas, L. Arias y L.J. Vivas. 2002. Diagnostico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacifico colombiano. Red de vigilancia para la protección y conservación de la calidad de las aguas marinas y costeras. Diagnostico 2002. INVEMAR, 260p.
 - Guilcher A. Morfología Litoral y submarina. 1974
 - Khobzi, J. 1985. Evolución del río Magdalena entre 1923 y 1981 en relación con el contexto geomorfológico. Rev. CIAF, 10 (1): 73-85.
 - Laboratoire Central D'hydraulique De La France. 1972. Defensa de playas en Ciénaga. Inf. Proy., Minobras, Bogotá.
 - Lorin, J; C. Hernandez; A. Rouault y J. Bottagisio. 1973. Estudio sedimentológico de la plataforma continental entre Bocas de Ceniza y Santa Marta. Inf. Proy., MOPT, Puertos de Colombia, Barranquilla, 41 p.
 - Lowenstein, T.K. y L.A. Hardie. 1985. Criteria for the reconigition of salt-pan evaporites. Sedimentology, 32: 627-644.
 - Lozano J. A.; H. Duque-Caro. Situación actual de la geología marina en Colombia. 1998
 - Martínez, E. Evolución de los sectores del Laguito y Bocagrande en Cartagena. Bull. Ins. Geol. Bassin d'Aquitaine, N° 45. Bordeaux. p. 189 - 195. 1989.
 - Martínez, J.O. y L.H Molina.. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe colombiano, sector Bocas de Ceniza - Parque Tayrona. Inf. Proy, Ingeominas, Bogotá. 1992
 - Martínez M., J. O. Geomorfología y amenazas geológicas de la línea de costa del Caribe central colombiano (Sector Cartagena - Bocas de Ceniza). Publ. Geol. Esp. Ingeominas, N 19. Santafé de Bogotá. p. 1 - 62. 1993.

