

**NUEVOS ELEMENTOS PARA EL MANEJO INTEGRADO DE LA REGIÓN DE URABÁ, COSTA
CARIBE COLOMBIANA**

**Base de Datos Espacial Geomorfológica de la Franja Litoral de los Departamentos
Antioquia y Chocó**

JOHANNA PRÜSSMANN URIBE



**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA - ÁREA DE CIENCIAS DEL MAR
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA - UNIVERSIDAD EAFIT
MEDELLÍN – COLOMBIA
MARZO 2012**

**NUEVOS ELEMENTOS PARA EL MANEJO INTEGRADO DE LA REGIÓN DE URABÁ, COSTA
CARIBE COLOMBIANA**

**Base de Datos Espacial Geomorfológica de la Franja Litoral de los Departamentos
Antioquia y Chocó**

JOHANNA PRÜSSMANN URIBE

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Asesor: Iván Darío Correa, PhD



**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA - ÁREA DE CIENCIAS DEL MAR
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA - UNIVERSIDAD EAFIT
MEDELLÍN – COLOMBIA
MARZO 2012**

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín, 22 de marzo de 2012

A todos aquellos quienes optan por vivir la vida que siempre han soñado...

AGRADECIMIENTOS

La autora desea agradecer a todas las personas que de una u otra manera hicieron posible la realización de este trabajo.

- En EAFIT, a los Drs. Iván Darío Correa, Gloria Sierra y demás directivas y profesores del Departamento de Geología. A Ángela Sánchez y Ricardo Daniel Pardo de la Dirección de Investigaciones y Línea I+D en Informática. A mis compañeros de la MSc en Ciencias de la Tierra y Pregrado de Geología.
- A COLCIENCIAS, por su gran aporte para hacer realidad este sueño.
- En EXPEDICIÓN ANTIOQUIA – Expedición Estuarina al Golfo de Urabá (EEGU), a los Dres. Juan Felipe Blanco y Mario Londoño, y a Edgar Andrés Estrada, Astrid Elena Garrido, y Ana Gómez.
- En la UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, un especial agradecimiento al Dr. Jaime Alberto Palacio y familia del Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental – GAIA, a Jairo Zapata, Coordinador del Programa de Ciencias del Mar, a la Corporación Académica Ambiental, la Dirección de Regionalización, y a mis estudiantes y amigos del Programa de Ecología de Zonas Costeras.
- En CAPITANIA DE PUERTO TURBO, al Teniente de Navío Carlos Eduardo Urbano, a Jhon Freddy Agámez y Nevardo Estrada.
- En SPICA LTDA, al Capitán Rodrigo Quintero y su tripulación.
- En CORPOURABA, a los Drs. Alberto Vivas y Luis Enrique Gutiérrez.
- A mi familia y amigos.

RESÚMEN

Con el objetivo de generar información esencial para el desarrollo sostenible de la franja litoral Caribe de los departamentos Antioquia y Chocó, se creó una base de datos espacial llamada GEOURABÁ, que recopila la información geomorfológica a escala 1:10000 de los 600 km del contorno costero de esta zona, a partir de la fotointerpretación y restitución de una ortofoto de toda la zona tomada en 2009. La geomorfología de la zona de estudio es sumamente variada, y obedece a múltiples factores como la litología y geotectónica, los cambios en el nivel relativo del mar y afectaciones antrópicas, entre otros. Para las geoformas asociadas a costas bajas dominadas por procesos de oleaje, se caracterizaron 215,32 km y 721,75 ha de playas, 5372,67 ha de zonas de cordones litorales, 28,42 km de dunas y 616,02 ha de tómbolos. Se caracterizaron 6751,85 ha de planos mareales, de los cuales el 97% se encuentra colonizado por manglar u otro tipo de vegetación como panganales o helechales. En las costas rocosas erosionales se caracterizaron 10242,86 ha de colinas, 8462,81 ha de terrazas elevadas sedimentarias, 14,51 ha de terrazas elevadas coralinas, 111,42 km de acantilados y 1980 islotes o peñascos rocosos. En la zona del Darién se presentaron terrazas o plataformas rocosas o coralinas sumergidas a varias profundidades que cubren un área de 598,76 ha. Los ecogramas de los fondos y subfondos marinos del Golfo de Urabá revelan mayores pendientes en el costado Occidental que en el costado Oriental, además de otras geoformas sumergidas, como escarpes, antiformal y diapiros. GEOURABÁ procura brindar a los entes y personas relacionados con la gestión de los recursos naturales de la zona, una contextualización de la espacialidad de los tipos de costa que se presentan en la zona de estudio y las geoformas lo que componen. Con esto se pretende contribuir a la generación de un mejor entendimiento de los diferentes factores que regulan los procesos de erosión/depositación y la vulnerabilidad de la zona frente a posibles eventos relacionados con el Cambio Climático Global.

Palabras clave: SIG, Base de Datos Espacial, Geomorfología, Franja Costera, Litoral, Golfo de Urabá

ABSTRACT

In this study, a spatial Geodatabase called GEOURABÁ was created, with the aim of generating information essential to the sustainable development of Caribbean coastline of Antioquia and Chocó department. It contains the geomorphologic information at a 1:10000 scale of the 600 km-long coastal fringe of this area. It was built from the photo-interpretation and restoration of an orthophoto taken in 2009 that covers the entire area. The geomorphology of the Urabá-Darién region is extremely varied, due to multiple factors such as lithology and geotectonic features, changes in relative sea level and anthropogenic affectations, among others. For coastal landforms associated with low-lying depositional coasts dominated by wave processes, 215.32 km and 721.75 ha of beaches, 5372.67 ha of beach ridge plains, 28.42 km of dunes and 616.02 ha of tombolos were characterized. 6751.85 ha of tidal flats were characterized, of which 97% are colonized by mangrove or other vegetation such as *panganales* or ferns. Erosional rocky shores were dominated by 10242.86 ha of hills, 8462.81 ha of sedimentary, and 14.51 ha of coralline risen terraces, 111.42 km of cliffs and 1980 islets. The Darien region featured submerged rocky or coral platforms located at various depths covering an area of 598.76 ha. The echograms of bottoms and sub-bottoms of the Urabá Gulf showed steeper slopes on the western shore than on the eastern side, and other submerged landforms such as cliffs, antiforms and diapirs. GEOURABÁ provides to those individuals and entities in charge of natural resource management within the area, with spatial information about coastal features and landforms, in order to generate a better understanding of the different factors that regulate erosion/deposition processes and the vulnerability of the area against possible events related to global climate change.

Keywords: GIS, Spatial Geodatabase, Geomorphology, Coastal Fringe, Littoral, Urabá Gulf

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	5
RESÚMEN.....	6
ABSTRACT	7
TABLA DE CONTENIDO.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABLAS.....	12
1 INTRODUCCIÓN	13
1.1 PRELIMINARES	13
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo general	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.4 ÁREA DE ESTUDIO	17
2 METODOLOGÍA.....	19
2.1 CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA	19
2.1.1 Definición de Coberturas a Cartografiar.....	20
2.1.2 Diseño de Modelo Lógico	22
2.1.3 Digitalización de Coberturas.....	22
2.1.4 Cálculo de coberturas relativas	25
2.1.5 Asignación de atributos	25
2.1.6 Diseño de reglas topológicas	25
2.1.7 Estructuración de la Geodatabase bajo un Modelo Físico.....	26
2.1.8 Diseño de salidas de productos cartográficos.....	26
2.2 CARACTERIZACIÓN DE FONDOS Y SUBFONDOS DE ALGUNOS SECTORES SUMERGIDOS DEL AREA DE ESTUDIO	27
3 GENERALIDADES SOBRE LA ZONA DE ESTUDIO	28
3.1 Contexto geotectónico	28
3.2 Clima	31
3.3 Oceanografía.....	32
4 RESULTADOS.....	35
4.1 CONSTRUCCIÓN DE BASE DE DATOS BIBLIOGRÁFICA	35
4.2 CONSTRUCCIÓN DE LA GEODATABASE.....	41
4.3 FONDOS Y SUBFONDOS	51
5 DISCUSIÓN	56
5.1 CARACTERIZACIÓN POR SECTORES.....	56
5.1.1 Sector 1 - Costa Elevada del Darién.....	56
5.1.2 Sector 2 - Llanura Deltáica del Atrato.....	58
5.1.3 Sector 3 - Planicie Fluvio-Marina Sureste del Golfo	59
5.1.4 Sector 4 - Terraza Emergida Este del Golfo	60
5.1.5 Sector 5 - Planicie Fluvio-Marina Noreste del Golfo	61

5.1.6	Sector 6 - Terraza Emergida Zona Norte	62
5.2	DESCRIPCIÓN POR GEOFORMAS	70
5.2.1	Principales geoformas asociadas a costas bajas depositacionales	70
5.2.2	Geoformas asociadas a costas rocosas erosionales	81
6	CONCLUSIONES.....	94
7	RECOMENDACIONES	97
	LISTA DE REFERENCIAS	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio (Franja amarilla). Elaboración propia a partir de Modelos de Elevación Digital (USGS, 2004; Stöckli <i>et al.</i> , 2005; IGAC, 2008; Jarvis <i>et al.</i> , 2008).	18
Figura 2. Pasos seguidos para la construcción de GEOURABÁ.....	20
Figura 3. Líneas de vuelo realizadas por Aeroestudios S.A. para la construcción de la ortofoto utilizada para la caracterización geomorfológica de la zona de estudio.....	23
Figura 4. Ejemplo para demostración de resolución de la ortofoto entregada por Aeroestudios S.A. a diferentes escalas: A. 1:1'000.000. B: 1:100.000. C: 1:10.000.....	24
Figura 5. Acople del transductor a la lancha. Foto: J. Prüssmann.....	27
Figura 6. Mapa tectónico de los Andes del Norte y el Caribe. Las elipses denotan los límites de confianza (95%) de la dirección y velocidad de los movimientos relativos entre las placas tectónicas. Fuente: Kellogg y Vega, 1995 en Nieto, 2004.	28
Figura 7. Geología del Golfo de Urabá. Fuentes: Elaboración propia a partir de información de IGAC y INGEOMINAS, 2005a. Topografía a partir de Modelo de Elevación Digital USGS, 2004.	29
Figura 8. Distribución espacial de algunos factores climáticos en la región de Urabá. a) Temperatura media. b) Precipitación. c) Zonificación Climática. d) Rendimiento promedio anual de escorrentía. Elaboración propia a partir de información de IGAC, 2008.....	32
Figura 9. Circulación de las aguas superficiales en el Golfo de Urabá en época media y húmeda. Fuente: Chevillot <i>et al.</i> , 1993	33
Figura 10. Distribución de los diferentes tipos de referencias bibliográficas indexadas para este estudio.....	35
Figura 11. Identificación y clasificación de las geoformas que conforman la franja litoral Caribe de los departamentos Antioquia y Chocó.....	42
Figura 12. Sectorización de la zona de estudio a partir de sus características morfológicas dominantes.....	45
Figura 13. Comparación de los atributos de algunas coberturas entre la Geodatabase de Expedición Estuarina, Golfo de Urabá (EEGU) y la Geodatabase generada en este estudio (GEOURABÁ).	46
Figura 14. Modelo conceptual de GEOURABÁ, la Geodatabase generada para este estudio. Se presenta a manera de diagrama de clases UML orientado a objetos. Para una mejor visualización ver archivo - Modelo Lógico - Diagrama de Clases.pdf en la carpeta contenedora de la Geodatabasedel DVD complementario.	48
Figura 15. Modelo físico de GEOURABÁ, la <i>Geodatabase</i> generada para este estudio.....	49
Figura 16. Ecograma 1 - Sector Darién	53
Figura 17. Ecograma 2 - Delta del Río Atrato A	53
Figura 18. Ecograma 3 - Delta del Río Atrato B	53
Figura 19. Ecograma 4 - Desembocadura del Río Suriquí.....	54
Figura 20. Ecograma 5 - Sector Punta de Las vacas, Turbo	54
Figura 21. Ecograma 6 - Sector Punta Arenas del Norte	54
Figura 22. Ecograma 7 - Desembocadura del Río Damaquiel.....	55
Figura 23. Esquema geomorfológico del Sector 1 – Costa Elevada del Darién	64
Figura 24. Esquema geomorfológico del Sector 2 – Llanura Deltáica del Atrato.	65
Figura 25. Esquema geomorfológico del Sector 3 – Planicie Fluvio-Marina Sureste del Golfo.....	66
Figura 26. Esquema geomorfológico del Sector 4 – Terraza Emergida Este del Golfo.....	67
Figura 27. Esquema geomorfológico del Sector 5 – Planicie Fluvio-Marina Noreste del Golfo.	68
Figura 28. Esquema geomorfológico del Sector 6 – Terraza Emergida Zona Norte	69
Figura 29. Panorámica aérea del Valle de Acandí. Foto: D. Zapata.....	74
Figura 30. Colonización de <i>Rhizophora mangle</i> en Marrirío. Foto: J. C. Delgado.....	74
Figura 31. Panorámica aérea de la Ensenada de Rionegro. Foto: Aeroestudios S.A.....	74
Figura 32. Vista aérea de La Bahía de Triganá desde el Norte. R: Remanente Erosional. T: Tómbolo. S: Serranía de Tripogadí. Foto: D. Zapata	76

Figura 33. Playa Tarena, al W de Punta Yerbasal. Nótese el escarpe en la playa trasera y los múltiples árboles muertos por salinización. Foto: J. Prüssmann.....	76
Figura 34. Playas del Municipio de Turbo, seriamente afectadas por erosión costera. Fotos: Estudiantes 7º cohorte EZC.....	78
Figura 35. a) Dunas en costado Norte de Punta Caribaná. Foto: J. Prüssmann; b) Playas (P), dunas vegetadas (D) y conjuntos de cordones de playa inmediatamente al Sur de la desembocadura del río Mulatos. Fuente: Correa y Vernet, 2004.	79
Figura 36. Estructuras de protección costera que están siendo construidas en Arboletes. Foto: JPrüssmann – 8 de noviembre de 2010.	81
Figura 37. Deslizamiento al Norte de Acandí. Foto: I. D. Correa	82
Figura 38. Geología del Cerro del Águila. a) Vista de Punta Caribaná y el Cerro del Águila hacia el Sur. Intercalación de arcillolitas y lodolitas de las Unidades Pavo Inferior y Superior. En la parte inferior del cerro (b), las rocas presentan una orientación N10°E buzando 76°S, mientras que en la parte superior (c) se presentan con orientación N30°E buzando 15°E. Fotos: I. D. Correa, J. Prüssmann.	83
Figura 39. Acantilados activos en Cabo Tiburón, labrados en rocas basálticas y sedimentarias, perturbadas tectónicamente. Nótese las inclinaciones diferentes de los estratos en el acantilado, sugiriendo la presencia de una falla geológica. Foto: J. R. Vega.	85
Figura 40. Vista aérea de Punta Pinololo hacia el Oeste. Las flechas amarillas denotan un intenso diaclasamiento y fracturamiento de las rocas que conforman los acantilados, asociados probablemente a una zona de falla. Foto: D. Zapata.....	85
Figura 41. Evidencias de erosión a largo plazo en la costa del Darién. a) Islotes en Punta Pinololo. b) Cavernas en Punta Tolo. c) Arco en el costado Este del Peñón de Triganá. Fotos: I. D. Correa, J. Prüssmann.	86
Figura 42. a) Remanentes erosionales al Norte de Arboletes. Foto: J. Prüssmann. b) Movimientos de masa también al Norte de Arboletes. Foto: I. D. Correa	86
Figura 43. a) Plataforma emergida en la Bahía El Aguacate. Foto: I. D. Correa. b) Acanaladuras de socavación en la base de la plataforma emergida cerca de la Piscina de los Dioses en Capurganá. Foto: J. Prüssmann	87
Figura 44. Perfil de la terraza Holocénica desde el río San Juan en Antioquia, hasta Punta Brava en Córdoba. Fuente: Page, 1986 en UNAL y CORPOURABA, 1998.	89
Figura 45. Diferencias en la altura de la terraza marina. a) Al Norte de la desembocadura del río Hobo, la terraza se encuentra a 6 m de altura. b) La pendiente se suaviza gradualmente hasta alcanzar 0,5 m en Punta Rey. Fotos: J. Prüssmann.	89
Figura 46. Superficie de la plataforma coralina sumergida al frente de la Bahía de Capurganá suprayacida por arrecifes coralinos y biota acompañante. Fotos: P. Morelo.	92
Figura 47. Cráter del volcán de lodo de Arboletes. Foto: J. Prüssmann	93
Figura 48. Panorámica del Volcán de lodo de Arboletes. La línea amarilla denota los límites de la estructura dómica. C: Crater – FL: Flujos de lodo – T: Terraza elevada con acantilado. Foto: Aeroestudios S. A....	93
Figura 49. Vista aérea del diapiro de Damaquiel, conocido localmente como “La Isla Misteriosa”, ya que emerge luego de eventos sísmicos. Foto: R. Morton.	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales atributos asignados a cada cobertura de la Geodatabase	25
Tabla 2. Estudios realizados en la zona del Urabá Antioqueño y Chocoano, según sus temáticas y cobertura por sectores.	37
Tabla 3. Geoformas identificadas en la franja litoral Caribe de los departamentos Antioquia y Chocó (Orden alfabético).	43
Tabla 4. Extensión de las geoformas que conforman la franja costera de la franja litoral Caribe de los departamentos Antioquia y Chocó.	50

1 INTRODUCCIÓN

1.1 PRELIMINARES

Dados los importantes recursos naturales y las grandes posibilidades de desarrollo socioeconómico, el litoral Urabá-Darién es una región estratégica para Colombia. En consecuencia, para una adecuada formulación de políticas de desarrollo sostenible en la región deben considerarse sus características ambientales de manera holística (Bernal *et al.*, 2005a; Garizábal, 2007; INVEMAR *et al.*, 2008).

A pesar de estar constituido por ecosistemas altamente productivos (llanuras de inundación, pantanos de manglar, arrecifes coralinos y playas, entre otros), el litoral del Urabá-Darién es actualmente uno de los más pobremente estudiados y conocidos del País. Lo anterior imposibilita la definición y caracterización a fondo de sus principales factores físicos y biológicos, necesarios para un adecuado manejo de los recursos marino-costeros.

El conocimiento detallado de la geomorfología del litoral Urabá-Darién es un tema de investigación prioritario en el que se deben incluir, además de las definiciones geomorfológicas básicas y la cartografía correspondiente, la sistematización y el procesamiento de la información por medio de herramientas modernas, incluyendo las relacionadas con los sistemas de información geográfica (SIG). La integración de la información física y biológica de los ambientes litorales en bases de datos espaciales (Geodatabases) aumenta en gran medida las posibilidades de entender los procesos morfodinámicos, y es también esencial para tomar decisiones que conduzcan al manejo sostenible de la región. Lo anterior incluye también la prevención y mitigación de amenazas asociadas al cambio climático global, como por ejemplo los posibles efectos de un futuro aumento del nivel del mar (GSC *et al.*, 1990; Martínez y Robertson, 1997; Melloul y Collin, 2006; IPCC, 2007; PNUMA, 2007).

En este documento se consignan los antecedentes, la metodología y los principales resultados de la implementación de una base de datos espacial geomorfológica del contorno litoral Urabá-Darién, materializada en una *ESRI File Geodatabase*, 43 mapas cartográficos y 43 ortofotomapas escala 1:10.000. El desarrollo de esta investigación se hizo posible en el marco de los Proyectos: COLCIENCIAS-Universidades EAFIT, de ANTIOQUIA y NACIONAL: "Erosión Costera en Antioquia: Dinámica sedimentaria del Golfo de Urabá durante los últimos 10.000 años" y el Proyecto EXPEDICIÓN ESTUARINA, GOLFO DE URABÁ (EEGU) de EXPEDICIÓN ANTIOQUIA 2013, una iniciativa de la Gobernación de Antioquia y las universidades de Antioquia, Nacional y EAFIT.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Contribuir al conocimiento de la geomorfología de la franja litoral Urabá-Darién por medio de la recopilación, sistematización y generación de información sobre las características físicas y geográficas de sus contornos litorales emergidos y de algunos sectores específicos sumergidos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar una base de datos geográfica digital que sintetice la información de la geomorfología emergida y sumergida de la zona de estudio a escala 1:10.000.
- Describir la geometría de los fondos y subfondos de algunos sectores de la zona de estudio.
- Sintetizar de manera holística la información disponible acerca de la geomorfología de la zona de estudio.

1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuáles son las geoformas que componen el paisaje de la franja litoral Caribe de los departamentos Antioquia y Chocó?
- ¿Cómo pueden clasificarse estas geoformas en función de los procesos morfogenéticos predominantes?
- ¿Cuáles son las geoformas más comunes y cuál es su cobertura relativa dentro del área de estudio?

1.4 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica sobre la parte Sur de la franja litoral Caribe de Colombia (Figura 1), entre Punta Rey (Límite departamental entre Antioquia y Córdoba - 8° 53' 18,5" N Lat - 76° 25' 00,5" W Long) y Cabo Tiburón (Límite internacional entre Colombia y Panamá, Departamento del Chocó - 8° 40' 36,0" N Lat - 77° 22' 16,5" W Long). La longitud actual del contorno costero entre estas dos localidades es de aproximadamente 600 km, de los cuales 498 km corresponden a Antioquia (83%) y 102 km a Chocó (17%). Medida perpendicularmente desde la línea de costa hacia tierra, la amplitud de la franja de terrenos estudiada fue determinada por la cobertura del material de sensores remotos más actualizado disponible, que consiste en un juego de aerofotografías tomadas en el año 2009. En promedio, la amplitud de los terrenos emergidos cartografiados es de 3-4 km, con mínimos de 2 km en los sectores montañosos de la costa chocoana y máximos de 14 km en el sector del delta del río Atrato, Departamento de Antioquia. En total la cobertura de material cartográfico es de a 760,56 km².

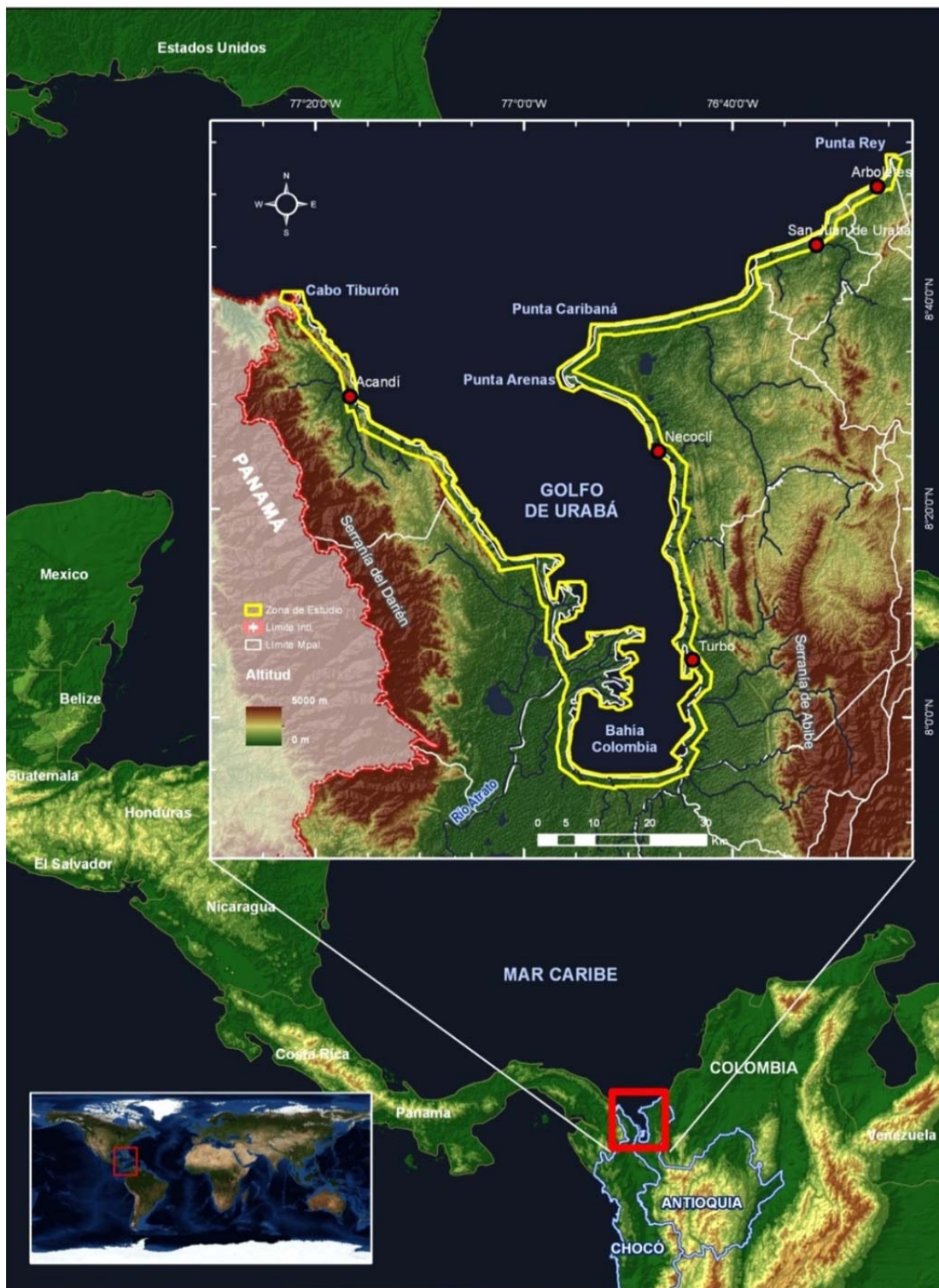


Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio (Franja amarilla). Elaboración propia a partir de Modelos de Elevación Digital (USGS, 2004; Stöckli *et al.*, 2005; IGAC, 2008; Jarvis *et al.*, 2008).

2 METODOLOGÍA

2.1 CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA

La base de datos geográfica a escala 1:10.000 de este estudio se denomina “GEOURABÁ” y fue elaborada por medio del software ArcGIS® versiones 9.3 y 10. La construcción de GEOURABÁ se realizó a partir de la Geodatabase generada por el Área de Ciencias del Mar de EAFIT para el proyecto EXPEDICIÓN ESTUARINA, GOLFO DE URABÁ (EEGU), modificada por una serie de mejoras que la complementan sin variar significativamente su estructura y la posibilidad de actualización de información (ver Correa *et al.*, 2010).

Se trabajó con el modelo *ESRI File Geodatabase* debido a su gran capacidad de almacenamiento de datos (>2 GB) y facilidades para actualización y distribución. De esta manera, GEOURABÁ puede ser convertida en una *Server Geodatabase* que permite la visualización y edición virtual de los datos por varios usuarios (Zeiler, 1999; Longley *et al.*, 2005 en Gustavsson *et al.*, 2006).

Como sistema de coordenadas para la digitalización de la información se utilizó la Proyección Geográfica MAGNA_Colombia_Oeste:

```
Projection: Transverse_Mercator
False_Easting: 1000000,000000
False_Northing: 1000000,000000
Central_Meridian: -77,077508
Scale_Factor: 1,000000
Latitude_Of_Origin: 4,596200
Linear Unit: Meter (1,000000)
Geographic Coordinate System: GCS_MAGNA
Angular Unit: Degree (0,017453292519943299)
Prime Meridian: Greenwich (0,000000000000000000)
Datum: D_MAGNA
```

GEOURABÁ se encuentra aún en fase de corroboración y corrección de posibles errores de edición para acogerse plenamente a las normas de calidad del IGAC para cartografía básica (Normas ICONTEC NTC-4611 y NTC-5043) y los respectivos catálogos

de objetos. De igual manera ha sido estructurada topológicamente de acuerdo a las reglas topológicas básicas de ESRI.

En esencia, el diseño y la estructuración de GEOURABÁ se realizaron a través de los siguientes pasos (Figura 2):



Figura 2. Pasos seguidos para la construcción de GEOURABÁ

2.1.1 Definición de Coberturas a Cartografiar

Considerando las particularidades geomorfológicas del trópico y la conveniencia de dar continuidad a trabajos nacionales similares (particularmente el SIG EAFIT-CVS para la franja litoral del Departamento de Córdoba, ver Hoyos *et al.*, 2006; Acosta, 2007), en este estudio se definieron y cartografiaron 18 geformas diferentes, las cuales se pueden subdividir entre aquellas que predominan en costas rocosas erosionales y las geformas más frecuentes en costas bajas depositacionales.

Adicionalmente, se cartografiaron la hidrografía (quebradas, ríos, cauces abandonados, depósitos de canal, canales artificiales, ciénagas, charcas de playa y cuerpos de agua artificiales), y otras coberturas como áreas catastrales, vías principales, e infraestructuras como muelles, faros y obras de defensa costera (espolones, muros de contención y bolsacretas). También se generaron la topografía y la batimetría de la zona de estudio a partir del análisis espacial de modelos de elevación digital SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con resolución espacial de 3 segundos de arco (1 pixel = 90 m), puestos a la disponibilidad del público por la NASA y el USGS (www.landcover.org) (USGS, 2004; IDEAM et al., 2007).

2.1.1.1 Ortofoto 2009

La fuente de información primaria para este trabajo fue un conjunto de aerofotografías a color georreferenciadas, tomadas entre agosto y octubre de 2009 por la firma Aeroestudios S.A. para el proyecto EXPEDICION ANTIOQUIA 2013 (Figura 3 y Figura 4). Estas fueron rectificadas para la elaboración de una ortofoto con escala 1:10.000, sobre la cual se identificaron y definieron los límites y coberturas de las geoformas y demás elementos cartográficos. El posicionamiento de los puntos de control en campo para la georreferenciación de las aerofotografías se realizó con sesiones de grabación de datos APRA de 60 minutos de duración promedio usando tres equipos TOPCON de doble frecuencia tipo HIPER GD, GNSS RECEIVER. Los datos fueron postprocesados con el software TOPCON TOOLS para generar finalmente las coordenadas definitivas de cada punto con precisiones horizontales y verticales estimadas en 2mm. Se entregó una Ortofoto con una resolución espacial de 30 cm (1 pixel = 30 cms) y un error medio cuadrático por debajo de lo requerido en la norma 64 del IGAC para trabajos de fotogrametría, permitiendo así una alta precisión para procesos posteriores (Aeroestudios S.A., 2009).

2.1.1.2 Base de Datos Bibliográfica

Debido a la gran cantidad de factores que dan forma a la franja costera en cuestión, se hizo una revisión bibliográfica para este estudio que aborda muchas temáticas. Para facilitar el manejo de toda la información recolectada, se construyó una base de datos con el material bibliográfico recolectado, tanto digital como análogo, por medio de la utilización del software EndNote X3. Esta permitió asignar atributos geográficos y

temáticos a cada una de las referencias consultadas, que facilitan su consulta. El usuario podrá encontrar una copia de esta base de datos en el DVD complementario.

