



**BASE DE DATOS MULTIESCALAR DEL CONOCIMIENTO GEOLÓGICO DEL
LITORAL Y ÁREAS INSULARES DEL CARIBE COLOMBIANO**

YESID CARREÑO PEÑALOZA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2012**



**BASE DE DATOS MULTIESCALAR DEL CONOCIMIENTO GEOLÓGICO DEL
LITORAL Y ÁREAS INSULARES DEL CARIBE COLOMBIANO**

YESID CARREÑO PEÑALOZA

Trabajo de grado presentado para optar al título de Geólogo

Director

GEORGINA GUZMÁN OSPITIA

Doctora en Ciencias Geológicas-Profesor Titular UIS

Codirector

BLANCA OLIVA POSADA POSADA

Jefe de Línea del Programa Geociencias Marinas INVEMAR

Asesor

DAVID FERNANDO MORALES GIRALDO

Geólogo Programa Geociencias Marinas INVEMAR

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a Dios, por darme la fuerza para seguir.

A mi Madre, por brindarme su apoyo y soporte en cada paso.

A mi Padre, por enseñarme el valor del trabajo.

A mi hermana, por hacerme todos esos favorcitos.

A mis tías Elsa y Ana, al viejo Roque y a mis primos Benja; Lucy, Pipe, Beto, Alberto, Gloria, Ines, Herminda, Silvia, Davis, Abril, Margarita, Wilson, Naty y Any por hacerme parte de su familia.

A mis tías Martuchis, Pancha, Checha, María y tios German, Nelson, Iván, Luis y Daniel a mis primas Nini y Lili por ser siempre los ejemplos a seguir.

A Diana, Sergio y Diego por todas esas clases gratis

A mis amigos y hermanos González, por esas noches de estudio en el garaje.

Yesid

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento a:

A la profesora Georgina Guzmán Ospitia por su apoyo en la ejecución de este proyecto, siempre dispuesta y con gran interés de ayudarme y orientarme.

Al INVEMAR y en especial a la Jefe de Línea del Programa Geociencias Marinas, Blanca Olivia Posada Posada quien en su excelente gestión permitió el desarrollo de mi proyecto, haciendo de esta manera una muestra de generosidad y apoyo a los futuros profesionales.

A David, Javier y Dalmiro, geólogos del programa Geociencias Marinas INVEMAR, por su acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto.

A Martha, Orieta y Carletos por su amistad.

A mis familiares y amigos por su incondicional apoyo

A todos los que tuvieron algún grado de participación en el desarrollo del trabajo

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	20
3. OBJETIVOS	21
3.1 OBJETIVO GENERAL	21
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4. AREA DE ESTUDIO	22
4.1 LOCALIZACIÓN	22
5. MARCO DE REFERENCIA	24
5.1 ANTECEDENTES	24
5.2 GENERALIDADES DE LA OCEANOGRAFÍA DEL CARIBE COLOMBIANO	25
5.3 REVISION BIBLIOGRÁFICA TECTONOESTRATIGRÁFICA Y GEOMORFOLÓGICA PARA LA COSNTRUCCION DE LA BASE DE DATOS.	31
5.4 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LAS TEORÍAS DE EVOLUCIÓN TECTONOESTRATIGRÁFICA DEL CARIBE Y CARIBE COLOMBIANO	31
5.4.1 Primer ciclo tectónico.	35
5.4.2 Segundo ciclo tectónico	38
5.4.3 Tercer ciclo tectónico	39
5.4.4 Cuarto ciclo tectónico	45
5.5 REVISION BIBLIOGRAFICA DE LOS TERRENOS DEL CARIBE COLOMBIANO (Figura 2)	55
5.5.1 El litoral Caribe colombiano.	55
5.5.2 Terreno Cosinas.	56
5.5.3 Terreno Ruma.	57
5.5.4 Terreno Baja Guajira.	57

5.5.5 Terreno Santa marta.	58
5.5.6 Terreno Sevilla.	59
5.5.7 Terreno de la Sierra Nevada de Santa Marta.	59
5.5.8 Terreno San Jorge-Plato.	60
5.5.9 Terreno Sinú-San Jacinto.	62
5.5.10 Cañas Gordas.	63
5.5.11 Terrenos insulares colombianos.	63
5.5.12 Terrenos submarinos (Cuenca de Colombia).	63
5.6 REVISION BIBLIOGRAFICA DE LA GEOMORFOLOGÍA DEL CARIBE	64
5.6.1 Rocas cohesivas	65
5.6.2 Costas con rocas no cohesivas	68
5.6.3 Playas y otros depósitos arenosos	71
5.6.4 Costa lodosa y lagunar	73
5.6.5 Sistemas deltaicos	74
5.6.6 Sistemas insulares	76
6. METODOLOGIA	79
6.1 RECOPIACIÓN Y EVALUACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA	79
6.2 GEORREFERENCIACIÓN DE LOS DOCUMENTOS	82
6.2.1 División Geográfica	82
6.2.2 Insumos para la georreferenciación de los documentos.	84
6.2.3 Proceso para la Georreferenciación de los documentos.	84
6.3 BASE DE DATOS BIBLIOGRÁFICA	89
6.3.1 Sistema Dublin Core.	89
6.3.2 Base de datos en COSTERO	93
7. RESULTADOS	96
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	110

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Ubicación de la zona Caribe colombiana, área de recopilación de la información secundaria para la base de datos bibliográfica. Mapa tomado y modificado de ANH (2007)	23
Figura 2. Promedio de la altura significativa de la ola en metros para los trimestres diciembre-enero-febrero (A), marzo-abril-mayo (B), junio-julio-agosto (C) y septiembre-octubre-noviembre (D), modelada a partir de datos históricos desde 1968 a 2007. Tomada de Mesa-García (2009).	27
Figura 3. Principales corrientes superficiales en el Caribe colombiano para los trimestres enero-febrero-marzo (A), abril-mayo-junio (B), julio-agosto-septiembre (C) y octubre-noviembre-diciembre (D). Tomada de: Joanna Gyory, Arthur J. Mariano, Edward H. Ryan. "The Caribbean Current."Ocean Surface Currents. http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/caribbean/caribbean.html .	28
Figura 4. Temperatura superficial del mar promedio para los trimestres diciembre-enero-febrero (A), marzo-abril-mayo (B), junio-julio-agosto (C) y septiembre-octubre-noviembre (D). Fuente de datos: sensor MODIS-AQUA (2002-2011).	30
Figura 5 Clasificación de la información secundaria por división del concepto de terrenos. Tomado y modificado de Etayo-Serna et al; (1983) comparado con López, E., (2005)	33
Figura 6. Esquema tectónico de la esquina Noroccidental de Sur América. Tomado y modificado de Taboada et al., 2000; Audemard and Audemard, 2002; Trenkamp et al., 2002; Audemard et al., 2005., Cortés and Angelier, 2005 y Idárraga-García, J. y Romero, J. MB: Bloque Maracaibo, NAB: Bloque Norte de los Andes; SMBF: Falla Santa Marta-Bucaramanga; OAF: Falla Oca; SNSM: Sierra Nevada de Santa Marta.	34

- Figura 7. Secuencias de eventos orogénicos del Caribe colombiano. Tomado de López, E. (2005) 34
- Figura 8 a) Angara, se acerca a los continentes de Laurentia y Báltica, produciendo un margen convergente al oriente de ellos, b) Angara colisiona con Laurentia y Báltica, conformando el cinturón orogénico de Grenville, c y d) Amazonia se separa de Laurentia y Báltica, formando el Océano de Iapetus, y Formación de Rift e) Cierre del Océano de Iapetus termina a mediados del Silúrico con la llamada Orogenia Caledoniense, f) Laurentia se dirige hacia Gondwana chocan formando una zona de subducción cerrando el océano Reico. Tomada y modificada de López, E., (2005) y MiddleOrdovicianGlobal. 36
- Figura 9. a) Hipótesis Pacífico, propuesto por Pindell (1982) b) Hipótesis Caribe cercano, propuesto por (Meschede y Frisch 1998), c) Hipótesis Pacífico. La Placa Farallón subduce a las Placas de Norte y Sur América, y la formación del Protocaribe se debe a un salto de la zona de rifting. Tomado y modificado de Ross y Scotese, (1988). d) Hipótesis de Caribe Cercano. La Placa Phoenix subduce a las Placas de Norte y Sur América. Tomado y Modificado de por (Meschede y Frisch 1998). 41
- Figura 10. a) Hipótesis Pacífico Albiano. Cambio de polaridad del arco de las islas Antillas Mayores. Introducción de la placa Farallón entre las placas Norte y Suramericanas. Tomado y modificado de Ross y Scotese, (1988), b) Hipótesis Caribe Cercano Albiano. Zona de subducción a lo largo del complejo ofiolítico de Costa Rica. Tomado y Modificado de (Meschede y Frisch 1998). 42
- Figura 11. Hipótesis Caribe Cercano.Santoniano inicio de la subducción de la Placa Farallón contra la Placa Suramericana. 44
- Figura 12. Hipótesis Pacífico. Paleoceno Inferior, inicio de la subducción de la Placa Farallón contra la Placa Suramericana. 44
- Figura 13. a) Pangea inicia su separación, formándose una zona de expansión oceánica entre Norteamérica y Gondwana, b) Separación de Norte América y Sur América, formación del mar Tetis, c) la placa Caribe se desplaza hacia el Oriente,

ocupando gradualmente el espacio del mar Tetis. Tomada y modificada de López, E., (2005)	46
Figura 14. Limite Placa Caribe y Suramericana, la línea roja representa la posición en el cretácico de las SNSM y la península de la Guajira, línea negra posición actual. Tomado de INGEOMINAS, 2002	48
Figura 15. Paleografía del Cretáceo tardío Paleoceno. Tomado de (Duque-Caro, 1978)	49
Figura 16. Hipótesis conceptual de la evolución tectónica Cretácico tardío-paleoceno de la región Caribe colombiana. Tomada y modificada (Duque-Caro, 1978)	50
Figura 17. Hipótesis conceptual de la evolución tectónica Cretácica tardío-paleoceno de la región Caribe colombiana. Tomada y modificada de López, E., (2005)	51
Figura 18. Comienza la rotación de la parte norte de la Placa Suramericana en dirección este. La península de La Guajira y la Sierra Nevada de Santa Marta se separa del norte de los Andes Tomado de INGEOMINAS, (2002).	54
Figura 19. a) Formación del sistema de falla Bucaramanga-Santa Marta, b) Levantamiento del Cinturón del Sinú-San Jacinto. Tomada y modificada de López, E., (2005)	55
Figura 20. Esquistos del terreno Santa Marta instruidos por plutones de diorita	59
Figura 21. Cobertura sedimentaria de lodolitas rojas intruidas por dioritas de edad jurásica pertenecientes al Terreno Sierra Nevada de Santa Marta	60
Figura 22. Ciénaga Grande de Santa Marta, pertenece al complejo de llanuras de inundación parte del Terreno San Jorge. (Fotos Programa GEO-INVEMAR).	61
Figura 23. Tipos de costa del caribe colombiano. Tomado de (Posada, P., Blanca Oliva y Henao P., William, 2008)	65
Figura 24. Afloramientos de rocas cohesivas en el Cabo de La Vela. a) Serranía del Cabo de La Vela; b y c) Plataforma de abrasión levantada de material biogénico y terrígeno (fotos Programa GEO-INVEMAR).	66

- Figura 25. Afloramientos de rocas cohesivas Parque Tayrona y Alto de Los Muchachitos a) grandes bloques rectangulares a redondeados y rocas aisladas; b) Flujo de escombros y bloques dispersos en el mar y c) Testigos in situ del retroceso del escarpe (fotos Programa GEO-INVEMAR). 67
- Figura 26. Plataformas de abrasión elevadas a) Puerto Estrella; b) Punta Aguja c) Manaure, Guajira (fotos Programa GEO-INVEMAR) 69
- Figura 27. Terraza coralina en Tierrabomba (fotos Programa GEO y GEZ-INVEMAR). 70
- Figura 28. Erosión por escorrentía y socavación en la base de los taludes sobre rocas no cohesivas en el sector costero de Zapata, municipio de Necoclí (fotos Programa GEO) 70
- Figura 29. a) Playas en la zona de El Francés, Tolú, formando una barra delante de los pantanos de manglar, b) a) Playas de arenas blancas coralinas en playa Blanca, Cispatá; c) Playas negras con pendiente alta y escarpes de tormentas; d) Playas en Chichibacoa de arenas finas, con acumulación de abundantes restos de pastos marinos (fotos Programa GEO) 72
- Figura 30. Lagunas Salinas; Manaurela alta Guajira. Se puede apreciar el agregado del mineral anhidrita en forma de roseta. 73
- Figura 31. a) Bocas de Ceniza; se observan parte de las ciénagas Grande de Santa Marta y de Mallorquín (foto Alvarado, M 2003) b) Bocas del delta del río Sinú con sus barras arenosas, lagunas y pantanos de manglar (foto CARSUCRE); c) Delta del río Sinú, Golfo de Morrosquillo. (Foto tomada de Restrepo, 2008) 75
- Figura 32. Metodología para la recopilación de la información 81
- Figura 33. Clasificación de la información secundaria por división geográfica. Mapa georeferenciado en ArcGIS 9.3 de Colombia, a partir de la línea de costa, como se encuentra definida en el libro “Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano” en el sistema de coordenadas WGS84 (Posada y Henao, 2008). 83
- Figura 34. Georreferenciación de los documentos mediante puntos de control en el área de estudio ubicados en la línea de costa base. 86

Figura 35. Sobreposición de polígonos generados a partir de la digitalización de las áreas de estudio.	87
Figura 36. Metodología para la georreferenciación de los documentos	88
Figura 37. Corrección de las propiedades de información de los documentos (Metadata)	92
Figura 38. Envío de un registro a la base de datos. Tomada y modificada de (Morales, J.S., 2005)	93
Figura 39. Interfaz de catalogación con el sistema <i>Dublin Core</i> , para la creación de la base de datos en COSTERO	94
Figura 40. Ficha electrónica de la metadata del documento.	95

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Atributos para la georreferenciación de los documentos.	85
Tabla 2. Propiedades de información de los documentos PDF	92

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A. Shapefile de georeferenciación de la base de datos multiescalar del conocimiento geológico del litoral y áreas insulares del caribe colombiano (Digital)

110

RESUMEN

TITULO: BASE DE DATOS MULTIESCALAR DEL CONOCIMIENTO GEOLÓGICO DEL LITORAL Y ÁREAS INSULARES DEL CARIBE COLOMBIANO*

AUTOR: CARREÑO, Yesid **

PALABRAS CLAVES: Base de datos; Caribe colombiano; Tectónica; Geología; Geomorfología

DESCRIPCION

La base de datos multiescalar del conocimiento geológico del litoral y áreas insulares del Caribe colombiano, es la herramienta con la cual los investigadores del Programa GEO del INVEMAR evalúan el volumen y la ubicación geológica-geográfica de la información bibliográfica existente. Esta, será el insumo base de información secundaria con la cual se realizará la caracterización tectónica, geológica y geomorfológica, proyecto que se encuentra dentro del marco del “Programa nacional de investigación para la prevención, mitigación y control de la erosión costera en Colombia”.

La información bibliográfica que compone la base de datos, se recopiló, clasificó y revisó, basándose en los trabajos desarrollados por Etayo-Serna et al 1983; López, E, 2005 y Posada y Henao 2008; que sirven como marco regional en las tres facetas (tectónica, geología y geomorfología) complementándolos con investigaciones más puntuales desarrolladas para el área del Caribe como Tchanz, (1969, 1974); Duque-Caro, (1978,1984,1990), Cardona, A, (2007); INVEMAR et al; (2007), Weber et al; (2009) entre otros.

La metodología estandarizada *Dublin Core*, es un conjunto de elementos para describir una amplia gama de recursos de la red, fue empleada para la administración de la metadata de la información secundaria, que hace parte de la base de datos; más el Shapefile de georreferenciación en ArcGIS 9.3, que se realizó mediante la comparación de puntos en común, entre la línea de costa del Caribe colombiano según como la definen Posada y Henao (2008) y de las áreas de estudio de la información bibliográfica.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director. GEORGINA GUZMÁN OSPITIA. Doctora en Ciencias Geológicas-Profesor Titular UIS. Codirector. BLANCA OLIVA POSADA POSADA. Jefe de Línea del Programa Geociencias Marinas INVEMAR.

ABSTRACT

TITLE: MULTISCALAR DATABASE OF THE GEOLOGICAL KNOWLEDGE FROM THE COASTAL AND ISLAND AREAS IN THE COLOMBIAN CARIBBEAN.

AUTHOR: CARREÑO, Yesid.**

KEY WORDS: Database, Colombian Caribbean, Tectonic, Geology, Geomorphology.

DESCRIPTION

The multiscalar database of the geological knowledge from the coastal and island areas in the Colombian Caribbean is the tool which researchers from the program GEO of INVEMAR use to evaluate the volume and the geological-geographical location of the existing bibliographic information. This will be the secondary information input with which will be performed the tectonic, geological and geomorphological characterization. This project is within the framework of the "National Research Program for the Prevention, Mitigation and Control of Coastal Erosion in Colombia".

The bibliographic information that makes up the database was compiled, classified and reviewed based on the work done by Etayo-Serna et al 1983; López, E, 2005 and Posada y Henao 2008; which serve as a regional framework in the three facets (tectonics, geology and geomorphology) complemented with more specific investigations developed for the Caribbean as Tchanz, Tchanz, (1969, 1974); Duque-Caro, (1978,1984,1990), Cardona, A, (2007); INVEMAR et al; (2007), Weber et al; (2009) among others.

The Dublin Core standard methodology is a set of elements to describe a wide range of network resources. It was used to manage the metadata of secondary information, which is part of the database. In addition, it was used the Shapefile georeferencing in ArcGIS 9.3, which was performed by comparison of commonalities between the line of the Colombian Caribbean coast as defined by Posada and Hainaut (2008) and study areas in the bibliographic information.

* Graduation Project

** Physicochemical Engineering Faculty. School of Geology. Director. GEORGINA GUZMÁN OSPITIA. Doctor of Geological Sciences, Professor UIS. Co-Director. POSADA POSADA BLANCA OLIVE. Line Manager INVEMAR Marine Geosciences Program.

INTRODUCCION

La esquina noroccidental colombiana, región Caribe se presenta como una franja de retazos de rocas y sedimentos de diferentes origen, composiciones y edades que forman parte de la evolución geológica de las placas Nazca, Caribe y Sur América.

Dentro del marco del “Programa nacional de investigación para la prevención, mitigación y control de la erosión costera en Colombia” se propone como objetivo fundamental realizar la caracterización geológica, geomorfológica, tectónica de la zona costera y marina somera del Caribe colombiano.