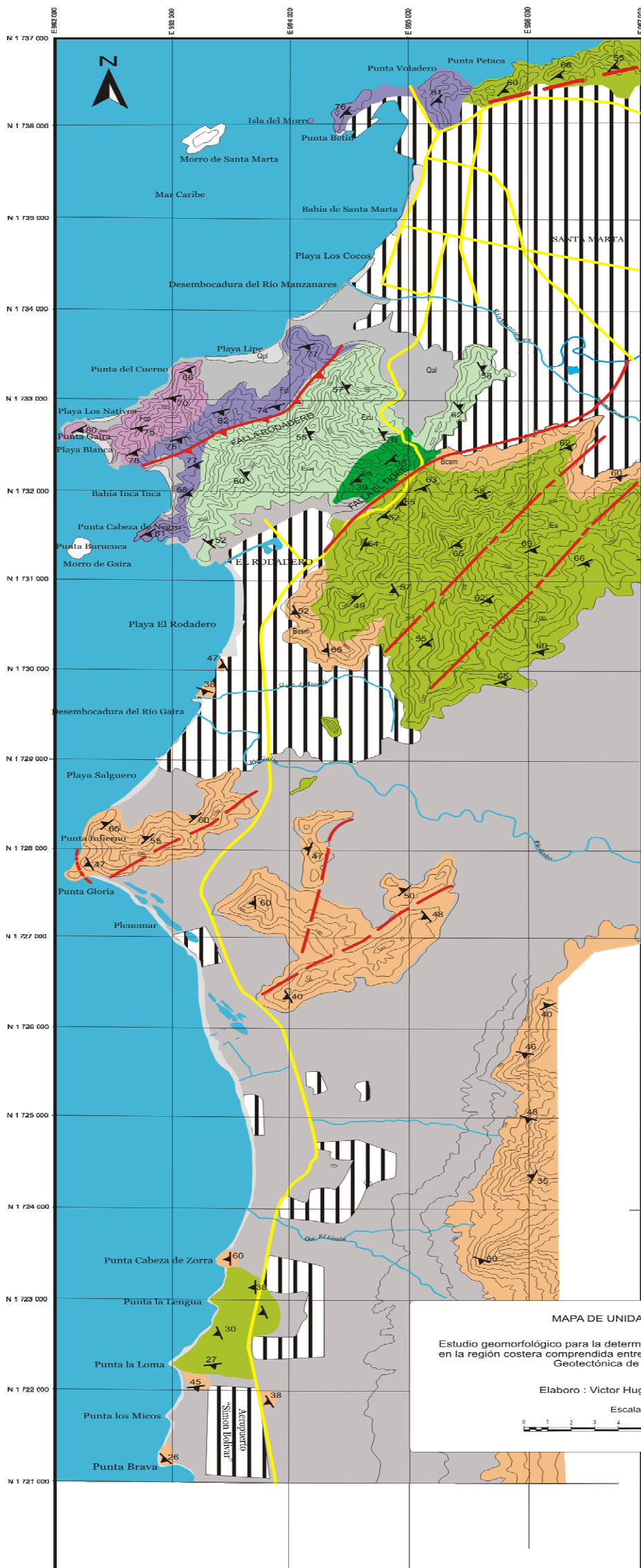
- Molina A.; J. Benavides, F. Afanador; E. Gomero, H. Ospina. Anuario Científico C.I.O.H.1975-2000. Caracterización Geomorfológica de la Franja Litoral del departamento del Atlántico Caribe Colombiano.
- Molares R., Cañón M., Gonzáles M. 2001. Caracterización oceanográfica y meteorológica del Caribe colombiano. Centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas. Cartagena de indias. 114 Pág.
- Pethick, J. 1984. An introduction to coastal geomorphology. Ed. Edward Arnold, Gran Bretaña, 260 p.
- Plan de Ordenamiento Territorial 2000-2009. El Litoral Urbano- Componente Urbano. Alcaldía Mayor de Santa Marta. D. T. C. H.-FUNDOSAM.
- Prociénaga. 1994. Estudio de impacto ambiental. Proyecto: Reapertura de canales en el delta exterior derecho del río Magdalena. Inf. Proy., INVEMAR, Santa Marta.
- Restrepo Villegas, J.C. Geomorfología y análisis de las variaciones de la línea de costa de la zona norte del golfo de Morrosquillo y el archipiélago de San Bernardo, Caribe Colombiano. T-483/Ej. 1.1999
- Robertson K., Martines J. 1999. cambios del nivel del mar durante el holoceno en el litoral Caribe colombiano. En: Cuadernos de Geografía, Vol. VII (1). Pp 168-198.
- Shepard, F.P. 1963. Submarine geology. 2 ed. Ed. Harper & Row, New York, 557 p.
- Suzunaga L., J. O.; Molina M., A.; Pelgrain D., A. y C. Parra Ll. Estudio de la oceanografía costera de la región de Cartagena y sus alrededores aplicando la percepción remota. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas - Misión Técnica Francesa. Cartagena de Indias. p. 2 - 14; 30 - 35. 1990.
- Unidades Geomorfológicas del Territorio Colombiano. Ministerio del Medio Ambiente. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, Santa fe de Bogotá D. C.
- Universidad del Norte. 1993. Complejo lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta.

Campaña de Mediciones No. 1 (septiembre de 1993) y No. 2 (diciembre de 1993).
Inf. Proy., Corpamag - Proyecto Prociénaga, Santa Marta.