Específicamente para la definición de las geoformas a cartografiar, se consultaron diversos trabajos sobre definiciones básicas y cartografía de geoformas litorales en latitudes medias/altas y en Colombia (Shepard, 1937; Verstappen y van Zuidam, 1968; Pethick, 1984; Kelletat, 1995; INGEOMINAS, 1998; Bratley *et al.*, 2001; Masselink y Hughes, 2003; Finkl, 2004; Gustavsson *et al.*, 2006; Hoyos *et al.*, 2006; Ihl *et al.*, 2006; Acosta, 2007; Bird, 2008; Posada y Henao, 2008).

2.1.2 Diseño de Modelo Lógico

Se implementó un esquema de diagrama de clases que describe la estructura lógica del modelo, donde se agruparon las coberturas a digitalizar (*Feature Classes*) en cinco categorías diferentes (*Feature Datasets*), según su naturaleza: a) Cartografía Base; b) Geomorfología; c) Hidrografía; d) Obras Civiles; e) Relieve.

2.1.3 Digitalización de Coberturas

Por medio de herramientas de edición, se procedió a vectorizar las coberturas seleccionadas en el paso anterior con la ayuda de técnicas de fotointerpretación (López, 1978; Rodríguez y Gracia, 2008).

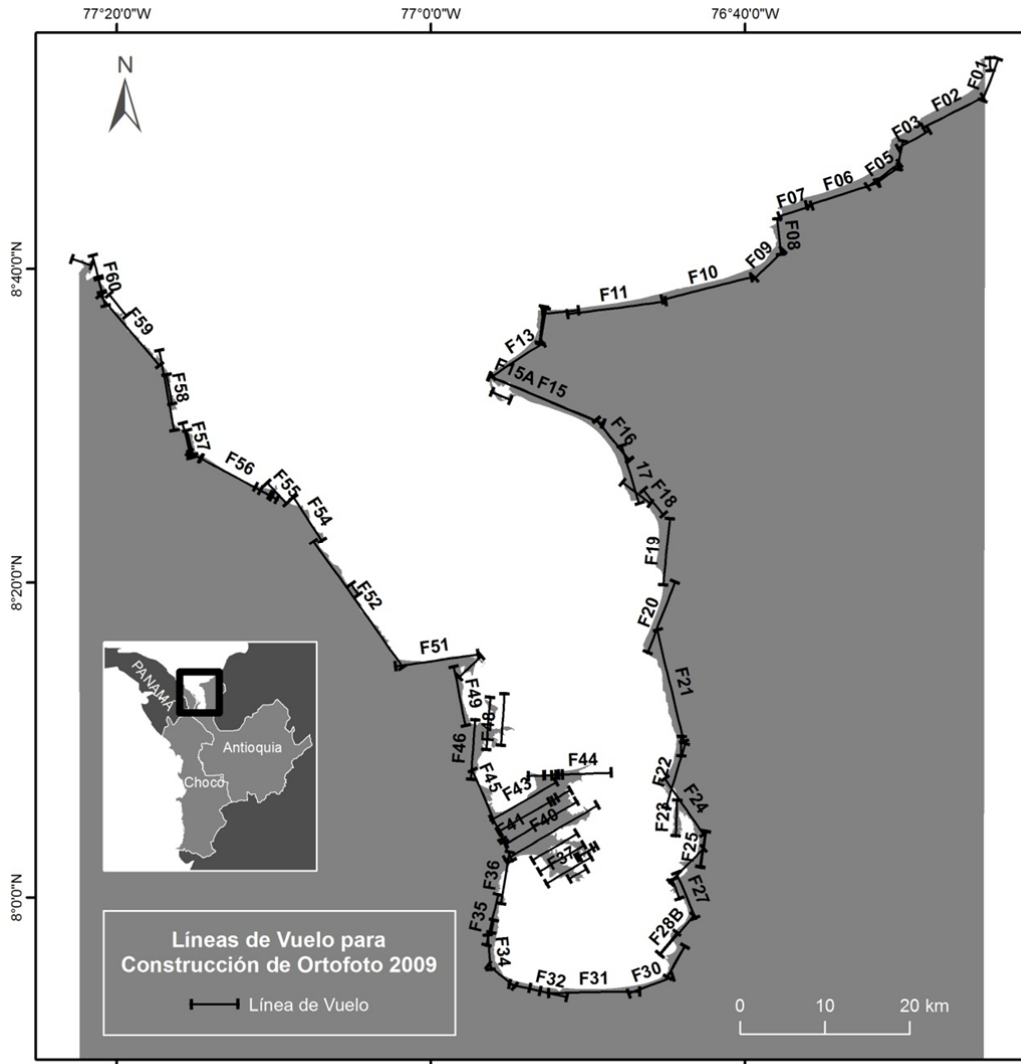


Figura 3. Líneas de vuelo realizadas por Aeroestudios S.A. para la construcción de la ortofoto utilizada para la caracterización geomorfológica de la zona de estudio

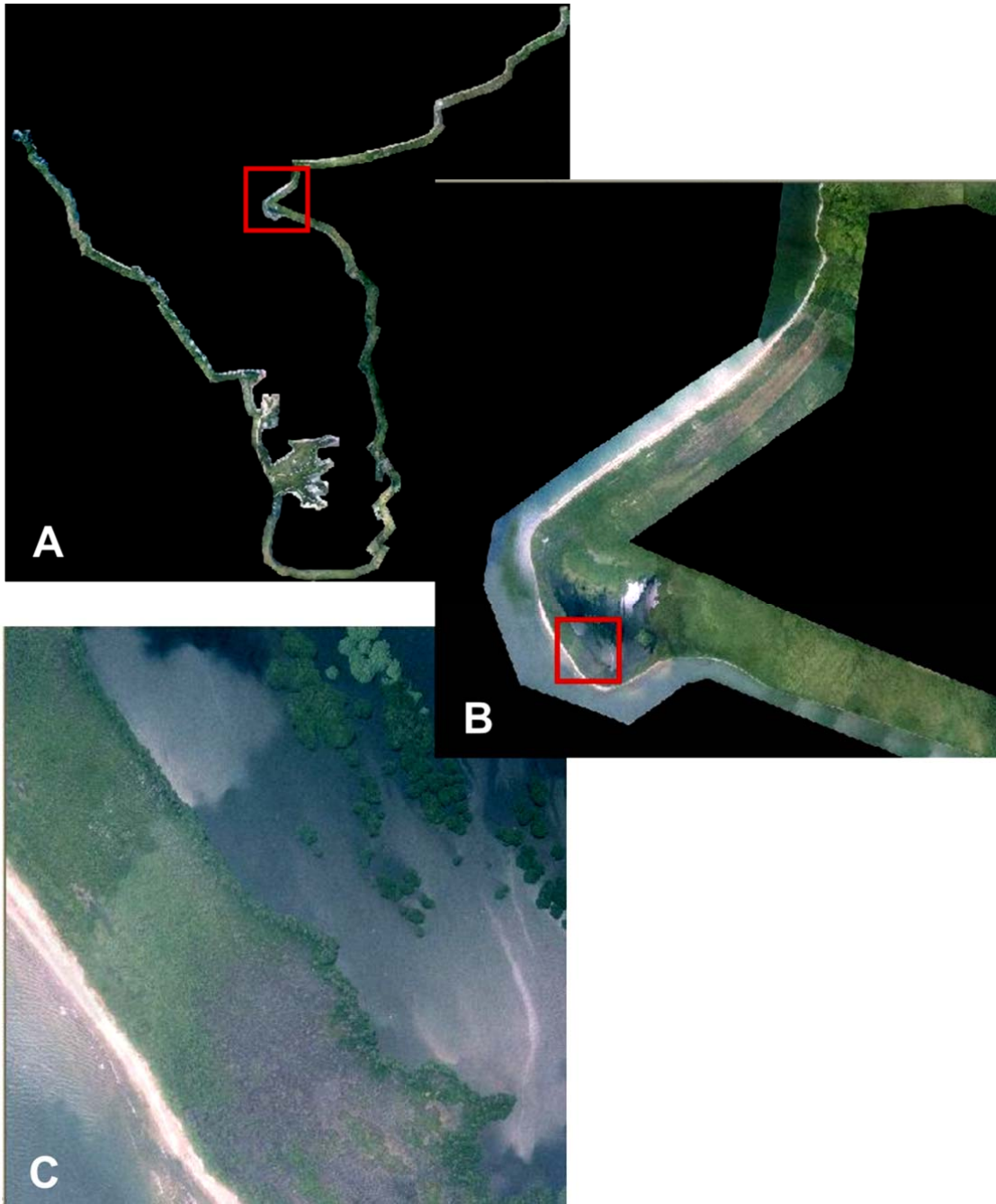


Figura 4. Ejemplo para demostración de resolución de la ortofoto entregada por Aeroestudios S.A. a diferentes escalas: A. 1:1'000.000. B: 1:100.000. C: 1:10.000

2.1.4 Cálculo de coberturas relativas

A partir de los datos vectorizados, se calculó la cobertura dentro de la zona de estudio de cada geoforma (longitud o área, dependiendo de la geometría del objeto - línea o polígono, respectivamente), y las direcciones predominantes de algunas de estas (p.e. playas, cordones litorales, terrazas, etc). Estos valores fueron adicionados a la tabla de atributos de cada cobertura.

2.1.5 Asignación de atributos

A cada cobertura se le asignaron atributos que describen las propiedades específicas de cada geoforma en términos de identificación, geometría y cobertura relativa. En la Tabla 1 se describen algunos tipos de atributos utilizados para cada Feature Class.

Tabla 1. Principales atributos asignados a cada cobertura de la Geodatabase

TIPO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
Identificación	OBJECT_ID	Identificador único de objeto
	COD_IGAC	Código IGAC para objetos cartográficos (IGAC, 2005)
	FEAT_DATASET	Agrupamiento de orden mayor dentro de la Geodatabase
	FEAT_CLASS	Agrupamiento de orden menor dentro de la Geodatabase
Geometría	SHAPE	Tipo de geometría de la cobertura (punto, línea o polígono)
	SECTOR	Sector donde se presenta la cobertura.
Cobertura Relativa	POSICION	Posición de la geoforma con respecto al nivel del mar (submareal, intramareal, supramareal)
	TIPO_COSTA	Diferencia entre aquellas geoformas asociadas a costas bajas depositacionales o costas rocosas erosionales
	LONG_KM	Cobertura espacial de las geoformas lineales
	AREA_HA	Cobertura espacial de las geoformas poligonales

2.1.6 Diseño de reglas topológicas

Se generaron las siguientes reglas topológicas para todas las coberturas de la geodatabase: a) No traslaparse o sobreponerse una con otra, b) no tener áreas vacías (*Gaps*); y c) No tener nodos libres (*Dangles* y *Pseudos*), las cuales se encuentran en fase de validación, debido a la considerable cantidad de instancias a verificar.

2.1.7 Estructuración de la Geodatabase bajo un Modelo Físico

Los datos geográficos fueron organizados bajo un modelo físico dentro de una *ESRI File Geodatabase*, cuya estructura refleja la naturaleza intrínseca de cada una de las coberturas por medio de sus atributos y relaciones.

2.1.8 Diseño de salidas de productos cartográficos

A partir de la Geodatabase estructurada, se generaron 43 esquemas geomorfológicos y 43 ortofotomapas que dan una cobertura completa del área de estudio a escala 1:10.000. Los ortofotomapas muestran la totalidad de la ortofoto por partes junto con información geográfica (Lat/Long). Esta cartografía fue exportada a formato PDF para un fácil manejo por parte de aquel usuario final que no necesariamente posea conocimientos en sistemas de información geográfica y tecnologías geoespaciales. Estos esquemas están disponibles en el DVD complementario a este texto. Adicionalmente, se crearon 6 esquemas geomorfológicos a escalas variables, que reflejan la segmentación del área de estudio en función de su naturaleza geomorfológica (Costas bajas depositacionales vs rocosas erosionales).

2.2 CARACTERIZACIÓN DE FONDOS Y SUBFONDOS DE ALGUNOS SECTORES SUMERGIDOS DEL AREA DE ESTUDIO

La caracterización preliminar de algunos sectores de los fondos y subfondos de la región Urabá-Darién se hizo con base en la interpretación de perfiles batimétricos y del subfondo marino (ecogramas) de alta resolución generados por el proyecto COLCIENCIAS – Universidades EAFIT, de ANTIOQUIA y “EROSION COSTERA EN ANTIOQUIA. Los ecogramas se obtuvieron con una ecosonda Knudsen modelo 320 B/P y un transductor de 200-12 kHz, acoplado a la borda de una lancha con dos motores fuera de borda (Figura 5). El geoposicionamiento de los ecogramas se realizó integrando la información batimétrica con los datos de posición de un GPS Navcom SF-320 con corrección diferencial Starfire en tiempo real. La resolución espacial teórica de estas posiciones se estimó en ± 10 cm.



Figura 5. Acople del transductor a la lancha.
Foto: J. Prüssmann.

3 GENERALIDADES SOBRE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1 Contexto geotectónico

Debido a su ubicación en la zona de convergencia entre las placas de Nazca, Caribe y Suramericana (Unión Triple del Darién - Page, 1986), la región Urabá-Darién es de alta complejidad tectónica (Figura 6). La evolución geológica y geomorfológica de esta zona se relaciona con múltiples procesos orogénicos (intrusión y extrusión de rocas ígneas, esfuerzos tectónicos, movimientos sísmicos), sedimentarios (sedimentación marina, lacustre y aluvial, transgresiones y regresiones), y también intensos fenómenos de erosión condicionados por la misma historia geológica (ECOFORST Ltda., 1990; Cediel *et al.*, 2003).

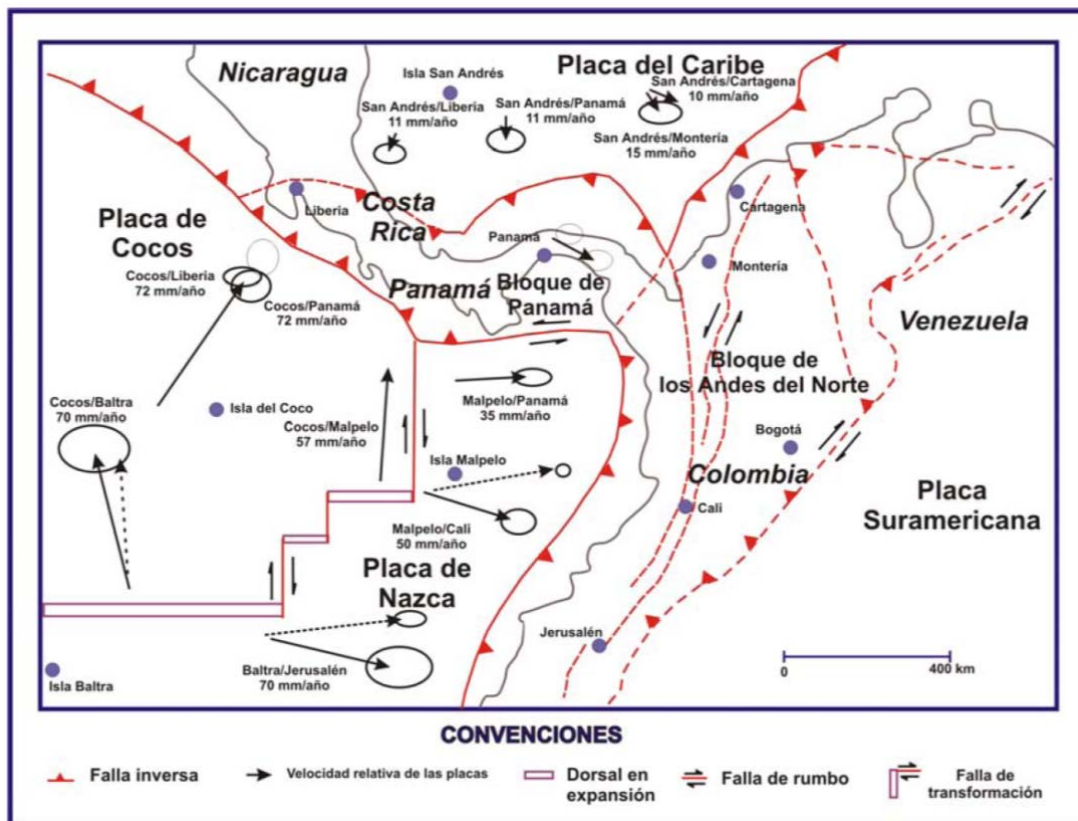


Figura 6. Mapa tectónico de los Andes del Norte y el Caribe. Las elipses denotan los límites de confianza (95%) de la dirección y velocidad de los movimientos relativos entre las placas tectónicas. Fuente: Kellogg y Vega, 1995 en Nieto, 2004.

A nivel geológico, se presentan fuertes contrastes entre los costados Este y Oeste del actual Golfo de Urabá (Figura 7).

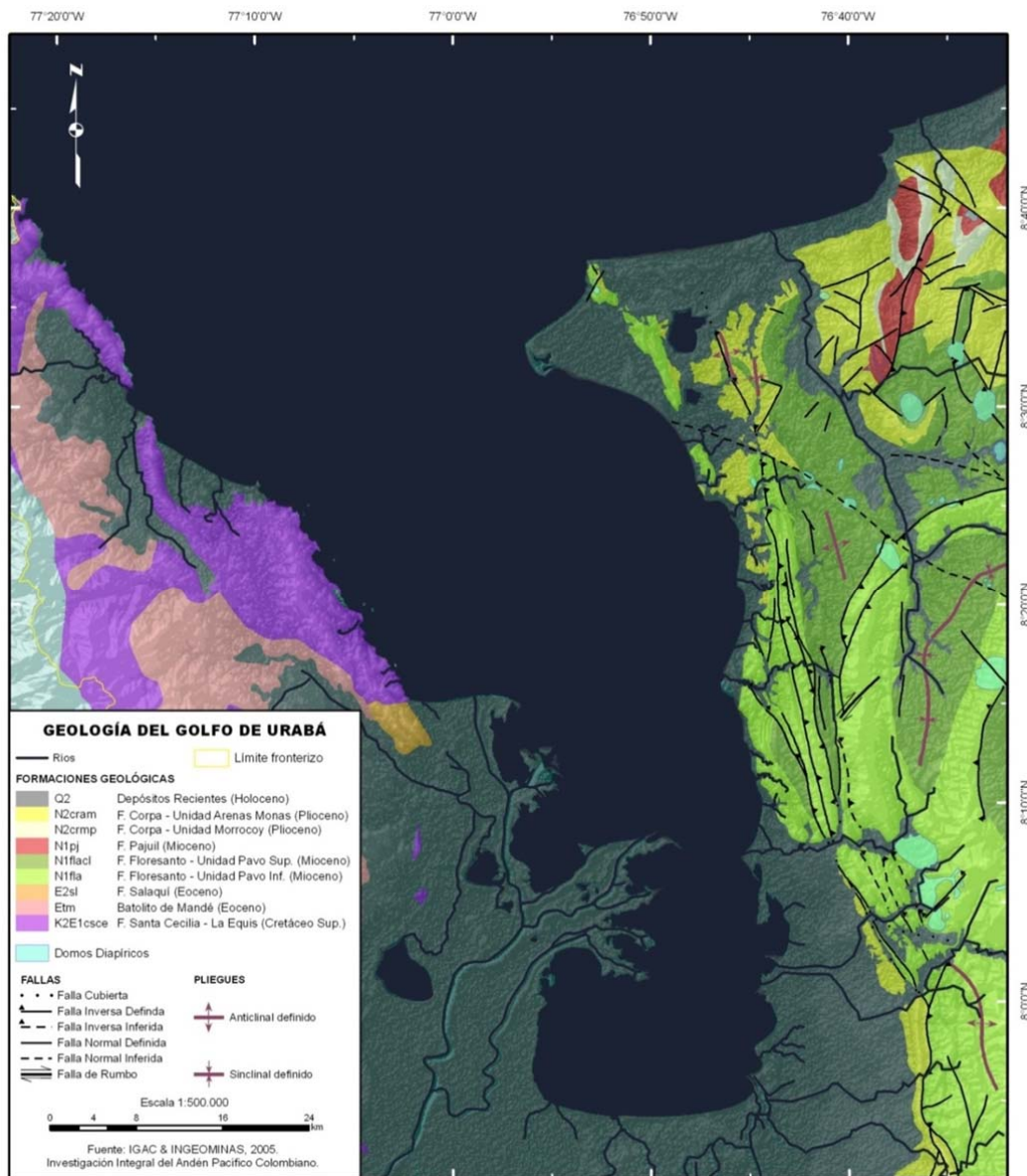


Figura 7. Geología del Golfo de Urabá. Fuentes: Elaboración propia a partir de información de IGAC y INGEOMINAS, 2005a. Topografía a partir de Modelo de Elevación Digital USGS, 2004.

Al Oeste, los relieves del Darién son la continuación de la vertiente Occidental de la cordillera Occidental y están conformados principalmente por intercalaciones de rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias formadas durante el Cretáceo y el Terciario (Formaciones Santa Cecilia-La Equis, Salaquí y Batolito de Mandé). En el litoral del Chocó, los relieves costeros alcanzan 350 m de altitud y evidencian el levantamiento

paulatino del Istmo de Panamá, una cordillera relativamente nueva cuya formación dio origen al Istmo Centroamericano y separó los océanos Atlántico y Pacífico a finales del Eoceno, generando importantes cambios en la circulación general de las corrientes oceánicas del planeta (Duque-Caro, 1990b, a; Porta de, 2003; IGAC y INGEOMINAS, 2005a; Montes *et al.*, 2012). En relación con la topografía, se diferencian dos sistemas, uno paralelo a la costa de relieve escarpado con alturas máximas de 300 m y pendientes entre los 30 y los 60% (Serranía de Tripogadí). El otro, en la región Oeste ubicado sobre el flanco Oriental de la Serranía del Darién, presenta alturas promedio de 1,100 m y pendientes hasta del 100%.

Hacia el Suroriente, se encuentran las extensas llanuras deltáicas del río Atrato, que cubren aproximadamente 65.000 ha, de las cuales 16.000 se encuentran dentro de la zona de estudio. Este Río desemboca en el Golfo de Urabá después de recorrer 735 km y de recibir más de 150 afluentes a través de un amplio valle delimitado por la Cordillera Occidental y la Serranía del Baudó. Esta zona, la cual se encuentra dentro del Chocó Biogeográfico, es considerada como una de las regiones más lluviosas del mundo, con una pluviosidad de alrededor de 8.000 mm anuales. La cuenca hidrográfica del río Atrato, con una extensión de 35.700 km², arroja al mar alrededor de 4.900 m³/seg de agua y 11 millones de toneladas de sedimentos al año. En relación con el área relativa de su cuenca, el Atrato es uno de los ríos más caudalosos del mundo (Restrepo y Kjerfve, 2000; Díaz, 2007).

Los costados Oriental y Norte se enmarcan dentro del denominado Geosinclinal Bolívar, una profunda cuenca de sedimentación de más de cinco km de espesor, que se extiende longitudinalmente por toda la Costa Pacífica colombiana hasta el Norte de Ecuador (Nygren, 1950; Duque-Caro, 1980). Más específicamente, este sector se localiza dentro del Cinturón plegado del Sinú, el cual presenta sinclinales y anticlinales largos y estrechos, con relieves que alcanzan alturas de 200 m. Estos pliegues están constituidos por las formaciones Floresanto, Pajuil y Corpa, constituidas por rocas sedimentarias del Eoceno superior al Plioceno formadas por sedimentos marinos y transicionales, seguidos de conglomerados, areniscas, arcillolitas y calizas de ambientes marinos profundos y litorales, "soldadas o acuñaadas" gradualmente al

continente por los esfuerzos tectónicos entre las placas Caribe y Suramericana (Duque-Caro, 1984, 1990b, a; IGAC y INGEOMINAS, 2005a; Ménanteau, 2007).

La superficie de estas formaciones geológicas ha sido deformada por la acción del *Diapirismo de Lodos*, rasgo característico del Cinturón Sinú. Este fenómeno consiste en el ascenso gradual de volúmenes (diapiros) de lodos ricos en agua, materia orgánica y gases inflamables a través de capas suprayacentes de mayor densidad. Los diapiros "aprovechan" fracturas geológicas para atravesar las rocas confinantes y alcanzar niveles superiores de la corteza, en muchas ocasiones hasta la superficie. Su ascenso es impulsado por altas presiones internas y esfuerzos tectónicos (Duque-Caro 1984, 1990 a, b; Vernet 1985, Page 1986, Vernet et al. 1992). En algunos casos, la expulsión de lodos en superficie es acompañada por explosiones violentas y por la formación de coladas que pueden cubrir áreas kilométricas. Este fenómeno se ha presentado varias veces en el Urabá antioqueño y el ejemplo mejor reportado es la violenta explosión del volcán de lodos "Cacahual" en San Pedro de Urabá, ocurrida inmediatamente después del terremoto del 18 de octubre de 1992. Esta explosión ocasionó nueve víctimas fatales, más de 20 heridos y derramó 50.000 m³ de materiales sobre los terrenos agrícolas y ganaderos circundantes (Martínez *et al.*, 1994 en Correa *et al.*, 2010).

3.2 Clima

Por su ubicación cerca al Ecuador, el régimen climático del Urabá-Darién está fuertemente influenciado por los desplazamientos Norte-Sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y la circulación atmosférica de los vientos Alisios. Según la clasificación de Lang (1915), en la región se presentan varios tipos de clima, desde Cálido Muy Húmedo en el Sur hasta Cálido Seco en el Noreste (Figura 8). La precipitación media anual en el área oscila entre los 2.000 y los 3.000 mm (promedio 2.523 mm/año), la evapotranspiración es de 1358 mm, la temperatura ambiente mayor a 24 °C y la humedad relativa entre 83 y 86% (Molina *et al.*, 1992; INVEMAR y CORPOURABA, 2003; Lonin y Vásquez, 2005; Montoya y Toro, 2006; Álvarez, 2008; CIOH, 2010; Montoya, 2010). Como en todas las zonas tropicales, la rápida alteración química de las rocas y sedimentos costeros es facilitada por las altas velocidades de

reacción, la intensa actividad microbiológica en los suelos y la formación de ácidos orgánicos (Summerfield, 1991).

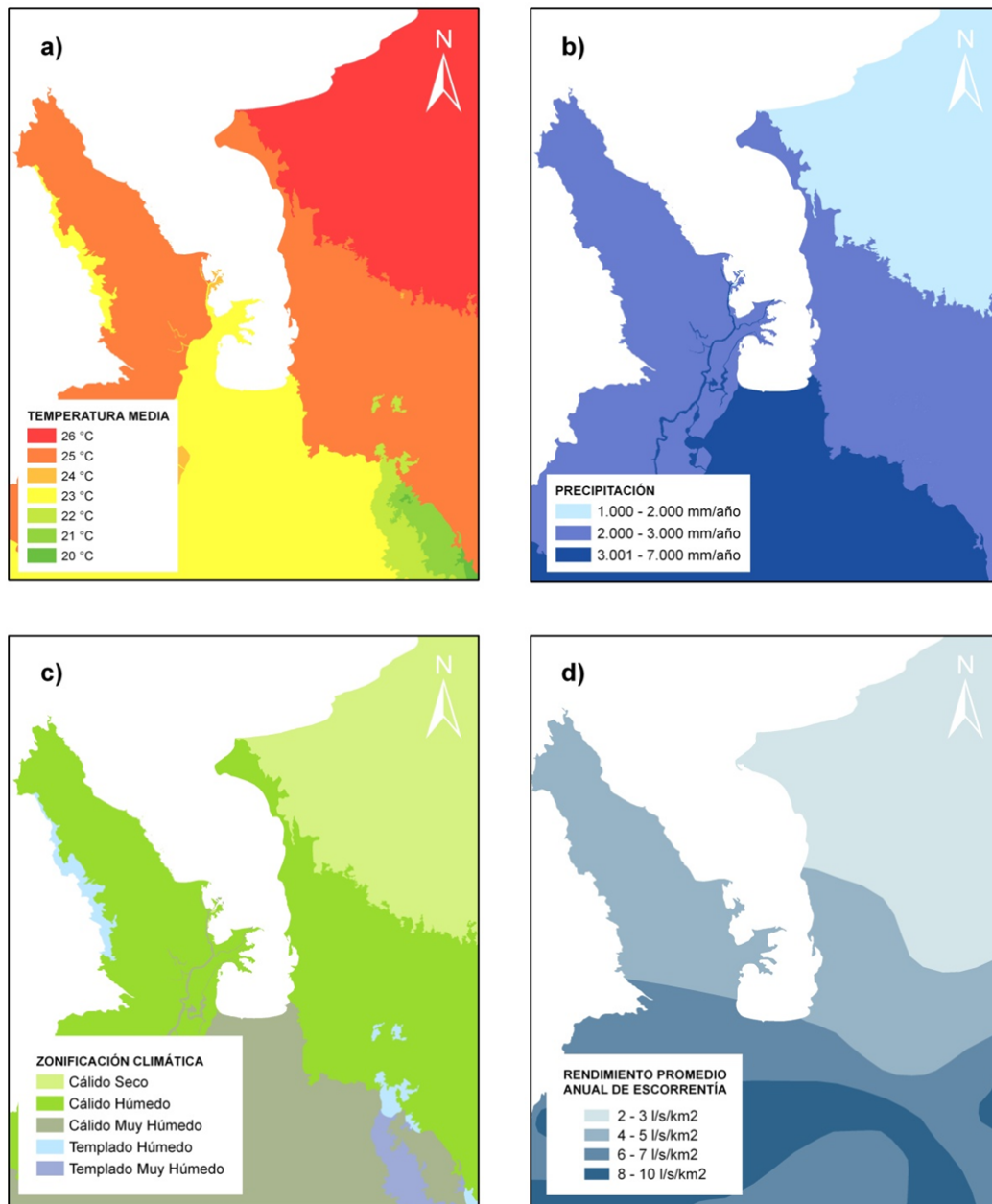


Figura 8. Distribución espacial de algunos factores climáticos en la región de Urabá. a) Temperatura media. b) Precipitación. c) Zonificación Climática. d) Rendimiento promedio anual de escorrentía. Elaboración propia a partir de información de IGAC, 2008

3.3 Oceanografía

Los regímenes de oleajes incidentes en el Golfo están esencialmente controlados por los patrones de circulación de vientos. El oleaje más frecuente proviene del Norte y el

nordeste, afectado por el régimen de vientos, generando alturas máximas de 4 m y periodos de tres a siete segundos en las zonas más externas del Golfo. La zona interior del Golfo está relativamente protegida, mientras los oleajes más persistentes se presentan en el sector de “costa abierta” en la región del Darién y entre Arboletes y Necoclí (Molina *et al.*, 1992 y Lozano, 1998 en INVEMAR y CORPOURABA, 2003).