Este proyecto nace, con el fin de realizar los primeros aportes, para dicha caracterización, proponiendo la creación de la BASE DE DATOS MULTIESCALAR DEL CONOCIMIENTO GEOLOGICO DEL LITORAL Y AREAS INSULARES DEL CARIBE COLOMBIANO, como información base para las instituciones tomadoras de decisiones; lo que se busca es tener en un solo lugar toda la información existente en este caso del componente geológico, generada mediante la aplicación de la metodología estandarizada *Dublin Core* y georreferenciación de los trabajos de investigación.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las costas son áreas con características geológicas, geomorfológicas y dinámicas, que están estrechamente ligadas a la acción de procesos oceanográficos y meteorológicos como oleaje, mareas, corrientes, ascenso en el nivel del mar; procesos superficiales terrestres como, descarga de sedimentos y procesos internos como la tectónica, entre otros. Por su alto dinamismo, estas áreas se convierten en sistemas vulnerables a la erosión ante cambios de corta y larga duración (Rangel; 2004)

Dentro del marco del “Programa nacional de investigación para la prevención, mitigación y control de la erosión costera en Colombia” el cual presenta un plan de acción a 10 años de investigación y monitoreo, que permitirá implementar igualmente las acciones de prevención, mitigación, control y recuperación, a corto y mediano plazo, se identificó como prioritario generar una base de datos compuesta de información secundaria realizadas en el Caribe, litoral Caribe y sus áreas insulares en las ciencias de geología, geomorfología y tectónica.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La BASE DE DATOS MULTIESCALAR DEL CONOCIMIENTO GEOLOGICO DEL LITORAL Y AREAS INSULARES DEL CARIBE COLOMBIANO, es el insumo base de información secundaria; que permite al usuario identificar áreas donde se realizaron los estudios y donde sea necesario actualizar o generar la información requerida para realizar como un proyecto a futuro la caracterización tectónica, geológica y geomorfológica de la zona costera marina somera del Caribe colombiano como primer paso en la toma de decisiones para la prevención, mitigación y control de la erosión costera en Colombia.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Generar la base de datos bibliográfica y mapa (Shapefile) multiescalar de la información secundaria, con el fin de alimentar la metadata de la plataforma web COSTERO; a partir de la aplicación de metodología estandarizada para la administración de documentos bibliográficos y georreferenciación de las áreas de estudio donde la información científica preexistente fue realizada.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar, analizar y clasificar la información secundaria, para establecer parcialmente el volumen actual del conocimiento tectónico, geológico y geomorfológico de la zona, media mediante el inventario bibliográfico.
- Realizar mapa (Shapefile-ArcGIS 9.3) de georreferenciación, mediante clasificación geográfica y de terrenos geológicos de las áreas de estudio de la información bibliográfica, el cual hará parte de la metadata del geovisor de la plataforma para la investigación de Erosión COSTERO.
- Aplicar metodología estandarizada *Dublin Core*, que permita la administración y la ubicación de la información secundaria por medio del manejo de su metadata, para la creación de la base de datos bibliográfica en plataforma web COSTERO

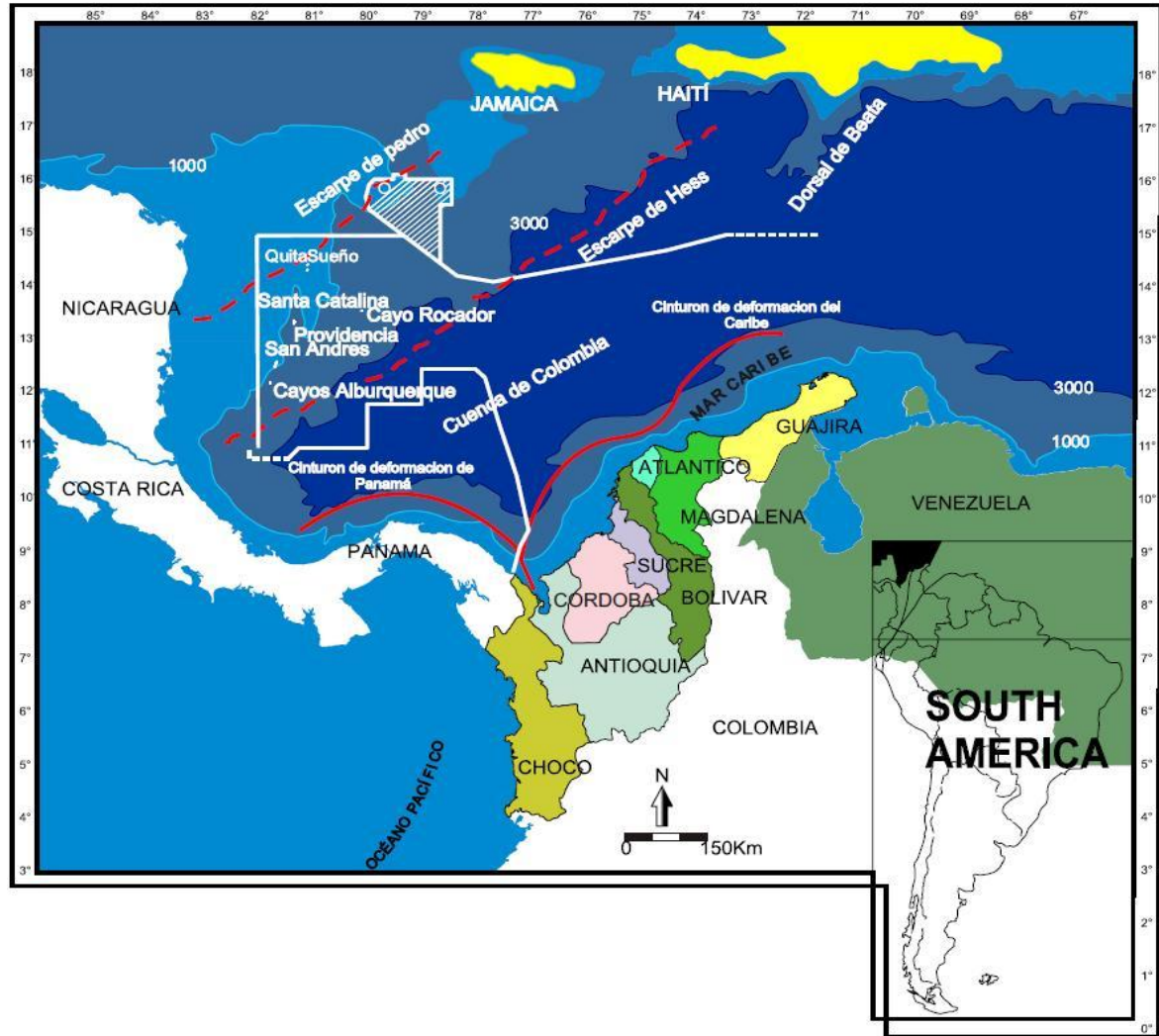
4. AREA DE ESTUDIO

4.1 LOCALIZACIÓN

El Caribe colombiano está localizado en el extremo noroeste de Suramérica. Limita al norte con Jamaica, Haití y República Dominicana; al noroeste con Nicaragua y Costa Rica; al este con Venezuela, en la zona de Castilletes (N 11°50' W 71°18'); y al oeste con Panamá, en la zona de Cabo Tiburón (N 08°42' W 77°19'). Tiene una longitud de línea de costa de 1.760 km y un área de zona costera de 35.207 km; políticamente está conformada por ocho 8 departamentos distribuidos de norte a sur de la siguiente manera: La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Antioquia y Chocó (Posada y Henao, 2008).

Los territorios insulares del Caribe colombiano se encuentran en el sector sur oriental de la plataforma arrecifal Nicaragüense y de ellos hacen parte las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y los cayos de Alburquerque, de Roncador y Quitasueño (Figura 1).

Figura 1 Ubicación de la zona Caribe colombiana, área de recopilación de la información secundaria para la base de datos bibliográfica. Mapa tomado y modificado de ANH (2007)



5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 ANTECEDENTES

Los estudios relacionados con la geología del Caribe se han desarrollado por diferentes centros de investigación e investigadores tanto nacionales como extranjeros, de acuerdo con el “PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN EROSIÓN COSTERA, CARIBE COLOMBIANO” lo que permite, a partir de información secundaria, estructurar un marco geológico regional. (*Duque-Caro, 1979, 1984; Vernet, 1985; GEOTEC-INGEOMINAS, 2003; Cedié et al., 2003; López E., 2005, Mantilla et al; 2009*). En estos trabajos se destacan los aspectos de la evolución de los cinturones del Sinú y de San Jacinto, que conforman la franja marino costera del Caribe colombiano sur y central, describiendo en ellos las estructuras tectónicas que causan movimientos relativos de los terrenos, haciendo especial énfasis al diapirismo de lodos asociado al cinturón del Sinú. En los trabajos de (*Tchanz, 1969, 1974*) se describe la Sierra Nevada de Santa Marta con sus límites tectono-estratigráficos y recientemente en los estudios de evolución de este macizo emprendidos por INGEOMINAS, ECOPETROL-ICP e INVEMAR.

Geister (1992) describe la evolución geológica de la Isla de San Andrés. elabora los mapas geomorfológicos de Providencia incluyendo el relieve submarino. La Corporación de Desarrollo Sostenible (CORALINA) ha documentado parte de las condiciones oceanográficas y climáticas, pero con especial énfasis en los componentes naturales y sociales hacia la sostenibilidad (*CORALINA, 1997*)

En cuanto a la geomorfología y procesos costeros se destaca el trabajo publicado por (*Posada, B.O. y Henao W., 2008*), en donde presentan la cartografía geomorfológica escala 1:100.000. Esta última publicación fue posible gracias a

varias investigaciones efectuadas en el Caribe colombiano por la universidad EAFIT, INVEMAR, el CIOH e INGEOMINAS, la universidad Nacional y Corpourabá.

En las áreas deltaicas se hace énfasis en diversos trabajos (*Robertson y Chaparro, 1998; Ercilla, et al; 2002; Serrano, 2004*), en los cuales se hace un análisis de la evolución de los deltas del Sinú, Magdalena y Atrato.

La estratigrafía de las formaciones costeras está contenida en las publicaciones de las planchas geológicas del INGEOMINAS, y la mayoría de ellas con énfasis en las unidades anteriores al cuaternario.

En la plataforma continental en estudios con perfiladores del subsuelo, la universidad EAFIT, elaboro levantamientos frente de la costa de Córdoba (*Ojeda, et al, 2007; Restrepo et al, 2007*); INVEMAR realizo levantamientos en la plataforma frente CGSM (*Idárraga-Garcia et al, 2010*), morfología submarina de fondos oceánicos (*Rangel e Idárraga-Garcia 2010*), por otro lado existe el grupo Oceánicos de la Universidad Nacional sede Medellín, quienes han realizado investigaciones en el campo de la oceanografía utilizando datos de satélite.

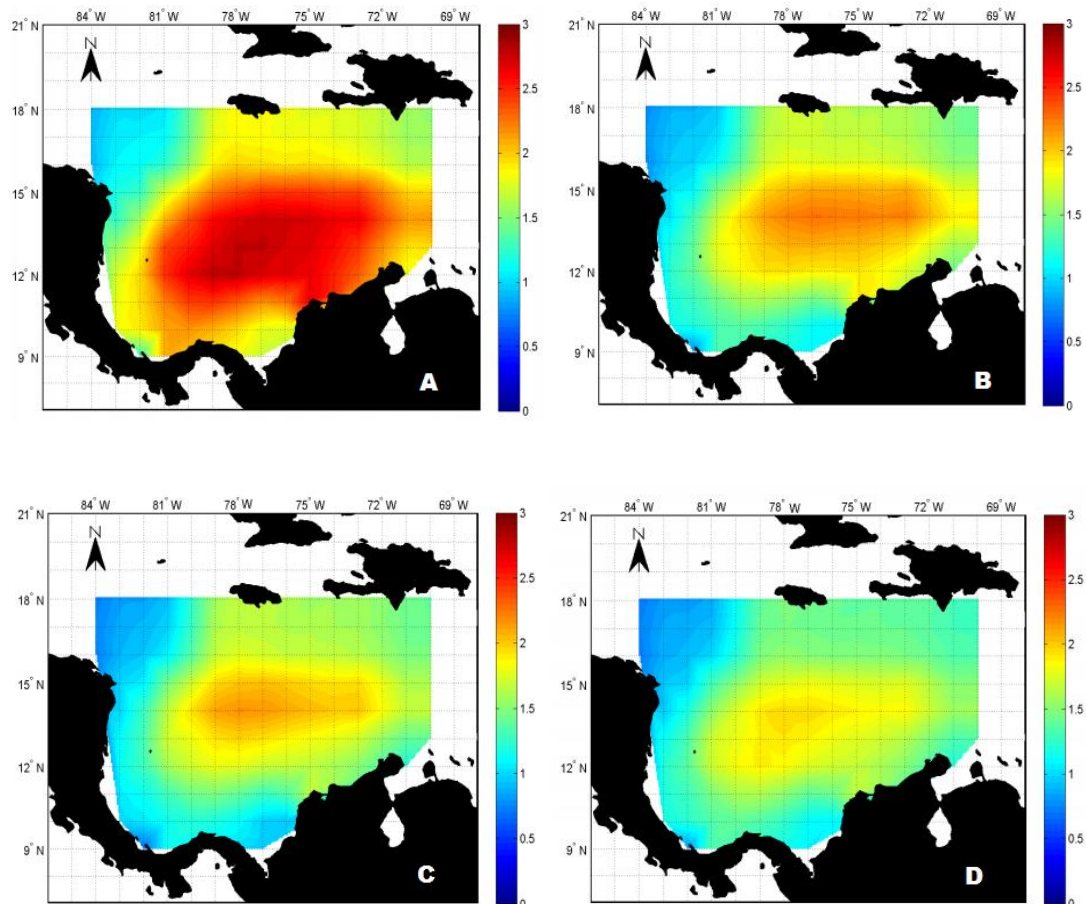
5.2 GENERALIDADES DE LA OCEANOGRAFÍA DEL CARIBE COLOMBIANO

En el Caribe colombiano se presenta una época seca a principios de año (diciembre – abril) con vientos provenientes del Norte y Noreste cuando la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) se encuentra al sur, una época de transición con vientos variables entre mayo y julio conocida como Veranillo de San Juan y la época de lluvias entre agosto y noviembre en la cual la ZCIT se encuentra al Norte (*Mesa et al. 1997*). A principios de año, los vientos Alisios del Noreste son intensos, la ZCIT permanece en el sur alrededor de los 0-5° y se genera la época seca para toda la región, temporada en la cual se intensifica el chorro de San

Andrés (Bernal *et al.* 2006). De otro lado, la estación húmeda coincide con la época de mayor intensidad del chorro del Chocó, el cual está asociado directamente con los alisios del Sureste sobre el océano Pacífico oriental

El oleaje responde a la variabilidad espacial y temporal de los vientos predominantes en el Caribe. El trabajo realizado por Mesa-García (2009) muestra que el ciclo anual del oleaje presenta un comportamiento bi-modal asociado con el comportamiento de los vientos alisios del Noreste, presentando dos periodos de vientos y oleaje intensos (bajas precipitaciones, época seca) y dos periodos de vientos y oleajes débiles (altas precipitaciones, época húmeda). La distribución espacial del oleaje muestra una zona central en el Caribe con mayores valores de altura de ola significativa (H_s) asociados al denominado chorro de San Andrés y otra zona de elevadas H_s ubicada entre Cartagena y Santa Marta. El promedio de la magnitud del oleaje en el trimestre diciembre-enero-febrero es mayor que para los otros trimestres del año, debido que en estos meses se presenta la época seca y la ZCIT se encuentra más hacia el sur favoreciendo la intensificación de los vientos alisios; mientras que el trimestre septiembre-octubre-noviembre es el que presenta las alturas H_s más bajas (Figura 2).

Figura 2. Promedio de la altura significativa de la ola en metros para los trimestres diciembre-enero-febrero (A), marzo-abril-mayo (B), junio-julio-agosto (C) y septiembre-octubre-noviembre (D), modelada a partir de datos históricos desde 1968 a 2007. Tomada de Mesa-García (2009).



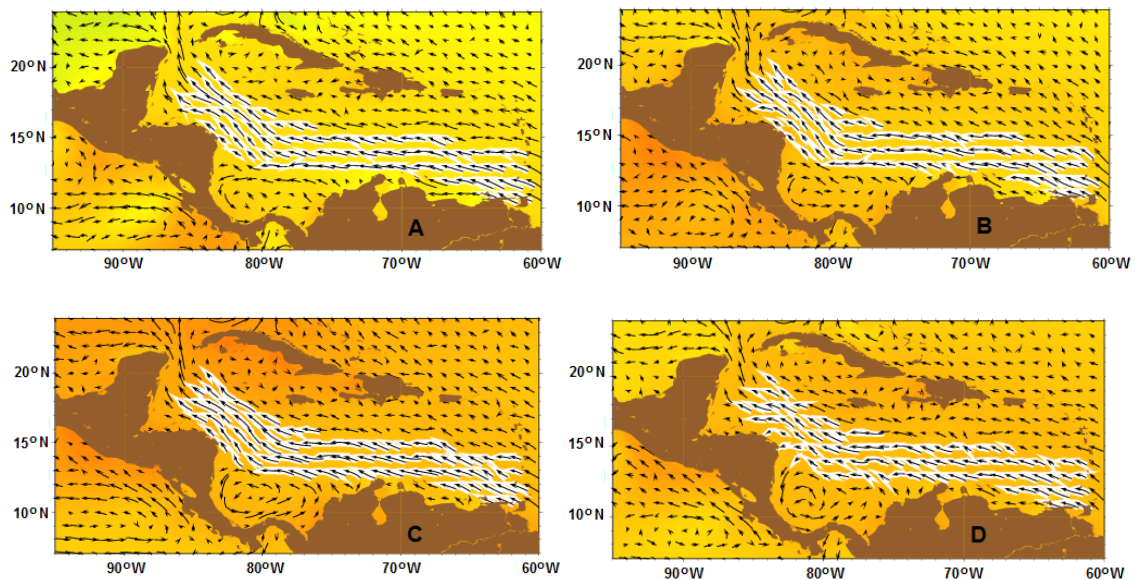
En la circulación general del mar Caribe colombiano se destacan dos corrientes principales (Figura 3), la corriente Caribe que fluye de este al noroeste (Wust, 1963) generada por los vientos Alisios y el giro ciclónico Panamá-Colombia (Mooers and Maul, 1998) cuya rama costera se conoce como la contracorriente de Panamá-Colombia y bordea la costa Caribe colombiana (Pujos et al. 1986). Esta contracorriente tiene mayor actividad sobre las costas colombianas en la estación lluviosa, proviene del suroeste del Caribe y su alcance depende de las épocas climáticas: en el período seco permanece frente al golfo de Urabá, durante los

siguientes seis meses llega a alcanzar los alrededores del río Magdalena y su máxima dispersión se logra entre octubre y noviembre cuando llega a las costas de la Guajira (Javelaud, 1986).

Figura 3. Principales corrientes superficiales en el Caribe colombiano para los trimestres enero-febrero-marzo (A), abril-mayo-junio (B), julio-agosto-septiembre (C) y octubre-noviembre-diciembre (D). Tomada de: Joanna Gyory, Arthur J. Mariano, Edward H. Ryan.

"The Caribbean Current." Ocean Surface Currents.

<http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/caribbean/caribbean.html>.



La orientación general de las corrientes en superficie y la dirección del viento en el Caribe es de este a oeste, orientación que es responsable de la surgencia que ha sido reportada por varios autores cerca de la costa de Colombia y Venezuela (Fajardo, 1979; Andrade, 2000). En el Caribe colombiano se ha encontrado que la surgencia es estacional y coincide con la presencia de los vientos Alisios del Noreste y el desplazamiento de la ZCIT en el ciclo anual y ocurre con mayor intensidad entre Punta Gallinas y Puerto Colombia, aunque su influencia es más notoria en las costas de los departamentos de La Guajira y Magdalena, en donde ascienden aguas pertenecientes a la Masa de Agua Subtropical Sumergida, provenientes de profundidades entre 100 y 200 m (Fajardo, 1979).

Adicional a las corrientes mencionadas, el mar Caribe está influenciado por los aporte fluviales provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta, del río Magdalena y de los ríos Atrato y Sinú en el Caribe suroccidental. Estos aportes terrígenos influyen en la distribución sedimentaria de los fondos, la turbidez del agua y el intercambio de material tanto biótico como abiótico de las áreas circundantes.

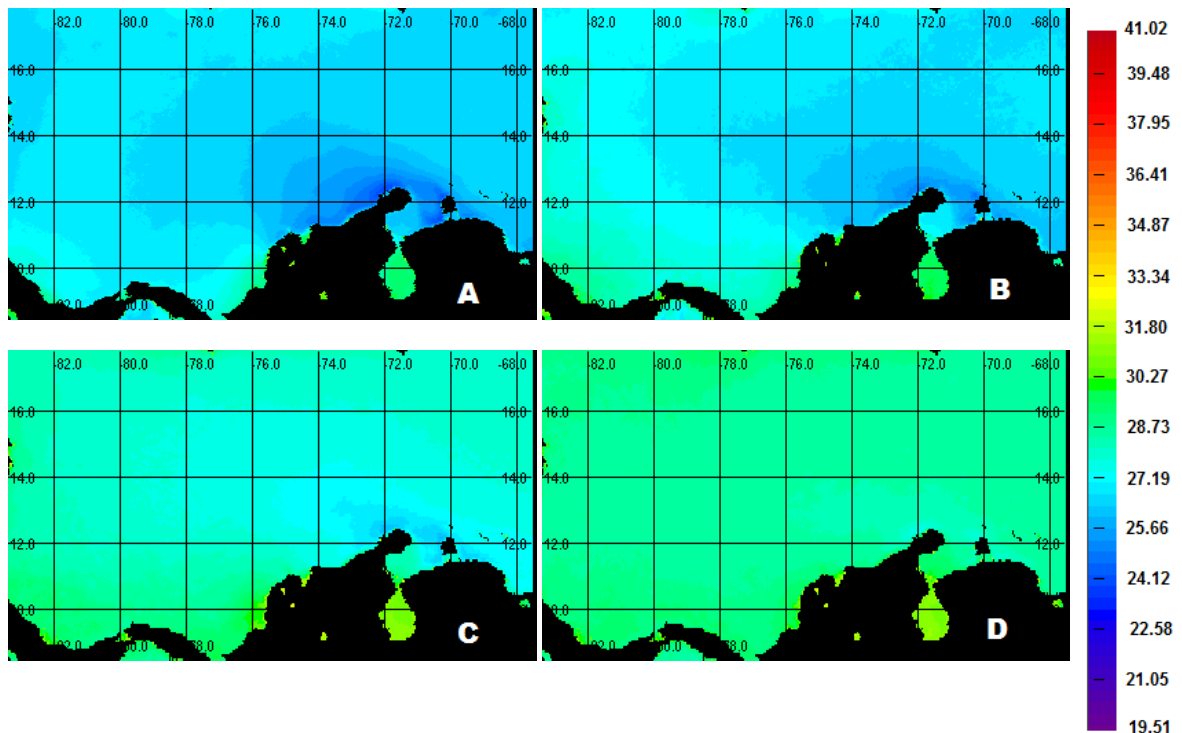
En los deltas del Caribe, López-Isaza (2008) encontró que las mareas son de rango micromareal (entre 0.15 y 0.62 m) con un número mareal cercano a 5 para el río Atrato y Sinú indicando un tipo diurno y de 1.81 para el río Magdalena indicando un tipo mareal mixto con mayor influencia de componentes diurnos. Según García *et al.* (2011) La marea en el área de la bahía de Santa Marta tiene un rango mareal de 48 cm y se clasifica como mixta principalmente diurna, lo que coincide con lo reportado por Molaes (2004) para otras regiones cercanas del Caribe Colombiano, como Cartagena y las Islas del Rosario.