- U.S. Army Corps of Engineers. 1995. COASTAL GEOLOGY, CECW-EG Engineer Manual 1110-2-1810, Washington, DC.
- Van der Hammen, T. y G.W. Noldus. 1984. Paleocología de la Ciénaga Grande de Santa Marta. En: Estudios de Ecosistemas Tropicandinos vol.2, La Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia), transecto Buritaca - La Cumbre. IGAC, Bogotá: 581-588.
- Vargas, C.A y S. Arango. 1993. Una aproximación a la distribución de litofacies recientes en la plataforma continental frente a la CGSM (Magdalena) y análisis morfoestructural entre Punta La Aguja (Magdalena) y Punta Hermosa (Atlántico). Tesis Prof., Univ. Caldas, Fac. Geol. Minas, Manizales.
- Vernet, G.; A. Mauffret; C. Bobier; L. Briceno y J. Gayet. 1992. Mud diapirism, fan sedimentation and strike - slip faulting, Caribbean Colombian margin. Tectonophysics, 202: 335 - 349.
- Von Erffa, V.A.F. 1973. Sedimentation, transport und erosión an der nordkuste Kolumbiens swischen Barranquilla un der Sierra Nevada de Santa Marta. Mitt. Inst. Colombo-Aleman Invest. Cient., 7:155-209.
- Wiedemann, H.U. 1973. Reconnaissance of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia: physical parameters and geological history. Mitt. Inst. Colombo-Aleman Invest. Cient., 7: 85-119.
- Williams C. Coastal Changes.1972
- <http://www.invemar.org.co/redcosteral/invemar/docs/EvoluciónGeologicaCaribearcivos/frame.htm>
- [http://www.ingeminas.gov.co/web/productos/Mineria/Inventario_Minero/MEMORIAS/f0085_Mapas_Act_Min_Magdalena_\(d\)/memoria/pdf/Departamento%20de%20Magdalena%20Informaci%F3n%20Secundaria.PDF](http://www.ingeminas.gov.co/web/productos/Mineria/Inventario_Minero/MEMORIAS/f0085_Mapas_Act_Min_Magdalena_(d)/memoria/pdf/Departamento%20de%20Magdalena%20Informaci%F3n%20Secundaria.PDF)

ANEXOS

MAPA GEOLOGICO



- LEYENDA GEOLOGICA**
- CUATERNARIO**
- Opl Depositos de Playa
 - Oal Depositos Aluviales
- ROCAS IGNEAS**
- Bosm Basalto Cuarzodioritico de Santa Marta
- ROCAS METAMORFICAS**
- Fcl Filitas Cloríticas
 - Fcp Filitas Cloríticas con pirita
 - Ecu Esquistos Cuarzíticos
 - Ea Esquistos Anfibolíticos
 - Em Esquistos Micáceos
- BASE CARTOGRAFICA**
- Zona Urbana
 - Rios y Zona Maritima
 - Vias Principales
 - Curva de Nivel
- FALLAS**
- Falla Definida
 - Falla Inferida
 - Falla de Cabalgamiento o Inversa
 - Lineamiento Fotogeologico