Molina *et al.*, (1992) y Chevillot *et al.*, (2003) describen las condiciones oceanográficas para el Golfo de Urabá en dos épocas climáticas. En la época húmeda (octubre-noviembre), cuando los vientos Alisios están debilitados y la Contracorriente de Panamá fortalecida, las plumas de sedimentos en las desembocaduras de los ríos se proyectan hacia el Norte. Durante la época intermedia (febrero-marzo), los Alisios del Norte y noreste son fuertes, el material en suspensión es comprimido contra el borde del delta del Atrato, ejerciéndose un control dinámico en el que las aguas superficiales del Occidente del Golfo se mueven en dirección Sur hasta llegar a Bahía Colombia, la cual se ha venido colmatando, afectando los sitios de fondeo de los buques transportadores de banano. Varios estudios establecen que el viento es el factor que ejerce mayor control sobre la dispersión de los sedimentos superficiales (Garizábal, 2007; Álvarez, 2008). No se especifica directamente el papel de los regímenes de precipitación en los aportes de sedimentos, pero se espera que las tasas aumenten considerablemente en épocas de lluvia.

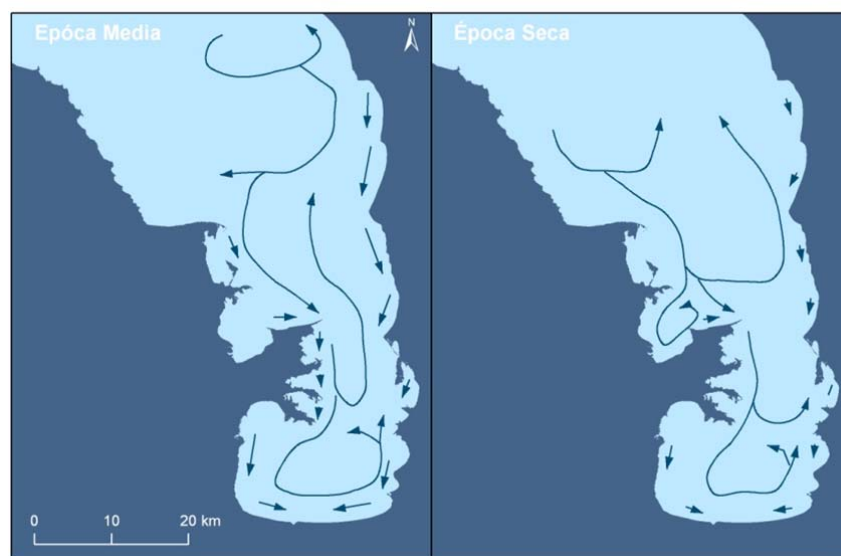


Figura 9. Circulación de las aguas superficiales en el Golfo de Urabá en época media y húmeda. Fuente: Chevillot *et al.*, 1993

A juzgar por la deflexión de las desembocaduras fluviales y por la posición de los extremos distales de las espigas litorales (ambos con componente Sur), el transporte neto de sedimentos arenosos en la zona se da en dirección Norte-Sur en ambos costados del Golfo. Sin embargo, no se descartan inversiones temporales en los flujos de sedimentos, especialmente en los periodos de incidencia de los vientos Sur (Velásquez, 2005; Álvarez, 2008; Correa *et al.*, 2010).

La temperatura superficial promedio en el Golfo varía entre 27 y 28,5 °C. A profundidad, la temperatura es homogénea tanto en la época húmeda como seca, con gradientes de unos 0,8°C respecto a la superficie. La salinidad superficial es afectada por los vientos durante la época media, en la cual los vientos se encuentran debilitados y los aportes de agua dulce de los afluentes hacen que salinidad promedio sea del 2 UPS. Por el contrario, en época seca, cuando se alcanzan valores de hasta el 30% en Bahía Colombia. A profundidades mayores de 10 m, las aguas dulces permanecen restringidas sólo a las cercanías de los ríos durante las dos épocas, estando la mayor parte del Golfo ocupado por aguas oceánicas, presumiblemente por penetración de un ramal de la Contracorriente de Panamá (Chevillot *et al.*, 1993).

El régimen de mareas en el Golfo de Urabá, al igual que en todo el Caribe colombiano, es micromareal, con amplitudes inferiores a los 0,4 m. La marea es de tipo semidiurno mixto con pleamares cada 11,5 horas. Los mareógrafos más cercanos al Golfo de Urabá son las estaciones Cartagena y San Cristóbal en Panamá (Franco, 1992; CIOH, 2010).

4 RESULTADOS

4.1 CONSTRUCCIÓN DE BASE DE DATOS BIBLIOGRÁFICA

En total se catalogaron 547 referencias, de las cuales aproximadamente el 43% fueron libros, 35% fueron artículos científicos, 8% tesis y 14% otros como reportes, memorias de ponencias en congresos y seminarios y recursos digitales, entre otras (Figura 10).

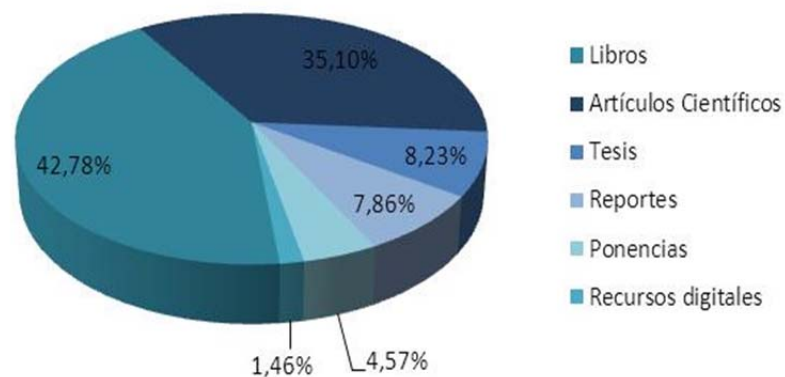


Figura 10. Distribución de los diferentes tipos de referencias bibliográficas indexadas para este estudio.

A nivel global se han realizado múltiples esfuerzos de construcción de bases de datos espaciales para la caracterización y ordenamiento de zonas costeras, como en Europa (p.e. Holanda, Suecia, Italia, España), Estados Unidos y Latinoamérica (p.e. Colombia, Venezuela, Costa Rica y Uruguay). La mayoría de estos esfuerzos se han centrado en caracterizaciones geomorfológicas (Kamal y Midorikawa, 2004; Vallega, 2005; Gustavsson *et al.*, 2006; Gustavsson *et al.*, 2008), análisis morfodinámicos (Calzadilla, 2003; Raper *et al.*, 2003; Anfuso y Martínez-del-Pozo, 2005; Hoyos *et al.*, 2006; Correa *et al.*, 2007; Ortiz,

2008), y análisis de vulnerabilidad de efectos relacionados a cambio climático (McFadden *et al.*, 2003; Chust *et al.*, 2007; Szlafsztein y Sterr, 2007; Nageswara Rao *et al.*, 2008; Lemus *et al.*, 2009), entre otros.

Para dar un enfoque holístico a esta investigación, se colectaron y catalogaron estudios realizados en la región de Urabá, que caracterizan y analizan los diferentes factores que componen el entorno físico y biótico de la región. Estos fueron clasificados según las diferentes temáticas tratadas (Holístico, Geomorfología Emergida Geomorfología Sumergida, Evolución Histórica, Geología, Hidrología, Oceanografía, Nivel del Mar, Biot, Uso del Suelo, MIZC y Amenazas), y por su zonificación espacial dentro del área de estudio (Tabla 2).

Específicamente, se desean resaltar las diferentes caracterizaciones geomorfológicas y/o morfodinámicas que más frecuentemente se utilizaron como información base para la realización de este estudio: CORPOURABA, 1984; Aristizábal *et al.*, 1990; Correa, 1992; Franco, 1992; Chevillot *et al.*, 1993; Martínez, 1993; Holguín, 1996; Velásquez y Rave, 1996; UNAL y CORPOURABA, 1998; Díaz *et al.*, 2000; Velásquez, 2000; Posada, 2002; CORPOURABA y FONADE, 2003; INVEMAR y CORPOURABA, 2003; Correa y Vernet, 2004; Nieto, 2004; Agámez y Arrieta, 2005; Bernal *et al.*, 2005a; Estrada y Gil, 2005; Velásquez, 2005; Betancourt y Jaramillo, 2007; Garizábal, 2007; Ménanteau, 2007; Álvarez, 2008; CORPOURABA y DAMA, 2008b, a; INVEMAR *et al.*, 2008; Correa *et al.*, 2010.

Tabla 2. Estudios realizados en la zona del Urabá Antioqueño y Chocoano, según sus temáticas y cobertura por sectores.

ESTUDIO	TEMÁTICA											SECTOR						
	Holístico	Geomorfología Emergida	Geomorfología Sumergida	Evolución Histórica	Geología	Hidrología	Oceanografía	Nivel del Mar	Biota	Uso del Suelo	MIZC	Amenazas	1 - Cabo Tiburón – Tarena	2 - Tarena – Caño Arrastradero	3 - Caño Arrastradero – Río Cope	4 - Río Cope – Río Necocí	5 - Río Necocí – Río Iguana	6 - Río Iguana – Punta Rey
Nygren, 1950					X									X	X	X	X	X
Vann, 1955		X												X				
Raasveldt, 1958					X								X	X	X	X	X	X
Raasveldt y Tomic, 1958		X														X		
Vann, 1959		X						X						X				
Nicholls, 1960					X								X					
Haffer, 1967					X								X	X	X	X	X	X
Ramírez, 1969					X											X		X
Haffer, 1970					X			X					X	X	X	X	X	X
Case <i>et al.</i> , 1971					X								X	X	X	X	X	X
Macdonald <i>et al.</i> , 1971		X											X	X				
Pujos y Javelaud, 1978			X													X	X	X
Werding y Manjarrés, 1978		X	X					X					X					
Duque-Caro, 1979					X								X	X	X	X	X	X
Duque-Caro, 1980					X								X	X	X	X	X	X
INGEOMINAS y ONU, 1982					X								X					
Duque-Caro, 1983					X								X	X	X	X	X	X
Page, 1983					X								X	X	X	X	X	X
CORPOURABA, 1984			X			X	X			X				X	X	X	X	X
Duque-Caro, 1984					X											X	X	X
Javelaud, 1984			X		X		X						X	X	X	X	X	X
Duque-Caro, 1985					X									X	X			
Page, 1986					X						X		X	X	X	X	X	X
Ardila y Páez, 1987		X			X								X					
Palacio, 1988								X						X				
Duque-Caro, 1989					X								X	X	X	X	X	X
Aristizábal <i>et al.</i> , 1990		X		X		X	X								X			
Duque-Caro, 1990a					X								X	X	X	X	X	X

Tabla 2 (Cont.). Estudios realizados en la zona del Urabá Antioqueño y Chocoano, según sus temáticas y cobertura por sectores.

ESTUDIO	TEMÁTICA											SECTOR						
	Holístico	Geomorfología Emergida	Geomorfología Sumergida	Morfodinámica Costera	Geología	Hidrología	Oceanografía	Nivel del Mar	Biota	Uso del Suelo	MIZC	Amenazas	1 - Cabo Tiburón – Tarena	2 - Tarena – Caño Arrastradero	3 - Caño Arrastradero – Río Cope	4 - Río Cope – Río Necocí	5 - Río Necocí – Río Iguana	6 - Río Iguana – Punta Rey
Duque-Caro, 1990b					X								X	X	X	X	X	X
ECOFORST Ltda., 1990								X						X			X	
Caballero, 1991					X							X				X		
Molina <i>et al.</i> , 1992			X	X					X									
Chevillot <i>et al.</i> , 1993			X						X				X	X	X	X	X	X
Martínez, 1993		X	X		X			X					X					
Urbano, 1993												X		X				
Rincón, 1994					X													X
Franco y Gómez, 1996		X		X										X	X			
Holguín, 1996		X															X	X
Velásquez y Rave, 1996		X		X						X				X	X			
Martínez y Robertson, 1997								X				X	X	X	X	X	X	X
Muñoz y Rodríguez, 1997					X					X				X				
Muñoz <i>et al.</i> , 1997					X					X								
Sánchez-Páez <i>et al.</i> , 1997									X					X	X	X	X	X
UNAL y CORPOURABA, 1998		X		X		X								X	X	X	X	X
INGEOMINAS, 1998		X											X	X	X	X	X	X
Lozano, 1998	X												X	X				
Sánchez-Valencia, 1998									X									
Palacio y Restrepo, 1999		X												X	X	X	X	X
Robertson y Martínez, 1999								X					X	X	X	X	X	X
Díaz <i>et al.</i> , 2000			X						X				X					
Restrepo y Kjerfve, 2000						X								X	X	X	X	X
Velásquez, 2000		X	X	X	X	X							X					
Carvajal, 2001					X							X				X	X	X
Posada y Melo, 2001										X				X	X			
García, 2002		X			X										X	X	X	X
Cano y Spratt, 2003					X								X	X	X	X	X	X

Tabla 2 (Cont.). Estudios realizados en la zona del Urabá Antioqueño y Chocoano, según sus temáticas y cobertura por sectores.

ESTUDIO	TEMÁTICA											SECTOR					
	Holístico	Geomorfología Emergida	Geomorfología Sumergida	Morfodinámica Costera	Geología	Hidrología	Oceanografía	Nivel del Mar	Biota	Uso del Suelo	MIZC	Amenazas	1 - Cabo Tiburón – Tarena	2 - Tarena – Caño Arrastradero	3 - Caño Arrastradero – Río Cope	4 - Río Cope – Río Necocí	5 - Río Necocí – Río Iguana
CORPOURABA y FONADE, 2003								X					X	X	X	X	X
INGEOMINAS y GEOTEC Ltda., 2003					X								X	X	X	X	X
INVEMAR y CORPOURABA, 2003	X									X		X	X	X	X	X	X
Porta de, 2003					X												
Robertson <i>et al.</i> , 2003							X				X	X	X	X	X	X	X
Coates <i>et al.</i> , 2004					X							X					
Correa y Vernet, 2004		X													X	X	X
Guzmán <i>et al.</i> , 2004					X								X	X	X	X	X
INVEMAR, 2004																	X
Nieto, 2004		X		X									X				
Agámez y Arrieta, 2005		X												X			
Bernal <i>et al.</i> , 2005b		X							X			X	X	X	X	X	
Estrada y Gil, 2005		X												X			
IGAC y INGEOMINAS, 2005a		X			X							X	X	X	X	X	
IGAC y INGEOMINAS, 2005b		X										X	X	X	X	X	
Kellogg <i>et al.</i> , 2005					X								X	X	X	X	X
Lonin y Vásquez, 2005									X			X	X	X	X	X	
López, 2005					X							X	X	X	X	X	X
Velásquez, 2005			X						X			X	X	X	X	X	X
Correa-Rendón y Ortiz, 2006	X									X			X				
Montoya y Toro, 2006									X			X	X	X	X	X	
Téllez, 2006			X									X	X	X	X	X	
Torres <i>et al.</i> , 2006.							X					X	X	X	X	X	X
Vivas y Cano, 2006					X						X		X	X			X
Álvarez, 2007					X							X					
Garizábal, 2007			X	X					X			X	X	X	X	X	
García-Valencia, 2007	X											X	X	X	X	X	X
Thomas <i>et al.</i> , 2007			X									X	X	X	X	X	

Tabla 2 (Cont.). Estudios realizados en la zona del Urabá Antioqueño y Chocoano, según sus temáticas y cobertura por sectores.

ESTUDIO	TEMÁTICA											SECTOR						
	Holístico	Geomorfología Emergida	Geomorfología Sumergida	Morfodinámica Costera	Geología	Hidrología	Oceanografía	Nivel del Mar	Biota	Uso del Suelo	MIZC	Amenazas	1 - Cabo Tiburón – Tarena	2 - Tarena – Caño Arrastradero	3 - Caño Arrastradero – Río Cope	4 - Río Cope – Río Necocí	5 - Río Necocí – Río Iguana	6 - Río Iguana – Punta Rey
Álvarez, 2007					X								X					
Betancourt & Jaramillo, 2007			X							X			X	X	X	X		
CORPOURABA y DAMA, 2008a	X													X				
CORPOURABA y DAMA, 2008b	X																X	
INVEMAR <i>et al.</i> , 2008	X										X		X	X	X	X	X	X
Posada y Henao, 2008		X											X	X	X	X	X	X
Arango y Tobón, 2008					X								X					
Roldán, 2008			X											X	X	X		
Cuesta y Ramírez, 2009										X				X				
Vargas <i>et al.</i> , 2009									X				X					
Sánchez-Alfárez <i>et al.</i> , 2009									X					X				X
Montoya, 2010													X	X	X	X	X	

4.2 CONSTRUCCIÓN DE LA GEODATABASE

La estructuración de GEOURABÁ consideró la inclusión de 18 geoformas particulares en el área de estudio), las cuales se definen en la Figura 11 y la Tabla 3. A partir de la distribución espacial de dichas geoformas, la zona de estudio fue dividida en 6 sectores según las características geomorfológicas predominantes en cada uno (Figura 12). Esto permitió hacer una diferenciación entre aquellas geoformas asociadas a costas bajas depositacionales y aquellas asociadas a costas rocosas erosionales (Pethick, 1984; Bird, 1993; INGEOMINAS, 1998; Masselink y Hughes, 2003; Bird, 2008). A su vez, las geoformas asociadas a costas bajas depositacionales, fueron subdivididas considerando el proceso morfogenético predominante, diferenciando entre geoformas dominadas por procesos fluviales, mareales o de oleaje (Masselink y Hughes, 2003).

Las mejoras realizadas a la Geodatabase generada por el Área de Ciencias del Mar para el Proyecto Expedición Estuarina Golfo de Urabá, consistieron en:

- La generación de 43 esquemas geomorfológicos y 43 ortofotomapas a escala 1:10.000 que cubren toda la zona de estudio.
- La definición e inclusión de coberturas no consideradas en EEGU, específicamente dunas litorales, tómbolos y vías principales.
- La agrupación de las geoformas en dos categorías de mayor jerarquía y con significado morfogenético: Costas rocosas erosionales y costas bajas depositacionales.
- El cálculo de áreas y longitudes para todas las unidades.
- La complementación de las tablas de atributos de las clases de objetos (Figura 13).
- La modelación de información topográfica y batimétrica a partir de un Modelo de Elevación Digital de resolución media.
- La eliminación de la unidad “*Humedales*” por dificultades semánticas y debido a que los límites no estaban claramente establecidos. Se entendieron como “*Pantanos o Zonas de Inundación*”.
- El diseño de una leyenda más amigable al usuario.
- La generación de reglas topológicas de integridad estructural.
- Mejoramiento de la toponimia.

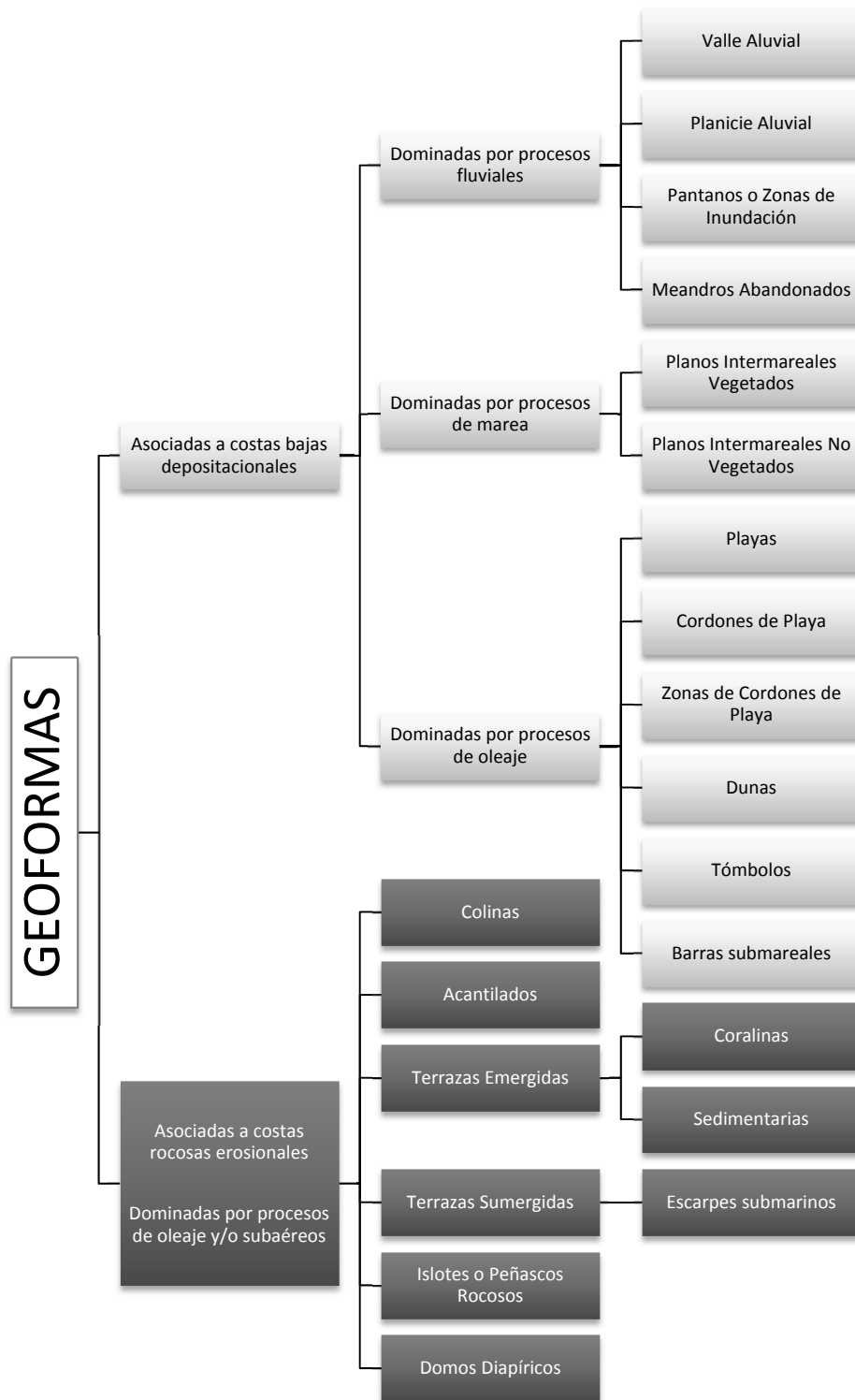


Figura 11. Identificación y clasificación de las geoformas que conforman la franja litoral Caribe de los departamentos Antioquia y Chocó.

Tabla 3. Geoformas identificadas en la franja litoral Caribe de los departamentos Antioquia y Chocó (Orden alfabético).

Acantilados (<i>Cliffs</i>)	Escarpes o superficies inclinadas (> 45°), labrados sobre materiales rocosos o semiconsolidados en la zona de concurrencia entre la tierra y el mar. La pendiente varía en función del balance entre procesos marinos y subaéreos, influenciados por la litología predominante y los cambios relativos en el nivel del mar (Masselink y Hughes, 2003).
Barras y Surcos Submareales (<i>Submerged Bars and Troughs</i>)	Conjunto de elevaciones y depresiones longitudinales ubicadas por debajo del nivel de mareas bajas, orientadas por lo general de manera paralela al contorno costero (Bird, 2008).
Canales Submarinos (<i>Submerged Channel</i>)	Surco en la superficie del relieve submarino, semejando un canal de las zonas emergidas. Pueden corresponder a antiguos canales fluviales, hoy sumergidos, o a zonas en donde los agentes erosivos han profundizado la superficie del terreno en sectores de rocas poco resistentes (Correa <i>et al.</i> , 2010).
Colinas (<i>Hill</i>)	Prominencias topográficas de hasta 300 m de altura en relación con el relieve circundante con o sin cobertura de suelos/vegetación, caracterizados generalmente por superficies irregulares de inclinaciones variables producidas por la acción de procesos endogenéticos (p.e. fallamientos y plegamientos), y exogenéticos (p.e. clima, meteorización y erosión). Pueden presentar <i>rasgos estructurales</i> o características lineales visibles en las rocas, que evidencian esfuerzos diferenciales durante y/o después de su formación (INGEOMINAS, 1998; Nagel, 2004).
Cordones Litorales (<i>Beach Ridges</i>)	Conjuntos de crestas de arena o gravas asociados a la progradación de playas antiguas. Se presentan por lo general dispuestos paralelamente a la línea de costa actual. Se caracterizan topográficamente por la alternancia de elevaciones y depresiones longitudinales – antiguas bermas y playas traseras, respectivamente. Cuando se encuentran formando agregados, se denomina <i>Zona de Cordones Litorales</i> (Masselink y Hughes, 2003; Correa <i>et al.</i> , 2010).
Domos Diapíricos (<i>Diapiric Domes – Mud Volcanoes</i>)	Expresión superficial del diapirismo de lodo, un fenómeno de carácter regional en el cual materiales de baja densidad (p.e. arcillas de origen marino) y alto contenido de gases. Tienden a ascender desde profundidad a través de fracturas o zonas de debilidad de capas suprayacentes de mayor densidad (p.e. areniscas). Se pueden generar levantamientos del terreno (<i>estructuras dómicas</i>), y en algunos casos estos materiales alcanzan la superficie formando <i>cráteres</i> y/o resumideros por las cuales expulsan <i>flujos de lodo</i> y gases (Carvajal, 2001; García, 2002; Montes <i>et al.</i> , 2012).
Dunas (<i>Dunes</i>)	Montículos formados por la acumulación de arenas transportadas por el viento generalmente orientadas de manera paralela al contorno costero. Usualmente presentan pendientes empinadas hacia el costado de sotavento y más suaves al lado de barlovento. Algunas de las condiciones necesarias para la formación de dunas estables son bajos relieves con presencia de obstáculos, climas secos, vientos fuertes hacia la costa, abundante aporte de arena y cubrimiento de vegetación (Pethick, 1984; Masselink y Hughes, 2003).
Escarpe Submarino (<i>Submerged Scarps</i>)	Paredes -superficies de inclinación fuerte- cuyo borde superior marca el límite mar afuera de zonas de terrazas submarinas o de la topografía general de la zona marina somera. En muchos casos corresponden a acantilados -hoy paleoacantilados- formados cuando el nivel relativo del mar estuvo por debajo de su posición actual (Correa <i>et al.</i> , 2010).
Islotes o Peñascos (<i>Islets or Stacks</i>)	Remanentes rocosos que aún quedan en pie evidenciando procesos predominantemente erosionales. Se forman a partir de la disección de la costa a lo largo de planos de debilidad por acción de procesos de meteorización marinos o sub-aéreos (Schwartz, 2005).
Movimientos de Masa (<i>Mass Wasting</i>)	Tipo de corrimiento o movimiento de masas de tierra, provocado por la inestabilidad de un talud. Se produce cuando una gran masa de terreno se convierte en zona inestable y desliza con respecto a una zona estable, a través de una superficie o franja de terreno de pequeño espesor. Los deslizamientos se producen cuando en la franja se alcanza la tensión tangencial máxima en todos sus puntos (Gutiérrez, 2008; Correa <i>et al.</i> , 2010).
Pantanos o Zonas de Inundación (<i>Swamps</i>)	Zonas topográficamente deprimidas susceptibles de manera natural a inundaciones periódicas de origen fluvial o marino. Constituyen zonas de transición entre los ecosistemas terrestres y acuáticos. En condiciones típicas de climas húmedos, el sustrato está constituido por lodos ricos en materia orgánica y arenas. Se caracterizan por su baja capacidad de drenaje, pudiendo retener altas cantidades de agua (INGEOMINAS, 1998; Gutiérrez, 2008).

Tabla 3 (Cont.). Geformas identificadas en la franja litoral Caribe de los departamentos Antioquia y Chocó (Orden alfabético) (cont.)

Planicies Aluviales (<i>Alluvial Plains</i>)	Conjuntos de depósitos de sedimentos de tipos variados (gravas, arenas, lodos) formados principalmente por procesos de depositación y erosión fluviales. Las superficies de las planicies fluviales pueden alcanzar extensiones considerables (kilométricas), con pendientes suavemente inclinadas y se encuentran cortadas por cauces activos e inactivos de uno o más ríos. Cuando estos desembocan en el mar, forman deltas, los cuales pueden contener depósitos formados por la acción combinada de procesos fluviales y/o marinos (Gutiérrez, 2008).
Planos intermareales (<i>Tidal Plains</i>)	Zonas planas ligeramente inclinadas hacia el mar, sujetas a inundaciones periódicas por efectos de la marea. Están formados por depósitos de sedimentos ligeramente o no consolidados - generalmente mezclas de arenas finas y lodos -, ubicadas entre los niveles generales de las aguas de mareas altas y bajas. Son característicos de ambientes resguardados como bahías, estuarios y ciénagas con altos aportes de sedimentos. Pueden estar o no vegetados, lo que desempeña un papel importante en su evolución y estabilidad. En zonas tropicales, generalmente se encuentran colonizados por manglares (<i>Rhizophora mangle</i> , <i>Avicennia germinans</i> y <i>Laguncularia racemosa</i>), que constituyen uno de los ecosistemas más productivos del planeta (Woodroffe, 1992).
Playas (<i>Beaches</i>)	Acumulación de sedimentos no consolidados (arenas o gravas) presentes en la interfase mar-continente. Se extienden desde el límite de marea baja hasta el sitio donde se presenta un cambio marcado en su fisiografía (p.e. dunas o acantilados). Con respecto a su forma en planta, pueden separarse en dos categorías. En primera instancia están <i>playas encajadas o de bolsillo (pocket beaches)</i> , limitadas en sus extremos por salientes o prominencias generalmente rocosas que ofrecen una protección parcial amortiguando el oleaje incidente. Por otro lado, las <i>playas abiertas (open beaches)</i> son aquellas que tienen una forma alargada y están sujetas a la incidencia directa de los oleajes, pudiendo alcanzar dimensiones kilométricas (Pethick, 1984; INGEOMINAS, 1998; Correa <i>et al.</i> , 2010).
Terrazas Emergidas y Sumergidas (<i>Emerged and Submerged Platforms</i>)	Superficies de origen marino, horizontales a ligeramente inclinadas hacia el mar (1° - 5°), que fueron labradas por la acción marina en el pasado sobre un sustrato rocoso. Como consecuencia de ascensos y descensos del nivel mar o levantamientos del borde costero, se pueden encontrar elevadas o sumergidas con respecto al nivel del mar, constituyendo excelentes evidencias de cambios del nivel relativo del mar. Se pueden extender por varios km y limitan hacia el mar por acantilados o escarpes submarinos respectivamente (INGEOMINAS, 1998; Masselink y Hughes, 2003). En este estudio se hace una diferenciación entre terrazas de origen sedimentario y origen coralino.
Tómbolos (<i>Tomboles</i>)	Planicies de extensión variable (m – km) con aspecto cuspadado en planta. Se forman al conectarse una isla o un bajo, con el continente por medio de depósitos arenosos. Su formación se asocia generalmente a características geológicas costa-afuera (offshore) como islas o arrecifes, que proporcionan refugio de las olas y por lo tanto ambientes aptos para la depositación de sedimentos. Se forman debido a la convergencia de corrientes de deriva y el transporte de sedimentos en la zona de sombra detrás de la isla, debido a refracción y difracción del oleaje. Su extensión está determinada por la longitud de la isla y su distancia al continente (Kelleat, 1995; Masselink y Hughes, 2003).
Valles Aluviales (<i>Alluvial Valleys</i>)	Superficie aluvial adyacente a un curso fluvial encajado por el relieve circundante, lo cual limita su dimensiones a magnitudes (anchuras, longitudes) desde los cientos de metros hasta algunos km (Gutiérrez, 2008).
Zonas de Cordones Litorales (<i>Beach Ridge Plains</i>)	Extensión cartografiada de conjuntos de cordones litorales. Evidencian tendencias progradacionales (Masselink y Hughes, 2003).