La temperatura superficial del mar (TSM) es una de las variables oceanográficas más utilizadas como indicador ambiental marino, por estar relacionada con aspectos físicos como corrientes marinas, intensidad de los vientos superficiales, dinámica de la capa de mezcla, energía cinética turbulenta, precipitación e intensidad de la radiación solar (Bernal *et al.*, 2006). El análisis de las TSM derivadas de imágenes satelitales del Caribe colombiano entre 1982 y 2000 realizado por Bernal *et al.* (2006), reveló una diferenciación espacial en las escalas anual e interanual entre dos componentes extremos: la piscina cálida en el suroeste (SW) y la piscina fría en el noreste (NE). La figura 3 muestra la climatología de la TSM para los años 2002-2011 derivada del sensor MODIS-AQUA a 4 km de resolución, en la cual se verifica la diferenciación entre el SW y el NE.

La TSM presenta sus valores más bajos durante los meses de diciembre a marzo (época seca) cuando hay un incremento en la intensidad del viento y se manifiesta el fenómeno oceanográfico de la surgencia costera. En los meses posteriores hay un incremento de la TSM, alcanzando los mayores valores en los meses de septiembre y octubre durante la época húmeda donde disminuye el viento y aumentan las precipitaciones. En el Caribe en general se encuentran altas temperaturas a lo largo del año (Figura 4), a excepción de los departamentos de la Guajira y Magdalena, donde la orientación general de las corrientes en superficie y la dirección del viento son responsables de la surgencia que ha sido reportada por varios autores cerca de la costa de Colombia y Venezuela a principios de año (Fajardo, 1979; Andrade, 2000).

Figura 4. Temperatura superficial del mar promedio para los trimestres diciembre-enero-febrero (A), marzo-abril-mayo (B), junio-julio-agosto (C) y septiembre-octubre-noviembre (D).

Fuente de datos: sensor MODIS-AQUA (2002-2011).



5.3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA TECTONOESTRATIGRÁFICA Y GEOMORFOLÓGICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS.

La revisión bibliográfica, se basó en los trabajos desarrollados por Etayo-Serna et al 1983; Lopez, E, 2005 y Posada y Henao 2008, que sirven como marco regional en las tres facetas (tectónica, geología y geomorfología) complementándolos con investigaciones más puntuales desarrolladas para el área del Caribe

5.4 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LAS TEORÍAS DE EVOLUCIÓN TECTONOESTRATIGRÁFICA DEL CARIBE Y CARIBE COLOMBIANO

El Caribe es el resultado de la evolución tectónica y estratigráfica que inicia aproximadamente desde mediados del Mesoproterozoico con la interacción de los continentes Angara, Laurentia y Báltica, y termina con la separación del supercontinente de Pangea dando paso a las orogénias Pre Andina y Andina que configuran el Caribe como lo conocemos hoy. Etayo-Serna *et al;* (1983) propone la evolución tectónica del Caribe colombiano de acuerdo con la división tectono-estratigráfica de las unidades conocidas hasta el momento, los agrupa en nueve (9) terrenos, posteriormente Duque-Caro, (1984) hace una reevaluación de las interpretaciones anteriores y de esta forma define una nueva provincia tectono-estratigráfica denominada terreno Sinú-San Jacinto, en el cual el diapirismo aparece como el factor deformante más importante y propone los posibles límites offshore de este terreno, hasta el Beta Ridge; el cual Flinch, (2003) lo lleva solamente al norte hasta la falla Santa Marta-Bucaramanga y al sur lo limita con la falla Uramita propuesta por Duque-Caro (1990); por último López, E (2005), propone que el Caribe Colombiano se encuentra dividido en cuatro grandes terrenos que incluyen los denominados anteriormente (Figura 5)

La región del Caribe Colombiano hace parte de la esquina noroccidental de Suramérica (Figura 6) y está conformada por varios bloques corticales o terrenos

geológicos de edad y composición distintivos; que permiten postular cuatro grandes ciclos tectónicos; dos de los ciclos pueden definirse entre las orogénias de Grenville, Caledoniana y Alleghaniana, ocurridas durante el Proterozoico y Paleozoico (Figura 7); un tercer ciclo se define entre la orogenia Alleghaniana y el inicio de la subducción bajo la placa de Suramérica durante el Mesozoico y un cuarto ciclo cierra con el levantamiento de los Andes durante el Cenozoico (López, E., 2005). Durante este último ciclo, se define la actual configuración del noroccidente del Caribe colombiano con la migración hacia el oeste de los paleosurcos de Romeral, Sinú y Colombia acrecionando el terreno Sinu-San Jacinto según Duque-Caro (1978), que posteriormente Vargas et al. 2002 lo denomina efecto Roll back que causa aumentos de la corteza oceánica en el margen occidental de continente Sur Americano (*Drummond, 1981., Case et al, 1983., Duque-Caro, 1984., Restrepo-Pace, 1992., Kellog y Vega, 1995., GEOTEC-INGEOMINAS, 2002., López, E., 2005*)

Figura 6. Esquema tectónico de la esquina Noroccidental de Sur América. Tomado y modificado por Idárraga-García, J. y Romero, 2008 J. MB: Bloque Maracaibo, NAB: Bloque Norte de los Andes; SMBF: Falla Santa Marta-Bucaramanga; OAF: Falla Oca; SNSM: Sierra Nevada de Santa Marta.

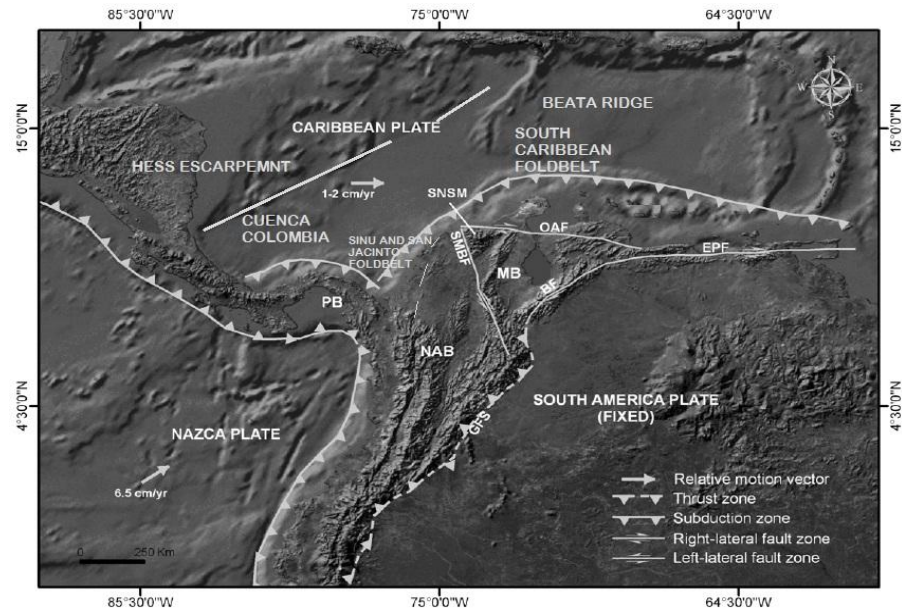
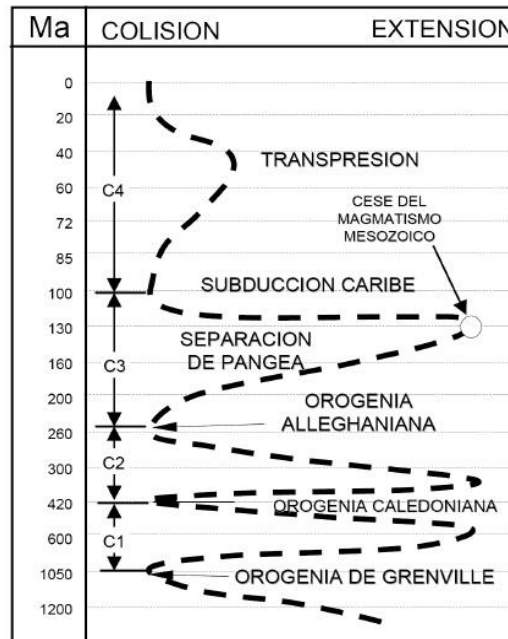


Figura 7. Secuencias de eventos orogénicos del Caribe colombiano. Tomado de López, E. (2005)



5.4.1 Primer ciclo tectónico.

5.4.1.1 Mesoproterozoico (1400-1200 Ma): Durante el Mesoproterozoico (1400-1200 Ma), el continente de Angara (Amazonia), se acerca a los continentes de Laurentia y Báltica, produciendo un margen convergente al oriente de ellos (Figura 8 a). La porción correspondiente al Caribe de Colombia, se comportó como un margen continental pasivo (López, E., 2005)

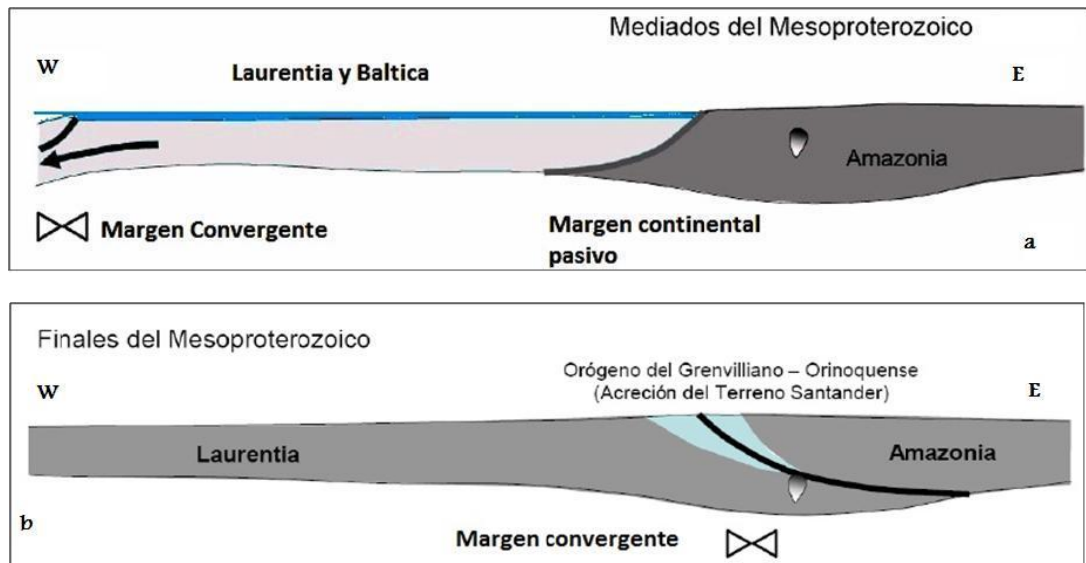
Angara (Amazonia) colisiona con Laurentia y Báltica, conformando el cinturón orogénico de Grenville (Figura 8 b). En el norte de Colombia se refleja, en la península de La Guajira donde Mac Donald, (1972) data circones con U/Pb en granitos colectados en cercanías a Jonjoncito, que obtuvieron edades de alrededor de los 1250 Ma; estas rocas presentan metamorfismo regional de alto grado, que en la Sierra Nevada de Santa Marta son intruidas por rocas ígneas, las cuales fueron datadas por Tschanz (1969) y arrojaron edades radiométricas 1300 Ma; Macdonald y Hurley (1969) obtuvieron con Rb/Sr edades entre los 1300-1400 Ma y Restrepo-Pace, P., (1962, 1967) obtuvo edades con U/Pb en Circón de 1100 Ma, indicando para este tiempo una posible acreción del terreno Santander (*representado por los Terrenos Cosinas; Baja Guajira; Sierra Nevada de Santa Marta*), el cual constituye el basamento actual de las cordilleras Central, Oriental y Sierra Nevada de Santa Marta.

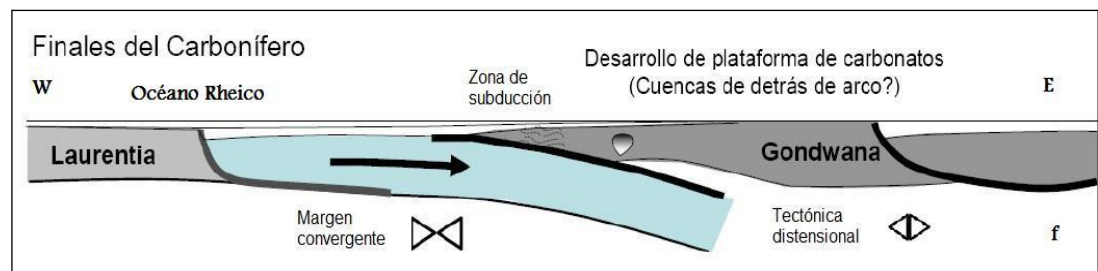
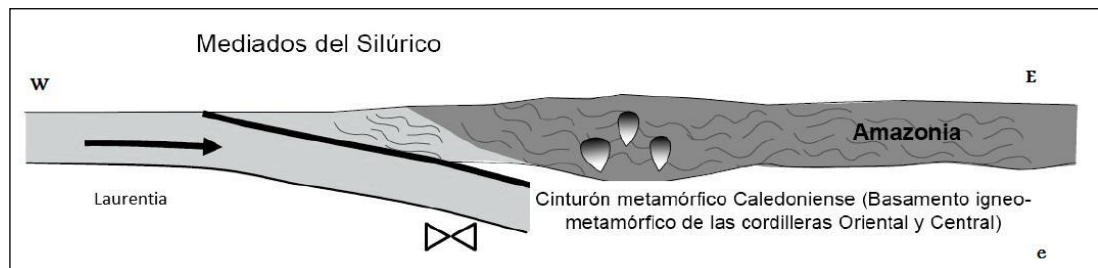
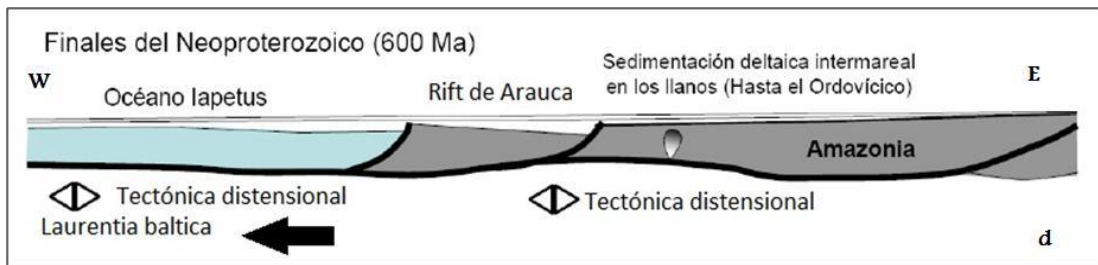
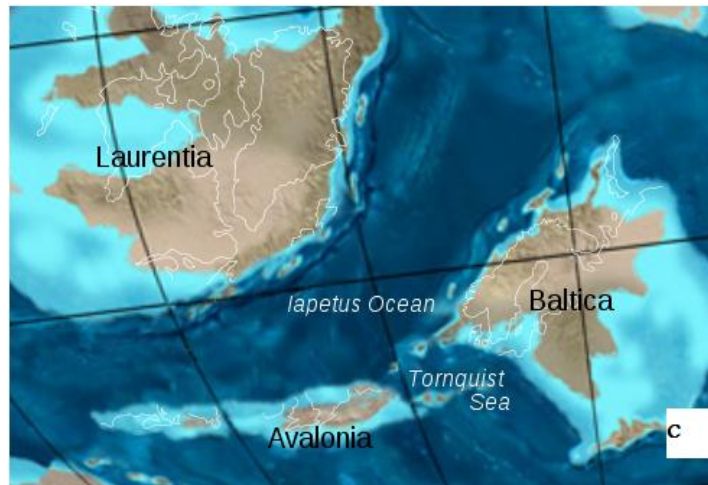
5.4.1.2 Neoproterozoico (1000-542 Ma): Durante el Neoproterozoico (1000-542 Ma), Laurentia y Báltica se separan formando el Océano de Iapetus (Figura 8c). Amazonia se comporta como un margen pasivo afectado por una importante tectónica extensional, formando grandes valles de rift dispuestos de forma perpendicular al cratón, representado en Colombia por el Rift de Arauca (López, E., 2005) (Figura 8 d).

5.4.1.3 Finales del Cámbrico-Silúrico (510-420 Ma) : A inicios del Ordovícico (490 Ma), Laurentia y Amazonia sufren una nueva colisión, cerrando el paso del Océano de Iapetus, cierre que termina a mediados del Silúrico con la llamada Orogenia Caledoniense, originando el cinturón metamórfico del mismo nombre; en Colombia esta se conoce como la Orogenia Caparonensis (Restrepo-Pace-Pace, 1997). Como resultado de esta, los sedimentos acumulados durante la fase extensional del Neoproterozoico localizados en la zona de colisión, sufrieron metamorfismo regional (Figura 8 e), de bajo a medio grado (Formación Silgará), sobre imponiendo un nuevo evento metamórfico a las rocas del terreno Santander (*Terrenos Cosinas, Baja Guajira y Sierra Nevada de Santa Marta*).

Figura 8 a) Angara, se acerca a los continentes de Laurentia y Báltica, produciendo un margen convergente al oriente de ellos, b) Angara colisiona con Laurentia y Báltica, conformando el cinturón orogénico de Grenville, c y d) Amazonia se separa de Laurentia y Báltica, formando el Océano de Iapetus, y Formación de Rift e) Cierre del Océano de Iapetus termina a mediados del Silúrico con la llamada Orogenia Caledoniense, f) Laurentia se dirige hacia Gondwana chocan formando una zona de subducción cerrando el océano Reico.

Tomada y modificada de López, E., (2005) y MiddleOrdovicianGlobal.





5.4.2 Segundo ciclo tectónico

5.4.2.1 Medios del Silúrico hasta mediados del Pérmico (420 a 260 Ma): A finales del Silúrico, Angara, Laurentia y Báltica conforman un solo gran continente, manteniéndose así hasta mediados del Devónico (Restrepo-Pace, 1992). Un proceso de separación continental entre Laurentia y Angara ahora parte del supercontinente de Gondwana, se registra desde mediados del Devónico, dando origen a márgenes pasivos en ambos continentes, sobre estas márgenes son depositados sedimentos orgánicos de fondo oceánico, por corrientes de ascenso o "*upwelling*" (Parrish, 1995).

5.4.2.2 Carbonífero-Pérmico (320-260 Ma): A finales del Carbonífero, Laurentia se dirige hacia Gondwana, al occidente de la cual se forma una zona de subducción (Figura 8 f). En la parte cratónica de Gondwana, se desarrolla sedimentación clástica y de carbonatos en cuencas, controladas por fallas normales, de las cuales quedan vestigios en la Serranía del Perijá (Formación Tornadero), en la península de la Guajira en los paraesquistos de la formación Macuira intruidos por cuerpos graníticos, que se encuentra estratigráficamente por debajo de la formación la quinta de edad Cretácico-Jurasico medio (MacDonald, 1964; Lockwood, 1965) datada con K/Ar en muscovita de 195 Ma medido; según Tchanz *et al*; (1969) esta formación es correlacionable con los paraesquistos, ortoesquistos y metadioritas del Cinturón de Sevilla (Sierra Nevada de Santa Marta), de edad radiogénica K/Ar de 250 Ma, indicando que el borde continental es sometido a un nuevo evento metamórfico que afecto el terreno Sevilla-Puqui (*Terrenos Sevilla, San Jorge-Plato*).