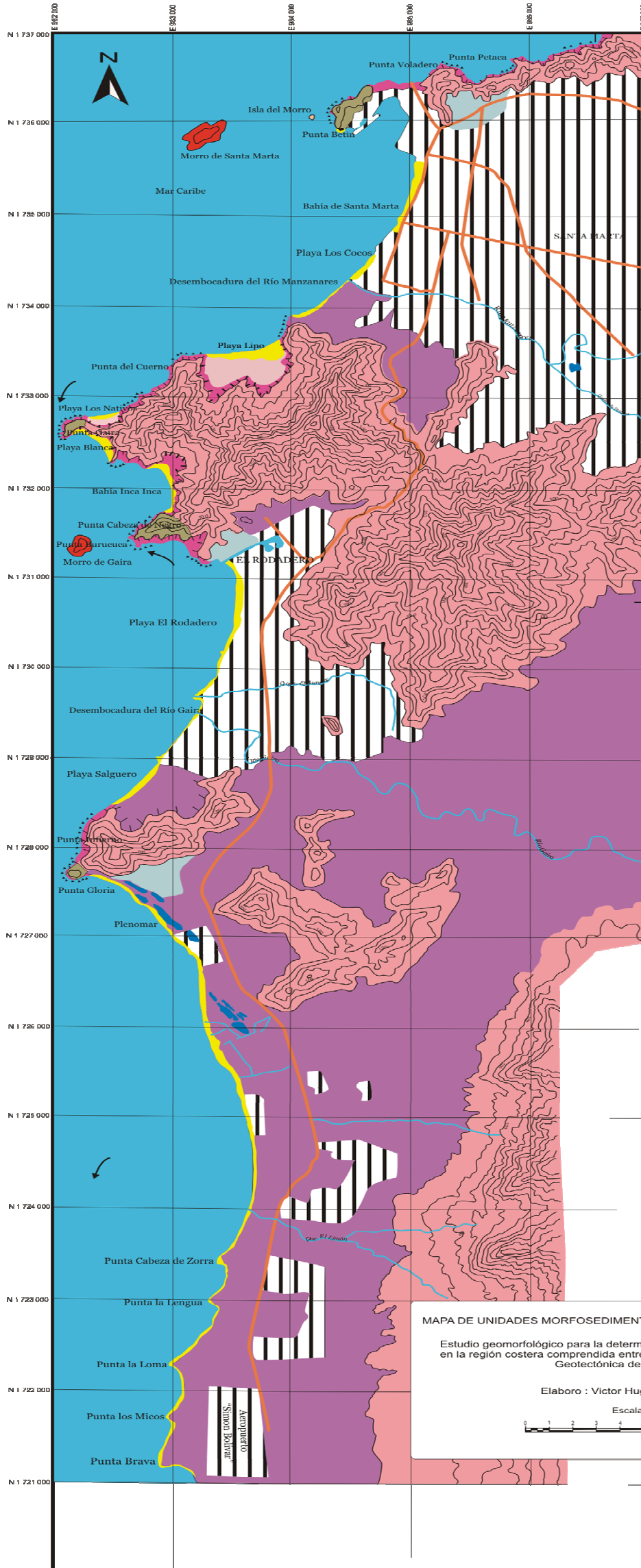
MAPA DE UNIDADES GEOLÓGICAS

Estudio geomorfológico para la determinación de la variación de la línea de costa en la región costera comprendida entre Punta Brava y Punta Betón, Provincia Geotectónica de Santa Marta

Elaboro : Victor Hugo Vargas Toncel

Escala 1:20.000

MAPA GEOMORFOLÓGICO



LEYENDA GEOMORFOLÓGICA

UNIDADES MORFOSEDIMENTARIAS

- Playas
- Llanuras costeras
- Colinas
- Salientes
- Zonas de Baja Inundación
- Lagunas Interiores
- Playones con campos de dunas
- Acantilados
- Paleocantilados