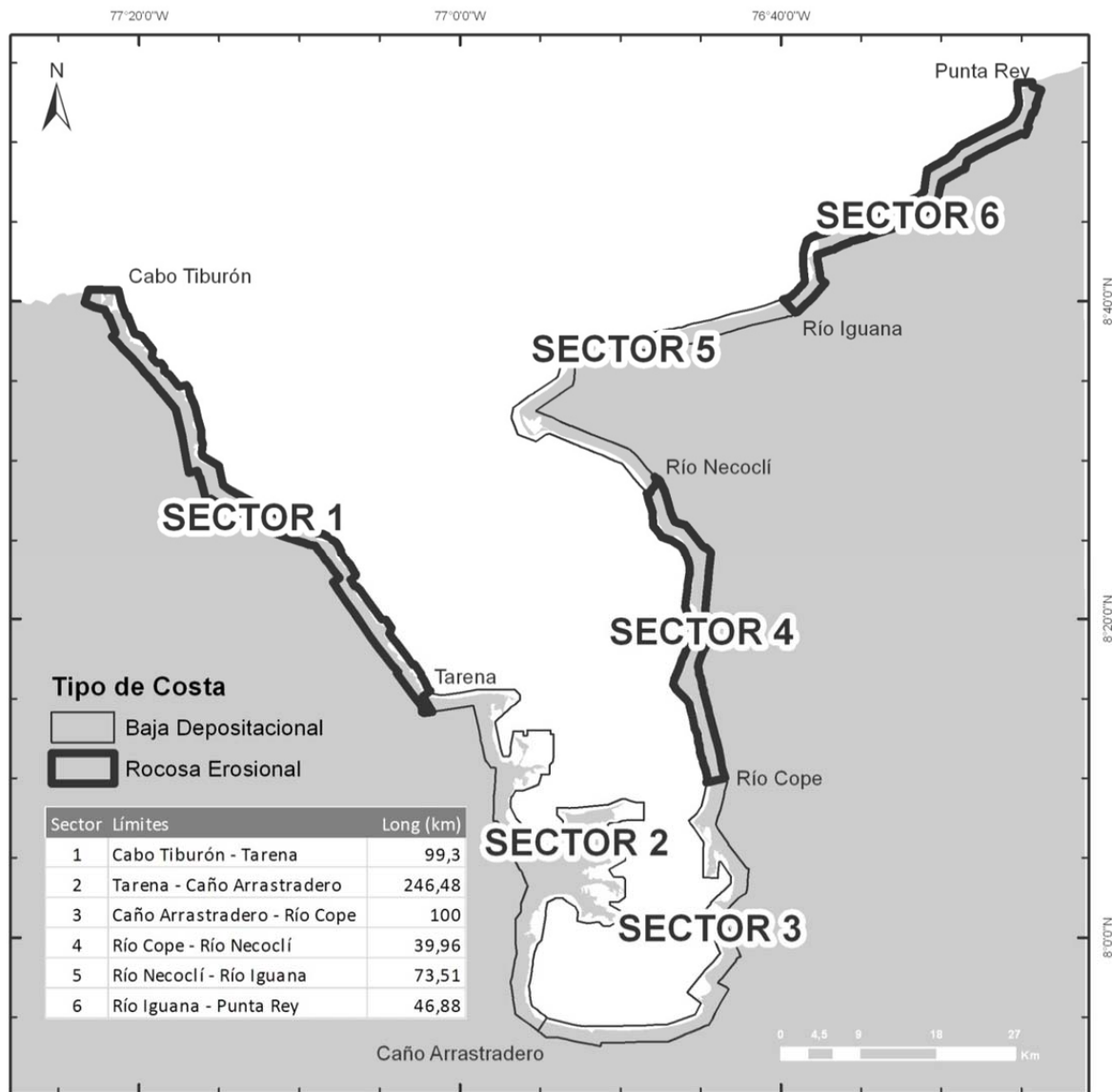


Figura 12. Sectorización de la zona de estudio a partir de sus características morfológicas dominantes.

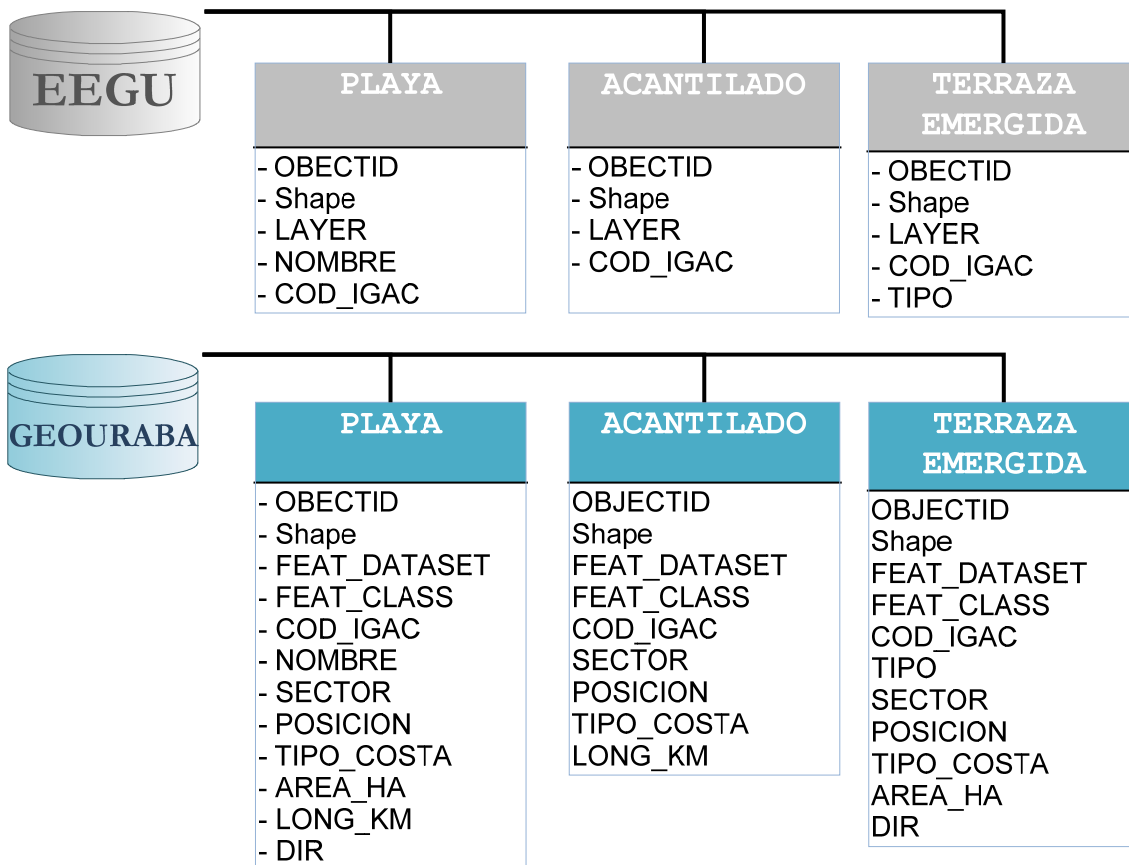


Figura 13. Comparación de los atributos de algunas coberturas entre la Geodatabase de Expedición Estuarina, Golfo de Urabá (EEGU) y la Geodatabase generada en este estudio (GEOURABÁ).

En total se digitalizaron 44 coberturas, las cuales fueron subdivididas entre cartografía base, geomorfología, hidrografía, obras civiles y relieve. En la cartografía base se agrupan todas aquellas coberturas que sirven como marco de referencia al proyecto (p.e. Línea de vegetación, sectores, límite de la zona de estudio, límite internacional, etc.). El grupo de geomorfología concentra todas las geoformas cartografiadas, mientras que el grupo de hidrografía hace lo mismo para los cuerpos de agua presentes en la zona de estudio. El grupo de obras civiles abarca tanto áreas catastrales como infraestructuras de transporte y obras de protección costera. Por último, el grupo relieve enmarca la topografía y la batimetría generadas a partir de Modelos de Elevación Digital. Las figuras 14 y 15 muestran los modelos conceptual y estructural de la Geodatabase, respectivamente.

A partir de los datos de extensión areal de las coberturas digitalizadas, se construyó la Tabla 4, que permitió cuantificar las coberturas relativas de las geoformas por sector y por departamento.

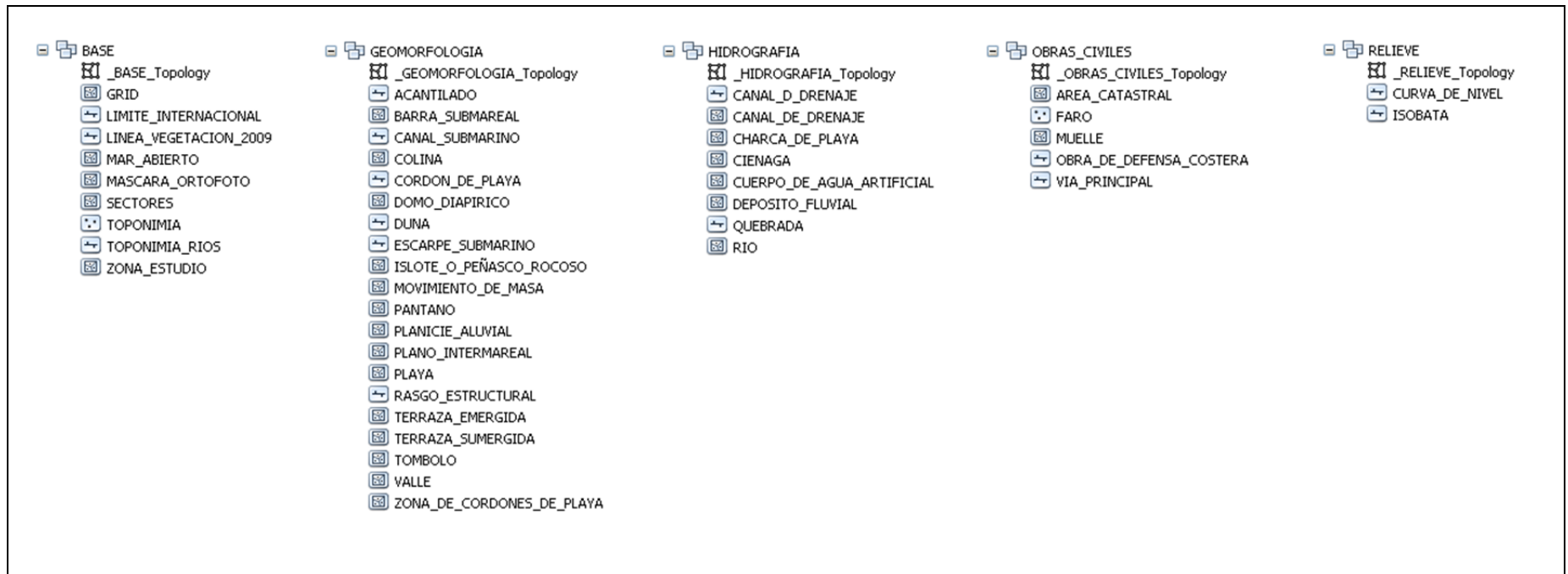
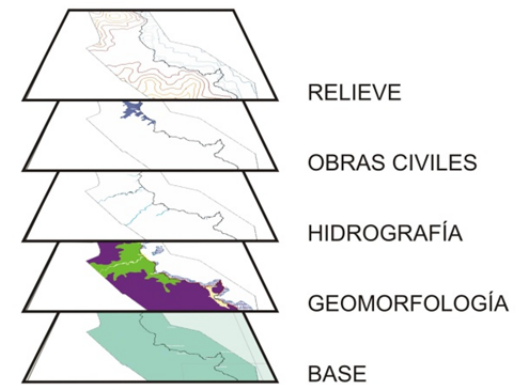


Figura 15. Modelo físico de GEOURABÁ, la *Geodatabase* generada para este estudio.

Tabla 4. Extensión de las geoformas que conforman la franja costera de la franja litoral Caribe de los departamentos Antioquia y Chocó.

Geoforma	Unidad	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3	SECTOR 4	SECTOR 5	SECTOR 6	Chocó	Antioquia	Córdoba*	Panamá*	TOTAL	Cobertura relativa (%)**	
ASOCIADAS A COSTAS BAJAS	Planicie Aluvial	ha	0,00	16283,94	10957,55	0,00	2995,21	0,00	2242,91	27993,78	0,00	0,00	30236,69	57.73%
	Valle Aluvial	ha	1807,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1807,29	0,00	0,00	0,00	1807,29	3.45%
	Pantano	ha	13,16	6258,59	1173,12	10,26	750,54	38,49	521,68	7722,48	0,00	0,00	8244,16	15.74%
	Plano Intermareal Vegetado	ha	0,00	4715,86	941,10	520,97	375,53	16,58	0,00	6570,05	0,00	0,00	6570,05	12.54%
	Plano Intermareal No Vegetado	ha	2,28	77,11	74,03	27,70	0,00	0,68	2,28	179,53	0,00	0,00	181,80	0.35%
	Playa	ha	168,51	90,24	33,95	85,12	251,80	92,14	198,52	517,29	1,56	4,37	721,75	1.38%
	Duna	km	0,00	0,00	0,00	0,00	28,42	0,00	0,00	28,42	0,00	0,00	28,42	0.05%
	Cordones Litorales	km	39,00	27,49	28,69	50,09	112,45	0,00	52,37	205,35	0,00	0,00	257,72	0.49%
	Zona de Cordones Litorales	ha	962,01	109,74	432,93	482,55	3385,45	0,00	962,01	4410,66	0,00	0,00	5372,67	10.26%
	Tómbolo	ha	616,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	616,02	0,00	0,00	0,00	616,02	1.18%
	Barra y Surco Submareal	ha	0,00	33,24	120,66	2,12	0,00	0,00	0,00	156,02	0,00	0,00	156,02	0.30%
	ASOCIADAS A COSTAS ELEVADAS	Colina	ha	6515,00	0,00	51,69	2304,10	216,77	1155,31	6393,51	3727,87	0,00	121,48	10242,86
Acantilado		km	76,01	0,00	2,57	5,57	0,15	27,11	69,04	35,40	0,00	6,97	111,42	0.21%
Islote o Peñasco		ha	12,96	367,62	2,55	0,05	22,96	0,36	12,96	393,53	0,00	0,00	406,49	0.78%
Domo Diapírico		ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,20	0,00	12,20	0,00	0,00	12,20	0.02%
Terraza Emergida Sedimentaria		ha	0,00	0,00	0,00	3722,93	65,13	4674,74	0,00	8125,48	337,33	0,00	8462,81	16.16%
Terraza Emergida Coralina	ha	14,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,57	0,00	0,00	1,94	14,51	0.03%	

Notas: *La ortofoto utilizada como base para este estudio comprendió unas pequeñas áreas del Departamento de Córdoba y el vecino país de Panamá. ** Las coberturas relativas suman 100% debido a que algunas geoformas se sobrelapan entre sí.

4.3 FONDOS Y SUBFONDOS

A partir de los ecogramas generados en este estudio, se hace a continuación una aproximación general de la topografía y las características de las principales geoformas sumergidas encontradas en cada uno de los sectores.

En general, se encontró que los fondos del costado Occidental, en la zona del Darién, poseen mayores pendientes que en los costados este y Norte, con presencia de superficies subhorizontales sumergidas a profundidades entre 5 y 30 m, labradas por acción del oleaje sobre un sustrato rocoso. Hacia el Norte de Acandí, estas plataformas se encuentran colonizadas por arrecifes coralinos, cuya estructura está descrita en la discusión. El ecograma 1 (Figura 16) muestra un basamento rocoso duro (línea negra más acentuada) cortado por depresiones correspondientes a posibles valles fluviales antiguos, y con superficies planas más o menos regulares a 10m de profundidad (terracea sumergida). En el centro, un escarpe marca un cambio brusco de profundidades, el cual puede estar asociado a la falla descrita por Martínez (1993). Hacia mar afuera, comienza una cobertura de sedimentos de 10 m de espesor en la planicie marina adyacente.

En el delta del Atrato, el ecograma 2 (Figura 17) muestra la configuración típica de la zona del prodelta, con una superficie progradante limitada por un cambio suave en la pendiente. A la izquierda, la línea negra conspicua marca una superficie de depositación anterior, mientras que a la derecha, zonas de ascenso de gases y lodos (manchas negras) cortan los niveles de sedimentos horizontales a subhorizontales depositados sobre los fondos del Golfo a medida que el delta avanza (diapirismo). Cerca de esta zona, el ecograma 3 (Figura 18) muestra un gran relieve negativo, con una fosa cuyos hombros están entre 4 y 6 m de profundidad, separados por unos 1,5 km y alcanzan 22,5 m de profundidad en su eje central. Hacia el Este, se presenta una planicie de unos 350 m de extensión y posteriormente un cambio fuerte en la pendiente, encontrándose el pie del talud a 23 m de profundidad. A esta depresión se le atribuye un origen antrópico, debido a que la zona presenta frecuentes dragados

artificiales para facilitar el acceso de embarcaciones al río Atrato. Esta misma situación se presenta en la desembocadura del río León, en la esquina Sureste del Golfo

En Bahía Colombia, a 2 km al Norte de la desembocadura del río Suriquí, el ecograma 4 (Figura 19) muestra una geoforma de gran tamaño, que posiblemente corresponde a una antiforma, de cerca de 400 m de extensión con eje en dirección perpendicular a la costa. Una antiforma es un cuerpo geológico de dimensiones mayores (cientos de metros) donde es posible definir dos tendencias de buzamiento opuestas para un mismo estrato (Restrepo, 2006), que se observan claramente en el ecograma. No aflora en el fondo marino, el cual se encuentra a 4 m de profundidad, si no que se encuentra suprayacida por una capa de sedimentos de unos 4 m de espesor. La discontinuidad en ambas capas se podría interpretar como la superficie de trasgresión del aumento del nivel del mar generalizado durante el Holoceno.

Hacia el costado este, en Punta de Las Vacas al Sur de la Espiga de Turbo, el ecograma 5 (Figura 20) muestra una superficie de depositación que se profundiza suavemente hacia el Suroeste. Gases y lodos (manchas negras) ascienden hacia niveles superiores del subfondo a través de espesores de hasta 12 m de sedimentos sobre el fondo marino. De igual manera, en Punta Arenas del Norte, el ecograma 6 (Figura 21) muestra una superficie de pendiente suave que se sumerge hacia el Oeste. Las líneas negras conspicuas corresponden a múltiplos de la señal, indicando que los sedimentos de esta zona son altamente reflectivos (arenas).

En el costado Norte, la Figura 22 muestra un ecograma que fue tomado al frente de la desembocadura del río Damaquiel en el marco del Proyecto EAFIT-COLCIENCIAS Erosión Marina en el Litoral Antioqueño, muestra un relieve positivo asociado a un diapiro (der.), el canal submarino de la desembocadura del río (centro) y la expulsión de burbujas de gas en el bajo adyacente (izq.)

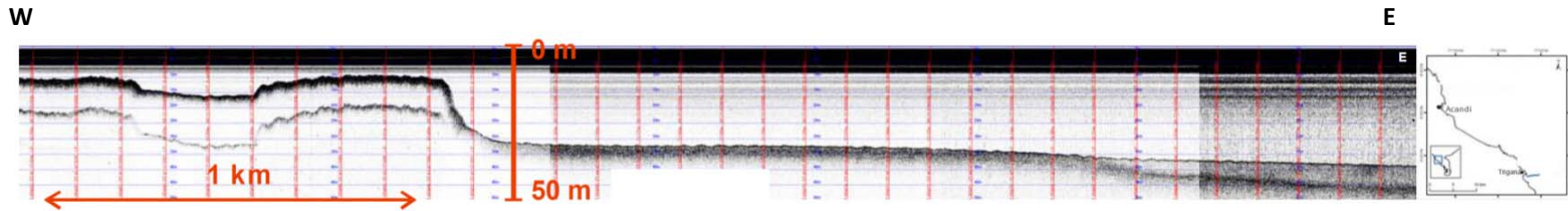


Figura 16. Ecograma 1 - Sector Darién

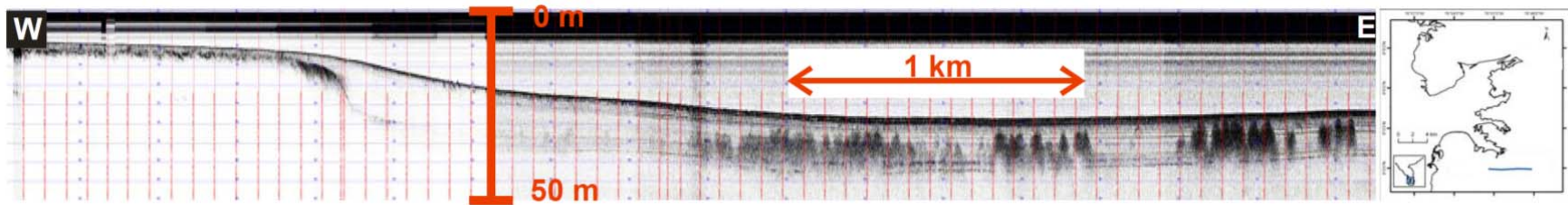


Figura 17. Ecograma 2 - Delta del Río Atrato A

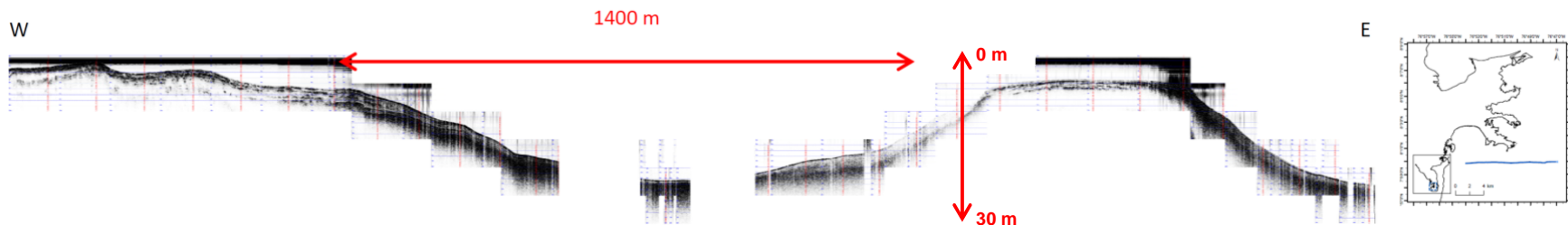


Figura 18. Ecograma 3 - Delta del Río Atrato B

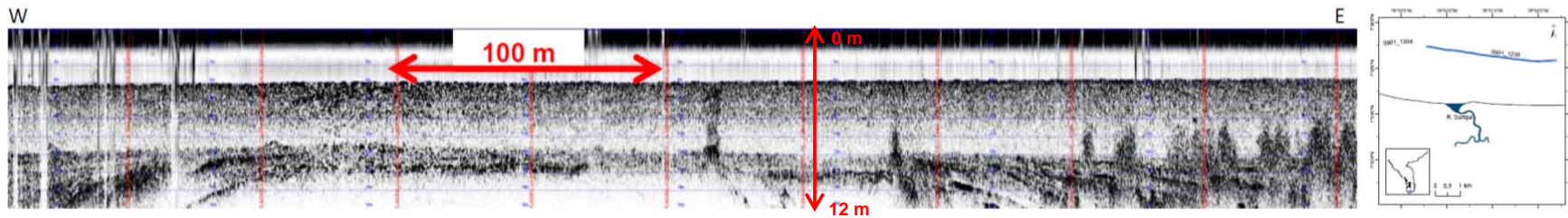


Figura 19. Ecograma 4 - Desembocadura del Río Suriquí



Figura 20. Ecograma 5 - Sector Punta de Las vacas, Turbo

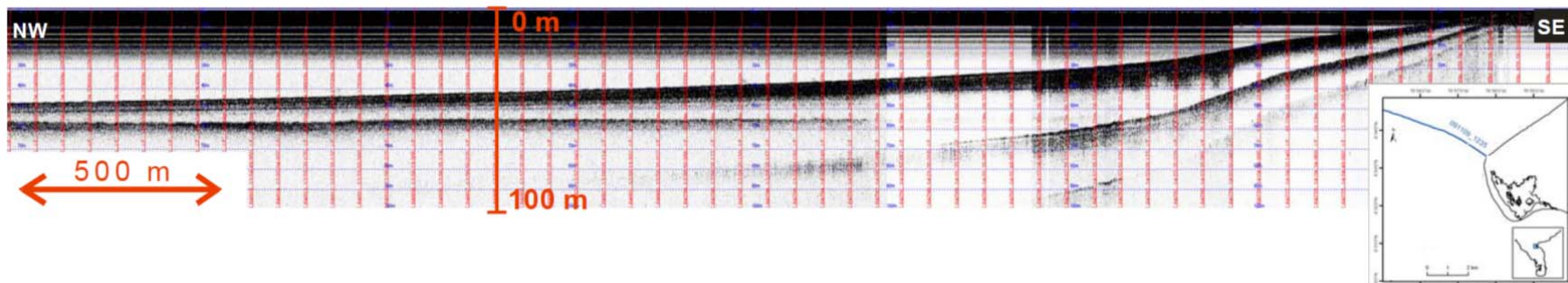


Figura 21. Ecograma 6 - Sector Punta Arenas del Norte

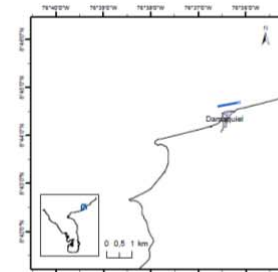
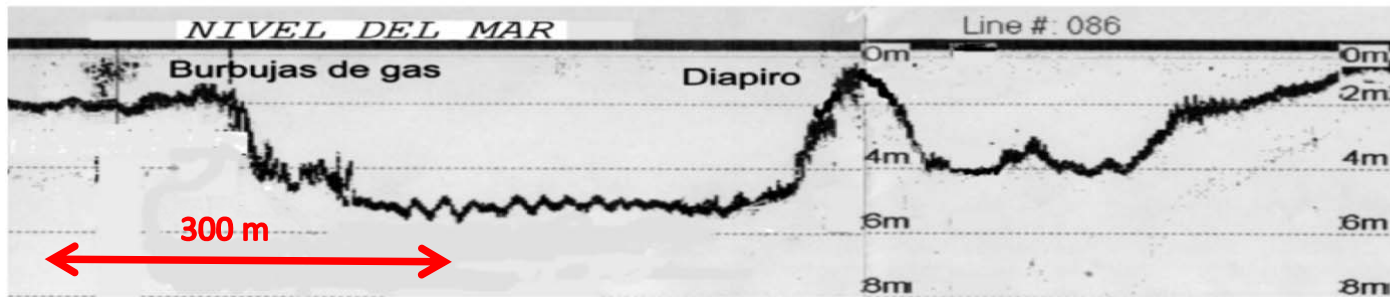


Figura 22. Ecograma 7 - Desembocadura del Río Damaquiel

5 DISCUSIÓN

A partir de la cartografía generada y la cuantificación de las coberturas, se describe a continuación la geomorfología del área de estudio, complementada con la información secundaria recolectada. La distribución espacial de las diferentes geoformas que componen el paisaje de la franja litoral Urabá-Darién se caracterizó en función de la diferenciación entre costas bajas depositacionales y rocosas erosionales. Se realizaron dos caracterizaciones del área de estudio; la primera se basa en la descripción de cada una de las áreas, y en la segunda se contrastan las características principales de cada geoforma entre los diferentes sectores, basándose en su distribución espacial.

5.1 CARACTERIZACIÓN POR SECTORES

5.1.1 Sector 1 - Costa Elevada del Darién

Tramo Limitado al Noroeste por el límite internacional con Panamá y al Sureste por Bahía Ceverá y la llanura deltáica del río Atrato en el sector Tarena (Figura 23). Conformada por estribaciones de la Serranía del Darién, la franja costera tiene una longitud de 99,3 km y una dirección N40°W. Predominan colinas con laderas empinadas (alt. max 350 msnm), conformadas por una intercalación de derrames de lava, aglomerados, tobas estratificadas y rocas sedimentarias del Terciario.

El carácter rocoso de la zona costera ha permitido la formación de un borde dentado donde alternan cabos o salientes con angostas bahías, donde se han desarrollado atractivas playas en forma de bolsillo. En algunos casos, el diseño de estas se encuentra íntimamente relacionado con la formación de tómbolos entre la zona montañosa y remanentes erosionales (p.e. Pinorroa, Goleta y Triganá). En dirección a la costa se desarrollan, en la mayoría de los casos, acantilados considerablemente inclinados, seguidos por una terraza de abrasión con una elevación de aproximadamente 1 m por

encima del nivel del mar actual, labrada sobre depósitos arrecifales hacia el Norte y rocas terciarias hacia el Sur. En la zona sumergida se presentan relictos de plataformas con escarpes a diversas profundidades. Estas terrazas constituyen un importante vestigio del comportamiento del nivel relativo del mar durante el Cuaternario, aunque no hay información suficiente para inferir si se deben a cambios eustáticos o a levantamientos tectónicos, o una combinación de ambos procesos (Martínez, 1993).

Se presentan también remanentes erosionales como arcos, bloques caídos, cavernas y pináculos, que evidencian una costa donde han predominado los procesos erosivos. La presencia y magnitud de estos rasgos depende principalmente del grado de energía del oleaje y de la naturaleza y disposición estructural de las rocas. La gran cantidad de bloques caídos originados por procesos tectónicos y erosivos son parte de la fuente de los sedimentos que componen las playas de la región, adicional a los aportes biogénicos (corales y moluscos principalmente) y fluviales (Martínez, 1993; Velásquez, 2000).

Los cursos de agua que por lo general disectan las colinas, son de longitud corta y empinada con un patrón de drenaje subdendrítico. Los valles aluviales se caracterizan por estar encajados entre dos salientes y se configuran como zonas deprimidas cubiertas por depósitos sedimentarios. Los valles más importantes se presentan en Acandí y el sector de Playona, la cual presenta una zona de cordones litorales que evidencian procesos marinos como factores de formación de la zona Occidental (Martínez, 1993; Velásquez, 2000).

En su condición de puente terrestre entre Norte y Suramérica, la zona del Darién es rica en especies de plantas y animales y en especies endémicas y en vía de extinción. Los bosques lluviosos presentan una estructura única en muchos sentidos. La vegetación predominante es de tipo selvático con varios estratos arbóreos. Conformando un dosel discontinuo en el estrato superior, se encuentran individuos de Ceibas (*Cavanillesia platanifolia* y *Bombacopsis quinata*), ocasionalmente asociadas con Caracolí (*Anacardium excelsum*), Guáimaro (*Brosimum* sp.) y Caucho (*Castilla tunu*). En el estrato arbóreo

inferior las especies dominantes son *Protium veneralense*, *Astronium graveolens*, *Faramea occidentalis*, *Astrocaryum standleyanum* y *Quararibea asterolepis*. En el estrato arbustivo las especies más frecuentes son *Trichilia goudotiana* y *Ouratea lucens*. En el estrato herbáceo, además de las plántulas de las especies arbóreas dominantes, figuran *Asplundia* sp., *Philodendron* sp. y *Costus guianensis* (Pinto-Escobar, 1993).