Laurentia colisiona con la parte nororiental de Gondwana, originando una cadena montañosa que termina de formarse a mediados del Pérmico, cuando se cierra al suroccidente la colisión continental y se forma el supercontinente de Pangea. Esta colisión se ha denominado como Alleghaniana y permitió conformar una gran

cadena montañosa en la parte central de Pangea, dejando algunos remanentes fuertemente plegados y fallados de la sedimentación ocurrida durante el Devónico, Carbonífero y parte del Pérmico. Durante esta colisión, ambas placas continentales se suturan (Sutura del Espíritu Santo? Ujueta-Lozano 2007), mientras la corteza oceánica bajo Gondwana continua descendiendo (López, E., 2005) (Figura 8 f).

Como resultado de esta colisión es posible que las rocas del terreno Sevilla-Puquí (*Terreno Sevilla-Santa Marta*) fueron acrecionadas al margen occidental de Gondwana, con efectos de metamorfismo retrogrado e intrusiones sinorogénicas (Ordoñez, 2001). Posteriormente (Cardona et al., 2010) la conexión con el principal evento denominado Alleghaniano-ouachitan orogenia ocurrieron en tiempos diferentes. Los plutones composicional y temporalmente son correlacionados con un arco encontrado en el norte de los Andes terreno Gonduna Mejicana y representan un evento magmático. Esta orogenia marca el fin del segundo ciclo tectónico y el inicio del tercer ciclo.

5.4.3 Tercer ciclo tectónico

5.4.3.1 Medios del pérmico hasta mediados del cretácico (260-100 Ma): El tercer ciclo tectónico, inicia con el fin de la orogenia Alleghaniana a mediados del Pérmico (260 Ma) y finaliza a mediados del Cretácico (100 Ma) con el desarrollo de la subducción de la Placa de Farallones (Caribe) bajo Gondwana, que corresponde a una colisión océano - continente. (López, E., 2005).

Durante el Triásico, el borde más suroccidental de Laurentia, conocido como bloque Chortis, está unido a Gondwana, sector en el cual, tiene lugar el desarrollo de un arco magmático regional, que permitió el emplazamiento de grandes masas graníticas (Batolito de Norosí, Batolito de Santa Bárbara, Batolito de La Corcova, Granito de Pescadero y Batolito de Bolívar) (López, E., 2005).

Desde mediados del Triásico hasta finales del Jurásico, el supercontinente Pangea inicia su separación, formándose una zona de expansión oceánica entre Norteamérica y Gondwana, configurando márgenes pasivos en ambos continentes. Hasta aquí se ha explicado la formación y los eventos que han afectado durante la evolución tectónica los terrenos descritos en la figura 1, acrecionados a la región Caribe colombiana hasta el Pérmico temprano, a partir de este momento debemos tener en cuenta además, la evolución tectónica de la placa Caribe la cual ha sido analizada por varios autores, que han propuesto fundamentalmente dos hipótesis.

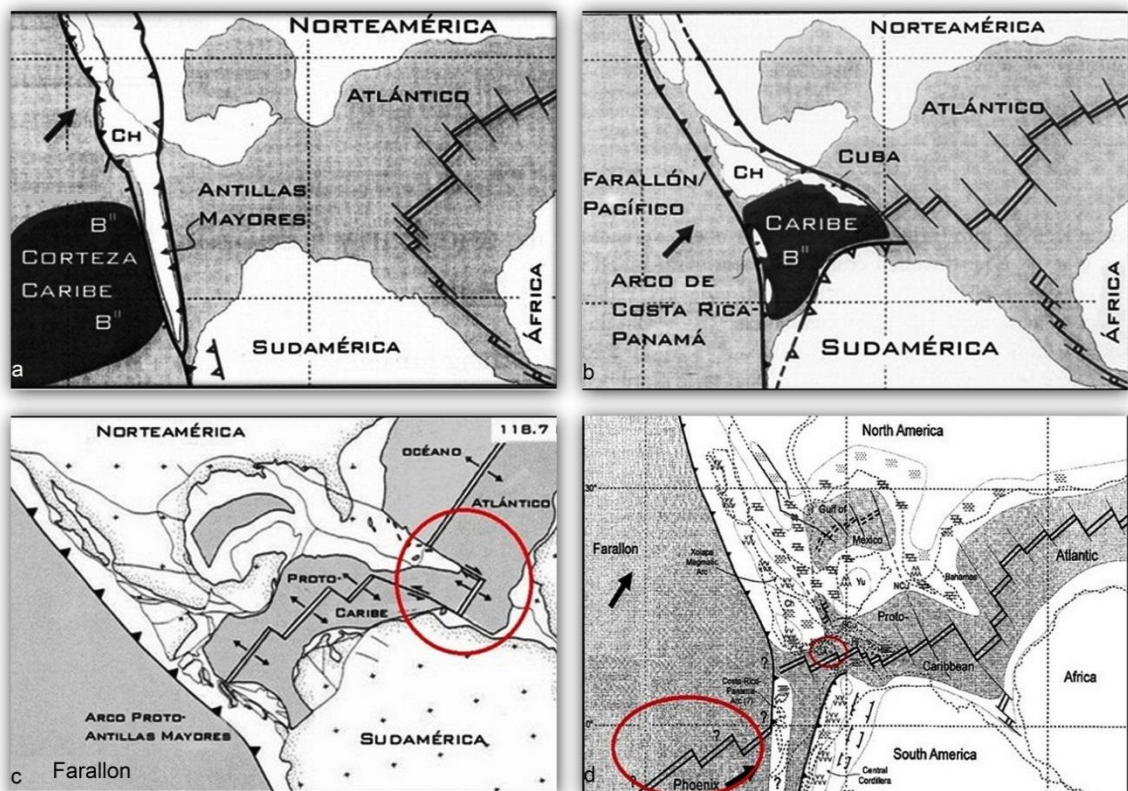
1. **La hipótesis Pacífico:** propone la formación de la Placa Caribe en la Océano Pacífico en el Mesozoico Superior, desplazándose por deriva continental hasta su posición actual entre las dos Américas (Pindell y Dewey, 1982; Pindell, J.L., 1994; Ross y Scotese, 1988; Dewey, J.F., y Pindell, J. L., 1986) (Figura 9 a).
2. **La hipótesis del Caribe cercano:** Este propone la formación de la Placa Caribe al oeste de su posición actual, pero todavía entre las dos Américas (Meschede y Frisch, 1998) (Figura 9 b).

Estas dos hipótesis se basan en ocurrencia de eventos, disposición de placas, interpretación de datos paleomagnéticos y petroquímicos los cuales han sido utilizados para la reconstrucción de la evolución tectónica de la placa Caribe

La primera diferencia entre las dos hipótesis se observa en las figuras 5c y 5d, mientras el hipótesis Pacífico afirma que la Placa Farallón subduce tanto a la Placa Norteamericana como a la Placa Suramericana y que la apertura del ProtoCaribe está relacionada con el salto de una zona de rifting (Figura 9 c)(Dewey, J.F., y Pindell, J. L., 1986), el hipótesis de Caribe cercano propone que la apertura del Protocaribe es producto de un mismo fenómeno de expansión desde los Alpes hasta el Pacífico, donde la Placa Farallón está separada de la

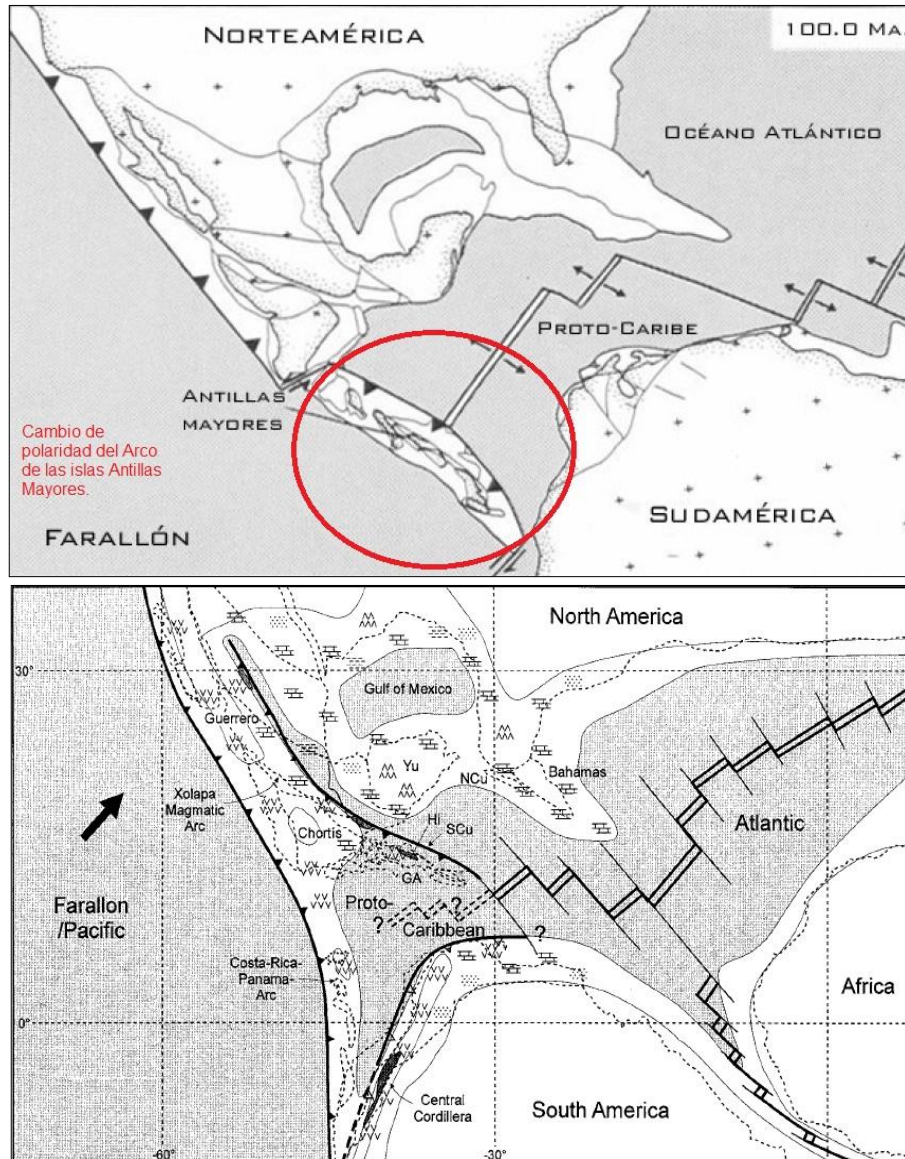
Placa Phoenix que subducen a la Placa Norteamericana y a la Placa Suramericana respectivamente (Meschede y Frisch, 1998) (Figura 9 d).

Figura 9. a) Hipótesis Pacífico, propuesto por Pindell (1982) b) Hipótesis Caribe cercano, propuesto por (Meschede y Frisch 1998), c) Hipótesis Pacífico. La Placa Farallón subduce a las Placas de Norte y Sur América, y la formación del Protocaribe se debe a un salto de la zona de rifting. Tomado y modificado de Ross y Scotese, (1988). d) Hipótesis de Caribe Cercano. La Placa Phoenix subduce a las Placas de Norte y Sur América. Tomado y Modificado de por (Meschede y Frisch 1998).



La segunda diferencia en los hipótesis consiste en la formación de las Antillas Mayores, para el hipótesis del Pacífico, este es el arco de islas producto de la subducción de la Placa Farallón bajo la Placa Suramericana (Figura 10 a). El hipótesis de Caribe cercano propone la existencia de las Antillas Mayores al norte de la Placa Suramericana, ligeramente más al oeste de su posición actual (Figura 10 b).

Figura 10. a) Hipótesis Pacífico Albiano. Cambio de polaridad del arco de las islas Antillas Mayores. Introducción de la placa Farallón entre las placas Norte y Suramericanas. Tomado y modificado de Ross y Scotese, (1988), b) Hipótesis Caribe Cercano Albiano. Zona de subducción a lo largo del complejo ofiolítico de Costa Rica. Tomado y Modificado de (Meschede y Frisch 1998).



La tercera diferencia se da en el Albiano, hace 100 Ma donde ocurre uno de los más importantes eventos en la evolución tectónica del Caribe. La hipótesis Pacífico propone que la polaridad bajo el arco de islas de las Antillas Mayores cambia, de oeste-este a este-oeste ocasionando que la Placa Farallón comience a introducirse entre la Placa Norteamericana y la Placa Suramericana produciéndose así la subducción del Protocaribe bajo el arco de las Antillas Mayores (Figura 10 a). La hipótesis de Caribe cercano propone una zona de subducción al norte, a lo largo del complejo ofiolítico de Guatemala y que el Arco de Costa Rica–Panamá de edad Albiano es producto de la subducción de la Placa Farallón (Figura 10 b).

La cuarta diferencia entre las hipótesis se debe al tiempo geológico en el cual la Placa Farallón inicia la subducción con la Placa Suramericana.

La hipótesis del Caribe Cercano esta inicia en el Santoniano (85 Ma), cuando el movimiento relativo entre la Placa Norteamericana y la Placa Suramericana es prácticamente nulo debido al movimiento relativo entre la Placa Norteamericana-Europa y la Placa Suramericana-África, deteniéndose así la expansión del Protocaribe (Meschede y Frisch 1998). Al sur se inicia la subducción de la Placa Farallón por la Placa Suramericana (Figura 11)

La hipótesis Pacífico plantea que el movimiento de la Placa Farallón continúa al noreste generando así una zona de subducción al oeste del Arco de Costa Rica-Panamá dando origen a Centroamérica, esto ocasiona a su vez que el Caribe se aísle como elemento tectónico (Figura 12).

Figura 11. Hipótesis Caribe Cercano. Santoniano inicio de la subducción de la Placa Farallón contra la Placa Suramericana.

Tomado y Modificado de (Meschede y Frisch 1998)

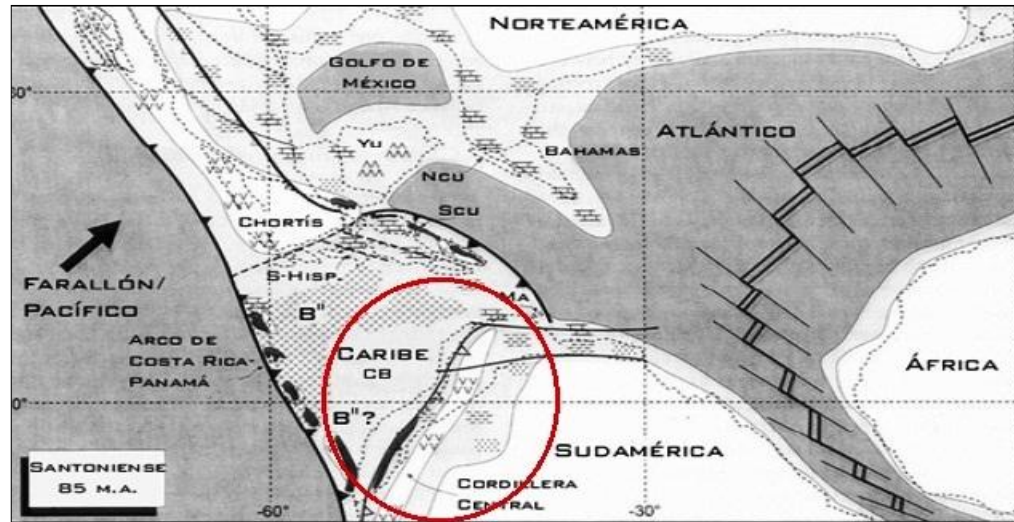
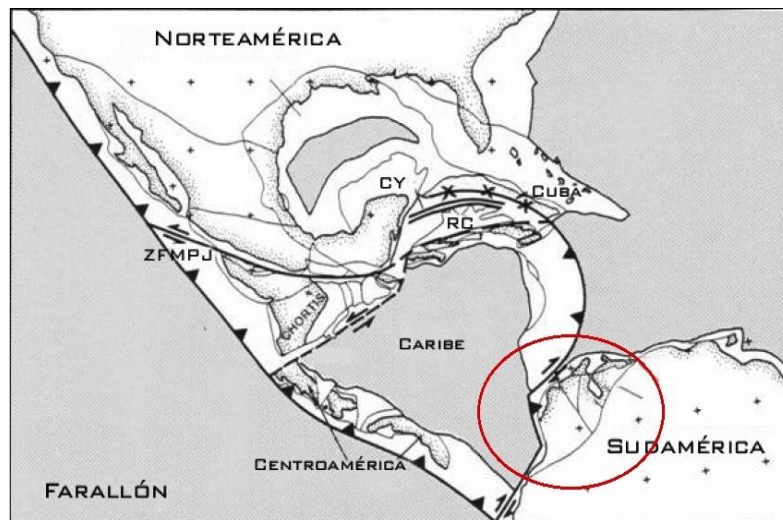


Figura 12. Hipótesis Pacífico. Paleoceno Inferior, inicio de la subducción de la Placa Farallón contra la Placa Suramericana.

Tomado y modificado de Ross y Scotese, (1988).



Desde mediados del Triásico (270 Ma) hasta finales del Jurásico (160 Ma), el supercontinente de Pangea inicia su separación, formándose una zona de expansión oceánica entre Norteamérica y Gondwana, configurando márgenes pasivos en ambos continentes. Durante el desarrollo de la zona de expansión

intercontinental, fallas transformantes afectan las placas continentales. En la Región Caribe, rocas de los terrenos Santander Puquí-Sevilla son afectados por fallas transformantes de dirección NW - SE, permitiendo configurar sistemas de "half graben" de margen inferior al sur y de margen superior al norte (Figura 13 a), con movimiento relativo dextral, dando origen a estructuras como el Arco de Magangué definido por Duque-Caro, 1984. (López, E., 2005).

Durante el Cretácico inferior, las masas continentales de Norteamérica y Suramérica continúan su separación, limitando un extenso mar denominado Tetis, configurando la zona de avance del protocaribe, aumentando el efecto de las fallas transformantes en las márgenes continentales (Figura 13 b), generando cuencas de rift pericratónicas cada vez mayores en la esquina noroccidental de Gondwana (*Terrenos Maracaibo, Valle Medio del Magdalena, Cesar - Ranchería*).

5.4.4 Cuarto ciclo tectónico

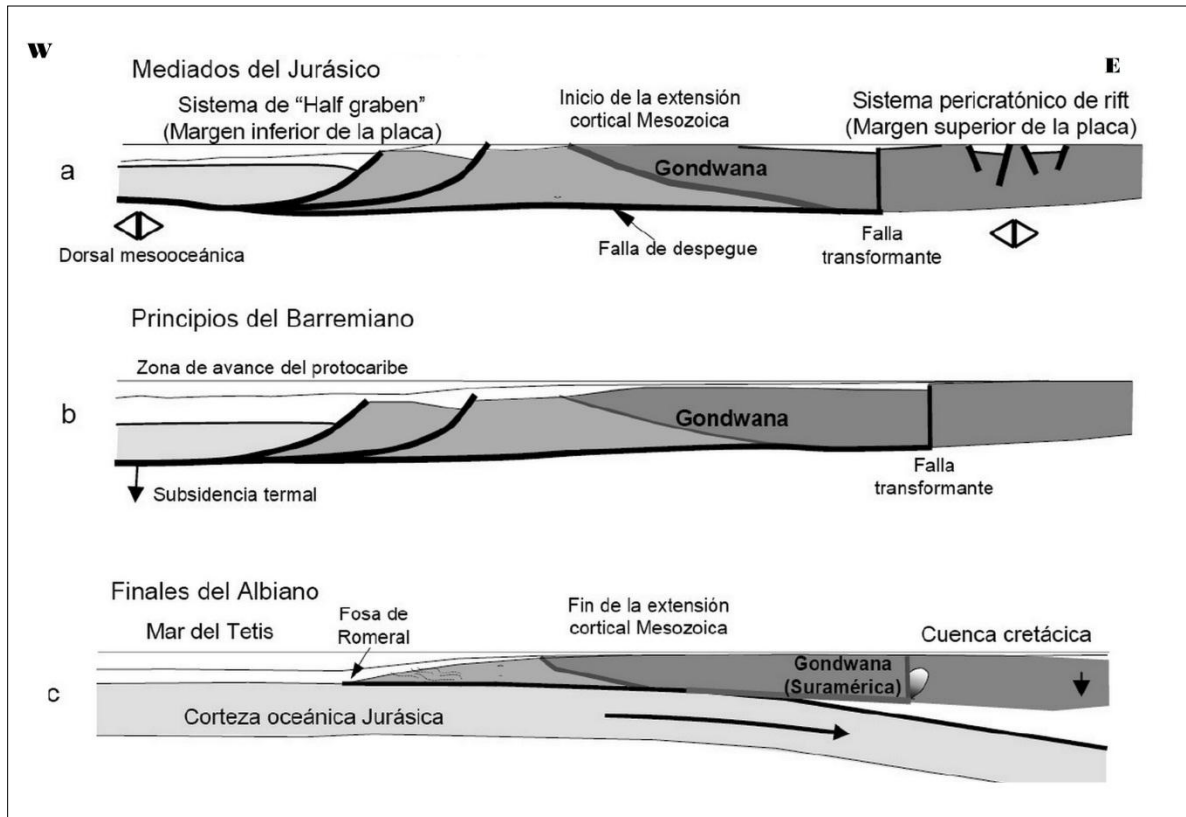
5.4.4.1 Mediados del cretácico hasta el cuaternario (100 Ma al tiempo actual):

El cuarto ciclo tectónico inicia con el fin de la separación del supercontinente de Pangea a mediados del Cretácico (100 Ma), y el inicio de la subducción de la Placa de Farallones (Protoplaca del Caribe), proceso que modela aún la esquina noroccidental de Suramérica.