RASGOS GEOMORFOLÓGICOS

- Islas con acantilados
- Pilares
- Bloques caídos
- Dirección de deriva litoral

BASE CARTOGRÁFICA

- Zona Urbana
- Ríos y Zona Marítima
- Vías Principales
- Curva de Nivel

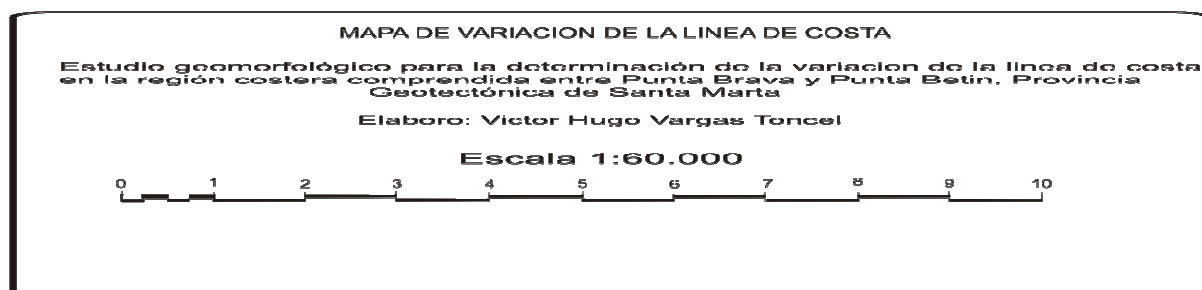
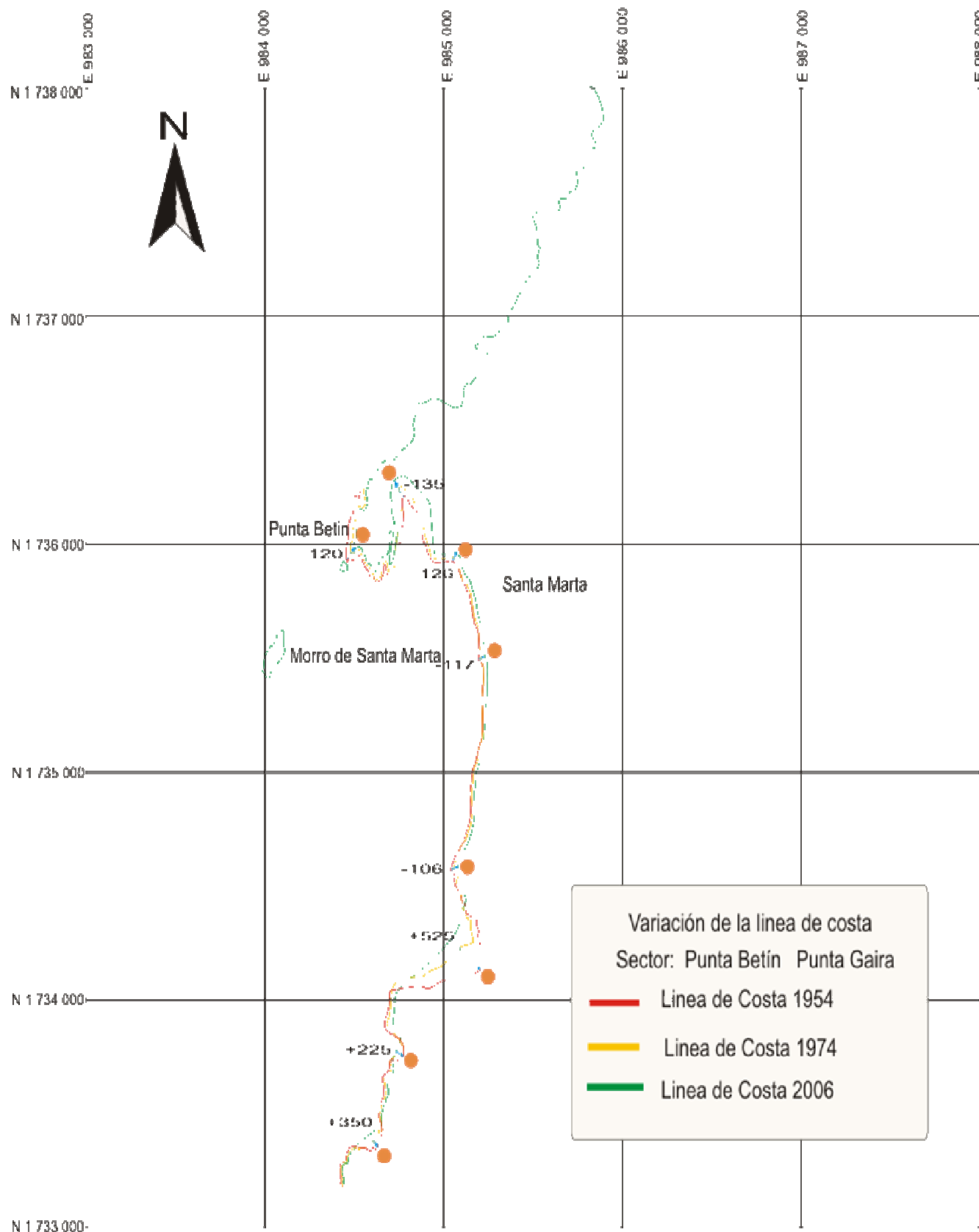