5.1.2 Sector 2 - Llanura Deltáica del Atrato

Formada a partir de los aportes sedimentarios del río Atrato, el cual desemboca en la zona Suroeste del Golfo de Urabá. Limita al Noroeste con la Serranía del Darién y al Sureste con el ahora abandonado Caño Arrastradero (Figura 24). Posee una forma digitada, determinada por la predominancia de procesos fluviales y altos aportes sedimentarios por parte del río Atrato, uno de los más caudalosos del mundo. Este sector cubre una extensión de más de 16.000 ha y 246,48 km de contorno costero dentro de la zona de estudio. Está constituida por una planicie aluvial de sedimentos lodo-arenosos depositados a lo largo de los últimos 5000 años (Nieto, 2004), la cual es surcada por múltiples canales distributarios separados de la planicie aluvial por diques naturales conformados por sedimentos aluviales depositados durante las épocas de inundación.

El frente deltáico está bordeado por un cinturón de 250 m a 2 km de ancho de pantanos intermareales colonizados por manglares (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*). En la parte posterior de este cinturón aparecen pantanos dominados por helechales (*Acrostichum aureum*) y panganales (*Raphia taedigera*), y ciénagas cubiertas por vegetación flotante (*Eichornia azurea*, *Pistia stratiotes* y *Limnocharis flava*) (Sánchez-Valencia, 1998; CORPOURABA y FONADE, 2003; Díaz, 2007). En los bordes externos de los lóbulos deltáicos se presentan algunas geformas cuyos procesos generadores han sido fluviomarinos o esencialmente marinos, como playas y zonas de cordones litorales (Velásquez y Rave, 1996).

Alrededor del 39% de su área corresponde a terrenos de conservación y mantenimiento, no intervenidos debido al difícil acceso o a protección legal ambiental. Un 27% se encuentra dedicado a actividades como caza, pesca y extracción de especies silvestres. El 34% restante está dividido entre los sectores agroforestal y agrícola de subsistencia, agropecuario extensivo e intensivo, extractivo forestal y agrícola comercial. De ello, cerca de 275.000 ha en toda el área del Bajo Atrato en general, están dedicadas específicamente a la industria maderera extractiva (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE y IGAC, 2000 en Nieto, 2004).

5.1.3 Sector 3 - Planicie Fluvio-Marina Sureste del Golfo

Este sector tiene una extensión de 100 km de contorno costero y cubre un área de casi 11.000 ha. Se puede subdividir en dos zonas: la Zona Sur, localmente conocida como “La Culata del Golfo”, que va desde el Caño Arrastradero en el Oeste hasta el río León en el Este; y la Zona Este que va desde el río León en el Sur hasta el río Cope en el Norte (Figura 25).

La zona Sur está constituida por las planicies inundables de los ríos Suriquí y León. Se caracteriza por un alto nivel freático, lo que determina que la vegetación del área está dominada por Panganales (*Raphia taedigera*) y Arracachales (*Montrichardia arborescens*) en asociación con especies de común ocurrencia en la zona como el Yarumo (*Cecropia* sp.) y el Cativo (*Prioria copaifera*), y un pequeño parche de manglar en la desembocadura del río Suriquí en Bahía Colombia (CORPOURABA y DAMA, 2008b). Se presenta una playa larga pero angosta de 12,8 km entre las desembocaduras de los ríos León y Suriquí. Allí, Velásquez y Rave (1996) describen la formación de un “Dique Natural Marino” a partir de la gran cantidad de troncos que son transportados por el oleaje y depositados en la cara de la playa. En la zona submareal se forman barras y surcos longitudinales, provocados por la variabilidad estacional de procesos climáticos y oceanográficos.

La zona Este tiene una dirección predominante N05°E y está conformada por los materiales sedimentarios aportados por los ríos Guadualito, Currulao y Turbo, quienes descargan una gran cantidad de materia orgánica, formando turberas. Los deltas de estos son muy variados, algunos formados por procesos predominantemente fluviales, mientras que otros muestran características marinas (p.e. cordones litorales). Asociados a estos, se presentan varios parches de manglar que totalizan 941 ha. De especial importancia ha sido la formación de espigas por el río Turbo, cuya desembocadura fue desviada en los años 1960s (Aristizábal *et al.*, 1990; Keep, 2000; Correa y Vernet, 2004), impactando negativamente las playas del sector, las cuales se localizan primordialmente en la zona externa de estas espigas. Los cordones visibles en las fotografías aéreas son testigos de los procesos de su formación.

Entre la Bahía de Turbo y la desembocadura del río Guadualito, se observan acantilados marinos de menos de 0,5 m de altura esculpidos en el material aluvial que conforma esta zona, el cual es fácilmente deleznable por la acción del oleaje, el cual en esta zona incide en ángulo Noroeste-Sureste, provocando fuertes corrientes de deriva litoral Norte-Sur. Esta zona ha sido extensivamente alterada en las últimas décadas debido al auge de las plantaciones de banano (*Musa paradisiaca*) y plátano (*Musa velutina*) que caracterizan la zona del Urabá Antioqueño, así como un aumento en la actividad ganadera en los últimos años.

5.1.4 Sector 4 - Terraza Emergida Este del Golfo

Es el territorio comprendido entre el río Cope al Sur y el río Necoclí al Norte, tiene una dirección predominante N10°W y cubre 40 km de contorno costero (Figura 26). Este sector se caracteriza por estar conformado por una terraza emergida con acantilados de entre 1 y 2,5 m de altura por encima del nivel actual del mar, la cual cubre más de 3.700 ha. Labrada en rocas arcillolitas y lodolitas plegadas y fracturadas, es altamente susceptible a procesos de meteorización y erosión. Los límites hacia tierra de la terraza

con las colinas terciarias, que en algunas zonas pueden estar a 6 km de distancia, son escarpes de paleoacantilados con rasgos fósiles de línea de costa en sus bases, incluyendo peñascos aislados y barras de playa, que evidencian un levantamiento costero durante el Holoceno (Raasveldt y Tomic, 1958; Page, 1986; Robertson y Martínez, 1999 en Correa y Vernet, 2004). Los patrones de los drenajes de los cursos de agua de la zona tienen una tendencia a ser paralelos, evidenciando la naturaleza sedimentaria de las rocas de la formación Sinú (Franco y Gómez, 1996). En este sector desembocan 3 ríos de considerable magnitud: Caimán Nuevo, Caimán Viejo y Bobal, que cortan la terraza emergida sedimentaria. Los parches de manglar de la zona se asocian a estas desembocaduras, donde además se presentan zonas de cordones litorales hacia el Sur, evidenciando su evolución. Al igual que la zona 3, este sector muestra un alto grado de alteración en las condiciones naturales debido a la gran extensión de potreros y cultivos, que en su mayoría son de banano y plátano.

5.1.5 Sector 5 - Planicie Fluvio-Marina Noreste del Golfo

Entre las desembocadura del río Necoclí y el río Iguana (Figura 27), la franja litoral corresponde a una extensa planicie arenosa, conformada por terrenos bajos inundables, pantanos y ciénagas (Correa y Vernet, 2004). A partir de la desembocadura del río Necoclí y hasta la Ensenada de Rionegro, la franja litoral sin accidentes pronunciados tiene una dirección general N65°W y está bordeada por playas en una extensión de 12 km. Hacia el Oeste se presenta la Ensenada de Rionegro, un cuerpo de agua con una profundidad promedio de 8 m y un área de 300 ha. Esta laguna costera está delimitada por dos espigas; la más exterior con una longitud de 3,4 km tiene una dirección S12°E por efecto de la refracción del oleaje en Punta Arenas del Norte; una segunda espiga mide 1,8 km con dirección N73°E. La Ensenada de Rionegro se caracteriza por estar cubierta por 363,5 ha de manglares (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*), los que han sido muy intervenidos por la acción del hombre en los últimos años (UNAL y CORPOURABA, 1998; CORPOURABA y DAMA, 2008a).

Hacia el Suroeste y el Este de Punta Caribaná, se presentan 3341 ha de terrenos bajos inundables con presencia de numerosos cordones de playa de diferentes orientaciones que varían entre N52°W y N88°E, lo que evidencia una morfogénesis bastante compleja para esta zona. Uno de los factores de importancia en este aspecto es la Serranía del Águila y el complejo de ciénagas Marimonda y El Salado como eje de levantamiento y continuación de la falla Atrato. Se cree que este complejo, que drena en dirección Norte, es un relicto de una gran laguna (El Águila), la cual pudo haberse desaguado por efectos de levantamiento (Raasveldt y Tomic, 1958; Page, 1986 en Aristizábal *et al.*, 1990).

Hacia el Noreste, entre Punta Caribaná y el río Iguana se presenta la planicie aluvial del río Mulatos, la cual abarca una extensión de casi 3000 ha dentro de la zona de estudio. El contorno costero es recto con una dirección general N82°E. En las zonas externas de las espigas que conforman la Ensenada de Rionegro y hacia el Noreste, se forman playas anchas de hasta 155 m de ancho y 25 km de largo, limitadas por dunas longitudinales estables y colonizadas por vegetación (p.e. Playa Bobal y Playa La Cabaña) (Page, 1983; UNAL y CORPOURABA, 1998).

5.1.6 Sector 6 - Terraza Emergida Zona Norte

A partir de la desembocadura del río Iguana hacia el Noreste (Figura 28), comienza un rasgo característico de una parte importante del Caribe colombiano, caracterizado por el levantamiento y deformación del terreno, debido principalmente a efectos del diapirismo de lodos. Es por esto, que el rasgo geomorfológico más común en este sector, al igual que en el sector 4, es una terraza marina de altura variable (20 cm – 36 m), donde predominan acantilados de litología de grano fino (lodolitas con intercalaciones de areniscas de grano fino) muy fracturadas y alteradas químicamente. De la misma manera que el sector cuatro, la franja litoral de este sector está limitada tierra adentro por una conspicua línea de paleoacantilados. Vista en planta, este tramo tiene una configuración “en sierra”, dada por la sucesión de amplias bahías afectadas por procesos erosivos, separadas por puntas

de mayor resistencia a la erosión (Puntas Arboletes, San Juan, Sabanilla y Gigantón). El nivel basal se encuentra por lo general suprayacido disconformemente por un nivel de 1 a 3 m de espesor de suelos o lodos pardos no consolidados, fácilmente meteorizable por procesos subaéreos. Tiene varias depresiones superficiales menores que corresponden a humedales y cuerpos artificiales de agua. Las playas de este tramo son acumulaciones delgadas de arena sobre la plataforma de abrasión; en muchos sectores esta acumulación desaparece durante los periodos de estiaje (Holguín, 1996; Correa y Vernet, 2004).

La dirección de la costa se torna N80°E entre el corregimiento de Zapata y Punta Gigantón. El nivel de la terraza marina, que en Zapata tiene una altura aproximada de 6 m, aumenta hasta alcanzar 15 m en las Puntas Sabanilla y Gigantón. Entre estas salientes se encaja una playa de tipo parabólico. Al frente de Damaquiel, un diapiro de lodo forma un islote que emerge durante episodios sísmicos. A partir de la Boca del San Juan hasta Punta San Juan, la costa cambia abruptamente de rumbo y toma una dirección N10°E, coincidiendo con un cambio súbito en la altura de la terraza marina asociado a la presencia de una falla que controla la dirección del río. Entre las puntas San Juan y Rey, la costa tiene una dirección general N45°E. La altura de la terraza disminuye de manera regular hasta alcanzar los 0,6 m en Punta Rey, con algunas discontinuidades (p.e. río Hobo y el volcán de lodo de Arboletes) (UNAL y CORPOURABA, 1998).

Todo este sector se ha visto seriamente afectado por la pérdida de terrenos debido a procesos de erosión litoral que predominan sobre los 46,9 km de contorno costero. Se han reportado tasas de erosión de hasta 40 m/año con pérdidas de hasta 4.500 ha de terrenos en Punta Rey, debido a los procesos de erosión histórica naturales (p. e. cambios en el nivel del mar, subsidencia) y antrópicos (p.e. talas extensivas para cultivos y ganadería, extracción de materiales de playa, modificación de cauces fluviales) (Correa y Vernet, 2004; Ménanteau, 2007).

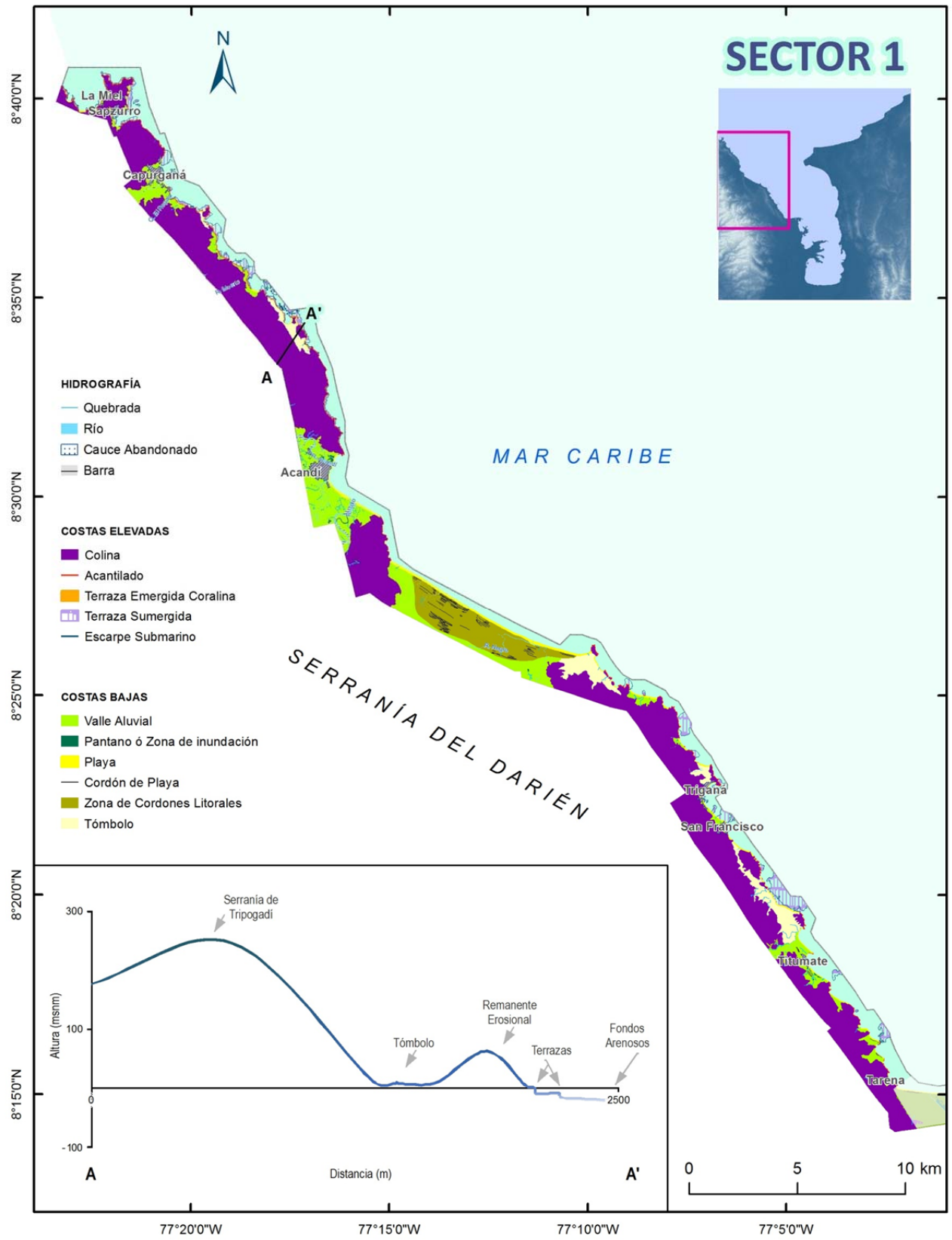


Figura 23. Esquema geomorfológico del Sector 1 – Costa Elevada del Darién

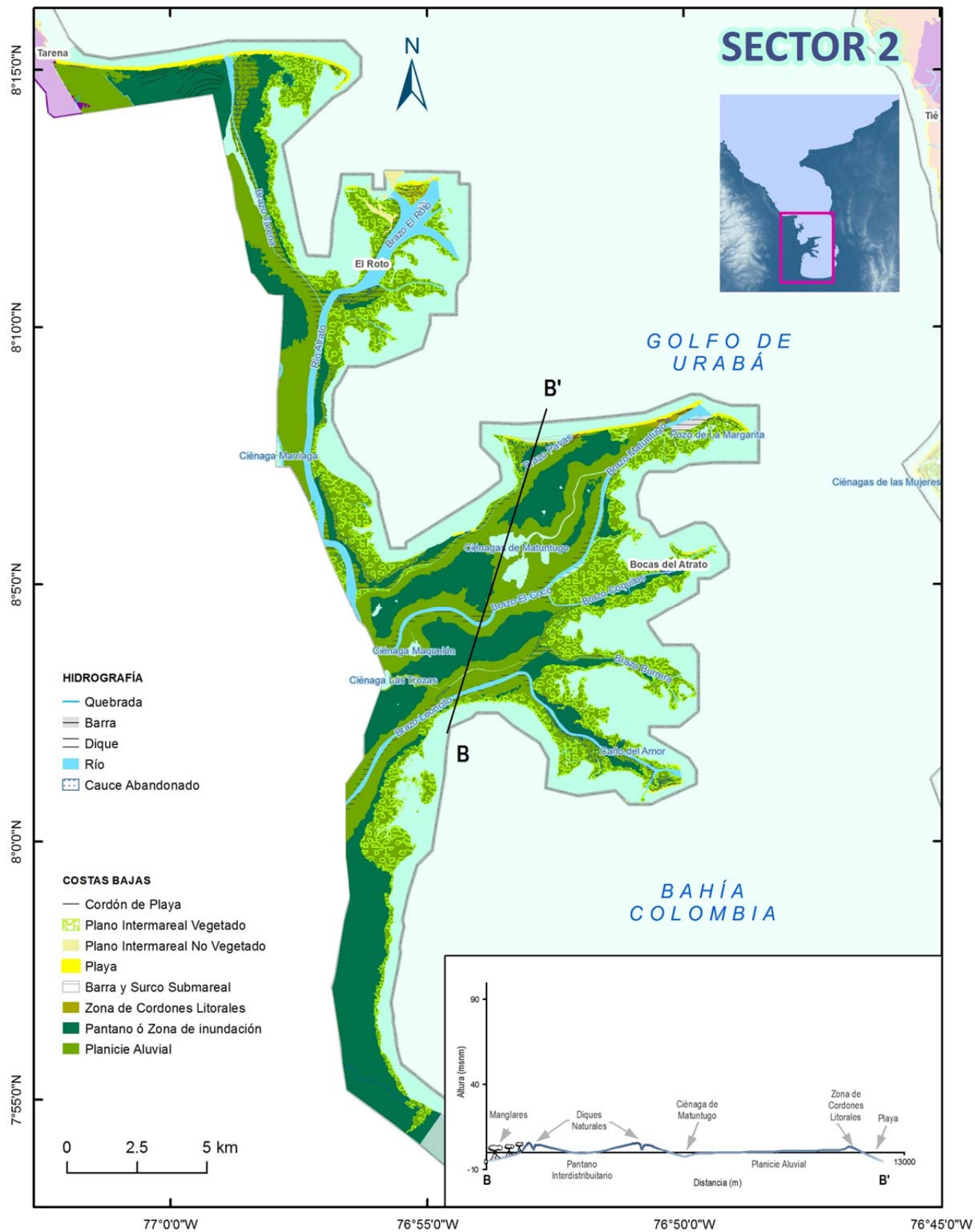


Figura 24. Esquema geomorfológico del Sector 2 – Llanura Deltáica del Atrato.

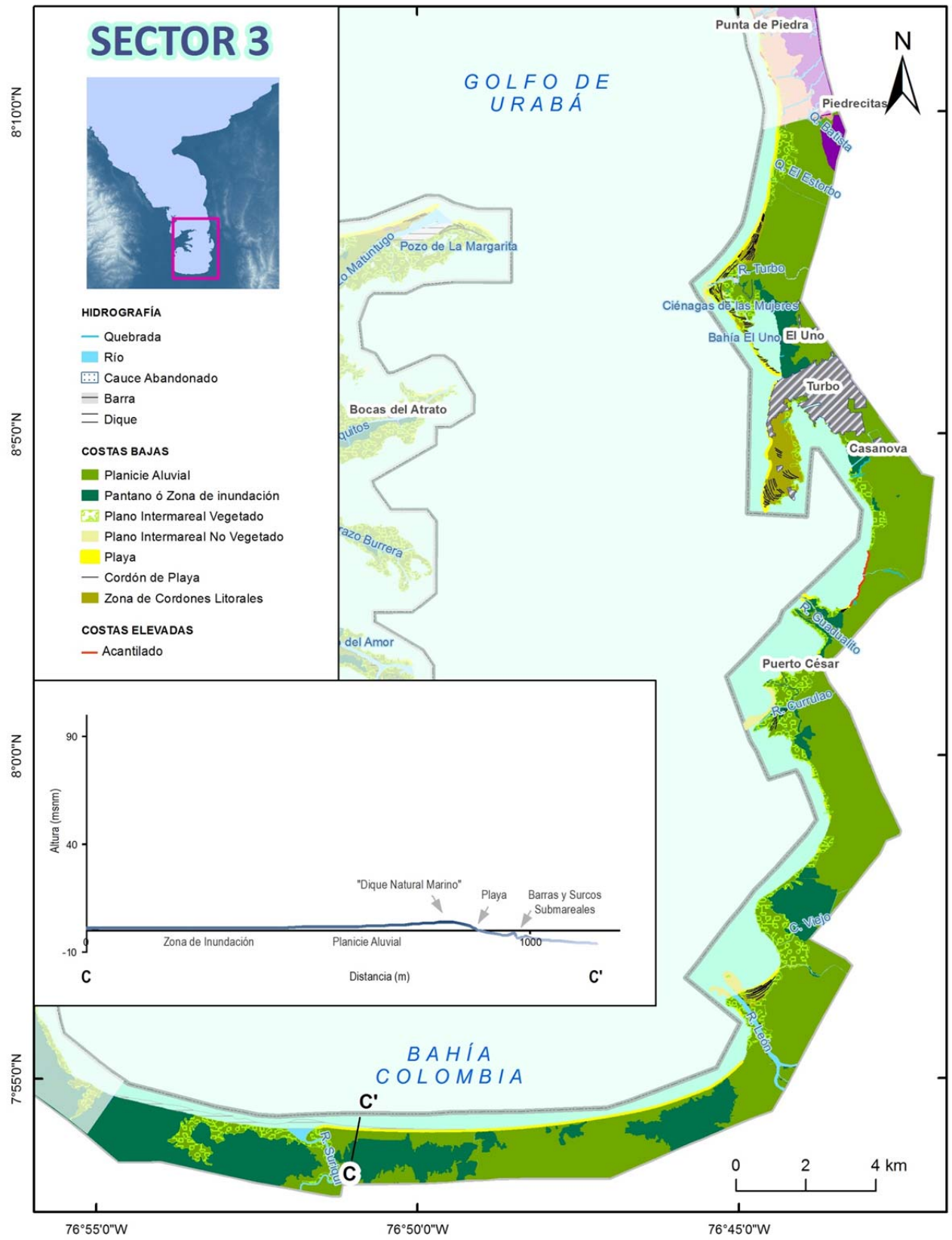


Figura 25. Esquema geomorfológico del Sector 3 – Planicie Fluvio-Marina Sureste del Golfo.

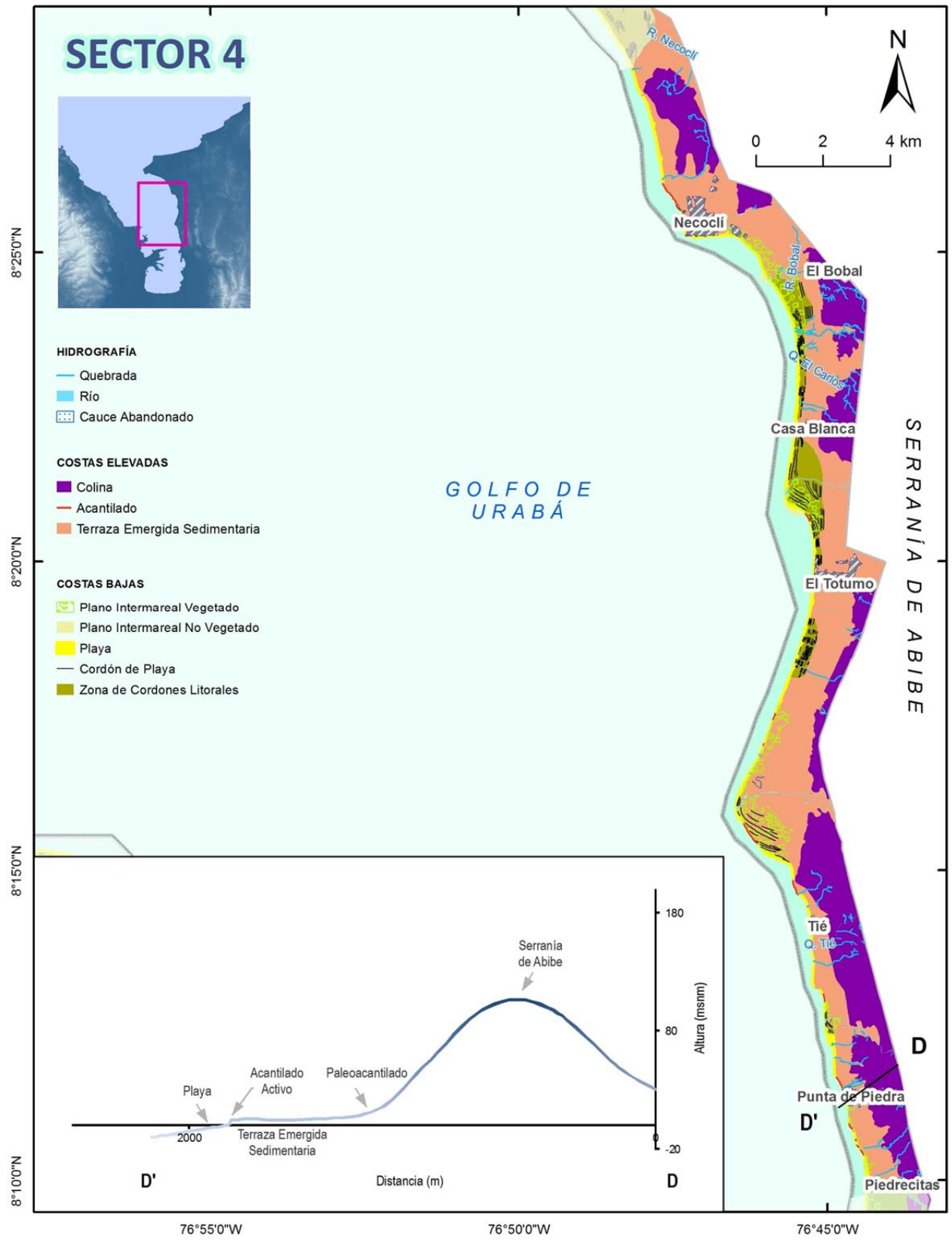


Figura 26. Esquema geomorfológico del Sector 4 – Terraza Emergida Este del Golfo.

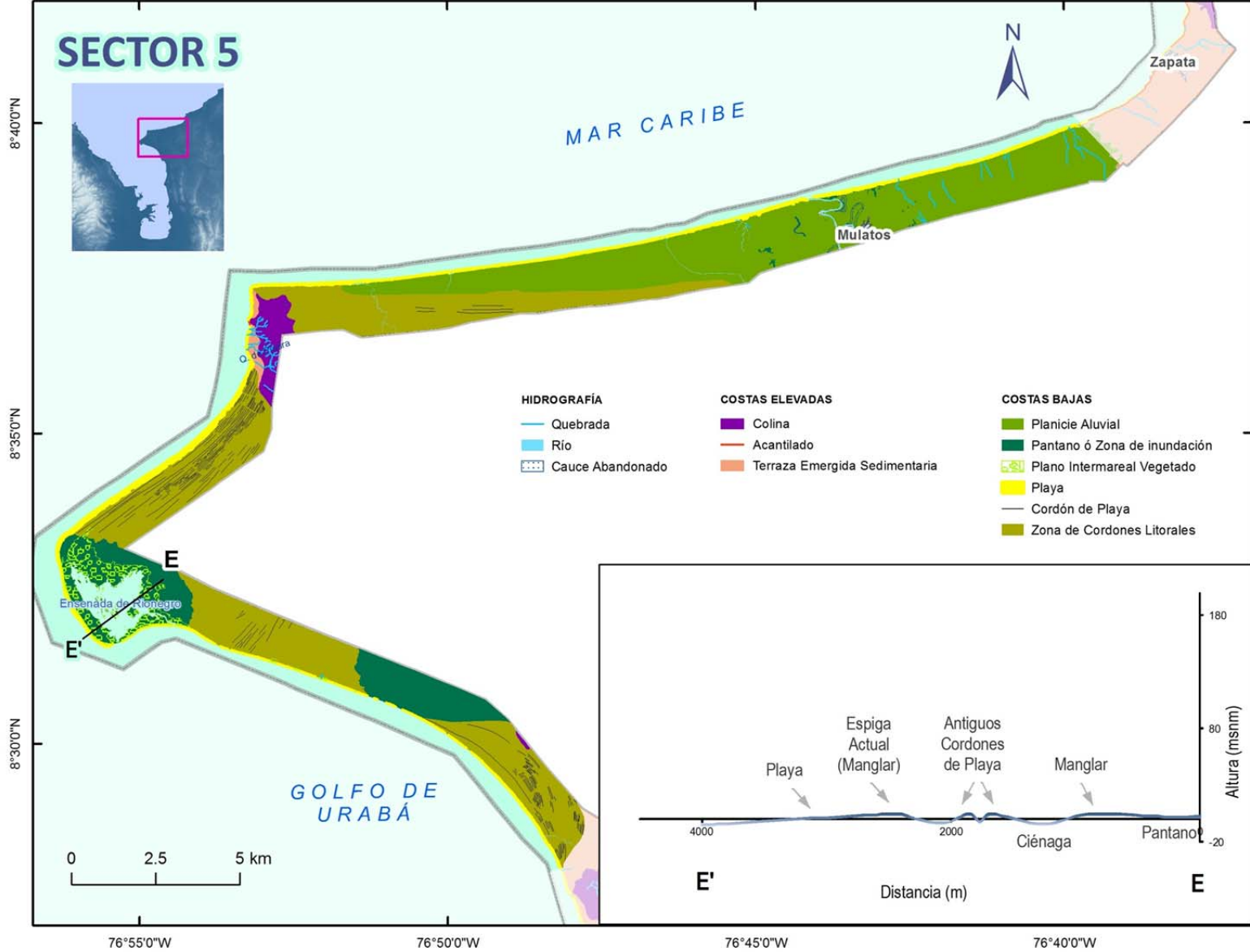


Figura 27. Esquema geomorfológico del Sector 5 – Planicie Fluvio-Marina Noreste del Golfo.