La convergencia entre las placas Caribe y Suramericana durante el Cretácico fue oblicua (Dewey, 1975; Daly, 1989; Estrada, 1995), causada por el movimiento de la Placa Suramericana hacia el Occidente producto de la expansión del fondo oceánico del Atlántico, mientras la Placa Caribe que según Duncan and Hargraves, 1984 se desplaza hacia el Oriente por los procesos de expansión del fondo oceánico del Pacífico. Al interior del continente, esta convergencia oblicua ha causado eventos de acreción de fragmentos de corteza oceánica al borde

continental heterócronos, al igual que la apertura y cierre de las cuencas sedimentarias (INGEOMINAS, 2002., López, E., 2005).

Figura 13. a) Pangea inicia su separación, formándose una zona de expansión oceánica entre Norteamérica y Gondwana, b) Separación de Norte América y Sur América, formación del mar Tetis, c) la placa Caribe se desplaza hacia el Oriente, ocupando gradualmente el espacio del mar Tetis. Tomada y modificada de López, E., (2005)



El margen pasivo que se había desarrollado al norte de Suramérica a principios del Mesozoico, cambia a una margen convergente, el cual fue utilizado por la Placa Caribe para migrar hacia el nororiente durante el Paleógeno y hacia el Oriente durante el Neógeno (López, E., 2005).

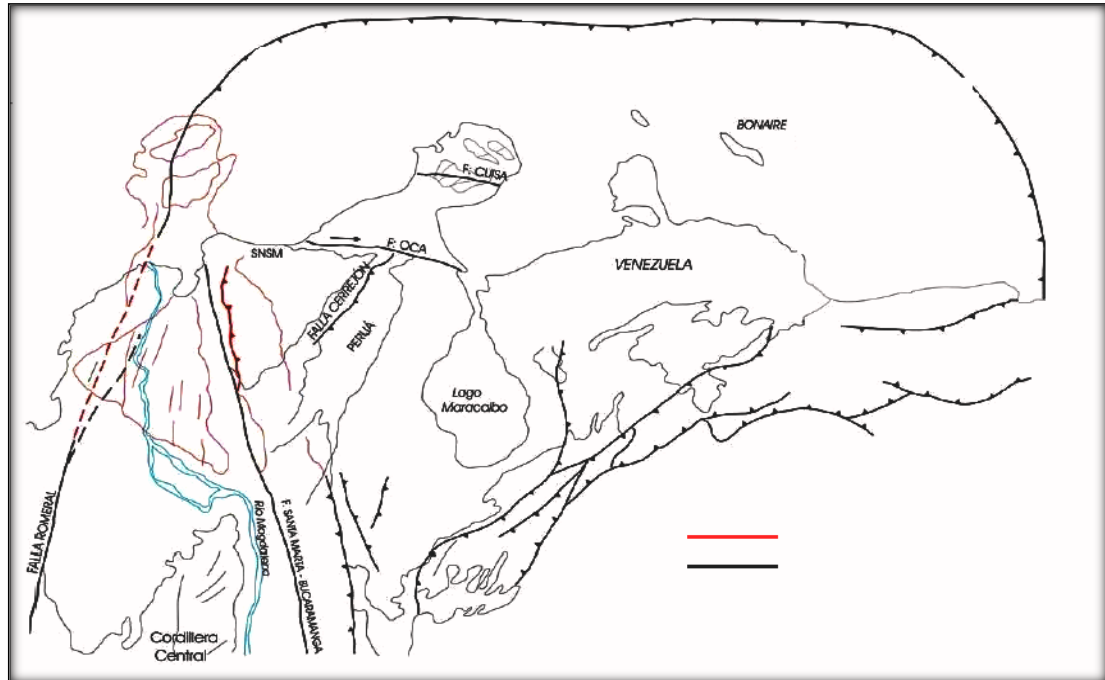
5.4.4.2 Cretácico tardío-Paleoceno: A finales del Santoniano la placa Caribe se desplaza hacia el Oriente, ocupando gradualmente el espacio que durante el Cretácico Inferior sirvió para alojar el mar Tetis; como resultado del movimiento de

Suramérica hacia el occidente, se desarrolla un margen convergente al occidente de la placa Suramericana (López, E., 2005) y transformante al noroccidente, originando la Surco de Romeral límite entre las placas Caribe y Suramérica (Duque-Caro, 1978)(Figura 13 c).

El borde norte de la parte noroccidental de la Placa Suramericana se acrecionó, mediante obducción, corteza oceánica y sedimentos marinos proveniente de la Placa Caribe, se metamorfosearon dinámicamente en facies esquistos verdes. Estas unidades en la península de La Guajira se encuentran localizadas al occidente de la Falla Simarúa y corresponden a las formaciones Jarara, Paráuinkrein, Ipanaruhu, Carpintero y Etpana, estas dos últimas con rocas máficas y ultramáficas asociadas (INGEOMINAS, 2002). Posteriormente Weber et al., (2010) proponen para este mismo periodo una subducción en el margen Suramericano con el arco intraoceanico del Caribe (Figura 14).

En la Sierra Nevada de Santa Marta este evento está registrado en el extremo noroccidental, al occidente del lineamiento Sevilla, por las rocas metamórficas en facies esquistos verdes del área de Santa Marta (INGEOMINAS, 2002).

Figura 14. Limite Placa Caribe y Suramericana, la línea roja representa la posición en el cretácico de las SNSM y la península de la Guajira, línea negra posición actual. Tomado de INGEOMINAS, 2002

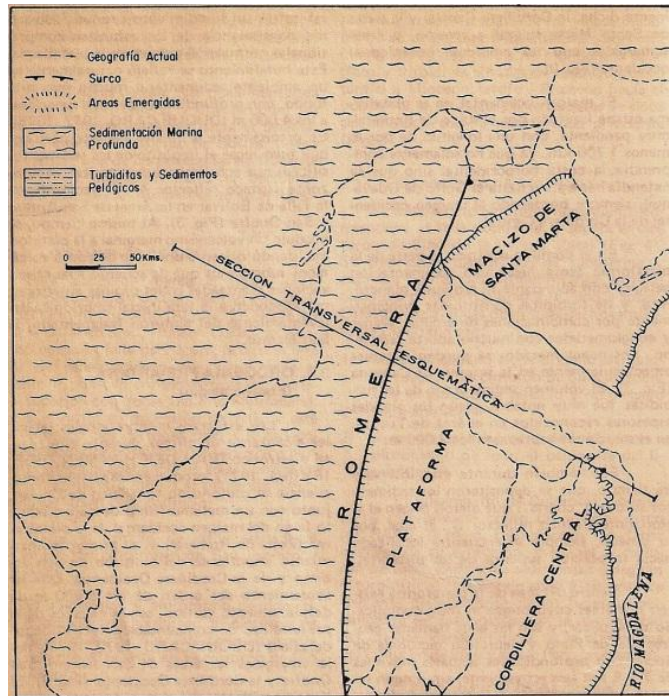


Hacia el sur de la Sierra Nevada de Santa Marta, dentro de la plataforma existen dos áreas cuyos orígenes son complicados de explicar, aquí llamadas las cuencas de Plato y Sucre, con profundidades actuales máximas de 7 y 8 Km respectivamente, sin ningún registro sedimentario del Cretáceo superior y Terciario inferior; la ausencia de estos sedimentos sugeriría, que estas formas estructurales no existían durante el Cretáceo tardío-Paleoceno, sugiriendo que la Sierra Nevada de Santa Marta, pudo estar acoplada a la Cordillera Central durante esta época (Duque-Caro, 1978., INGEOMINAS, 2002., López, E., 2005).

Durante este intervalo de tiempo, la plataforma continental, la Cordillera Central y la Sierra Nevada de Santa Marta se encuentran emergidas y las zonas hacia el occidente se encuentran sumergidas debido a un dominio oceánico global según Haq (1987); dando lugar a sedimentación pelágica con abundante microfauna planctónica y de turbiditas (Figura 15), constituidas principalmente por

combinaciones de arcillas arenas y conglomerados con mucho aporte terrígeno, estos conglomerados se pueden observar en la serranía de Cansona, durante este intervalo también tuvo lugar la depositación de sedimentos silíceos (Duque-Caro 1978) que corresponden a los horizontes A" y B" identificados como reflectores sísmicos en la placa Caribe Burke et al., 1978.

Figura 15. Paleografía del Cretáceo tardío Paleoceno. Tomado de (Duque-Caro, 1978)



A finales del Cretácico, la Placa del Caribe continúa su movimiento relativo hacia el Oriente, transportando a cuestras, dorsales oceánicas formadas durante los procesos de expansión de fondo oceánico en el punto caliente de Galápagos (Ridge de Aves). Esquistos y filitas parecen formarse durante este tiempo en la zona de convergencia entre la Placa Caribe y el borde noroccidental de Suramérica (Esquistos del Rodadero-esquistos de Gaira) posiblemente asociados al paso del Ridge de Aves por el borde continental, formando hacia el sur occidente un prisma acreción y elevando el borde continental levantando

segmentos de la cordillera Central, restringiendo la extensión de la cuenca cretácica hacia el Occidente (López E. 2005, Figura 16).

Figura 16. Hipótesis conceptual de la evolución tectónica Cretácico tardío-paleoceno de la región Caribe colombiana. Tomada y modificada(Duque-Caro, 1978)



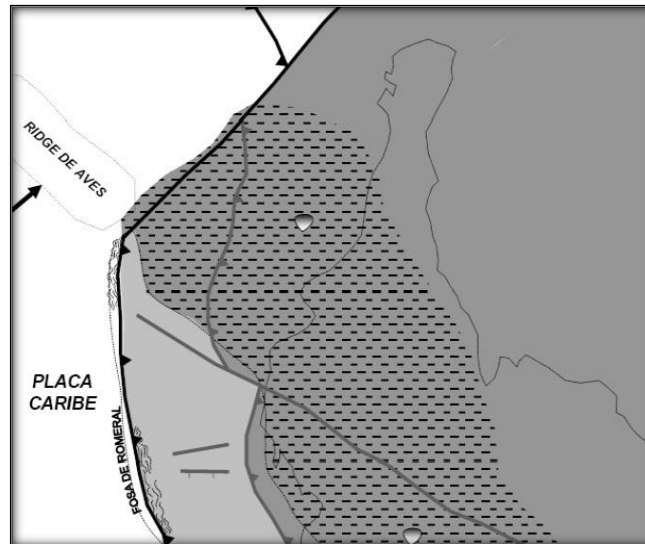
5.4.4.3 Paleoceno-Eoceno Medio (65-11 Ma): A mediados del Paleoceno, la Placa del Caribe subduce al Ridge de Aves, al occidente del cual se forma la cuenca de Grenada. Durante este tiempo, el borde noroccidental de la Placa de Suramérica sufre deformación y metamorfismo de los Esquistos del Rodadero-Gaira (López E., 2005. Figura 17).

La importante actividad tectotermal registrada para este tiempo, junto a los cambios en la distribución de las cuencas sedimentarias en buena parte de la esquina noroccidental de Suramérica, parecen corresponder al inicio de un proceso de bloqueo y migración de la zona de subducción, el cual se inició a principios del Paleoceno en el sur de la parte noroccidental de la Placa de Suramérica, ocasionando el levantamiento de la Cordillera Central (Duque-Caro, 1978; Barrero, 1979). Dada la convergencia oblicua al occidente de la Placa de Suramérica, se desarrolla un sistema transpresivo en esta margen (Villamil, 1998).

Durante esta época, La Sierra Nevada de Santa Marta, La Cordillera Central y la plataforma, continuaron emergidas, sin embargo el surco de Romeral ha sufrido hundimiento pronunciado como consecuencia de los esfuerzos compresionales

normales al margen de la Plataforma. Este hundimiento se reflejó en un ambiente sedimentario mucho más profundo; con profundidades de aguas superiores a los 4000m (Duque-Caro, 1972, 1975), a finales de este periodo tuvo lugar el depósito de los sedimentos silíceos correspondientes al horizonte sísmico reflector A” y B” (Duque –Caro, 1978). Al mismo, tiempo se produjo un volcanismo marginal a la plataforma, dando origen a una serie de conos volcánicos submarinos que corresponden a las fases iniciales del levantamiento del cinturón de San Jacinto (Duque-Caro 1978, 1984, Reyes et al, 2004).

Figura 17. Hipótesis conceptual de la evolución tectónica Cretácica tardío-paleoceno de la región Caribe colombiana. Tomada y modificada de López, E., (2005)



5.4.4.4 Eoceno medio Orogenia Pre-Andina: Según Van Der Hammen (1958) e Irving (1971) en el Eoceno los eventos compresionales alcanzaron un clímax durante el evento diastrófico, debido al cambio del movimiento hacia el este de la placa Caribe (Pindell 1998), produciéndose pulsos de levantamiento en la serranía del Perijá según Kellog, (1984), macizo de Santander, Sierra Nevada de Santa Marta responsable del cambio climático que aportó sedimentos a la cuenca Cesar Ranchería, Carbones de la Formación Cerrejón Montes et al., 2005, con intrusiones en esta última representadas por el batolito de Santa Marta, el Plutón

de Búritaca y la cuarzo monzonita de Palomino Según INGEOMINAS, (2002) y la cuarzodiorita de Parashi en la Guajira (Cardona et al; 2007). Para este mismo tiempo se registra el primer levantamiento del cinturón de San Jacinto y la Cordillera Occidental; dejando emergidas las cordilleras de San Antero, San Onofre y la misma Cordillera Occidental (Duque-Caro, 1984)

Como resultado de esta actividad se produce la migración del Surco de subducción Romeral hacia el oeste denominado por Vargas et al. 2012 como fenómeno de Roll Back; separando el flanco occidental del cinturón San Jacinto de la llanura abisal por el nuevo surco de Sinú. La plataforma continuó emergida pero sufriendo un basculamiento hacia el occidente dando origen a la configuración inicial de la cuenca San Jorge (Duque-Caro 1978).

5.4.4.5 Eoceno tardío-Oligoceno: La tectónica regional actuó sobre el borde noroccidental de Suramérica incluidas la península de La Guajira y la Sierra Nevada de Santa Marta como un solo bloque sometida a esfuerzos similares al menos hasta el Eoceno medio. Para este tiempo, la historia tectónica de la Sierra Nevada de Santa Marta y la península de La Guajira se desligan parcialmente de la historia de Los Andes, comienza la separación y la rotación de este bloque, debido al empuje ejercido por la Placa Caribe sobre el borde nororiental de la Placa de Suramérica en Venezuela (INGEOMINAS, 2002). Dos fallas regionales fueron probablemente el medio para liberar los esfuerzos en esta región causados por el choque de la Placa Caribe con la Placa Suramericana: la Falla Santa Marta-Bucaramanga en el lado noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Falla Oca en el norte. (Figura 18)

5.4.4.6 Mioceno: A principios del Mioceno (20 Ma), la Placa Caribe continúa su movimiento hacia el oriente transportando a cuestas al Beata Ridge. Durante este tiempo, el Surco del Sinú se acerca hacia el Oriente, involucrando y acrecionando corteza oceánica al occidente de la Sutura de Romeral, aumentando el ángulo de

esta ocasionando erosión en el borde occidental de la cuenca del Valle inferior del Magdalena (López, E., 2005).

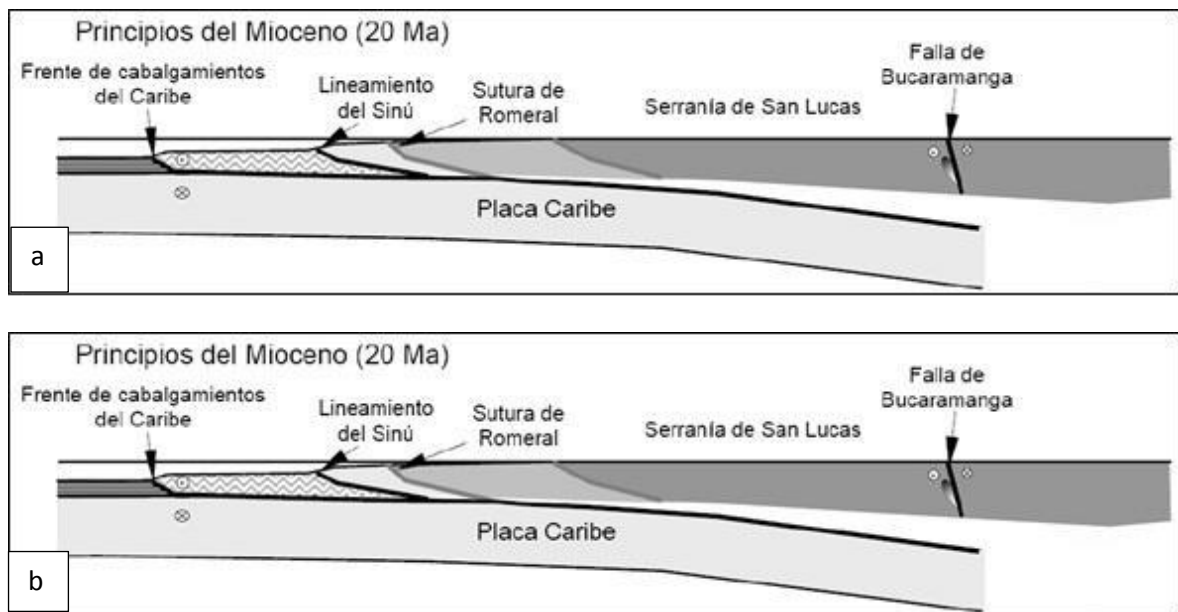
Grandes sistemas de abanicos submarinos se desarrollan en el margen occidental de la Placa Suramericana, posiblemente relacionados con las salidas de los incipientes ríos Magdalena y Cauca, separados entre sí por el Arco de Magangué, mientras sistemas deltaicos desembocan en el protoGolfo de Venezuela (Duque-Caro, 1978).

5.4.4.7 Plio-Pleistoceno Orogenia Andina: Estructuralmente, en el continente se forma un sistema de grandes rampas laterales, fallas de Bucaramanga, Oca y Santa Marta, asociadas a cabalgamientos como la Falla Cerrejón (Figura 19 a), que permiten iniciar el levantamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá. En la porción marina, las espesas secuencias de frentes de delta, son involucradas en sistemas de abanicos de cabalgamiento, que empiezan a configurar el denominado Frente de Cabalgamientos del Caribe (INGEOMINAS, 2002)

Durante los últimos 20 Ma, el cierre del Arco de Panamá contra el borde noroccidental de Suramérica, comprime y expulsa tectónicamente los sedimentos acumulados en el margen continental, hacia el margen no limitado del Caribe, dando origen a un extenso cabalgamientos transpresivo, afectado por intensa actividad diapírica aumentando el ángulo de las cuñas anteriores y permitiendo el levantamiento de las serranías del Sinú y San Jacinto, limitando las subcuencas de Plato y San Jorge (Duque-Caro, 1978)(Figura 19 b).

Hacia la parte central del Caribe Colombiano, las fallas de Santa Marta-Bucaramanga y Oca continúan su actividad como rampas laterales de sistemas de cabalgamientos que levantan tectónicamente la Serranía del Perijá y Sierra Nevada de Santa Marta (Kellog, 1984), mientras el paso del Ridge de Beata por la

Figura 19. a) Formación del sistema de falla Bucaramanga-Santa Marta, b) Levantamiento del Cinturón del Sinú-San Jacinto. Tomada y modificada de López, E., (2005)



5.5 REVISION BIBLIOGRAFICA DE LOS TERRENOS DEL CARIBE COLOMBIANO (Figura 2)

5.5.1 El litoral Caribe colombiano. Es el resultado de procesos tales como Formación de zonas de subducción, Orogenias, Basculación de los terrenos, Transgresión marina, Acreción de terrenos, Diapirismo de lodos.

Estos procesos iniciaron a mediados del Mesozoico; produciendo para el tiempo geológico actual la interacción continua de las placas tectónicas del Caribe y Suramericana, condicionando las propiedades para la formación de terrenos con características geológicas, geomorfológicas y tectónicas diferentes.