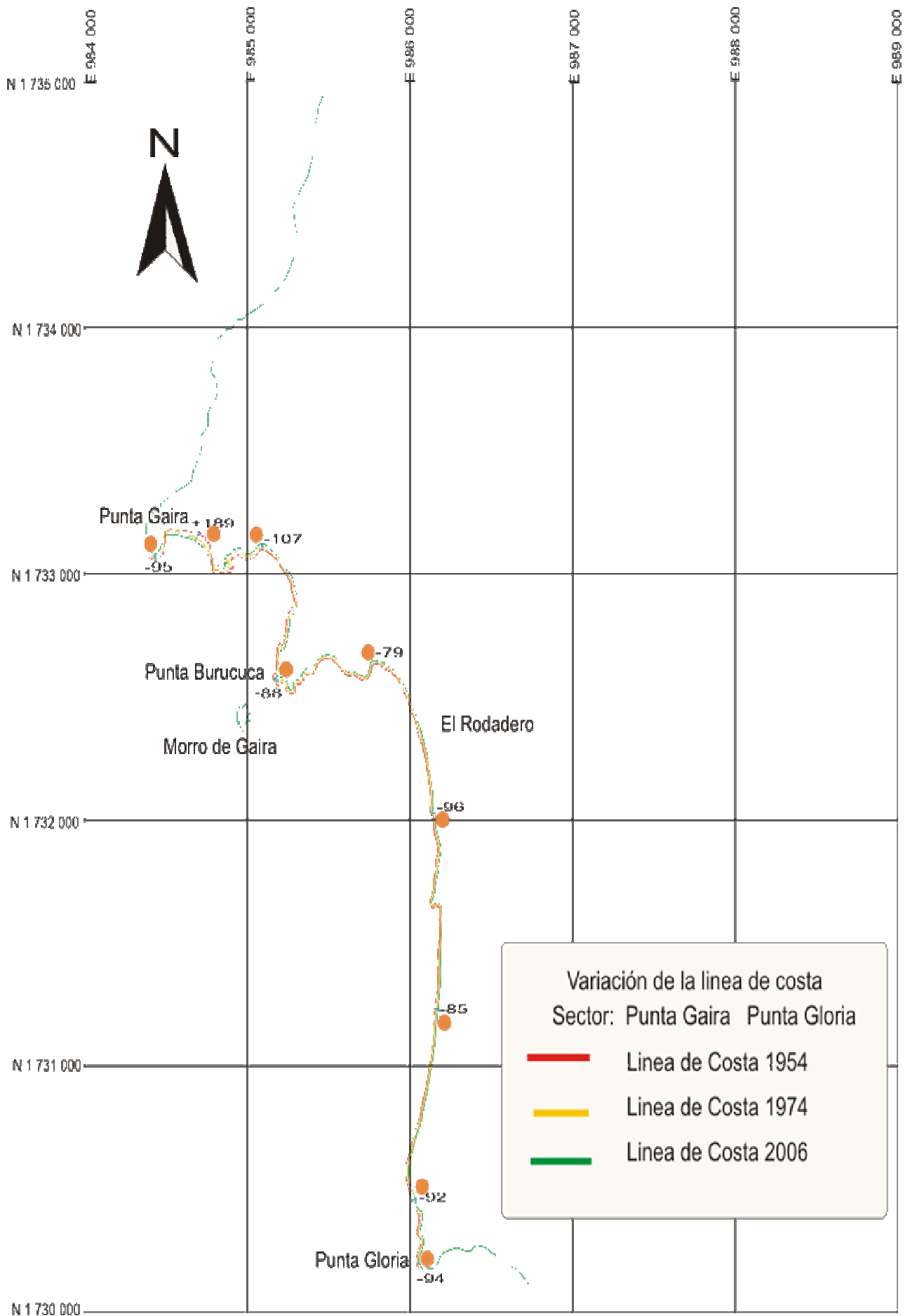
MAPA DE UNIDADES MORFOSEDIMENTARIAS Y RASGOS GEOMORFOLÓGICOS

Estudio geomorfológico para la determinación de la variación de la línea de costa en la región costera comprendida entre Punta Brava y Punta Betín, Provincia Geotectónica de Santa Marta

Elaboro : Victor Hugo Vargas Toncel

Escala 1:20.000





MAPA DE VARIACION DE LA LINEA DE COSTA

Estudio geomorfológico para la determinación de la variación de la línea de costa en la región costera comprendida entre Punta Brava y Punta Betín, Provincia Geotectónica de Santa Marta

Elaboro: Victor Hugo Vargas Toncel

Escala 1:60.000

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