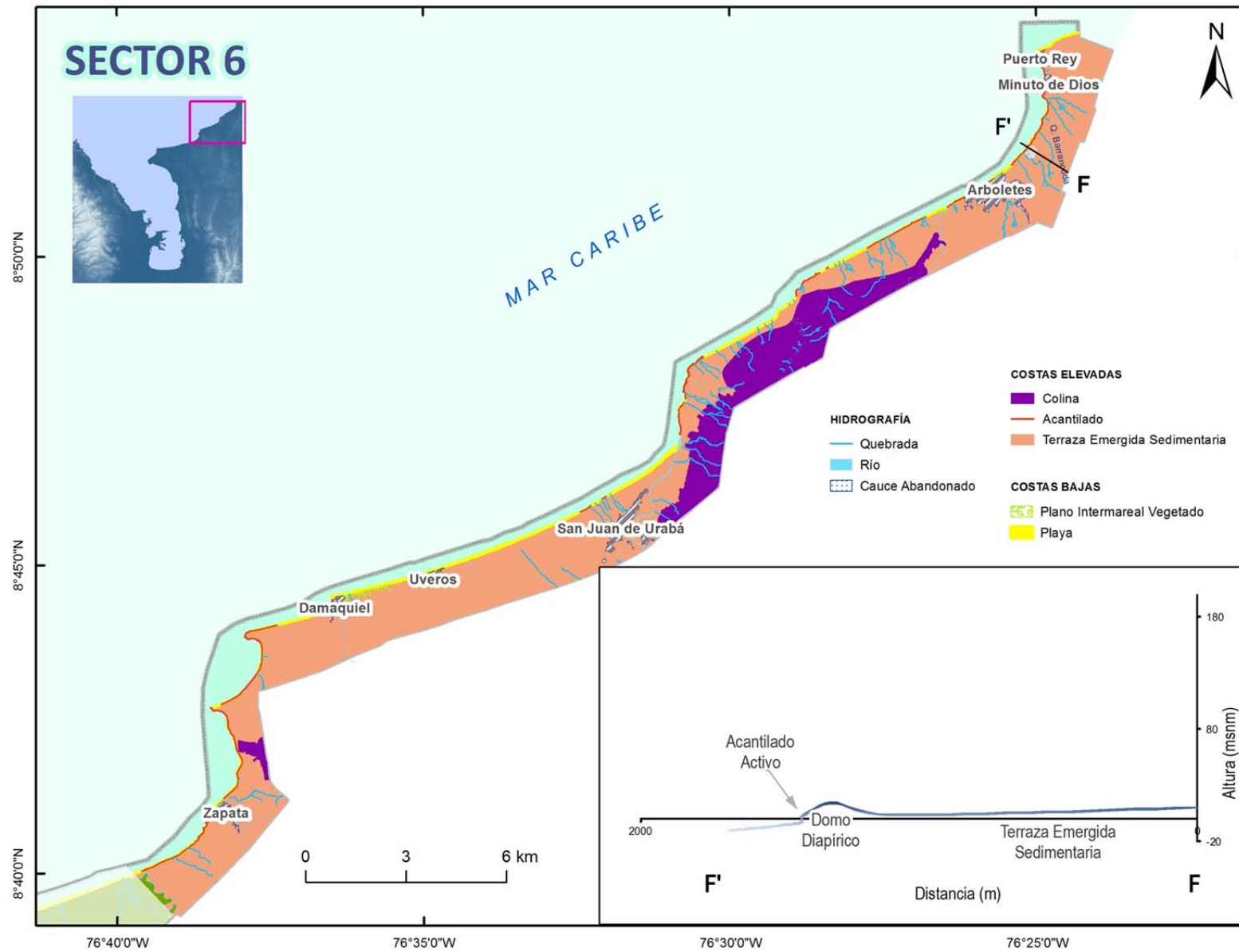


Figura 28. Esquema geomorfológico del Sector 6 – Terraza Emergida Zona Norte

5.2 DESCRIPCIÓN POR GEOFORMAS

5.2.1 Principales geoformas asociadas a costas bajas depositacionales

5.2.1.1 Geoformas de ambientes costeros dominados por procesos fluviales

Las planicies aluviales son la geoforma más representativa en la zona de estudio, cubriendo casi el 40% de toda la zona emergida. Los relieves de las colinas y el tamaño relativamente pequeño de las cuencas de drenaje del sector Darién no ofrecen el espacio ni los sedimentos suficientes para conformar grandes llanuras de inundación, excepto en los valles de Acandí y Playona. Estos cubren un área de 762 ha y 1.447 ha, respectivamente. Por el contrario, las zonas geológicamente deprimidas del Sur y Este del Golfo de Urabá han sido el receptáculo por millones de años de gran cantidad de sedimentos aportados por ríos como el Atrato, León y Turbo, formando la extensa planicie fluvio-marina actual que conforma la zona costera (Correa *et al.*, 2010).

En la zona del Darién, la topografía plana característica del valle aluvial del río Acandí (Figura 29) ha propiciado el avance de una importante colonización humana, que poco a poco se ha ido expandiendo con una tala indiscriminada del bosque natural para sustituirlo por pastizales y cultivos extensivos. Este río y sus afluentes se caracterizan por altos niveles de energía, lo que favorece la acumulación de grava y arenas gruesas a medias. En el caso del valle aluvial de Acandí, las profundidades para el basamento varían entre 25 y 30 m (Álvarez, 2007; Arango y Tobón, 2008) y se presentan dos niveles de terrazas, con alturas relativas entre 4 y 5 m. En el valle del río Tolo medio se presentan dos niveles de terrazas con alturas relativas entre 3 y 5 m (Velásquez, 2000; IGAC y INGEOMINAS, 2005b). En algunas depresiones intramontanas y en la parte superior de pequeñas bahías, varias corrientes fluviales han explayado sus cargas de sedimentos dando origen a pequeños piedemontes aluviales y abanicos aislados de edades recientes a subrecientes (10.000 - 4.000 años) (Velásquez, 2000; IGAC y INGEOMINAS, 2005b).

La llanura deltáica del Atrato tiene una superficie de 22.543 ha dentro de la zona de estudio, y está caracterizada por terrenos anegadizos plagados de pantanos, caños y ciénagas reguladas por el nivel del río. Actualmente, éste se ramifica en cinco distributarios principales: Tarena, El Roto, Matuntugo, Cocogrande, Burrera y Leoncito, cuyos diques aluviales se prolongan hacia el mar y dándole al delta su característica configuración digitiforme. El frente deltáico está bordeado por un cinturón de manglares (*Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*) de 250 a 2.000 m de ancho. Detrás de este cinturón se observan pantanos dominados por helechales (*Acrostichum aureum*) y panganales (*Raphia taedigera*), y humedales cubiertos por vegetación flotante (*Eichornia azurea*, *Pistia stratiotes* y *Limnocharis flava*) (CORPOURABA y FONADE, 2003; Díaz, 2007).

En la zona de la culata del Golfo, la llanura aluvial inundable y costera Suriquí-León está dominada por los depósitos aluviales de estos ríos y se caracteriza por grandes extensiones de terrenos cenagosos y humedales colonizados por manglares en la zona más externa, y panganales y arracachales en las zonas internas (CORPOURABA y FONADE, 2003; INVEMAR y CORPOURABA, 2003), cubriendo un área de 9.934 ha dentro del área de estudio.

El delta del río Suriquí muestra un arreglo en forma de trompeta bordeada por una franja de manglar de hasta 600 m de ancho, con la presencia de múltiples barras sumergidas someras en la parte distal, denotando un ambiente controlado principalmente por efectos mareales. Por otro lado, el delta del río León muestra una forma alargada, controlada por múltiples dragados para posibilitar el paso de las embarcaciones que transportan el banano de exportación hasta Bahía Colombia para ser trasladado allí a los buques cargueros. Esta situación se evidencia en los grandes depósitos submareales visibles en la parte distal del delta. Una zona de cordones litorales al Norte, evidencia una acreción helicoidal del delta y una distribución de los sedimentos por parte del oleaje.

Hacia el Norte la llanura de inundación está conformada por abanicos aluviales actuales y subactuales asociados a los ríos procedentes de la serranía de Abibe (principalmente Guadualito, Currulao y Turbo). Estos ríos explayan sus aluviones a lo

largo de unas 11.000 ha y dan lugar a un extenso piedemonte suavemente inclinado hacia el Oeste, con topografía muy regular y prácticamente sin disección. Esto implica que los abanicos coalescentes son jóvenes y que los ríos que los originaron tienen baja energía y poca capacidad de arrastre de los sedimentos, debido en parte a la escasa elevación de las serranías circundantes. El carácter básico de los aluviones y su granulometría franca, ha transmitido a los suelos características físicas y químicas de alta fertilidad, al punto de que se ha convertido en una de las zonas agrícolas más intensamente explotadas del país (IGAC y INGEOMINAS, 2005b).

Los deltas de los ríos Currulao y Guadualito se encuentran fusionados formando en conjunto un arreglo entre lobulado y elongado. Al Norte, el delta del río Turbo es de tipo digitado irregular, con el desarrollo de una espiga que se prolonga hacia el Sur por 3 km y se deflecta hacia el Oriente en su parte distal (Punta Yarumal). Esta encierra el sistema de Ciénagas de Las Mujeres al Norte y la Bahía El Uno al Sureste (Aristizábal *et al.*, 1990; Velásquez y Rave, 1996). Presenta evidentes meandros abandonados hacia el Sur. El origen de este delta data de 1958, debido al desvío artificial de su desembocadura, ubicada originalmente en el extremo Norte de la actual Bahía de Turbo, donde se había desarrollado la Espiga de Turbo de edad subreciente (Keep, 2000). El desarrollo de estas espigas se evidencia a través de la presencia de cordones litorales orientados hacia el Sureste.

Hacia Necoclí en el Norte, los mayores ríos que desembocan al Golfo son el Caimán Nuevo y el Caimán Viejo. Estos ríos presentan deltas culpados que se presentan en planta como protuberancias con flancos convexos hacia el mar y desarrollo de espigas menores y cordones litorales hacia el Sur de sus desembocaduras (Aristizábal *et al.*, 1990). El delta del río Caimán Nuevo muestra un meandro abandonado en su parte Norte.

En la franja litoral Caribe antioqueña, la llanura de inundación del río Mulatos cubre 1.285 ha, con múltiples meandros abandonados hacia ambos flancos del cauce actual. Los sedimentos aportados por este río alimentan la playa La Cabaña, la más extensa dentro de la zona de estudio. El río Iguana demarca el cambio entre las zonas bajas al Sur y la plataforma elevada hacia el Norte. Más hacia el Norte, desemboca el río San

Juan, cuyo cauce está controlado estructuralmente por la presencia de una falla (UNAL y CORPOURABA, 1998).

5.2.1.2 Geformas de ambientes costeros dominados por la marea

El desarrollo de los pantanos de manglar es posible sólo en áreas donde las condiciones fisicoquímicas del agua lo permiten y a la vez los oleajes, mareas y corrientes asociadas no tienen las velocidades suficientes para evitar la depositación de lodos y/o remover los depósitos existentes (Vann, 1959; Woodroffe, 1992). En total en la zona de estudio se presentan 6751,85 ha de planos intermareales, de las cuales el 97,3% está colonizado por vegetación hidrófila, predominantemente *Rhizophora mangle* (Figura 30).

Los planos intermareales no vegetados están restringidos a las desembocaduras de los principales ríos de la zona, con un mayor desarrollo en zonas de frecuentes dragados (p.e. ríos Atrato, León y Acandí). También se observan procesos erosivos en las partes altas de estas cuencas, como resultado de la extensa deforestación y cultivo intensivo de banano, que incrementa las tasas de exportación de sedimentos. No en vano, los ríos Turbo, Carepa, Chigorodó, Currulao y León presentan los mayores aportes de sedimentos en el Caribe colombiano, como lo reportan Restrepo & Kjerfve (2000).

Los planos intermareales vegetados presentan un mayor desarrollo en los sectores dos (Delta del Atrato – 71,78%), tres (ríos Suriquí, León, Guadualito, Currulao y Turbo – 14,32%) y cuatro (ríos Caimán Nuevo, Caimán Viejo y Bobal – 7,93%). Aunque el sector cinco ha estado sometido a fuertes alteraciones causadas por incendios y derrames de sustancias químicas en los últimos años, presenta una colonización de 375,53 ha de manglar (5,72%) dentro de la Ensenada de Rionegro (Figura 31). Sobre el litoral del Darién chocono existen hoy unos pequeños relictos de manglar en las Bahías de Sapzurro y Capurganá, y en la desembocadura del río Ciego al Sur de la localidad de San Francisco, pero estas ocurrencias no son cartografiables a la escala utilizada en este estudio.

A lo largo del litoral antioqueño del Mar Caribe (Punta Caribaná - Arboletes), se observan pequeños parches de manglar en las desembocaduras de los ríos Mulatos,

Damaquiel, Zapata, San Juan, Hobo y Arboletes (16,7 ha), relictos de mayores extensiones de bosques, que se han reducido aceleradamente por efectos de tala intensiva y erosión costera (Correa *et al.*, 2010).



Figura 29. Panorámica aérea del Valle de Acandí. Foto: D. Zapata



Figura 30. Colonización de *Rhizophora mangle* en Marrirío. Foto: J. C. Delgado



Figura 31. Panorámica aérea de la Ensenada de Rionegro. Foto: Aeroestudios S.A.

5.2.1.3 Geformas de ambientes costeros dominados por el oleaje

De los 600 km de contorno costero que componen la zona de estudio, un 35,52% (721,75 ha) se encuentra bordeado por playas de material arenoso de diferentes tamaños. En general, las playas del Golfo de Urabá están colonizadas por una

vegetación de árboles litorales xerófilos (adaptadas a medios secos), caracterizados por ser de baja o mediana altura (< 6 m). Las especies más frecuentes son el Uvo de Playa (*Coccoloba uvifera*), la Majagua (*Hibiscus tiliaceus*), el Almendro (*Carapa guianensis*), el Roble (*Tabebuia rosea*) y herbáceas como el Icaco (*Chrisobalanus icaco*) (Sánchez-Valencia, 1998).

Las playas de la zona del Darién se caracterizan por presentarse de manera encajada entre salientes rocosas con litologías más resistentes a la erosión y/o asociadas a ejes de levantamiento. En general, las playas del sector son de moderado tamaño con amplitudes entre los 5 y los 20 m. Como excepción, se presentan dos playas de dimensiones considerables bordeando los valles de Playona (10,42 Km) y, Acandí (4,11 km). Estas playas son de reconocida importancia ecológica, ya que son zonas de vida y sitios de desove de la tortuga Canaá (*Dermochelys coriacea*) y la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*), ambas en peligro de extinción (Velásquez, 2000). Sin embargo, algunas de estas playas han venido experimentando procesos de erosión reciente, como lo demuestran la caída de árboles y la destrucción de algunas edificaciones.

En esta zona se presentan varios tómbolos, formados por la refracción del oleaje ante obstáculos como plataformas sumergidas o remanentes erosionales. Se los puede encontrar en las Puntas Pinololo, Pinorroa, Goleta y Triganá (Figura 32), y entre San Francisco y Titumate, con un área total de 616,02 ha. El más extenso es el de San Francisco-Titumate (5 km) y el más profundo es el de Goleta (1,8 km) entre el antiguo islote y el límite con las colinas. La presencia de varios sistemas de cordones de playa con orientación N 65°W en el sector de La Playona denota un origen de carácter fluvio-marino, adentrándose hasta 2 km hacia el continente.



Figura 32. Vista aérea de La Bahía de Triganá desde el Norte. R: Remanente Erosional. T: Tómbolo. S: Serranía de Tripogadí. Foto: D. Zapata

En la zona del delta del río Atrato, las playas se desarrollan primordialmente en los sectores septentrionales de los lóbulos deltáicos, ya que son atacadas directamente por el oleaje proveniente del Mar Caribe que ayuda a redistribuir los sedimentos. La más importante se presenta en el sector de Tarena, con una extensión de 12 km y un ancho máximo de 80 m, cubriendo un área de 61 ha. Hacia el Oriente, esta playa termina en una espiga que se defleca hacia el Suroeste, llamada Punta Yerbasal. Varios cordones litorales evidencian su progradación. Sin embargo, a causa de la disminución de aportes por la avulsión de la Boca Tarena y por procesos de subsidencia asociada a compactación de sedimentos, estas playas vienen experimentando un retroceso en los últimos años, lo que se evidencia por la línea frontal de árboles muertos en el borde trasero de la playa (Figura 33). Hacia el costado Oeste del Brazo Tarena, se presentan sistemas de cordones litorales con diferentes orientaciones entre N 70°W y N 70°E.



Figura 33. Playa Tarena, al W de Punta Yerbasal. Nótese el escarpe en la playa trasera y los múltiples árboles muertos por salinización. Foto: J. Prüssmann

La Boca El Roto, la más activa actualmente, presenta playas y cordones litorales en su borde Norte. Hacia el Sur, entre los brazos Pavas y Matuntugo, se observa otra playa de considerable extensión (6,7 km), también con cordones litorales. En la parte distal de la boca Matuntugo se forma una espiga con presencia de cordones litorales, llamada Punta Margarita. Otras playas de menor extensión se presentan en las partes distales de los lóbulos deltáicos de los brazos Coquitos y Leoncito.

En Bahía Colombia, se encuentra una playa extensa de 12,8 km con dirección N83°E, entre el Oeste de la desembocadura del río SURIQUÍ y el río León. Hacia el Oeste de esta desembocadura, la playa es remplazada por varias barras sumergidas. El delta del río León presenta una pequeña playa y una serie de cordones litorales en su costado Este, evidenciando un acrecionamiento helicoidal a causa de los diques artificiales depositados como resultado de los múltiples dragados a los que está sometida esta desembocadura.

Mientras las espigas de Turbo y Punta Yarumal están bordeadas por 10 km de playas en su costado Occidental, en la margen Oriental están ocupadas por manglares, sometidos a una intensa deforestación y relleno para construcción en los últimos años. Como se mencionó anteriormente, la génesis de ambas espigas está asociada al río Turbo, el cual experimentó múltiples desviaciones de origen antrópico durante el siglo pasado. Su génesis ha sido controlada principalmente por: a) el transporte de una fracción importante de los sedimentos traídos por el río Turbo; b) la interrupción del tránsito sedimentario a lo largo de la costa, debido de la formación del delta del río Turbo en su nueva posición; c) la refracción del oleaje en la boca del río Turbo que concentra la energía del oleaje en el sector y genera procesos de erosión que afectan la espiga al Sur de dicha boca.

La nueva espiga (Yarumal) actúa como un espolón, interrumpiendo el transporte litoral del material que viene del Norte. Múltiples cordones litorales son testigos de esta dinámica, la cual ha impactado negativamente las playas de la espiga de Turbo al Sur (Figura 34) (Aristizábal *et al.*, 1990; INVEMAR y CORPOURABA, 2003; Correa y Morton, 2004; Agámez y Arrieta, 2005; Estrada y Gil, 2005). En un sector de tan solo 2 km se

presentan 10 espolones, 12 muros de contención y 18 rompeolas, construidos de manera desorganizada y sin planeación.

Entre Turbo y Necoclí, las playas protegen el pie de los acantilados asociados a la terraza emergida y muestran un mayor desarrollo hacia el Norte de los deltas de los ríos Caimán Nuevo y Caimán Viejo, ya que estos actúan como espolones naturales e interrumpen el transporte de sedimentos hacia el Sur. Los deltas de estos ríos presentan numerosos cordones litorales, denotando progradación.



Figura 34. Playas del Municipio de Turbo, seriamente afectadas por erosión costera. Fotos: Estudiantes 7º cohorte EZC.

A principios de la década del 2000, se construyó un rompeolas de 243 m de largo al Norte de la localidad de Punta de Piedra, el cual logró coleccionar arena en un área de casi 9 ha, recubriéndolo por completo hasta el punto de que no es visible en las imágenes aéreas actuales. Esto conllevó a la aceleración del proceso erosivo que venía sufriendo esta localidad. En la actualidad, las mayores concentraciones de infraestructuras de protección costera dentro de esta zona se encuentra entre la desembocadura del río Bobal y Necoclí con 26 espolones.

El sector cinco está casi en su totalidad bordeado por playas. Es precisamente en esta zona donde se presentan las playas de mayor extensión y cobertura de área. Al Norte de Necoclí, desde Caña Flechal hasta la Ensenada de Rionegro, se encuentran las playas del Palmar, con una longitud de 10 km, una dirección predominante N55°W, y una pendiente media de 6° (UNAL y CORPOURABA, 1998). En esta zona se han construido 23 espolones como medida de protección costera.

La ensenada de Rionegro ha sido formada por dos espigas. La más exterior tiene una extensión de 2,5 km y dirección Sureste, formada por efecto de la refracción del oleaje en punta Arenas del Norte. La más interior es más corta (1,5 km), y tiene dirección Noreste, donde la sedimentación se mantiene activa. Las dos espigas tienen playas de amplitud variable de hasta 100 m y pendientes medias de 10° (UNAL y CORPOURABA, 1998; INVEMAR y CORPOURABA, 2003).

A partir de Punta Arenas hacia el Noreste, se forma una amplia playa favorecida por refracción de las olas en Punta Caribaná y el aporte de sedimentos del río Mulatos. Esta playa, conocida como Playa Bobal, presenta una playa trasera muy amplia, hasta 300 m de ancho, con una pendiente media de 10° y está limitada por dunas longitudinales estables y colonizadas por vegetación (Figura 35) (UNAL y CORPOURABA, 1998). La playa entre la Punta Caribaná y la vega aluvial del río Mulatos (Playa de la Cabaña), con una extensión de 12 km y amplitud promedio de 30 m, es la más extensa de toda el área de estudio.

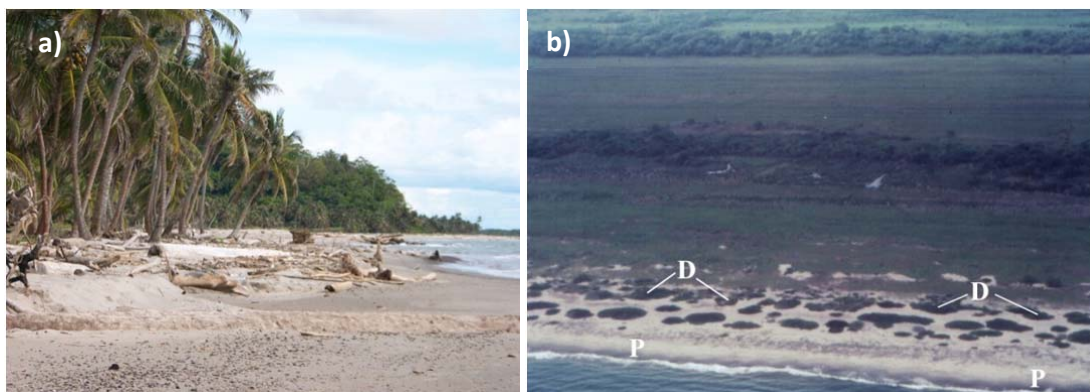


Figura 35. a) Dunas en costado Norte de Punta Caribaná. Foto: J. Prüssmann; b) Playas (P), dunas vegetadas (D) y conjuntos de cordones de playa inmediatamente al Sur de la desembocadura del río Mulatos. Fuente: Correa y Vernet, 2004.

Entre la boca del río Mulatos y el corregimiento de Zapata, las playas son estrechas franjas de acumulación de materiales sobre una plataforma de erosión. Los productos de erosión no alcanzan a ser depositados en la playa sino que permanecen en suspensión y son llevados mar adentro. El proceso de erosión de los escarpes de la terraza marina causa la caída de bloques que se acumulan directamente en el mar. Estos remanentes son testigos del proceso de modificación de la franja costera. Entre Damaquiel y Zapata se presentan playas encajadas de dimensiones reducidas, que se han formado gracias a las condiciones resguardadas que ofrecen los salientes en la configuración de la costa aterrazada. En Zapata existe un frente de playa de 300 m de longitud formado por la construcción de tres espolones (INVEMAR y CORPOURABA, 2003).

Al frente de Damaquiel las playas son delgadas acumulaciones temporales de arena sobre la zona de erosión, que desaparecen en el periodo seco. Varios espolones han sido construidos en Damaquiel y Uveros con el objeto de estimular la sedimentación y la formación de playa. Las playas entre Damaquiel y Arboletes bordean un talud acantilado de una plataforma marina, cuya altura varía entre 0,5 y 36 m. Hasta el río Hobo, las playas son estrechas pero bien definidas y relativamente estables. A partir de este punto y hasta Punta Rey, esta zona del municipio de Arboletes ha sido sometida a intensa erosión, con tasas de hasta 5 m/año, a partir de la desaparición de dicha punta en la década de los 1960's (INVEMAR y CORPOURABA, 2003; Correa y Vernet, 2004).

En todo el sector seis, las mayores concentraciones de infraestructuras de defensa costera hasta el 2009, se presentaban en el sector río Hobo – Punta Rey, con 27 espolones y 10 rompeolas. En el año 2010 se iniciaron las obras del proyecto “PROTECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE LAS PLAYAS EN EL MUNICIPIO DE ARBOLETES – ANTIOQUIA”, que consiste en la formación de tómbolos, mediante la construcción de 5 diques de 100 m de longitud cada uno, a una distancia de 110 m del casco municipal de Arboletes. Las estructuras en su manto principal están compuestas por escollera de 1,15 Ton de peso, un núcleo de ripio de cantera y un manto intermedio de escolleras de 200 kg (Figura 36) (DNP *et al.*, 2010).



Figura 36. Estructuras de protección costera que están siendo construidas en Arboletes. Foto: JPrüssmann – 8 de noviembre de 2010.

5.2.2 Geformas asociadas a costas rocosas erosionales

5.2.2.1 Colinas

Dentro de las geformas asociadas a costas rocosas erosionales, las colinas son las de mayor cobertura y las segundas dentro de toda la zona de estudio (10242,86 ha – 13,5%).

En el Occidente del Golfo de Urabá, las colinas están asociadas a la Serranía del Darién y están constituidas principalmente por aglomerados, basaltos y rocas sedimentarias en algunas localidades. En este sector, las colinas en contacto con el mar presentan acantilados con taludes casi verticales, bloques caídos y hendiduras (*notches*) generadas por la acción del oleaje en las bases. En el sector de Playona, las colinas se encuentran separadas de la línea de costa por depósitos aluviales y marinos (INGEOMINAS, 1998; Posada y Henao, 2008).

Las colinas se presentan formando crestas y colinas ramificadas en basaltos, lavas almohadilladas y rocas piroclásticas hacia el Norte y colinas altas en lavas volcánicas intermedias hacia el Sur. Muestran laderas labradas por drenajes cortos de patrón paralelo a subparalelo, poco incisados y densos (IGAC y INGEOMINAS, 2005b).

Las condiciones de alta humedad y los frecuentes movimientos sísmicos en la zona, son factores decisivos en la frecuencia de fenómenos de remoción en masa (Figura 37), principalmente deslizamientos, golpes de cuchara, desplomes, etc., los cuales

alimentan las acumulaciones coluviales. No obstante, la misma humedad estimula una pronta regeneración de la vegetación en los sitios afectados y por ello, difícilmente se pueden cartografiar rasgos activos de denudación (IGAC y INGEOMINAS, 2005b).



Figura 37. Deslizamiento al Norte de Acandí. Foto: I. D. Correa

El costado Este del Golfo está bordeado por una serie de colinas de 30 a 200 m de altura que se extienden desde Turbo hasta el Norte de Necoclí. Las colinas están conformadas principalmente por materiales limo-arcillosos y en una baja proporción, arenas y conglomerados. Se caracterizan por ser frágiles, poco consolidadas, altamente deleznable y afectadas por fracturas (INGEOMINAS, 1998; Posada y Henao, 2008). Estas formaciones se encuentran asociadas a la Serranía Abibe-Las Palomas y están por lo general separadas del mar por franjas de depósitos aluviales y terrazas levantadas.

El relieve general muestra una morfología de crestas y depresiones paralelas con rumbo Sur-Norte, desarrolladas sobre rocas sedimentarias clásticas de grano grueso (conglomerados y areniscas) y finos (arcillolitas y limolitas) alternando en secuencias que forman barras homoclinales. Su morfología se debe a sucesivos procesos de plegamiento de las rocas sedimentarias y su posterior proceso de denudación parcial.

Además de las llanuras y valles, éste paisaje muestra mayor grado intervención humana por tala del bosque y substitución con pastizales naturales (INGEOMINAS, 1998; IGAC y INGEOMINAS, 2005b).

Se presentan laderas estructurales buzando de 15 a 20° hacia el Este, sujetas a deslizamientos activos, debidos a la alta precipitación y la intensa actividad tectónica de la región (OAS *et al.*, 1978). A esto se suma el efecto producido por las intervenciones antrópicas que han alterado la cobertura vegetal. En la Serranía del Águila, cuya base demarca una antigua línea costera, el contacto inferior de la Formación Floresanto se presenta fallado y pone en contacto las unidades Pavo Inferior y Superior (Figura 38) (IGAC y INGEOMINAS, 2005a, b).



Figura 38. Geología del Cerro del Águila. a) Vista de Punta Caribaná y el Cerro del Águila hacia el Sur. Intercalación de arcillolitas y lodolitas de las Unidades Pavo Inferior y Superior. En la parte inferior del cerro (b), las rocas presentan una orientación N10°E buzando 76°S, mientras que en la parte superior (c) se presentan con orientación N30°E buzando 15°E. Fotos: I. D. Correa, J. Prüssmann.

5.2.2.2 Acantilados y Remanentes Erosionales

Dentro de la zona de estudio, los acantilados se encuentran principalmente en los sectores uno, cuatro y seis, que son aquellas zonas asociadas a costas rocosas erosionales, bien sea a rocas ígneas como en el costado Occidental, como a rocas sedimentarias como en los costados Este y Norte. Esta unidad aflora en aproximadamente el 17% del litoral estudiado.

En el sector del Darién, se extienden 76 km de acantilados (76,54% en este sector). A lo largo de la línea de costa los acantilados están asociados a las plataformas arrecifales elevadas (Velásquez, 2000). La mayor altura con 90 msnm se presenta en Cabo Tiburón (Figura 39).

Esta zona litoral está sometida a un marcado control estructural, donde el sistema de fallas predominante tiene dirección Noroeste–Sureste que probablemente se continúa en la plataforma litoral según evidencias como: a) la alineación de los stacks o islotes paralelos a la costa; b) la existencia de tres niveles de plataformas arrecifales horizontales a subhorizontales sumergidas a diferentes profundidades y con límites abruptos entre ellas, c) la alta fracción de acantilados verticales con diaclasamiento intenso (Figura 40). Es común encontrar a lo largo de este sector evidencias de su retroceso como islotes, arcos y cavernas en las bases de los acantilados (Figura 41).