La Península de la Guajira está caracterizada por macizos aislados que exponen una serie de rocas ofiolíticas y rocas de afinidad granítica que registran la compleja interacción entre la placa del Caribe y el margen continental Suramericano; se encuentran rodeados por regiones planas y cuencas

sedimentarias de edad Cenozoica (Cardona et al, 2007) las cuales son parte de los *terrenos Cosinas, Ruma y Baja Guajira, ubicados en la parte norte del Caribe colombiano, divididos por dos trenes estructurales que dominan la tectónica*, representados por fallas de dirección N-NE a NE que corresponden a fallas de cabalgamiento y normales, cortadas y desplazadas por un sistema de fallas de dirección EW a NW-SE, y que conservan el tren estructural regional a lo largo de la península de La Guajira, en la Sierra Nevada de Santa Marta, en la serranía de Perijá y probablemente corresponde en el sur con la tendencia estructural regional de las fallas y unidades litológicas de las cordilleras Central y Oriental de dirección N-NE; estas estructuras se formaron a partir de un ambiente tectónico compresivo que actuó a lo largo del límite noroccidental de la Placa Suramericana antes del Oligoceno; las más sobresalientes son el sistema de fallas Cosinas y Simarúa.

Las fallas de dirección E-W son más jóvenes que el sistema regional N-NE y producen un movimiento compuesto tanto en el rumbo como en la vertical, formando un gran sistema transpresivo relacionado a la orogenia Andina (Ortiz et al; 1993). Son responsables del levantamiento, hundimiento y desplazamiento horizontal hacia el este de los bloques que conforman serranías de Jarara, Macuira y Cosinas de La península de La Alta Guajira, la terminación de la serranía de Perijá y en parte el levantamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta; las fallas más sobresalientes de este sistema son las fallas Cuisa y Oca, esta última responsable en parte del levantamiento y rotación hacia el este del bloque compuesto por la Sierra Nevada de Santa Marta y la península de La Guajira.

5.5.2 Terreno Cosinas. El terreno Cosinas está compuesto de un conjunto de rocas intrusivas, volcánicas, metamórficas (Serranía Cosinas) del cual hace parte las formaciones de Cherteló, Chinapa, y Jipi las dos primeras se asignan al Jurásico medio y las dos últimas al Jurásico superior que constituyen el núcleo de la región; se encuentra bordeada de rocas calcáreas arrecifales terciarias, que componen las plataformas de abrasión elevadas, presentes localmente al noreste

de la Guajira, limitado al sur por el sistema de fallas Cosinas y Cuisa y al noroccidente por la falla Simarúa (Rodríguez y Londoño, 2002).

5.5.3 Terreno Ruma. El terreno Ruma se encuentra al nororiente del terreno Cosinas, separado de éste por la falla Simarúa. El núcleo corresponde a rocas ígneas ultrabásicas serpentinizadas del Cretáceo superior (Cabo de la Vela), bordeadas hacia las costas por rocas sedimentarias arcillolíticas y calcáreas terciarias, que conforman plataformas de abrasión elevadas localmente cubiertas por depósitos cuaternarios de origen aluvial, costero y eólico (Bustamante et al; 2009) este también sugiere la existencia de un cinturón metamórfico Cretácico asociado a la evolución tectónica del Caribe, al que denominaron Ruma éste se extiende desde la Sierra Nevada de Santa Marta hasta las hasta la alta Guajira.

5.5.4 Terreno Baja Guajira. Hacia el sur de los terrenos Cosinas y Ruma, limitado por la falla Cuisa y Cosinas al Norte y por la falla Oca al sur, se encuentra el terreno Baja Guajira; compuesto por rocas sedimentarias arcillolíticas marinas del Mioceno, cubiertas locamente hacia el oriente por depósitos cuaternarios, principalmente de orígenes fluvial y eólico (Etayo-Serna, et al; 1983).

La Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), conocida como “la masa montañosa aislada más alta sobre la Tierra, se levanta alrededor de 5800 m directamente desde el nivel del mar (Kellog, 1984; INVEMAR et al; 2007) es la zona más prominente del litoral Caribe colombiano en el extremo más occidental de la llamada por (Cediel et al; 2003) la Subplaca de Maracaibo; que desde el Mioceno inició su levantamiento, es considerada, como un bloque errante cortado de la Cordillera Central, que ha sido rotado y desplazado libremente en diferentes direcciones, producto de la actividad transcurrente de los sistemas de fallas de Oca y Santa Marta-Bucaramanga que la limitan, sobre (Ujueta, G., 2003), este se considera como un sistema transpresivo con cabalgamiento con dirección de

transporte tectónico hacia el NW, apilando rocas del Precámbrico y Paleozoico sobre rocas del Mesozoico (Kellog, 1984; López y Barrero, 2003)

La Sierra Nevada de Santa Marta ha sido dividida en tres provincias o terrenos geológicos (Tschanz, et al; 1974) que son:

- Terreno de Santa Marta
- Terreno de Sevilla
- Terreno de la Sierra Nevada de Santa Marta

5.5.5 Terreno Santa marta. Limitado al norte por la Falla de Oca, al oeste por la Falla de Santa Marta-Bucaramanga y al sureste por el límite Complejo entre el cinturón Metamórfico de Sevilla y el Cinturón Metamórfico de Santa Marta, está constituido por dos fajas metamórficas:

Una se encuentra en la costa y está constituida por filitas y esquistos verdes; la de la contracosta contiene micaesquistos y anfibolita. Ambas fajas están atravesadas por plutones terciarios de diorita o cuarzodiorita (Figura 20). Este terreno alargado con dirección noreste, se adhirió al terreno de Sevilla durante el Cretácico? - Paleoceno?, a lo largo del límite Complejo Metamórfico de Sevilla-Cinturón Metamórfico de Santa Marta (Etayo-Serna, et al; 1983).

Figura 20. Esquistos del terreno Santa Marta intruidos por plutones de diorita



5.5.6 Terreno Sevilla. El Terreno Sevilla, limitado al norte por la Falla Oca, al oeste por la Falla de Santa Marta - Bucaramanga, al sureste por el lineamiento de Sevilla y al noroeste por el límite Complejo de Metamórfico de Sevilla-Cinturón Metamórfico de Santa Marta; está constituido por un complejo polimetamórfico de neises máficos y esquistos, algunos bloques de granulitas y de rocas ultramáficas (Kellog, 1984; INVEMAR, 2007) de edades Paleozoicas a Mesozoicas, intruidas en el Terciario inferior a medio, por rocas ígneas básicas como dioritas hornblendicas y cuarzodioritas. (Tschanz et al., 1974; Etayo-Serna, et al; 1983) (Figura 21).

5.5.7 Terreno de la Sierra Nevada de Santa Marta. El Terreno Sierra Nevada, es descrito por los autores como un terreno ensiálico, limitado al norte por el lineamiento de Sevilla, al oeste por la Falla de Santa Marta-Bucaramanga y al este por el lineamiento del Cesar y al noreste por la falla Oca; está constituido por alternancia de varios tipos de rocas félsicas y máficas de la facies granulita,

muchos con ortopiroxeno, de edad precámbrica; atravesado por plutones félsicos jurásicos dispuestos en una faja cuarzdiorítica al norte y otra cuarzomonzonítica al sur; y con cobertera sedimentaria de conglomerados, arenitas, lodolitas rojas y rocas volcánicas espilíticas conservadas al sur y paralelamente al lineamiento del Cesar (Tchanz, 1969) (Figura 21)

Figura 21. Cobertura sedimentaria de lodolitas rojas intruidas por dioritas de edad jurásica pertenecientes al Terreno Sierra Nevada de Santa Marta



5.5.8 Terreno San Jorge-Plato. Al sur de la Sierra Nevada de Santa Marta, un complejo sistema de ciénagas, la más importante de estas, la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) (Figura 22), llanuras de inundación y cinturones de migración de ríos meandriiformes, conforman la mayor extensión de las zonas de inundación, asociadas a la fuerte dinámica fluvial de los ríos Magdalena y Cauca, al encontrarse en la región del Valle Inferior del Magdalena (López, E., 2005). En esta región se localizan las cuencas sedimentarias de Plato y San Jorge, las cuales registran espesores superiores a los 5.000 m de sedimentos acumulados

durante el Cenozoico, separadas entre sí por el alto de basamento de Magangué (Reyes, 2004), se formaron por tectónica de bloques, con procesos de tracción debidos al movimiento transcurrente dextro lateral de la falla Romeral y sinestro lateral de la falla Santa Marta-Bucaramanga, que limitan las cuencas de tracción por el occidente y oriente respectivamente (Etayo-Serna, et al; 1983).

Figura 22. Ciénaga Grande de Santa Marta, pertenece al complejo de llanuras de inundación parte del Terreno San Jorge. (Fotos Programa GEO-INVEMAR).



El lineamiento Romeral o Falla de Romeral, separa dominios geológicos bien diferentes. En el dominio oriental los sedimentos más antiguos pertenecen al Oligoceno y descansan sobre la corteza continental no plegada que forma el área o región estable. El dominio occidental comprende a sedimentos más antiguos que descansan sobre la corteza oceánica plegada y corresponde a la región inestable. (Duque-Caro; 1979,1984; De Porta J; 2003)

El contacto de dominios de corteza continental (Valle Inferior del Magdalena) al oriente con la cuenca Caribe colombiana en el occidente es más una compleja y

difusa zona de límite entre placas, que un límite de placas bien definido (GEOTEC-INGEOMINAS, 2003).

5.5.9 Terreno Sinú-San Jacinto. El terreno Sinú-San Jacinto localizado en la región septentrional de la provincia geológica occidental de Colombia, se define como una geomorfoestructura correspondiente al sistema orogénico costero, que hace parte del dominio tectónico occidental del Caribe (Cediel et al; 2003). Corresponde al margen activo del Caribe colombiano que se ha desarrollado desde el Cretáceo inferior, con la participación de subducción, extensión, acreción y una inversión tectónica durante el Cenozoico (Mantilla et al; 2009).

Las secuencias sedimentarias expuestas incluyen facies pelágicas y hemipelágicas muy deformadas, secuencias turbidíticas menos deformadas y secuencias marinas someras suavemente deformadas, que localmente aparecen cubiertas por estratos lacustres y fluviales; las edades son notablemente diferentes: en el cinturón oriental San Jacinto las rocas tienen una edad del cretáceo a oligoceno inferior, mientras que en el cinturón occidental Sinú, estas son de edad oligoceno a plioceno inferior. Está limitado tanto al oriente como al occidente por los lineamientos estructurales de Romeral y Colombia o también cinturón de deformación del Caribe meridional respectivamente (Duque- Caro, 1979, 1984).

Se caracterizan porque las facies de ambientes profundos más antiguas emergen formando anticlinales estrechos y pendientes separados por sinclinales amplios; en parte del cinturón del Sinú, ocurren volcanes de lodo asociados con los anticlinales (Duque-Caro, 1979, 1984; Guzmán et al, 2004)

Estructuralmente los terrenos Sinú-San Jacinto pertenecen a un sistema transpresivo, de cuñas sedimentarias adosadas de manera oblicua al margen norte de la placa Suramericana (López E., 2005), que transportan a cuevas

espesas cuencas sedimentarias o "*piggy back basin*", además de una intensa actividad diapírica (Figura 16 c).

5.5.10 Cañas Gordas. Al costado sur occidental del Caribe colombiano; en la parte occidental del Golfo de Urabá; se encuentra el terreno Cañas Gordas, el cual hace parte del arco de islas del Chocó; limitado al oriente por la falla Uramita, al sur por la falla Atrato y al norte por el lineamiento Dabeiba (Ujueta-Lozano, G. 2007) (Figura 1). Es una secuencia volcano sedimentaria constituida de basaltos toleíticos, andesitas del Cretáceo superior y sedimentitas turbidíticas finas a granulares, chert, calizas y piroclastos. Igualmente se encuentran intrusivos calcoalcalinos tonalitas, cuarzodioritas y sedimentos particularmente asociados a las planicies aluviales y al delta del río Atrato, caracterizado por su dinámica altamente progradante (Nieto, M.J., 2004).

5.5.11 Terrenos insulares colombianos. Están conformados por las islas de San Andrés, Providencia, Santa Catalina y los cayos de Albuquerque, Roncador y Quitasueño (Figura 1); se encuentran sobre prominencias topográficas tipo horst, orientadas en dirección NNE y limitadas por depresiones o fosas, asociadas con fallas de rumbo dextral, con profundidades del orden de 1000-2000 m (Geister y Díaz, 2003). El basamento es de origen volcánico, lavas alcalinas, basaltos, andesitas, riolitas y depósitos epiclásticos de edad Mioceno a Pleistoceno; localmente y constituyendo la superficie total de algunas islas y cayos, se presentan calizas coralinas, calizas arcillosas; lodolitas calcáreas y calizas biodetríticas, con edades variables Mioceno superior a Pleistoceno (Etayo-Serna et al; 1983).

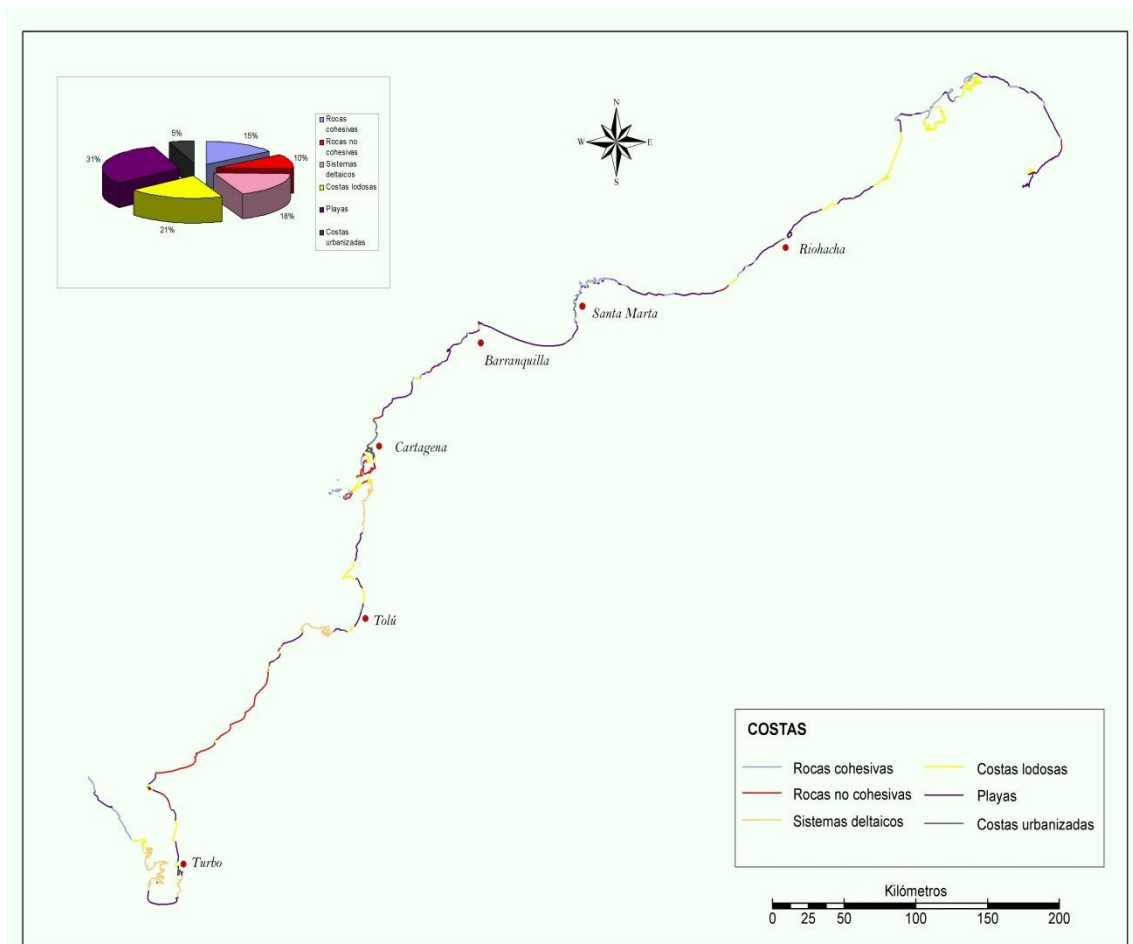
5.5.12 Terrenos submarinos (Cuenca de Colombia). Entre los territorios insulares y el margen continental del Caribe colombiano se encuentra la llamada Cuenca de Colombia, limitada al noroeste por el escarpe de Hess, al suroeste con los límites marítimos de Panamá y Costa Rica, al sureste por el cinturón de

deformación del Caribe, al noreste por los límites marítimos con Venezuela y la dorsal de Beata y al norte con Haití y República Dominicana; su profundidad oscila entre los 3.000 a 4.500 m (*Mann, 1999*) (Figura 1). Constituida por series de sedimentos de fondo oceánico del Mesozoico y Cenozoico, que cubren un basamento oceánico formado a finales del Jurásico (*Ghosh, 1984*).

5.6 REVISION BIBLIOGRAFICA DE LA GEOMORFOLOGÍA DEL CARIBE

El litoral Caribe colombiano es un espacio de alta sensibilidad relacionado con la orogenia pasada y presente del sistema andino, efectos neotectónicos (levantamiento, subsidencia, sismicidad, Vulcanismo de Lodos), cambios climáticos (y del nivel del mar), influencia antrópica tanto en el continente como en el litoral mismo y la dinámica propia del litoral bajo las acciones marino-continenciales (IDEAM, 1998); debido a esto presenta una variedad de rasgos morfológicos, que van desde costas acantilados compuestos de rocas metamórficas (Sierra Nevada de Santa Marta), hasta complejos de pantanos de manglar ubicados detrás de espigas y barras de arena asociadas a la depositación deltáica Holocena (ríos Magdalena, Sinú, Atrato y otros deltas menores) (Correa, 2005); dividiéndose así en costas conformadas por rocas cohesivas y no cohesivas, playas, planicies pantanosas lodosas, zonas deltaicas y costas urbanizadas (Posada y Henao, 2008). Figura 23)

Figura 23. Tipos de costa del caribe colombiano. Tomado de (Posada, P., Blanca Oliva y Henao P., William, 2008)



5.6.1 Rocas cohesivas. Las costas con rocas cohesivas están definidas por acantilados conformados por rocas duras poco propensas a la erosión, se trata de afloramientos rocosos de levantamiento reciente o actual donde la abrasión marina no ha logrado reducir los escarpes tectónicos y por lo tanto las pendientes son abruptas y de formas más o menos rectilíneas (IDEAM, 1998); aquí pueden estar presentes superficies de abrasión parcialmente levantadas, plataformas parcialmente rocosas alternando con playas de bolsillo en una extensión muy limitada; estas corresponden a las rocas metamórficas, ígneas intrusivas y sedimentarias terrígenas cartografiadas en la Guajira, Magdalena y Noroeste del golfo de Urabá en el Chocó, representan un pequeño porcentaje y se distribuyen

especialmente en la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía del Darién, ya que las serranías del Macuira, Jarara y Cocinas en la Guajira se encuentran hacia el interior del continente y solo un pequeño afloramiento de la formación Carpintero alcanza El Cabo de la Vela.

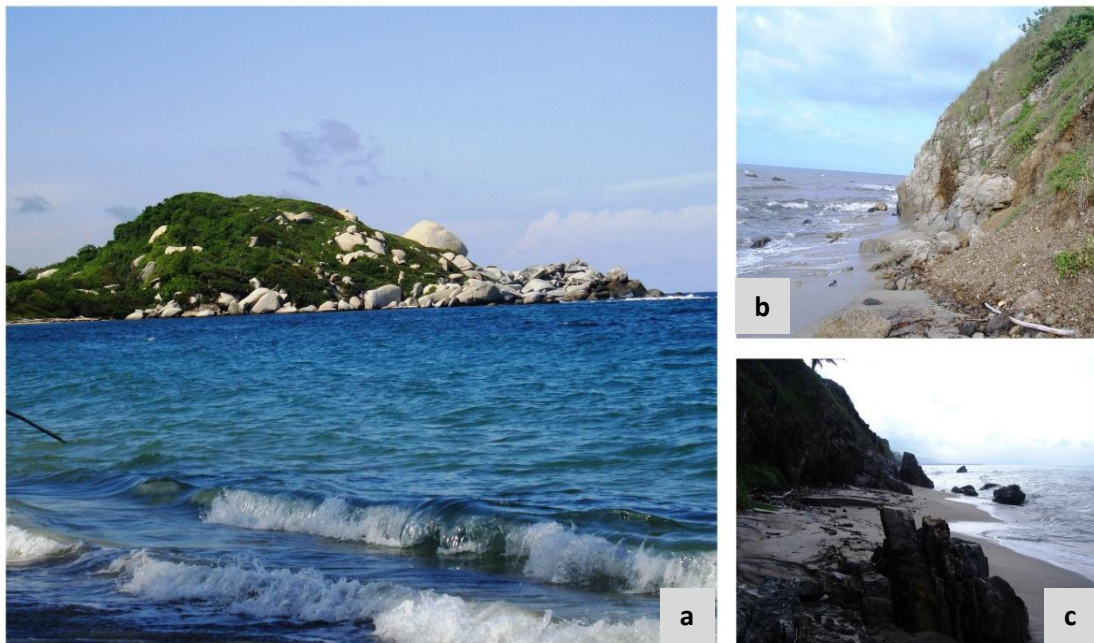
El Cabo de la Vela es una colina estructural alargada compuestas por cuerpos alargados de serpentinita del cretácico asociadas con esquistos y cuerpos tabulares de gabros y calizas arenosas arrecifales del Oligoceno, conforman acantilados mayores de 30 m de altura con flujos de escombros y desprendimiento de bloques favorecidos por fallas de y diaclasas (Rodríguez y Londoño, 2002) (Figura 24).

Figura 24. Afloramientos de rocas cohesivas en el Cabo de La Vela. a) Serranía del Cabo de La Vela; b y c) Plataforma de abrasión levantada de material biogénico y terrígeno (fotos Programa GEO-INVEMAR).



El sector del litoral comprendido por la Sierra Nevada de Santa Marta, presenta acantilados que varían entre los 15 y los 30 m de altura conformados por rocas metamórficas tipo Neis y esquistos y rocas ígneas pertenecientes al batolito de Santa Marta; las rocas metamórficas se encuentran altamente fracturadas y plegadas formando flujos de escombros y caída de bloques en especial en la zona comprendida entre el cabo San Agustín y el río Don Diego; las rocas ígneas menos fracturadas dejan grandes bloques rectangulares a redondeados y rocas aisladas, a manera de pilares o remanentes fósiles del proceso del retroceso de la costa los cuales se puede ver en el Parque Nacional Tayrona. (Posada y Henao, 2008). (Figura 25).

Figura 25. Afloramientos de rocas cohesivas Parque Tayrona y Alto de Los Muchachitos a) grandes bloques rectangulares a redondeados y rocas aisladas; b) Flujo de escombros y bloques dispersos en el mar y c) Testigos in situ del retroceso del escarpe (fotos Programa GEO-INVEMAR).



5.6.2 Costas con rocas no cohesivas. Está conformada, generalmente por rocas poco resistentes al embate de las olas en la base del acantilado (Martínez, 1993) y se caracterizan por ser frágiles, poco consolidadas, altamente deleznable y afectadas por fracturas. Están conformadas por materiales limo-arcillosos y en una baja proporción por arenas y conglomerados.

Al igual que las costas con rocas cohesivas forman acantilados de alturas variables y costas accidentadas, con entrantes y salientes; Plataformas de abrasión formadas por rocas sedimentarias terrígenas del Neógeno y colinas o terrazas con materiales similares o coralinos se encuentran en la zona costera de la península de La Guajira y también en los departamentos del Magdalena; Atlántico, Bolívar, Sucre; Córdoba y Antioquia; donde se aprecian acantilados de diferentes alturas y localmente pueden presentar pequeñas franjas de playa a pie de talud o conformar las así las denominadas playas de bolsillo (Posada y Henao, 2008).

Durante el periodo Terciario superior, la mayor parte del occidente colombiano y partes continentales del actual territorio de La Guajira estuvieron cubiertas por el mar y allí se sedimentaron materiales epicontinentales, generalmente fluviomarinos. Como resultado de la orogenia, parte de algunas de las formaciones sedimentarias referidas fueron levantadas levemente sobre el nivel del mar; esto permitió que la acción del oleaje puliera superficies extensas para formar terrazas marinas (IDEAM, 1998) y plataformas de abrasión elevadas que conforman acantilados de hasta 5 m de altura; el pie de talud presenta acumulación de cantos y gravas, lo que localmente favorece a la formación de pequeñas playas. (Posada y Henao, 2008) (Figura 26).

Figura 26. Plataformas de abrasión elevadas a) Puerto Estrella; b) Punta Aguja c) Manaure, Guajira (fotos Programa GEO-INVEMAR)



El sector comprendido por el litoral de costas que bordean los departamentos de Córdoba y Antioquia, formados principalmente a partir de procesos erosivos marinos del mar al labrar y cortar las estribaciones costeras de las serranías de Abibe y Las Palomas; presentan una marcada evidencia geomorfológica que es conformada por terrazas marinas en general de 2 a 4 m de altura; constituidas por depósitos de arenas y gravillas y localmente por depósitos coluvio-aluviales con paleocanales cubriendo las rocas terciarias labradas, compuestas principalmente por limolitas y arcillolitas, generalmente plegadas y falladas (Robertson, H y Martínez, N., 1999); en el río Mangle y Tierrabomba, las terrazas coralinas forman acantilados entre 2 y 6 m de altura (Posada y Henao, 2008). (Figura 27)

En el sector norte del golfo de Urabá se destacan acantilados, cordones litorales y niveles de terrazas marinas de origen coralino y terrígeno. Próximo a Aguacate, Capurganá y Sapzurro se aprecia una plataforma arrecifal elevada 2 metros por encima del nivel del mar (Robertson, H y Martínez, N., 1999) hacia el municipio

Necolí, se encuentra, a lo largo del borde costero, afloramientos subverticales de lutitas grises y pardas altamente deleznable; forman terrazas de hasta 4 m de altura con profundas muescas de socavación por el oleaje al pie del talud y erosión intensa por esorrentía que originan surcos y cárcavas. El desprendimiento de grandes masas de suelo propicia adicionalmente el retroceso rápido del acantilado (Figura 28).

Figura 27. Terraza coralina en Tierrabomba (fotos Programa GEO y GEZ-INVEMAR).



Figura 28. Erosión por esorrentía y socavación en la base de los taludes sobre rocas no cohesivas en el sector costero de Zapata, municipio de Necolí (fotos Programa GEO)



5.6.3 Playas y otros depósitos arenosos. La playa y otros cuerpos compuestos especialmente por sedimentos no cohesivos, tamaño arena se extienden en forma paralela a la línea de costa; su longitud y ancho son variables pero por lo general tienen más de 500 m de longitud y amplitud entre 10 y 200 m aproximadamente. Localmente hay playas endurecidas (*Beach Rock*) y otras conformadas por gravas; detrás de la berma se extienden, sucesivamente, cordones de dunas, la llanura costera e incluso pantano de manglar o lagunas.

Este tipo de playa constituye la unidad predominante en la costa Caribe y está asociada con todas las geoformas bajas, comprende playas, playones, espigas y barras, que son acumulaciones predominantemente arenosas localizadas a lo largo de la línea de costa actual, o playas antiguas localizadas detrás de la playa actual u otra unidad costera baja como pantanos de manglar o lagunas costeras.

Estas playas están compuestas por material carbonatado derivado de antiguas o recientes formaciones arrecifales, o de algas, y por material de tipo terrígeno aportado principalmente por los ríos, y en forma secundaria por la erosión de los acantilados.

Todos los departamentos costeros contienen zonas de playas, aunque están mejor desarrolladas en aquellos donde no hay acantilados, es decir donde la costa es baja; se destacan las playas de la Alta Guajira, al pie de las plataformas de abrasión, playones y salares. En el Magdalena aparecen entre los ríos Don Diego y Cañaveral; en el Parque Nacional Natural Tayrona se plasma en pequeñas playas presentes en todas las bahías incluyendo la de Santa Marta, El Rodadero y Bello Horizonte y también aparecen desde Ciénaga hasta Tasajera. En el Atlántico son importantes las playas de Punta Morro Hermoso hasta punta de castillejo. En Cartagena, las playas se extienden desde los Morros hasta Castillo Grande en forma casi continua y con anchos considerables, casi siempre mayores de 50 m y

con gran contenido de arenas blancas coralinas; en Barú es importante playa Blanca, al igual que las playas de Tierrabomba.

En Sucre, prácticamente todo el Golfo de Morisquillo presenta playas tan solo interrumpidas por pantanos de Manglar, pequeños sectores acantilados con terrazas coralinas y costas artificiales. En Córdoba, las playas se extienden al pie de acantilados, hecho que incide en su pequeña extensión y amplitud, muchas de esta desaparecen con las mareas altas. Se destacan las playas del viento alimentadas por el río Sinú. En el Golfo de Urabá la situación es similar a la de Córdoba, con pequeñas playas bahía, de composición terrígena en Antioquia y parcialmente coralina en las playas del Urabá chocoano (Posada y Henao, 2008). (Figura 29)

Figura 29. a) Playas en la zona de El Francés, Tolú, formando una barra delante de los pantanos de manglar, b) Playas de arenas blancas coralinas en playa Blanca, Cispatá; c) Playas negras con pendiente alta y escarpes de tormentas; d) Playas en Chichibacoa de arenas finas, con acumulación de abundantes restos de pastos marinos (fotos Programa GEO)



5.6.4 Costa lodosa y lagunar. En esta categoría se agrupan los pantanos de manglar y otras zonas cenagosas o propensas a la inundación, así como lagunas costeras y los salares. Se presentan a lo largo de la línea de costa, en estrecha asociación con geoformas depositacionales arenosas, principalmente playas, espigas y barras litorales, y hacia el continente limitan con llanuras costeras o valles aluviales. En términos geomorfológicos son áreas muy bajas sometidas a cambios intermareales, conformadas esencialmente por lodos orgánicos y colonizados por manglares y otras especies vegetales de afinidad salobre.

En algunas costas lodosas el desarrollo de manglares es escaso, y por el contrario proliferan lagunas y salares. Sectores con estas características se encuentran en bahía Honda, Hondita y Portete en la Alta Guajira (Figura 30); entre el Cabo de la Vela y Auyama y entre Pájaro y la ciénaga de Buenavista en la Media Guajira. En la parte sur de la Guajira se localizan en Camarones y Dibulla. De allí en adelante y hasta el golfo de Urabá predominan sobre las lagunas y salares, los pantanos de manglar (Posada y Henao, 2008)..

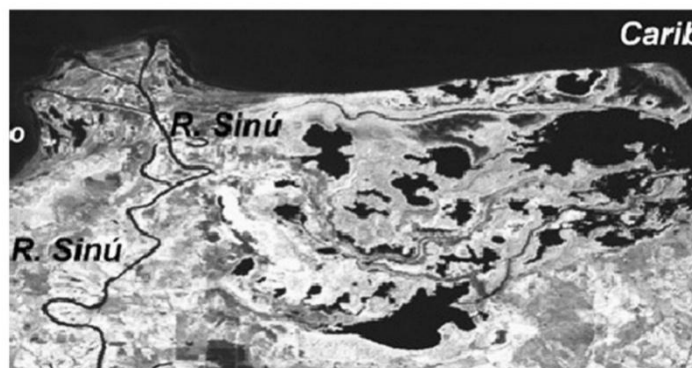
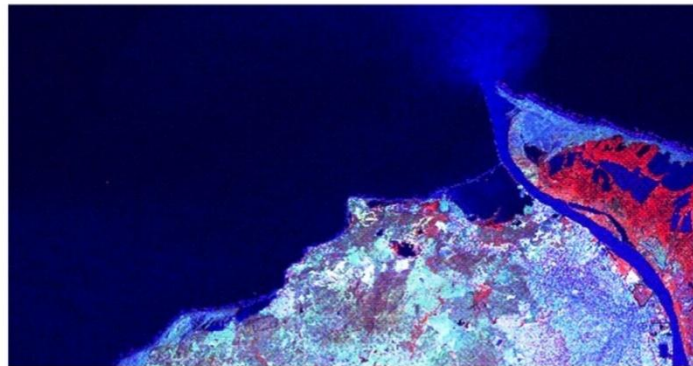
Figura 30. Lagunas Salinas; Manaurela alta Guajira. Se puede apreciar el agregado del mineral anhidrita en forma de roseta.



5.6.5 Sistemas deltaicos. Como parte del sistema de transferencia fluvial, el delta es la acumulación de sedimentos medios y finos (gravas, arenas, limos y arcillas) en el contacto con el nivel de base marino y por pérdida de competencia fluvial. Los deltas en los litorales colombianos son de construcción holocénica, pues durante la última glaciación las costas estuvieron retiradas en relación con la línea actual y en función de un nivel de base más bajo (100m aprox.) (IDEAM, 1998), los deltas más representativos son los de los ríos Ranchería, Magdalena, Sinú y Atrato.

Gran parte de los aportes de los deltas de los ríos Ranchería y Magdalena, se van directamente a los cañones alineados a sus desembocaduras; por lo tanto; gran parte de los sedimentos aportados son conducidos a través de estos cañones; en cuanto al delta del Magdalena, el sistema deltaico muestra un mejor desarrollo en el plano deltaico, donde forma un sistema lagunar que se extiende por cientos de kilómetros al lado y lado de su cauce, entre el cual se destacan la Ciénaga Grande de Santa Marta y la de Mallorquín (Posada y Henao, 2008), la primera de estas, según el IDEAM, (1998) es el antiguo delta del río Magdalena, ya que este registra migración hacia el suroeste (Figura 31)

Figura 31. a) Bocas de Ceniza; se observan parte de las ciénagas Grande de Santa Marta y de Mallorquín (foto Alvarado, M 2003) b) Bocas del delta del río Sinú con sus barras arenosas, lagunas y pantanos de manglar (foto CARSUCRE); c) Delta del río Sinú, Golfo de Morrosquillo. (Foto tomada de Restrepo, 2008)



El Delta del Río Sinú en el sector de Tinajones, donde está actualmente, se empezó a construir desde 1938, año desde que comenzó su avulsión desde su antigua desembocadura en Cispatá. Es un área que ha favorecido el florecimiento

de pantanos de manglar y extensas áreas cenagosas dedicadas principalmente a cultivos (Robertson y Chaparro, 1998; IDEAM, 1998; Serrano, 2004)

El río Atrato forma un delta que ha permanecido casi inalterado durante 150 años. En ese lapso sólo ha sufrido un cambio significativo consistente en la desactivación y retroceso de la boca más norte de Tarena, remplazada por la nueva boca de El Roto, un poco más al sur Mallorquín (Posada y Henao, 2008).

Asociadas a la planicie deltáica occidental del río Atrato se encuentran las grandes ciénagas de Unguía y Marriaga. La de Unguía, la mayor de todas las ciénagas de la zona, se extiende unos siete kilómetros a lo largo y ancho, mientras que en la de Marriaga, al norte de la anterior, son evidentes dos pequeños deltas nutridos por los ríos Tanela y Atrato. Otras ciénagas menores como la de El Limón, Ciega y Los Hornos se ubican también en el costado occidental de la planicie deltáica del Atrato, entre estas dos grandes ciénagas. En medio de los tributarios del delta, las pequeñas ciénagas de Matuntugo, Maquillón y Las Trozas, permanecen como testigos del terreno que el río le ha ido ganando al mar. Al igual que en los canales, el efecto absorbente del agua en las bandas utilizadas, hace que estos cuerpos húmedos se vean negros y nítidamente delineados (Nieto, M.J., 2004)

5.6.6 Sistemas insulares. El sistema insular del caribe colombiano está compuesto por una serie de islas y cayos de diferente composición y origen. Se subdividen en sistemas diferenciados según los procesos morfogénicos; procesos que responden a las condiciones litológicas, bioclimáticas, de pendiente y formas de uso.

Los procesos comunes se relacionan con las acciones marinas (oleaje, mareas, marejadas), tales como la abrasión y los depósitos litorales; así como son comunes las formas de acantilados con afloramientos rocosos, playas, terrazas marinas y marismas.

Sin embargo, existen diferencias en función de la estructura y del clima. Los modelados de las islas resultantes de intrusiones son más abruptos y con menos playas que las demás de origen sedimentario (secuencias calcáreas predominantemente). Estructuralmente, las islas se encuentran cerca de zonas de subducción activas lo que implica la ocurrencia de cambios de nivel y forma, incluso rápidos, relacionados con la tectónica IDEAM, (1998).

La isla de San Andrés se localiza al noroccidente del territorio continental colombiano y tienen una extensión de 25 Km². es una formación calcárea originada en la acumulación de corales desde el Eoceno hasta el presente, cuya formación es favorecida por temperaturas medias marinas que oscilan entre 25°C y 31°C óptimas para el crecimiento de corales (Geister, 1969).

La mayor parte continental de la isla corresponde a colinas originadas en el suave levantamiento de depósitos fosilíferos de hasta 100 m de profundidad; la acción de la lluvia y la gravedad ha dado lugar a un modelado con vertientes suaves, exceptuando el sector occidental donde dominan vertientes abruptas, que en algunos casos terminan en acantilados erodados continuamente por la abrasión marina; la altura máxima es de 85 msnm y la presencia de suelos es muy limitada, con alta pedregosidad y de escaso espesor. Otras áreas importantes de la isla corresponden a abanicos y conos originados en la acumulación de detritos provenientes de las colinas; en la parte inferior la acción marina facilita la formación de marismas con predominio de vegetación de mangle (IDEAM, 1998).

Providencia y Santa Catalina son islas volcánicas del Mioceno originadas en intrusiones solevantados en el Pleistoceno que dio lugar a la plataforma insular y el crecimiento de corales que se han acumulado conformando los arrecifes que se extienden hacia el noreste de la parte emergida. La parte emergida de origen intrusivo es una serie de colinas de dirección S-N alcanzando una elevación máxima de 350 msnm con fuerte pendiente y afloramientos rocosos que en

pequeños sectores del oriente isleño terminan en acantilados; al pie de las colinas se han originado pequeños depósitos de detritos rocosos. El litoral lo conforman playas de arenas finas con aporte limitado de detritos calcáreos, las playas son de escasa amplitud; la dinámica del mar también da lugar a marismas donde domina la vegetación de mangle (IDEAM, 1998)

Archipiélago localizado al suroeste de Cartagena con un área total de 1573 Km² de las cuales 22.5% corresponden a tierras emergidas y el 75.1 son arrecifes coralinos de formación reciente con edades inferiores a los 10000 años (IGAC, 1977)

El archipiélago lo componen un conjunto de islas, islotes, cayos y barreras arrecifales dispersas con dirección este-oeste alrededor de las dos islas mayores de Isla Grande e Isla Rosario que son terrazas marinas de 3 m colindando con lagunas arrecifales de profundidad de hasta 25 m.

Las islas del Rosario corresponden, entonces, a terrazas arrecifales del cuaternario (Martínez y Vernet, 1980), aflorando hasta 3 m debido, quizá, a niveles actuales inferiores del mar y no al levantamiento por actividad neotectónica, (Burel & Vernet, 1981). En la zona también se distinguen pantanos y lagunas (ciénagas), con influencia de aguas salobres que permiten el crecimiento del mangle.

Barú corresponde a una formación miocena de arcillas y calizas erodados y rellenos por material pliocénico y pleistocénico, modelados luego por las transgresiones marinas del Cuaternario reciente (IGAC, 1974).

Tierrabomba corresponde a una superficie de abrasión pleistocénica desarrollada sobre depósitos coralíferos del Plioceno y también modelada por las transgresiones marinas del Cuaternario.

6. METODOLOGIA

6.1 RECOPIACIÓN Y EVALUACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Dentro del marco del “Programa nacional de investigación para la prevención, mitigación y control de la erosión costera en Colombia”, se identificó como prioritario generar una base de datos bibliográfica, con el propósito de tener un punto de partida para realizar la caracterización geológica, geomorfológica y tectónica de la zona costera y marina somera del Caribe colombiano, atendiendo a las características tectónicas, geológicas y geomorfológicas.

Para ello se realizó la búsqueda de información bibliográfica relacionada con las facetas (tectónica, geología y geomorfología) del Caribe, que se encuentra distribuida en diferentes centros de documentación o informes técnicos de institutos de investigación y universidades.