En el sector tres, al Norte de la desembocadura del río Guadualito, se presenta una zona de escarpes (2,6 km) que no sobrepasan 0,5 m de altura, esculpidos en el material aluvial fácilmente deleznable que conforma la planicie de inundación alledaña. Los restos de árboles de manglar y de otras especies, evidencian la acción erosiva del oleaje en este sector en los últimos años. Más al Sur, entre las desembocaduras de los ríos Currulao y León, se encuentra una zona con la misma dirección que la zona antes descrita y más expuesta al oleaje incidente, pero sin señales de erosión. Lo que las diferencia es la cobertura de manglar, que protege esta última zona del ataque erosivo de las olas.

En el sector cuatro, los acantilados afloran a lo largo del 14% de la franja costera (5,6 km) y las mayores alturas se observan entre Necoclí y Caña Flechal (5 m) y Punta de Piedra y Tié (3 m). En contraste, en el sector seis, los acantilados afloran en el 78% de los casos. Esta diferencia puede deberse a que el sector cuatro se encuentra resguardado del oleaje, mientras que en el costado Norte el oleaje ataca directamente la base de los acantilados y genera la inestabilidad de taludes y movimientos de masa. La presencia de islotes es testigo del retroceso costero (Figura 42a). Los acantilados de ambos sectores corresponden a un frente labrado sobre rocas muy fracturadas y alteradas químicamente. El retroceso de los acantilados se da tanto por el impacto directo del oleaje, como por movimientos de masa (principalmente desplomes, movimientos rotacionales y flujos de lodo, asociados a la escorrentía y percolación de aguas lluvias y residuales - Figura 42b). Dado que las rocas más comunes son de grano muy fino, los productos de la erosión no alcanzan a ser depositados en la playa y permanecen en suspensión hasta mar adentro (UNAL y CORPOURABA, 1998).



Figura 39. Acantilados activos en Cabo Tiburón, labrados en rocas basálticas y sedimentarias, perturbadas tectónicamente. Nótese las inclinaciones diferentes de los estratos en el acantilado, sugiriendo la presencia de una falla geológica. Foto: J. R. Vega.



Figura 40. Vista aérea de Punta Pinololo hacia el Oeste. Las flechas amarillas denotan un intenso diaclasamiento y fracturamiento de las rocas que conforman los acantilados, asociados probablemente a una zona de falla. Foto: D. Zapata.



Figura 41. Evidencias de erosión a largo plazo en la costa del Darién. a) Islotes en Punta Pinololo. b) Cavernas en Punta Tolo. c) Arco en el costado Este del Peñón de Triganá. Fotos: I. D. Correa, J. Prüssmann.

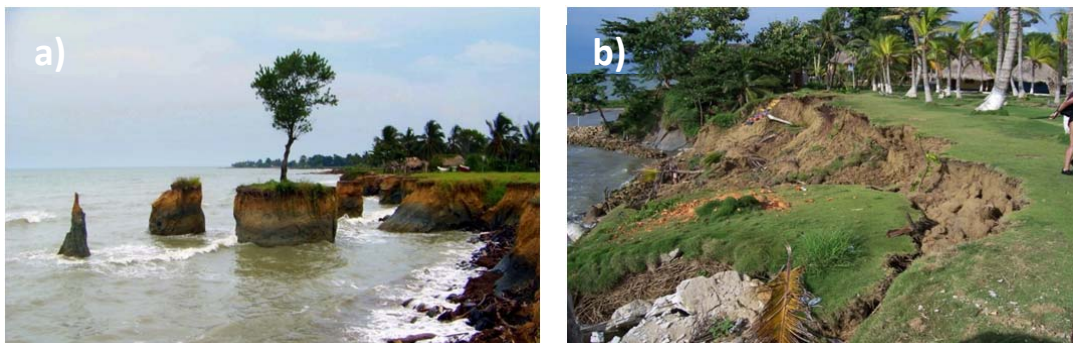


Figura 42. a) Remanentes erosionales al Norte de Arboletes. Foto: J. Prüssmann. b) Movimientos de masa también al Norte de Arboletes. Foto: I. D. Correa

5.2.2.3 Terrazas Emergidas Coralinas y Sedimentarias

- Coralinas:

En la costa Caribe Chocoana, entre Titumate y Triganá, se encuentran plataformas de abrasión elevadas labradas en rocas volcano-sedimentarias, a su vez cubiertas por depósitos aluviales, con una altura que oscilan entre 1 y 2 msnm (1.2 msnm en promedio) (Velásquez, 2000). En el sector entre Cabo Tiburón y Acandí las plataformas de abrasión elevadas son de origen arrecifal, con una altura promedio de 1,1 msnm. Los

nativos de esta costa llaman a esta unidad geomorfológica “longos” y se encuentran a lo largo de toda la franja costera, siendo interrumpidas en las playas de gravas, gravillas o arenas y en los acantilados (Figura 43a) (Martínez, 1993).

Las plataformas arrecifales elevadas conservan la textura de los corales que lo conforman por lo que se pueden distinguir dentro de ellas corales tipo cerebro (*Diploria labyrinthiformis*, *Colcophillia natans* y *Meandrina meandrites*) y estrella (*Siderastrea*s y *Solenastrea*s) y el coral Montaposo (*Montastraea cavernosa*). Las poblaciones de Sapzurro y Capurganá están construidas sobre longos de este tipo. En la parte trasera del área al Sur de las Playas del Cabo Tiburón se observan las plataformas más altas (2,5 msnm) (Velásquez, 2000).

Aunque las plataformas de abrasión arrecifales elevadas son más resistentes que los depósitos aluviales a la acción erosiva del mar, eventualmente ceden ante ella. Es así como a lo largo de todo el sector uno, en los “longos”, se observan indicios de abrasión circular (*Pot Holes*), en su base (al nivel del mar actual), al igual que cuellos (*Notches*), pilares (*Stacks*) y entrantes como arcos, grietas, canales submarinos y hoyos sopladores (Figura 43b)

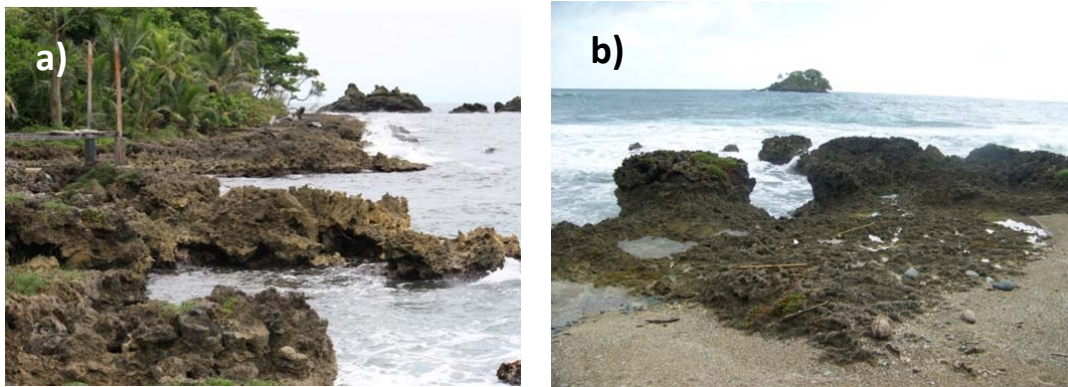


Figura 43. a) Plataforma emergida en la Bahía El Aguacate. Foto: I. D. Correa. b) Acanaladuras de socavación en la base de la plataforma emergida cerca de la Piscina de los Dioses en Capurganá. Foto: J. Prüssmann

- Sedimentarias:

Actualmente se encuentran terrazas emergidas sedimentarias de entre 0,5 y 35 msnm en los sectores de Tié a Caña Flechal y de Punta Caribaná a Arboletes (Figura 44). Entre Arboletes y San Juan de Urabá el perfil costero está definido por un talud vertical de

aspecto acantilado de altura variable, del orden de 15 m. Hacia el interior, el contacto donde la terraza encuentra la zona de colinas, está marcado por un abrupto cambio de pendiente. El tramo más amplio de esta superficie aterrazada se encuentra entre Arboletes y Punta Gigantón con amplitud de 5 km antes de encontrar las colinas.

El tipo de roca que constituye la terraza es variado, con lodolitas friables masivas y en menor proporción areniscas y conglomerados. Las olas en pleamar atacan directamente el escarpe de la terraza, erosionándolo. Los productos de dicha erosión no alcanzan a ser depositados en la playa sino que permanecen en suspensión y son llevados mar adentro. El nivel de la terraza que en Zapata tiene una altura aproximada de 6 m, aumenta hasta alcanzar 15 m en Punta Gigantón. Esta altura se mantiene constante entre Punta Sabanilla y la boca del río Damaquiel y al Occidente de esta disminuye bruscamente casi al nivel de la pleamar (UNAL y CORPOURABA, 1998; Correa y Vernet, 2004).

Entre Damaquiel y Uveros la terraza desaparece y en su lugar se encuentra, en un pequeño trayecto, un manglar. A partir de este sitio, la altura de la terraza aumenta hasta 15 m en la margen izquierda de la boca del río San Juan y alcanzando 36 m en Punta San Juan. Este cambio de altura está asociado a la presencia de una falla que controla la dirección del cauce del río y de un diapiro de lodo al Occidente de la población. Entre la Punta San Juan y la Punta Arboletes la altura de la terraza disminuye, de manera regular, desde 36 m hasta 0,6 m en Punta Arboletes, con una discontinuidad de 5 m aproximadamente en el río Hobo (Figura 45a).

Al Occidente del río Volcán, la erosión marina afecta el escarpe de la terraza con una extensión de 1 km. El proceso de erosión por acción del oleaje en este sector consiste en la socavación de la terraza con destrucción inicial de los estratos más débiles y la formación de cavernas que terminan por provocar el colapso de la masa suprayacente. La pendiente se va suavizando hacia Punta Rey, hasta alcanzar aproximadamente 0,5 m (Figura 45b) (UNAL y CORPOURABA, 1998; INVEMAR y CORPOURABA, 2003).

interrumpidas frente a las desembocaduras de ríos y quebradas. Entre las formaciones coralinas es común encontrar lineamientos submarinos como grietas, cañones, cuevas y cantiles (escarpes verticales a subverticales, límites entre una formación coralina y el fondo marino). Estos lineamientos son la prolongación de lineamientos en la litología emergida, planos de diaclasas, fracturas o fallas, que a su vez obedecen a controles estructurales locales o regionales. A través de estos lineamientos submarinos circulan aguas marinas a lo largo de la zona costera (Velásquez, 2000).

La existencia de arrecifes coralinos en esta costa del Darién, indica una alta y constante influencia de aguas oceánicas, baja influencia de corrientes de aguas dulces, baja incidencia de corrientes de turbidez o materiales finos en suspensión y poca variación de la salinidad y de la temperatura del agua, durante los ciclos anuales actuales y los últimos periodos geológicos (Terciario y Cuaternario). Estas características no se observan en el sector Sur de este litoral, donde sólo se encuentran arrecifes coralinos en Bahía Triganá y Napú.

Los arrecifes son característicos de barrera litoral de poca profundidad, en posición de crecimiento y sin indicios de alteración. Localmente este nivel coralino está cubierto por depósitos coluviales provenientes de las colinas cercanas de la serranía de Darién (Robertson y Martínez, 1999).

La zona supralitoral está dominada por moluscos gasterópodos del género *Littorina* y crustáceos de la familia Grapsidae. Existe algunas especies de algas resistentes a la desecación (*Chaetomorpha*, *Enteromorpha*, *Ulva*, *Ectocarpus*, *Giffordia*, *Sargassum*, *Laurencia*, *Gracilaria* y *Gelidium*) que forman pequeñas praderas, además de un tapete de líquenes del género *Verrucaria*. La zona mesolitoral se caracteriza por un crecimiento considerable de algas cespitosas de los géneros *Hypnea*, *Laurencia*, *Enteromorpha*, *Cladophora* y *Gracilaria*, así como el alga calcárea *Porolithon*. Los organismos típicos de esta zona son los balanos (crustáceos), quitones (*Chiton tuberculatus*, *Acanthopleura granulata*), gasterópodos de las familias Fissurellidae, Thaididae, Trochidae, Neritidae, Siphonariidae, Muricidae y Acmaeidae, especies de isópodos y anfípodos, decápodos herbívoros de la familia Grapsidae y cangrejos terrestres ermitaños, poliquetos y anélidos, principalmente. En la zona infralitoral se

presenta una gran variedad de algas como *Ulva*, *Caulerpa*, *Halimeda*, *Dictyota*, *Sargassum*, *Laurencia*, *Gracilaria*, *Hypnea*, *Jania* y *Gelidium*. Entre los organismos de la fauna se encuentran los moluscos del género *Thais*, esponjas, cnidarios (*Palithoa*, *Millepora*) y peces, entre otros (INVEMAR, 2005).

En el área de estudio sobresale la Plataforma Arrecifal formada entre las Bahías de Rufino, Pinorroa y el Peñón Terrón de Azúcar, así como las formadas frente a las Bahías de Capurganá y Sapzurro y las playas del Cabo Tiburón. Estas Plataformas Arrecifales sumergidas son horizontales o subhorizontales, su amplitud puede variar entre 200 y 800 m, en la mayoría de los casos su tope se ha localizado a 20 pies (7 m) por debajo del nivel del mar, aunque en algunas partes es casi superficial. A través del levantamiento batimétrico con ecosonda se definieron plataformas a 20, 30 y 70 pies de profundidad (7, 15 y 25 m), cuyas bases están constituidas por rocas volcánicas sedimentarias. Los límites entre las plataformas son escarpes abruptos (cantiles), que terminan en contacto con los sedimentos del litoral (Martínez, 1993; Velásquez, 2000).

Las zonas de rompientes frente a estas costas están sobre las crestas arrecifales ubicadas entre 0 y los 10 m de profundidad. Allí crecen especies de corales ramificados como Cuerno de Alce (*Acropora palmata*), Cuerno de Ciervo (*Acropora cervicornis*), y Coral Dedos (*Porites porites*) expuestos a olas de alta intensidad. Estos corales desarrollan estructuras esqueléticas porosas que implican poco gasto de energía para su construcción y permiten su fácil regeneración cuando los fuertes temporales los arrasan. Los hidrocorales son también activos constructores del andamio arrecifal y ocupan predominantemente las crestas de las barreras coralinas expuestas al fuerte oleaje. Entre estos los más comunes son *Millepora alcicornis* y *Millepora complanata*, que tienden a formar estructuras aplanadas o foliares y *Millepora squarrosa* que desarrolla láminas laterales. El coral masivo de poros (*Porites asteroides*) también está entre las especies más comunes de la cresta arrecifal (Díaz *et al.*, 2000; Velásquez, 2000).

Entre los 10 y los 20 m de profundidad se encuentra la mayor diversidad de especies coralinas. Esta zona presenta las mejores condiciones para su desarrollo, ya que allí penetra una gran cantidad de luz y se presenta menor oleaje y sedimentación. En este

lugar crecen corales masivos como *Montastrea cavernosa*. A profundidades mayores de 40 m, es notoria la presencia de colonias de crecimiento laminar, que permiten la formación de cavernas o cuevas (*Agaricia agaricetes*) (Figura 46) (Díaz *et al.*, 2000; Velásquez, 2000).

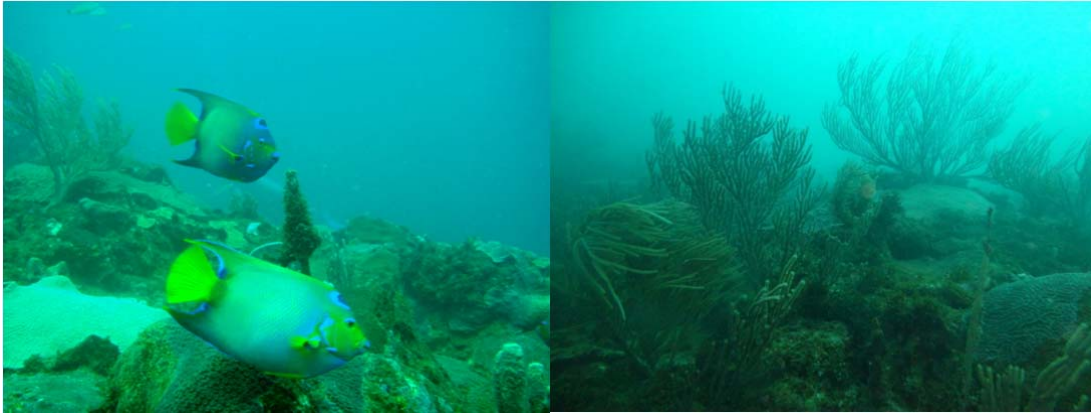


Figura 46. Superficie de la plataforma coralina sumergida al frente de la Bahía de Capurganá suprayacida por arrecifes coralinos y biota acompañante. Fotos: P. Morelo.

En algunas bahías (p.e. Sapzurro) se presentan coberturas de pastos marinos (*Thalassia testudinum*) y arrecifes de parche, donde predominan el coral de estrellitas (*Siderastrea siderea*) y coral de estrellas (*Solenastrea bourmoni*). En la Playa La Caleta de la Bahía de Capurganá se localiza una barrera coralina que se extiende hasta la Isla de Narza, constituyéndose en una zona de rompiente. Esta barrera coralina es en gran parte superficial (0 a 2 m en el lado Occidental del canal) y termina hacia el Oriente (por detrás de la Isla de Narza) en un abrupto talud, que desciende hasta unos 20 m de fondo arenoso (Díaz *et al.*, 2000; Velásquez, 2000).

5.2.2.5 Domo Diapírico

En la franja Turbo-Arboletes son comunes estructuras diapíricas, que se evidencian por la existencia de volcanes de lodo, los cuales están bien desarrollados en Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes. A lo largo de la costa las terrazas marinas recientes están arqueadas y levantadas desde Mulatos (Necoclí) hasta Galerazamba (Bolívar), debido a efectos del diapirismo. Las tasas de levantamiento medias registradas llegan a ser hasta de 15 mm/año (Page 1986 en Vivas & Cano 2006).

A pesar de que existen varias manifestaciones de este fenómeno en el Urabá antioqueño, la gran mayoría se encuentran por fuera del área de estudio, a excepción del volcán de Arboletes (Figura 47 y Figura 48), el cual se localiza en las coordenadas $8^{\circ} 51' 44''$ N y $76^{\circ} 25' 05''$ W. Este volcán tiene una altura aproximada de 15 m por encima de la terraza marina, 22 m por encima del nivel medio de la pleamar y un diámetro de 420 m. La boca principal del volcán ocupa un área de 2611 m^2 . La acción erosiva del mar ha dado lugar a un retroceso de 50 m de la línea de costa en los últimos 20 años (Vivas y Cano, 2006). En este sitio han sido construidos varios espolones, que no han podido detener el proceso erosivo. También alcanza a ser visible un pequeño bajo cerca de Damaquiel correspondiente al diapiro sumergido (Figura 49).



Figura 47. Cráter del volcán de lodo de Arboletes. Foto: J. Prüssmann



Figura 48. Panorámica del Volcán de lodo de Arboletes. La línea amarilla denota los límites de la estructura cómica. C: Cráter – FL: Flujos de lodo – T: Terraza elevada con acantilado. Foto: Aeroestudios S. A.



Figura 49. Vista aérea del diapiro de Damaquiel, conocido localmente como “La Isla Misteriosa”, ya que emerge luego de eventos sísmicos. Foto: R. Morton.

6 CONCLUSIONES

GEOURABÁ es una base de datos espacial geomorfológica de los 600 km del contorno litoral Caribe de los departamentos Antioquia y Chocó. Se constituye como la herramienta más actualizada para una adecuada gestión y manejo de los recursos naturales de la región. La cartografía digital 1:10.000 generada en este estudio, permitió dar una mirada regional de una manera holística, clasificando sus costas en función de los procesos predominantes que les dan forma (Baja Deposicional/Rocosa Erosional), además de cuantificar en cantidad y extensión las geoformas presentes.

El modelo de *ESRI Geodatabase* permitirá en un futuro cercano el acceso a GEOURABÁ por medio de un Geoportal o Visor Geográfico. Se abren también las posibilidades de diseñar y ejecutar planes de monitoreo de mediano-largo plazo con el fin de hacer análisis multitemporales y modelar los posibles cambios ambientales futuros en la zona. GEOURABÁ es un ejercicio y construcción inicial cuyas posibilidades pueden ampliarse y perfeccionarse de muchas maneras, por ejemplo incluyendo en ella gran cantidad de información georreferenciada ya existente sobre su área de cobertura y nuevos elementos como topografías de resolución submétrica (por ejemplo las realizadas con la técnica LIDAR) que permitan evaluar inicialmente los impactos de los ascensos proyectados del nivel del mar.

La información generada en el proyecto contribuirá a la toma de mejores decisiones en el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales de la zona y en la mitigación de efectos relacionados con el cambio climático global. El desarrollo económico de la zona recibirá un insumo básico actualizado sobre aspectos geológicos, geomorfológicos y ambientales del Golfo. Se incrementarán los conocimientos sobre posibles amenazas geológicas y se reunirá información que alimentará futuros modelos predictivos.

En total, el contorno litoral Caribe de los departamentos Antioquia y Chocó está conformado por 600 km de franja costera y un área total emergida de 52.374 ha, de las cuales el 65% está representado por geoformas asociadas a costas bajas y un 35% a costas rocosas erosionales.

Las geoformas asociadas a costas bajas pueden estar dominadas por procesos fluviales en los valles y planicies aluviales, por las mareas en los planos intermareales vegetados y no vegetados y por el oleaje en playas, espigas, tómbolos, dunas y cordones litorales. A las llanuras de inundación se encuentran asociadas otras geoformas como canales, pantanos o zonas de inundación, terrazas aluviales, meandros activos y abandonados, diques naturales y artificiales y deltas. En las zonas asociadas a costas elevadas se encuentran colinas, acantilados, remanentes erosionales como bloques caídos, islotes, cavernas y arcos, terrazas emergidas de carácter tanto coralino como sedimentario, terrazas sumergidas limitadas hacia el mar por escarpes submarinos, y domos diapíricos, un rasgo muy común en el Caribe colombiano. Las llanuras de inundación son las geoformas más representativas del área, con un 58% de cobertura, seguidas por las colinas, con un 20%. Para las geoformas asociadas a costas bajas dominadas por procesos de oleaje, se caracterizaron 215,32 km y 721,75 ha de playas, 5.372,67 ha de zonas de cordones litorales, 28,42 km de dunas y 616,02 ha de tómbolos. Se caracterizaron 6.751,85 ha de planos mareales, de los cuales el 97% se encuentra colonizado por manglar u otro tipo de vegetación como panganales o helechales, sugiriendo altas tasas de reclutamiento y colonización de estos planos por la vegetación. En las costas rocosas erosionales se caracterizaron 10242,86 ha de colinas, 8462,81 ha de terrazas elevadas sedimentarias y 14,51 ha de terrazas elevadas coralinas. En la zona del Darién se presentaron terrazas o plataformas rocosas o coralinas sumergidas a varias profundidades que cubren un área de 598,76 ha. Se presentaron 111,42 km de acantilados y 1980 unidades de islotes o peñascos rocosos.

Los ecogramas de los fondos y subfondos marinos del Golfo de Urabá mostraron mayores pendientes en el costado Occidental que en el costado Oriental. En la zona del Darién se pudieron apreciar varias plataformas sumergidas, cortadas por antiguos canales fluviales. En la zona del delta del Atrato se pueden ver características de un delta en progradación, así como procesos de diapirismo en su base, y al frente, hacia el Sur de Punta de las Vacas. También se pudieron apreciar grandes depósitos de dragados en los deltas de los ríos Atrato y León con desniveles de más de 20 m. Al Norte del río Suriquí se evidenció una antifirma con buzamientos opuestos hacia el

Este y el Oeste, suprayacida por 4m de sedimentos. En el costado Norte se apreció un diapiro sumergido en las cercanías de Damaquiel.

7 RECOMENDACIONES

La iniciativa de GEOURABÁ se constituye como una plataforma para una dinámica integración y consolidación de información espacial proveniente de múltiples disciplinas relacionadas con la morfodinámica costera (p.e. climatología, oceanografía, geología, biología y uso del suelo, entre otros). El acoplamiento de esta información permitirá a tomadores de decisiones y a aquellas personas involucradas con el desarrollo de la región Urabá-Darién, un mejor entendimiento de las complejas interrelaciones que se presentan en el entorno costero. Los usuarios podrán acceder a la información por medio de un Geoportal o Visor Geográfico. Adicionalmente, podría constituirse como un plan de monitoreo a mediano y largo plazo, que permita hacer análisis multitemporales para modelar los cambios que se han presentado en el entorno a diferentes escalas temporales y así afianzar los modelos predictivos, evitando la duplicación de esfuerzos en investigación.

Un siguiente paso para la evolución de esta iniciativa es la georreferenciación y ortorectificación de fotos aéreas antiguas disponibles para la zona. Con estos insumos se pueden generar análisis morfodinámicos, modelar tendencias futuras, además de análisis multitemporales de cambios en la cobertura vegetal y conflictos en el uso del suelo.

Se recomienda realizar levantamientos topográficos de alta resolución de la franja costera, que permitan el desarrollo de modelaciones precisas ante varios escenarios de cambio climático y los posibles efectos relacionados con el aumento generalizado del nivel del mar. De la misma manera, es recomendable realizar estudios que establezcan las tasas de hundimientos y levantamientos costeros, y una cronología precisa de la formación de los depósitos litorales que permita conocer las tendencias morfogénicas y evolutivas pasadas y extrapolarlas al futuro.

Se exhorta a las autoridades competentes a actualizar los estudios de amenaza, riesgo y vulnerabilidad de los litorales ante eventos sísmicos, erupciones explosivas de los diapiros de lodo, inundaciones y eventos meteorológicos de alta energía.

LISTA DE REFERENCIAS

- Acosta, S. 2007. Diseño de la Base de Datos Espaciales. en Correa, I. D., Acosta, S. and Bedoya, O. G. (Ed.). 2007. Análisis de las Causas y Monitoreo de la Erosión Litoral en el Departamento de Córdoba, Convenio de transferencia horizontal de Ciencia y Tecnología No. 30. Corporación Autónoma de los Valles del Sinú y San Jorge -CVS- universidad EAFIT, Departamento de Geología (Área de Ciencias del Mar). Medellín. 128 p.
- Aeroestudios S.A. 2009. Informe Técnico Ortofoto Urabá 2009. Reporte Expedición Estuarina, Golfo de Urabá. Medellín. 371 p.
- Agámez, J. F. y Arrieta, R. M. 2005. Interrelaciones entre Variables Climáticas y Desarrollo Erosivo en las Playas del Área Urbana Municipio de Turbo Antioquia. Tesis Ecólogo de Zonas Costera. Programa Ciencias del Mar, Universidad de Antioquia, Turbo. 92 p.
- Álvarez, A. 2008. Estudio del Transporte de Sedimentos Superficiales en el Piso Marino del Golfo de Urabá. Tesis Magíster en Ingeniería - Recursos Hidráulicos. Posgrado Recursos Hidráulicos - Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Medellín. 100 p.
- Álvarez, A. M. 2007. Prospección Geoeléctrica del Municipio de Acandí Tesis Ingeniería Geológica. Departamento de Geociencias y Medio Ambiente - Facultad de Minas, Universidad Nacional De Colombia - Sede Medellín, Medellín. - p.
- Anfuso, G. y Martínez-del-Pozo, J. A. 2005. Towards Management of Coastal Erosion Problems and Human Structure Impacts Using GIS Tools: Case Study in Ragusa Province, Southern Sicily, Italy. *Environmental Geology* 48(646-659 p.
- Arango, R. E. y Tobón, J. I. 2008. Sondeos Geoeléctricos en los Alrededores del Municipio de Acandí Tesis Ingeniería Geológica. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia - Sede medellín, Medellín. p.
- Ardila, L. y Páez, G. 1987. Estudio Fotogeológico de la Región de Acandí-Balboa. Tesis?, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. ? p.
- Aristizábal, O., Betancur, J. y Vásquez, C. 1990. Erosión y Sedimentación de la Línea de Costa entre Turbo y Necoclí, Golfo de Urabá. Tesis Pregrado. Departamento de Geología, Universidad EAFIT, Medellín. 356 p.
- Bernal, G., Montoya, L. J., Garizábal, C. E. y Toro, M. 2005a. La Complejidad de la Dimensión Física en la Problemática Costera en el Golfo de Urabá, Colombia. *Gestión y Ambiente* 8(1): 123-135 p.
- Bernal, G., Toro, M., Montoya, L. J. y Garizábal, C. E. 2005b. Estudio de la Dispersión de Sedimentos del Río Atrato y sus Impactos sobre la Problemática Ambiental Costera del Golfo de Urabá / Dinámica Oceanográfica del Golfo de Urabá y su Relación con la Dispersión de Sedimentos / , ?, Medellín. 72 p.
- Betancourt, F. A. y Jaramillo, A. 2007. Identificación de Patrones del Movimiento de las Plumas de Sedimentos en el Golfo de Urabá por medio de Sensores Remotos. Tesis Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad de Medellín, Medellín. ? p.
- Bird, E. 1993. *Submerging Coasts: The Effects of a Rising Sea Level on Coastal Environments*, John Wiley & Sons, Chichester, USA. 184 p.

- Bird, E. 2008. Coastal Geomorphology, 2nd Edition. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England. 436 p.
- Bratley, J. D., Buddemeier, R. W. y Bennett, D. A. 2001. Coastline Complexity: A Parameter for Functional Classification of Coastal Environments. *Journal of Sea Research* 46(87-97 p.
- Caballero, H. 1991. Contribución al Análisis de Amenazas Geológicas en el Municipio de Necoclí (San Juan de Urabá–Arboletes). Tesis p.
- Calzadilla, A. 2003. Monitoreo de una Formación Deltáica Reciente en un Humedal Costero Tropical utilizando Imágenes Aeroespaciales y SIG - Caso Delta del Río Guapo, Laguna de Tacarigua, Venezuela. *Terra* 18-19(27-28): 53-83 p.
- Cano, M. y Spratt, D. 2003. Tectonic Evolution of the San Jacinto Fold Belt, NW Colombia. *CSEG Recorder* 37-43 p.
- Carvajal, J. H. 2001. Amenazas Geológicas Asociadas al Volcanismo de Lodos. Reporte INGEOMINAS. Cartagena. 15 p.
- Case, J., Durán, L., López, A. y Moore, W. 1971. Tectonic Investigations in Western Colombia and Eastern Panamá. *Geol. Soc. Am. Bull.* 82(10): 2685-2712 p.
- Cediel, F., Shaw, R. P. y Cáceres, C. 2003. Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. en Bartolini, C., T., B. R. and J., B. (Ed.). 2003. *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation, and Plate Tectonics.*, 815-848. p.
- CIOH, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas -, 2010. Climatología de los Principales Puertos del Caribe Colombiano - Turbo, Golfo de Urabá. http://www.cioh.org.co/index.php/component/docman/doc_download/971-climatologia-turbo p.
- Coates, A. G., Collins, L. S., Aubry, M. P. y Berggren, W. A. 2004. The Geology of the Darien, Panama, and the Late Miocene-Pliocene Collision of the Panama Arc with Northwestern South America. *Geol. Soc. Am. Bull.* 2004(1327-1344 p.
- CORPOURABA, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá -. 1984. Golfo d'Urabá; Etudè d'Environnement, Recommandations pour l'Etudè du Futur Port. Reporte Comisión Técnica Francesa. 38 p.
- CORPOURABA, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - y DAMA, Departamento Administrativo de Medio Ambiente -. 2008a. Humedales, Ecosistemas Estratégicos: Plan de Manejo de Distrito de Manejo Integrado (DMI) de la Ensenada de Rionegro y las Ciénagas La Marimonda y El Salado, Municipio de Necoclí, Departamento de Antioquia, Dinámica, Apartadó. 223 p.
- CORPOURABA, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - y DAMA, Departamento Administrativo de Medio Ambiente -. 2008b. Suriquí, Naturaleza Viva: Plan de Manejo de la Reserva Forestal Protectora de los Humedales entre los Ríos León y Suriquí, Municipio de Turbo, Departamento de Antioquia, Dinámica, 185 p.
- CORPOURABA, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - y FONADE, Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo -. 2003. Proyecto Zonificación y Ordenamiento de los Manglares del Golfo de Urabá Departamento de Antioquia. Reporte Convenio 201671 Fonade Corpouraba. Apartadó. 80 p.
- Correa-Rendón, J. D. y Ortiz, E. 2006. Plan de Manejo Integrado de los Humedales del Bajo y Medio Atrato: Municipios de Carmen del Darién, Riosucio, Bojayá y Unguía en el Departamento del Chocó y, Vigía del Fuerte, Turbo y Murindó en

- Antioquia, CORPOURABA, CODECHOCÓ y FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL, Apartadó. 177 p.
- Correa, I. D. 1992. Erosión y Sedimentación Litoral de la Línea de Costa entre Turbo y Necoclí, Golfo de Urabá, Departamento de Antioquia, Universidad EAFIT, Medellín. 345 p.
- Correa, I. D., Acosta, S. y Bedoya, O. G. 2007. Análisis de las Causas y Monitoreo de la Erosión Litoral en el Departamento de Córdoba., Convenio de transferencia horizontal de Ciencia y Tecnología No. 30. Corporación Autónoma de los Valles del Sinú y San Jorge -CVS- universidad EAFIT, Departamento de Geología (Área de Ciencias del Mar). Medellín. 128 p.
- Correa, I. D. y Morton, R. A. 2004. Introducción al uso de los Geoindicadores de Cambios Ambientales en Costas Húmedas Tropicales. *Geología Norandina* 12(1): 56 p.
- Correa, I. D., Prüssmann, J. y Garrido, A. E. 2010. Geomorfología del Contorno Litoral Urabá Darién (Deptos. de Antioquia y Chocó, Caribe Colombiano). Reporte Expedición Antioquia 2013 - Universidad de Antioquia. Medellín. 35 p.
- Correa, I. D. y Vernet, G. 2004. Introducción al Problema de la Erosión Litoral en Urabá (Sector Arboletes-Turbo), Costa Caribe Colombiana. *Bolet. Invest. Mar. Cost. Invermar* 33(5-26 p.
- Cuesta, T. y Ramírez, G. 2009. Evaluación interdimensional de impactos ambientales sobre la dimensión física ocasionados por cultivos de palma aceitera y la ganadería extensiva en la selva húmeda tropical del Bajo Atrato, Chocó, Colombia. *Gestión y Ambiente* 12(3): 37-48 p.
- Chevillot, P., Molina, A., Giraldo, L. y Molina, C. 1993. Estudio Geológico e Hidrológico del Golfo de Urabá. *Bolet. Cient. CIOH* 14(79-89 p.
- Chust, G., Galparsoro, I., Borja, A., Franco, J., Beltrán, B. y Uriarte, A. 2007. Detección de Cambios Recientes en la Costa Vasca mediante Ortofotografía. *Lurralde* 30(59-72 p.
- Díaz, J. M. 2007. Deltas y Estuarios de Colombia, Banco de Occidente, Cali. 205 p.
- Díaz, J. M., Díaz-Pulido, G. y Sánchez, J. A. 2000. Distribution and Structure of the Southermost Caribbean Coral Reefs: Golfo de Urabá, Colombia. *Scientia Marina* 64(3): 327-336 p.
- DNP, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN -, ANTIOQUIA, GOBERNACIÓN DE, CONALVIAS y AMÉRICAS, CONSORCIO LAS. 2010. Protección y Recuperación de las Playas en el Municipio de Arboletes - Antioquia. Cartilla Informativa., GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA, Medellín. 20 p.
- Duque-Caro, H. 1979. Major Structural Elements and Evolution of Northwstern Colombia. *AAPG Memoria* 29(329 - 351 p.
- Duque-Caro, H. 1980. Geotéctonica y Evolución de la Región Noroccidental Colombiana. *Bol. Geol. Ingeominas* 23(3): 437 p.
- Duque-Caro, H. 1983. General Geology, Geomorphology and Neotectonics of Northwestern Colombia. X Caribbean Geological Conference, ?, ? p.
- Duque-Caro, H. 1984. Estilo Estructural, Diapirismo y Episodios de Acrecimiento del Terreno Sinú-San Jacinto, en el Noroccidente de Colombia. *Bol. Geol. Ingeominas* 27(1-29 p.

- Duque-Caro, H. 1985. La Cuenca del Atrato en el Bloque del Chocó, Sur América Noroccidental y sus Implicaciones Estratigráficas y Estructurales. Mem. VI Congr. Latin. Geol., Bogotá, 61-62 p.
- Duque-Caro, H. 1989. El Arco de Dabeiba: Nuevas Aportaciones al Conocimiento del Noroccidente de la Cordillera Occidental. Mem. V Congr. Col. Geol., Bucaramanga, 108-126 p.
- Duque-Caro, H. 1990a. El Bloque del Chocó en el Noroccidente Suramericano: Implicaciones Estructurales, Tectonoestratigráficas y Paleogeográficas. Boletín Geológico 31(47-71 p.
- Duque-Caro, H. 1990b. Estratigrafía, Paleocanografía y Paleobiogeografía de la Cuenca del Atrato y la Evolución del Istmo de Panamá. Boletín Geológico 31(1): 3-45 p.
- ECOFORST Ltda. 1990. Evaluación General del Manglar del Golfo de Urabá. Reporte CORPOURABA. Turbo, Antioquia. 81 p.
- Estrada, E. A. y Gil, S. M. 2005. Análisis de las Condiciones Morfológicas Actuales como Indicadoras de la Evolución de la Flecha Litoral en la Actual Desembocadura del Río Turbo. Tesis Ecólogo de Zonas Costera. Programa Ciencias del Mar, Universidad de Antioquia, Turbo. 92 p.
- Finkl, C. W. 2004. Coastal Classification: Systematic Approaches to Consider in the Development of a Comprehensive Scheme. Journal of Coastal Research 20(1): 166-213 p.
- Franco, E. y Gómez, J. F. 1996. Evolución de la Línea de Costa del Litoral Antioqueño. Aspectos Geomorfológicos. Sector Río Necoclí-Turbo. Tesis Geólogo. Facultad Nacional de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 118 p.
- Franco, J. V. 1992. Geomorfología y Aspectos Erosivos del Litoral Caribe Colombiano. Sector Punta Caribana-Boca Tarena. Reporte INGEOMINAS. Cartagena. 47 p.
- García-Valencia, C. (Ed.). 2007. Atlas del Golfo de Urabá - Una Mirada al Caribe de Antioquia y Chocó, Serie Publicaciones Especiales N° 12. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR y Gobernación de Antioquia, Santa Marta. 188 p.
- García, R. 2002. Contexto Geológico, Geomorfológico y Tectónico del Fenómeno de Diapirismo de Lodo de la Costa Norte de Colombia. Tesis Ingeniero Geólogo. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Medellín, Colombia. ? p.
- Garizábal, C. E. 2007. Problemática Ambiental del Golfo de Urabá en relación con los Procesos de Erosión - Sedimentación Costeros. Tesis Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Medellín. 102 p.
- GSC, Geophysics Study Committee -, Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Resources, y National Research Council. 1990. Sea-Level Change, National Academy Press, Washington DC. 247 p.
- Gustavsson, M., Kolstrup, E. y Seijmonsbergen, A. C. 2006. A New Symbol-and-GIS Based Detailed Geomorphological Mapping System: Renewal of a Scientific Discipline for Understanding Landscape Development. Geomorphology 77(90-111 p.
- Gustavsson, M., Seijmonsbergen, A. C. y Kolstrup, E. 2008. Structure and Contents of a New Geomorphological GIS Database Linked to a Geomorphological Map —

- With an Example from Liden, central Sweden. *Geomorphology* 95(95): 335-349 p.
- Gutiérrez, M. 2008. *Geomorfología*, Pearson Educación S.A., Madrid. 920 p.
- Guzmán, G., Gómez, E. y Serrano, B. E. 2004. *Geología de los Cinturones del Sinú, San Jacinto y Borde Occidental del Valle Inferior del Magdalena - Caribe Colombiano*. Escala 1:300.000. Reporte Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS. Bogotá D. C. 135 p.
- Haffer, J. 1967. *On the Geology of the Urabá and Northern Chocó Regions, NW Colombia*. Reporte Colombian Petroleum Company - COLPET. Gr. 351. Bogotá. 106 p.
- Haffer, J. 1970. *Geologic Climatic History and Zoogeographic Significance of the Urabá Region in Northwestern Colombia*. *Caldasia* 10(50): ? p.
- Holguín, M. 1996. *Geomorfología y Evolución de la Línea de Costa del Litoral Antioqueño: Sector Río Necoclí–Arboletes*. Tesis Ingeniería Geológica. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Medellín. 96 p.
- Hoyos, N., Acosta, S. y Correa, I. D. 2006. *Sistema de Información Geográfica para el Estudio de la Erosión Litoral en el Departamento de Córdoba, Colombia: Herramientas de Diseño, Implementación y Uso*. *Gestión y Ambiente* 9(3): 147-156 p.
- IDEAM, Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales -, IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi -, IAVH, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt -, INVEMAR, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés -, Sinchi, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi - I. y IIAP, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann -. 2007. *Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia*, IGAC, Bogotá D.C. 285 p.
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi -. 2005. *Catálogo de Objetos Geográficos del IGAC*. en (Ed.). 2005. Anexo B - Fichas del Catálogo, Versión 1.3. Santa Fé de Bogotá. 283 p.
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi -, 2008. *Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial*. <http://sigotn.igac.gov.co/sigotn> p.
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi - y INGEOMINAS, Instituto Colombiano de Geología y Minería -. 2005a. *Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano - Tomo I. Geología*, Santa Fé de Bogotá. 168 p.
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi - y INGEOMINAS, Instituto Colombiano de Geología y Minería -. 2005b. *Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano - Tomo II. Geomorfología*, Santa Fé de Bogotá. 168 p.
- Ihl, T., Frausto, O., Rojas, J., Bautista, F. y G., Bocco. 2006. *A Coastal Classification: A First Step for a Better Coastal Management System in Yucatan? Shaping the Change - XXIII FIG Congress, München, Deutschland, Octubre 8-13, 2006*. 1-12 p.
- INGEOMINAS. 1998. *Geomorfología y Aspectos Erosivos del Litoral Caribe Colombiano*. *Publicación Geológica Especial* 21(73) p.
- INGEOMINAS, Instituto Colombiano de Geología y Minería - y GEOTEC Ltda. 2003. *Geología de los Cinturones Sinú-San Jacinto*. Memoria Explicativa. Reporte INGEOMINAS. Bogotá D.C. 225 p.

- INGEOMINAS, Instituto Colombiano de Geología y Minería - y ONU, Naciones Unidas -. 1982. Mineralización de Cu – Mb en el Municipio de Acandí, Departamento de Chocó. Reporte Naciones Unidas. Bogotá D.C. 203 p.
- INVEMAR, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras -. 2004. Posibilidad de Reconstrucción de Punta Arboletes. Reporte INVEMAR. Santa Marta. 46 p.
- INVEMAR, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras -. 2005. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: Año 2005. Serie de Publicaciones Periódicas/INVEMAR No.8, Litoflash, Santa Marta. 390 p.
- INVEMAR, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras -, Antioquia, Gobernación de, CORPOURABA, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - y CODECHOCÓ, Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó -. 2008. Lineamientos y Estrategias de Manejo Integrado de la Unidad Ambiental Costera del Darién, INVEMAR, Santa Marta. 208 p.
- INVEMAR, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - y CORPOURABA, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá -. 2003. Diagnóstico, Zonificación y Definición de la Estructura Administrativa de Manejo de la Unidad Ambiental Costera del Darién, Caribe Colombiano Fase I. Caracterización y Diagnóstico. Reporte Santa Marta. 470 + Anexos p.
- IPCC, Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático -. 2007. Cambio climático 2007: Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC, Ginebra, Suiza. 104 p.
- Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, E. y Guevara, E. 2008. Hole-Filled Seamless SRTM Data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT). Available from <http://srtm.csi.cgiar.org>, p.
- Javelaud, O. 1984. Sedimentología de la Plataforma Continental del Caribe Colombiano. Bolet. Cient. CIOH 6(17-39 p.
- Kamal, A. S. M. y Midorikawa, S. 2004. GIS-Based Geomorphological Mapping Using Remote Sensing Data and Supplementary Geoinformation - A Case Study of the Dhaka City Area, Bangladesh. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 6(111-125 p.
- Keep, F. 2000. Monografía de Turbo, Alcaldía de Turbo, Municipio de Turbo, Colombia. 541 p.
- Kellett, D. H. 1995. Atlas of Coastal Geomorphology and Zonality, The Coastal Education Council, Charlottesville, SC. 286 p.
- Kellogg, J. N., Toto, E. y Cerón, I. 2005. Structure and Tectonics of the Sinú-San Jacinto Accretionary prism in Northern Colombia. X Congreso Colombiano de Geología, Bogotá, 2005. 1-10 p.
- Kellogg, J. N. y Vega, V. 1995. Tectonic Development of Panama, Costa Rica and the Colombian Andes: Constraints from Global Positioning System Geodetic Studies and Gravity. Geol. Soc. Am. Bull. Special Paper 295(75-90 p.
- Lemus, Y., Figueroa, C., Delgado, F. y Fonticoba, O. 2009. Valoración de Impactos en Ecosistemas Costeros ante el Riesgo de Penetraciones del Mar. VII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana, Cuba, 1-19 p.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. y Rhind, D. W. 2005. Geographical Information Systems and Science, 2nd Edition. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, UK. 537 p.

- Lonin, S. y Vásquez, J. G. 2005. Hidrodinámica y Distribución de Coliformes en el Golfo de Urabá. *Bolet. Cient. CIOH* 23(76-89 p.
- López, E. 2005. Evolución Tectónica de la Región Caribe de Colombia. Reporte Ministerio de Minas y Energía - República de Colombia e Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS. Bogotá. 56 p.
- López, M. L. 1978. Manual de Fotogeología, Servicio de Publicaciones de la Junta de Energía Nuclear, Madrid, España. p.
- Lozano, L. H. 1998. Caracterización y Diagnostico Integral de la Zona Costera que Comprende la Bahía Colombia desde el Río Turbo hasta Matuntugo. Tesis? Facultad de Oceanografía Física, Escuela Naval Almirante Padilla,, Cartagena. 183 p.
- Macdonald, H. C., Lewis, A. J. y Wing, R. S. 1971. Mapping and Landform Analysis of Coastal Regions with Radar. *Geol. Soc. Am. Bull.* 82(345-358 p.
- Martínez, J. N., Parrea, E., París, G., Forero, C. A., Bustamante, M y Cardona, O. D. 1994. Los sismos del Atrato medio 17 y 18 de octubre de 1992 Noroccidente de Coombia. *Revista INGEOMINAS* 4(35-70 p.
- Martínez, J. O. 1993. Geomorfología y Aspectos Evolutivos de la Costa Caribe del Chocó. *Mem. VI Congr. Latin. Geol., Medellín, Colombia.,* 700-710 p.
- Martínez, N. J. y Robertson, K. G. 1997. Variaciones Cuaternarias del Nivel del Mar y sus Implicaciones en las Amenazas Litorales del Caribe Colombiano, IDEAM - 1er Seminario Nacional sobre Manejo Integrado de Zonas Costeras, Bogotá. 13 p.
- Masselink, G. y Hughes, M. G. 2003. Introduction to Coastal Processes and Geomorphology, -. Hodder Arnold, London, England. 354 p.
- McFadden, L., Vafeidis, A. y Nicholls, R. J. 2003. A Coastal Database for Global Impact and Vulnerability Analysis. 5th International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment Processes: Coastal Sediments '03, Clearwater Beach, Florida, USA, 18-23 May 2003. 1-14 p.
- Melloul, A. y Collin, M. 2006. Hydrogeological Changes in Coastal Aquifers due to Sea Level Rise. *Ocean & Coastal Management* 49(281-297 p.
- Ménanteau, L. 2007. Geohistoria del Golfo. en García-Valencia, C. (Ed.). 2007. Atlas del Golfo de Urabá - Una Mirada al Caribe de Antioquia y Chocó, Serie Publicaciones Especiales Nº 12. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR y Gobernación de Antioquia, Santa Marta. 188 p.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE y IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi -. 2000. Zonificación Ecológica de la Región Pacífica Colombiana, IGAC, Santa Fé de Bogotá. 376 p.
- Molina, A., Molina, C. y Chevillot, P. 1992. La Percepción Remota Aplicada para Determinar la Circulación de las Aguas Superficiales del Golfo de Urabá y las Variaciones de su Línea de Costa. *Bolet. Cient. CIOH* 11(43-58 p.
- Montes, C., Cardona, R., McFadden, R., Morón, S. E., Silva, C.A., Restrepo-Moreno, S., Ramírez, D.A., Hoyos, N., Wilson, J., Farris, D., Bayona, G. A., Jaramilla, C. A., Valencia, V., Bryan, J. y Flores, J. A. 2012. Evidence for Middle Eocene and Younger Land Emergence in entral Panama: Implications for Isthmus Closure, *Geological Society of America Bulletin*, p.

- Montoya, L. J. 2010. Dinámica Oceanográfica del Golfo de Urabá y su Relación con los Patrones de Dispersión de Contaminantes y Sedimentos. Tesis??? Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 254 p.
- Montoya, L. J. y Toro, M. 2006. Calibración de un Modelo Hidrodinámico para el Estudio de los Patrones de Circulación en el Golfo de Urabá, Colombia. Revista Avances 13(37-54 p.
- Muñoz, V. y Rodríguez, C. 1997. Relación entre Resistividad Eléctrica del Subsuelo y Acuíferos Aluvial-Deltáicos cerca de Turbo, Antioquia. Boletín de Ciencias de la Tierra 12(101-114 p.
- Muñoz, V., Rodríguez, C. y Vásquez, C. 1997. Intrusión Salina en Acuíferos del Urabá Antioqueño. Boletín de Ciencias de la Tierra 12(84-100 p.
- Nagel, R. 2004. U•X•L Encyclopedia of Landforms and Other Geologic Features - Volume 2, Thomson Gale Group, Farmington Hills, MI. 147 p.
- Nageswara Rao, K., Subraelu, P., Venkateswara Rao, T., Hema Malini, B., Ratheesh, R., Bhattacharya, S., Rajawat, A. S. y Ajai. 2008. Sea-Level Rise and Coastal Vulnerability: An Assessment of Andhra Pradesh Coast, India through Remote Sensing and GIS. Journal of Coastal Conservation 12(4): 195-207 p.
- Nicholls, E. 1960. Estudio de Geología General y Yacimientos Minerales en la Región de Acandí, Departamento del Chocó - Reporte Técnico INGEOMINAS Nº 13. Reporte INGEOMINAS. ? 57 p.
- Nieto, M. J. 2004. Estudio Morfodinámico del Delta del Río Atrato, Golfo de Urabá, a Partir de Cartografía Histórica y Percepción Remota. Tesis Geología. Escuela de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá, Bogotá. 132 p.
- Nygren, W. E. 1950. Bolivar Geosyncline of Northwestern South America. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. 34(1998-2006 p.
- OAS, Organization of American States -, DNP, Departamento Nacional de Planeación - y OEA, Organización de Estados Americanos -. 1978. Proyecto Darién; Estudio para la Orientación del Desarrollo Integral de la Región del Darién Colombiano, Medellín. p.
- Ortiz, E. 2008. Cambios Geoformológicos en el Litoral Caribe y Pacífico de Costa Rica - Caso del Complejo Déltico de Sierpe. Revista Forestal Kurú 5(15): 1-10 p.
- Page, W. D. 1983. Holocene deformation of the Caribbean Coast, Northwestern Colombia. Reporte Woodward & Clyde Consultants. San Francisco. 25 p.
- Page, W. D. 1986. Geología Sísmica y Sismicidad del Noroeste de Colombia. Reporte ISA, INTEGRAL, Woodward & Clyde Consultants. Medellín. 155 p.
- Palacio, H. H. y Restrepo, A. F. 1999. Influencia de la Evolución del Delta del Río Sinú en los Procesos Morfodinámicos del Litoral Caribe Antioqueño. Tesis ingeniero Civil. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Medellín. 151 p.
- Palacio, J. A. 1988. Ecología de la Fauna Asociada a las Raíces de Mangle (*Rhizophora mangle*) en la Bahía de Marirrí, Urabá. Reporte Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 102 p.
- Pethick, J. 1984. Coastal Geomorphology, Edward Arnold Publishers Ltd, London, England. 259 p.
- Pinto-Escobar, P. 1993. José Cuatrecasas y la Flora y la Vegetación. en Leyva, P. (Ed.). 1993. Colombia Pacífico. Tomo I, Fondo para la Protección del Medio Ambiente - FEN, Santa Fé de Bogotá. Publicación digital en la página web de la Biblioteca

- Luis Ángel Arango del Banco de la República
<http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/faunayflora/pacific1/cap13.htm>.
 Consultado el 15.12.2010. p.
- PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente -. 2007. GEO₄ - Medio Ambiente para el Desarrollo - Perspectivas del Medio Ambiente Mundial, Phoenix Design Aid, Reanders, Denmark. 574 p.
- Porta de, J. 2003. La Formación del Istmo de Panamá. Su Incidencia en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 27(103): 191-216 p.
- Posada, B. O. y Henao, W. 2008. Diagnóstico de la Erosión en la Zona Costera del Caribe Colombiano, INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 13., Santa Marta. 97 p.
- Posada, E. y Melo, H. 2001. Evaluación de las Imágenes de RADARSAT-1 para Elaborar Cartografía de Cobertura y Uso de la Tierra del Medio Ambiente del Bosque Húmedo Tropical Darién, Colombia. Revista Cartográfica 73(73-87 p.
- Posada, L. 2002. Erosión Costera en el Litoral Caribe Colombiano, Departamentos de Antioquia y Córdoba. Tesis? Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas - Sede Medellín, Medellín. 17 p.
- Pujos, M. y Javelaud, O. 1978. Depositional Facies of a Mud Shelf Between the Sinu River and the Darien Gulf (Caribbean Coast of Colombia): Environmental Factors that Control its Sedimentation and Origin of Deposits, ?, ? ? p.
- Raasveldt, H. 1958. Fallas de Rumbo en el Noroeste de Colombia. Revista Petróleos 7(64): ?? p.
- Raasveldt, H. y Tomic, A. 1958. Lagunas Colombianas. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 10(40): 175-198 p.
- Ramírez, J. E. 1969. Diapiros del Mar Caribe Colombiano. Mem. I Congr. Col. Geo, Bogotá, Colombia, 31-39 p.
- Raper, J., Livingstone, D., Bristow, C. y McCarthy, T. 2003. Constructing a Geomorphological Database of Coastal Change Using GIS. en Green, D. R. and King, S. D. (Ed.). 2003. Coastal and Marine Geo-Information Systems, Springer Netherlands, Dordrecht, Netherlands. 399-413 p.
- Restrepo, J. D. y Kjerfve, B. 2000. Water Discharge and Sediment Load from the Western Slopes of the Colombian Andes with Focus on Rio San Juan. The Journal of Geology 108(17-33 p.
- Rincón. 1994. Identificación Preliminar de Zonas de Riesgo por Fenómenos Naturales del Corregimiento de Damaquiel en el Municipio San Juan de Urabá. Reporte Secretaría de Desarrollo de la Comunidad - Sección FOPREVE. ? 58 p.
- Robertson, K. G. y Martínez, N. 1999. Cambios en el Nivel del Mar durante el Holoceno en el Litoral Caribe Colombiano. Cuadernos de Geografía 8(1): 168-198 p.
- Robertson, K. G., Martínez, N. J. y Jaramillo, O. 2003. Amenazas Naturales Asociadas al Ascenso del Nivel del Mar en el Caribe Colombiano. Cuadernos de Geografía 12(1-2): 135-153 p.
- Rodríguez, L. del R. y Gracia, F. J. 2008. Fotointerpretación Aplicada al Análisis Dinámico de la Línea de Costa. Jornadas Técnicas "Las nuevas técnicas de información geográfica al servicio de la gestión de zonas costeras: Análisis de la evolución de playas y dunas", Valencia, España, 2008. 12-17 p.
- Roldán, P. A. 2008. Modelamiento del Patrón de Circulación de la Bahía Colombia, Golfo Urabá. Implicaciones para el Transporte de Sedimentos. Tesis Mestría en

- Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente - Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 113 p.
- Sánchez-Alfárez, A. S., Álvarez-León, R., Godoy-Bueno, S. y Pinzón-Florián, O. P. 2009. Aspectos Fitosanitarios de los Manglares del Urabá Antioqueño, Caribe Colombiano. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 4(3): 339-346 p.
- Sánchez-Páez, H., Álvarez, A., Pinto, F., Sánchez, A. S., Pino, J. C., García, I. y Acosta, M. T. 1997. Diagnóstico y Zonificación Preliminar de los Manglares del Caribe de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá. ? p.
- Sánchez-Valencia, C. I. 1998. Descripción y Zonificación del Manglar del Golfo de Urabá. Reporte CORPOURABA. Necoclí, Antioquia. 82 p.
- Schwartz, M. L. (Ed). 2005. *Encyclopedia of Coastal Science*, Springer, Dordrecht, The Netherlands. 1243 p.
- Shepard, F. P. 1937. Revised Classification of Marine Shorelines. *Journal of Geology* 45(602-624 p.
- Stöckli, R., Vermote, E., Saleous, N., Simmon, R. y Herring, D. 2005. The Blue Marble Next Generation - A true color earth dataset including seasonal dynamics from MODIS. Published by the NASA Earth Observatory. Corresponding author: rstockli@climate.gsfc.nasa.gov, p.
- Summerfield, M. A. 1991. *Global Geomorphology - An Introduction to the Study of Landforms*, Addison Wesley Longman Limited, Essex, England. 537 p.
- Szlafsztein, C. y Sterr, H. 2007. A GIS-Based Vulnerability Assessment of Coastal Natural Hazards, State of Pará, Brazil. *Journal of Coastal Conservation* 11(53-66 p.
- Téllez, L. 2006. Provincias de Minerales Densos en los Sedimentos del Fondo Marino del Golfo de Urabá. Tesis Ingeniería Geológica. Escuela de Geociencias - Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Medellín. 47 p.
- Thomas, Y. F., García, C., Cesaraccio, M. y Ménanteau, L. 2007. Contribución de la Hidrografía Histórica al Estudio de la Cinemática de los Fondos Marinos: Evolución del Golfo de Urabá, Colombia. *Bol. Cient. CIOH* 25(110-119 p.
- Torres, R., Gómez, J. C. y Afanador, F. 2006. Variación del Nivel Medio del Mar en el Caribe Colombiano. *Bol. Cient. CIOH* 24(64-72 p.
- UNAL, Universidad Nacional de Colombia - y CORPOURABA, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá -. 1998. Evaluación de Zonas de Erosión Crítica en el Litoral Caribe Antioqueño. Reporte Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Medellín. 199 y cinco anexos p.
- Urbano, J. E. 1993. Análisis de Ingeniería para Protección de Costas, Caso de Estudio: Defensa del Litoral en el Apostadero Naval de Turbo. *Bol. Cient. CIOH* 13(03-18 p.
- USGS, United States Geological Service -. 2004. Shuttle Radar Topography Mission, 1 Arc Second scene SRTM_w100n40, University of Maryland, College Park, Maryland. p.
- Vallega, A. 2005. From Rio to Johannesburg: The role of coastal GIS. *Ocean & Coastal Management* 48(588-618 p.
- Vann, J. H. 1955. Geomorphology of the Delta of the Río Atrato, Colombia. en West, R. C. (Ed.). 1955. *Geography of the Pacific Coastal Lowland of Colombia*, ONR Project NR 388-059, Baton Rouge, LA. 279-327 p.

- Vann, J. H. 1959. Landform-Vegetation Relationships in the Atrato Delta. *Annals of the Association of American Geographers* 49(4): 345-360 p.
- Vargas, A. F., Palacio, J. A. y Ospina, J. B. 2009. Estructura de las Praderas de *Thalassia testudinum* (Bank ex König, 1805) en Bahía Sapzurro, Golfo de Urabá, Colombia. *Gestión y Ambiente* 12(3): 107-118 p.
- Velásquez, A. 2005. Dirección de Transporte de Sedimentos Costeros en el Golfo de Urabá, Caribe Colombiano. Tesis Geología. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente - Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Medellín. 77 p.
- Velásquez, C. y Rave, J. O. 1996. Dinámica Costera y Geomorfología en el Golfo de Urabá Antioqueño. Sector Boca Tarena - Espiga de Turbo. Tesis Geología. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente - Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Medellín. 176 p.
- Velásquez, N. 2000. Geomorfología y Dinámica en el Urabá Chocoano. Sector: Cabo Tiburón – Bahía Acandí. Tesis Ingeniería Geológica. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente - Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Medellín. 285 p.
- Verstappen, H. T. y van Zuidam, R. A. 1968. The ITC System of Geomorphologic Survey, ITC Publication No. 10, ? 89 p.
- Vivas, A. y Cano, J. G. 2006. Caracterización de Amenazas en los Volcanes de Lodo de los Municipios de Arboletes, San Juan de Urabá, Turbo, Necoclí y San Pedro de Urabá. Reporte CORPOURABA. Apartadó. 22 p.
- Werding, B. y Manjarrés, G. 1978. Informe sobre las Estructuras Litorales y la Flora y Fauna Marinas en el Noroeste del Golfo de Urabá. Reporte INVEMAR. Santa Marta. 87 p.
- Woodroffe, C. D. 1992. Mangrove Sediments and Geomorphology, American Geophysical Union, Washington DC. 19 p.
- Zeiler, M. 1999. Modeling Our World - The ESRI Guide to Geodatabase Design, Environmental Systems Research Institute, Inc. - ESRI, New York, NY. 202 p.