El insumo base se adquirió realizando una consulta interna entre los integrantes del programa de Geociencias Marinas y el Boletín de Investigación Marinas y Costeras del INVEMAR, de acuerdo con los estudios que tienen un énfasis en geomorfología aplicada a los estudios de erosión y manejo de zonas costeras, esta información está clasificada en su mayoría como informes técnicos y algunas publicaciones de carácter nacional para el proyecto de investigación de erosión costera y estudios realizados para la corporaciones autónomas regionales (Corpoguajira, Corpamag, CRA, Cardique, CVS y CORALINA) interesadas en la prevención mitigación y control. La información que se ha adquirido como insumo para la realización de estos informes técnicos, se encuentra catalogada en el centro de documentación del INVEMAR "Ivan Enrique Caicedo Lara"

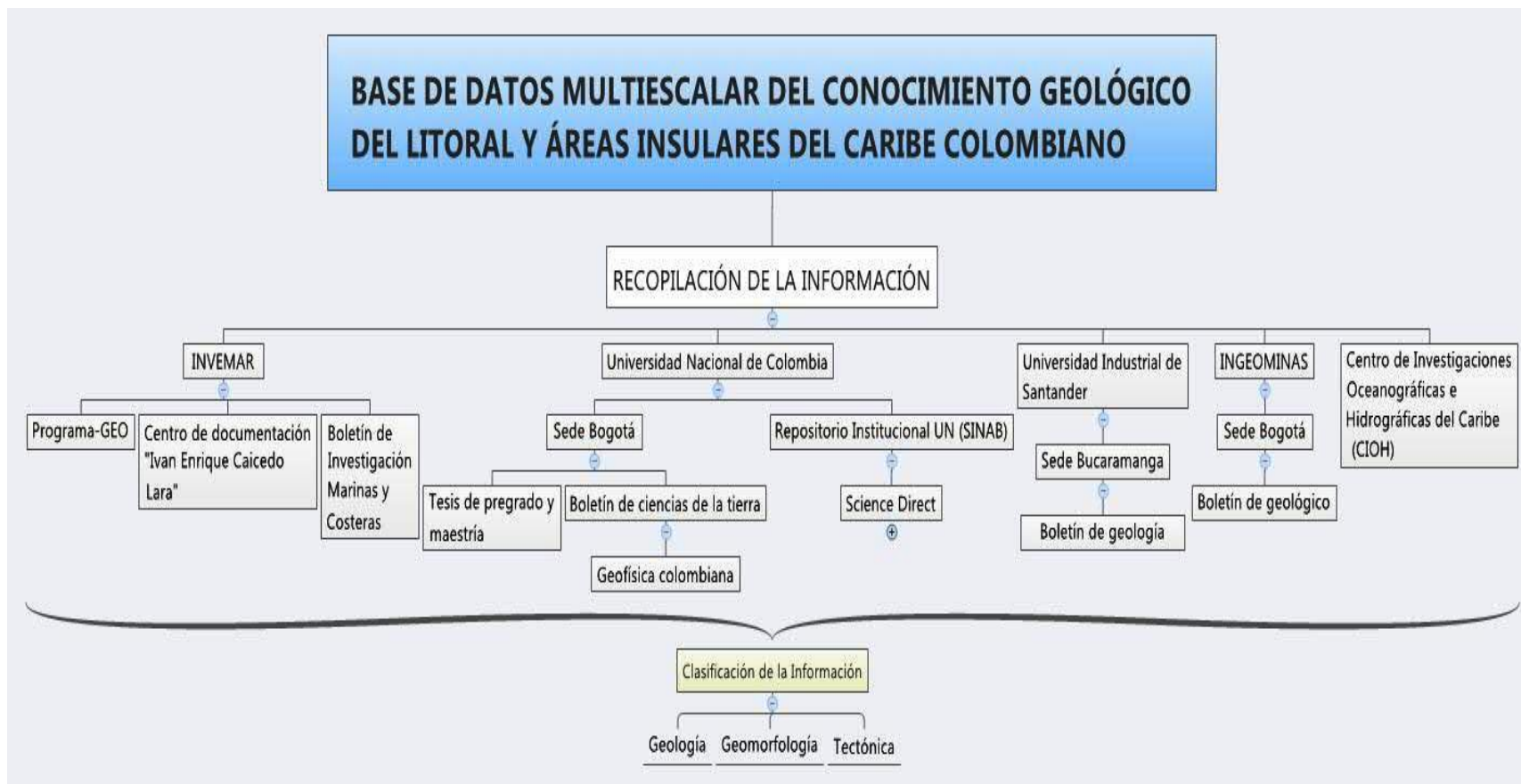
Mediante consulta a través de Internet de los catálogos bibliotecarios y la visita a los centros de documentación de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá y la Universidad Industrial de Santander sede Bucaramanga; se identificaron documentos publicados en los siguientes boletines:

- Boletín de Ciencias de la Tierra (Universidad Nacional de Colombia)
- Geofísica colombiana (Universidad Nacional de Colombia)
- Boletín de geología (Universidad Industrial de Santander)
- Boletín geológico (INGEOMINAS)

y tesis de grado a nivel de pregrado y maestría, donde sus esfuerzos investigativos se relacionaron con la región Caribe colombiana y sus áreas insulares; se incluyeron en la búsqueda la consulta de bases datos documentales como *Science direct*; que permiten consultar artículos científicos perteneciente a publicación con indexación internacional.

Dentro del catálogo del centro de documentación del CIOH, consultado a través del portal web, se tiene referencia de los informes técnicos y artículos científicos de carácter nacional enfocados en geomorfología del Caribe colombiano.

Figura 32. Metodología para la recopilación de la información



6.2 GEORREFERENCIACIÓN DE LOS DOCUMENTOS

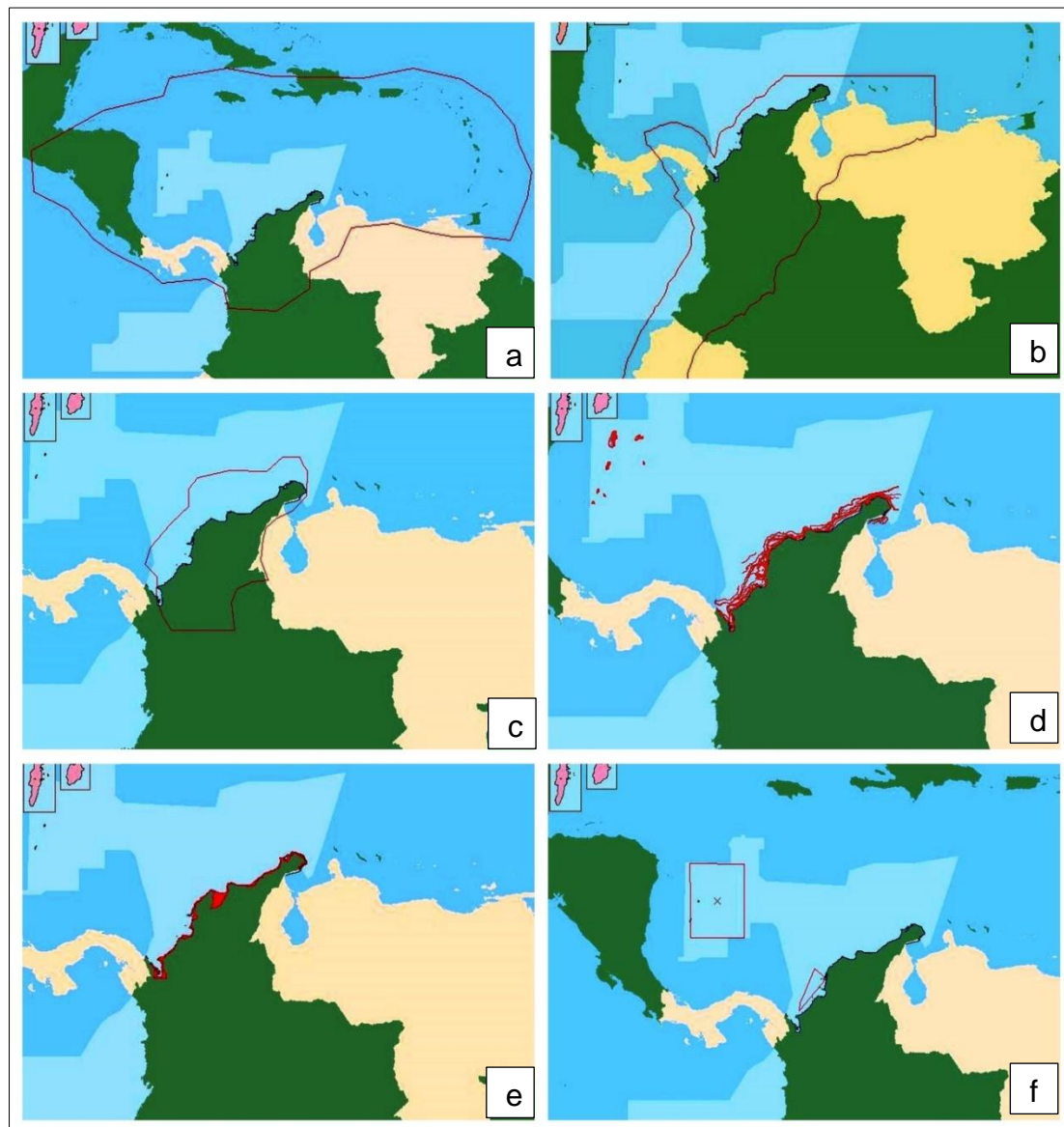
6.2.1 División Geográfica

División geográfica: La primera clasificación agrupó los estudios realizados en base en la ubicación, tamaño y límites del área, con la finalidad de que el usuario obtenga una tabla de atributos (metadata), relación de cantidad y la ubicación geográfica de la información secundaria.

1. **Placa Caribe:** Agrupó todos aquellos documentos que explican la evolución de la placa Caribe, por lo tanto el tamaño del área de estudio es la mayor y sus límites son variables dependiendo del autor. En el presente trabajo se siguió a Pindell y Kennan (2009) (Figura 33 a).
2. **Bloque Andes:** Se encuentran los documentos que pretenden explicar la evolución de los Andes; sus áreas y límites coinciden con los propuestos por Cediel et al. (2003) (Figura 33 b).
3. **Caribe Colombia:** Comprende los estudios generalizados realizados en el Caribe colombiano; Involucrando, parte del continente, litoral, plataforma y offshore del Caribe colombiano (Figura 33 c).
4. **Offshore Caribe Colombia:** Comprendiendo aquí, los estudios realizados más allá de la plataforma continental, (delimitada en rojo en la Figura 2d), desde aguas con profundidades mayores a los 200 m.
5. **Litoral Caribe Colombia:** Los límites incluyen la banda en tierra que comienza en las llanuras y terrazas costeras y culmina en el inicio del talud continental, es decir incluye la plataforma continental (Figura 33 e)

6. **Insulares:** Comprende los estudios realizados en los sistemas de islas colombianas (Figura 33 f)

Figura 33. Clasificación de la información secundaria por división geográfica. Mapa georeferenciado en ArcGIS 9.3 de Colombia, a partir de la línea de costa, como se encuentra definida en el libro "Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano" en el sistema de coordenadas WGS84 (Posada y Henao, 2008).



La división por terrenos: Se clasificó atendiendo a los diferentes diseños geotectónicos, litológicos y morfoestructurales de la información; clasificándola

bajo el concepto de terreno geológico según Etayo-Serna et al; (1983) y comparada con la evolución de los terrenos del Caribe colombiano según López, E., (2005); ubicando al usuario espacialmente y geológicamente, por medio de las características geológicas, geomorfológicas y tectónicas distintivas de cada terreno.

1. Terreno Cosinas
2. Terreno Ruma
3. Terreno Baja Guajira
4. Terreno Sierra Nevada de Santa Marta
5. Terreno Sevilla
6. Terreno Santa Marta
7. Terreno San Jorge – Plato
8. Terreno Cinturones de Sinú – San Jacinto
9. Terreno Cañas Gordas
10. Terrenos Insulares y submarinos

6.2.2 Insumos para la georreferenciación de los documentos. Como insumo para la georreferenciación se utilizó la línea de costa del Caribe colombiano, tal como se encuentra definida en el libro “Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano” (Posada y Henao, 2008), en el sistema de coordenadas WGS84, y la batimetría del Caribe Colombiano - Proyecto Planificación Ecoregional, Convenio INVEMAR – TNC 2007.

6.2.3 Proceso para la Georreferenciación de los documentos. Fueron escaneadas y cargadas como capas, las imágenes de ubicación geográfica de los trabajos que la incluían, en el programa ArcGIS 9.3 (ESRI, 2010).

La georreferenciación se basó en la identificación de puntos de control comunes en las imágenes y la línea de costa del Caribe colombiano, que dieran una

aproximación a la identificación y digitalización de las áreas que incluyeran la información de dichos documentos (Figura 34).

La edición del archivo Shapefile, consistió en la sobreposición de polígonos generados a partir de la digitalización de las áreas de estudio (Figura 35), y la inclusión de valores para algunos atributos que ayudaran a identificar los documentos en la base de datos (Tabla 1) igualmente en el software ArcGIS.

Tabla 1. Atributos para la georreferenciación de los documentos.

Nombre	Descripción	Tipo	Largo
Categoría	Clasifica los documentos dentro las 3 principales temáticas propuestas (geología, geomorfología y tectónica) analizadas para esta base de datos.	Texto	100 Caracteres
Zonas	Identificador del área de estudio de los documentos según zonificación geográfica regional	Texto	50 Caracteres
Terreno	Identificador del área de estudio de los documentos según zonificación geológica.	Texto	254 Caracteres
Area_Espec	Identificador del área geográfica exacta donde se desarrolló el estudio.	Texto	200 Caracteres
Autor	Identificación del autor o autores por apellido e iniciales de los nombres	Texto	50 Caracteres
Año	Fecha de publicación del documento	Texto	15 Caracteres
Título	Identificador del nombre del documento	Texto	400 Caracteres
Área	Valor calculado en kilómetros cuadrados del área de estudio.		Valor numérico de 4 dígitos

Figura 34. Georreferenciación de los documentos mediante puntos de control en el área de estudio ubicados en la línea de costa base.

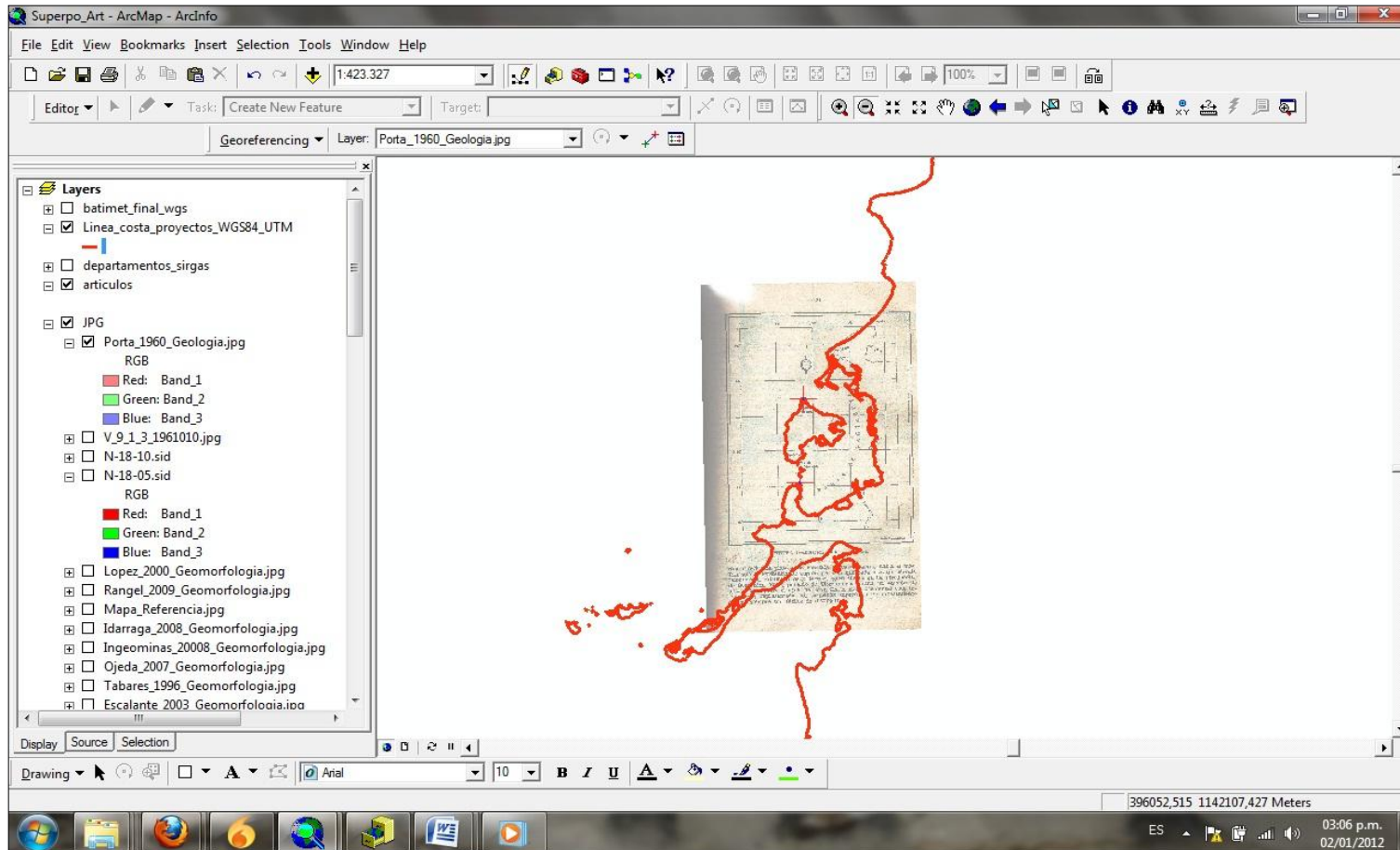


Figura 35. Sobreposición de polígonos generados a partir de la digitalización de las áreas de estudio.

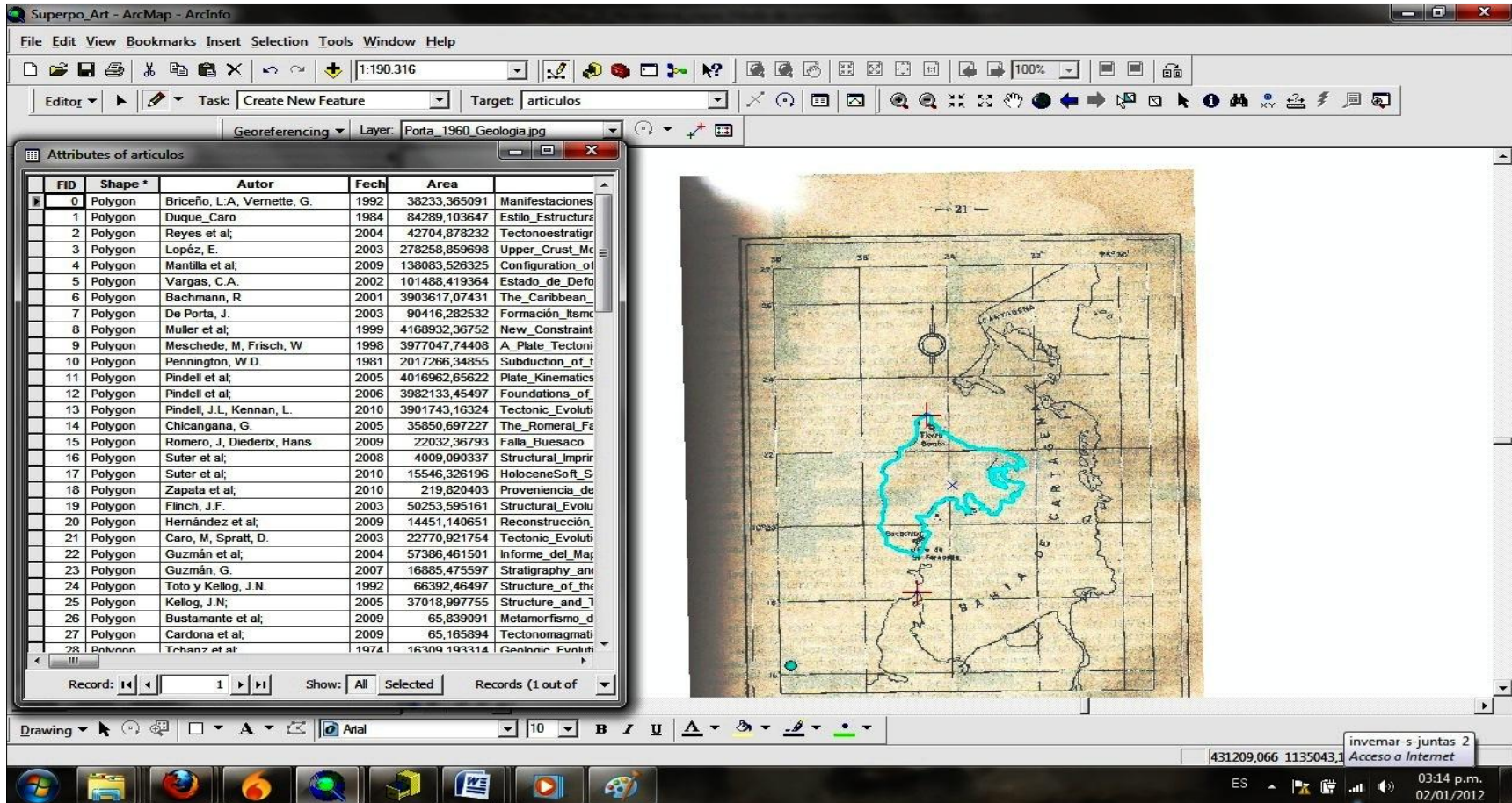


Figura 36. Metodología para la georreferenciación de los documentos



6.3 BASE DE DATOS BIBLIOGRÁFICA

La base de datos está conformada por información bibliográfica de estudios realizados en el Caribe colombiano y áreas insulares; estos fueron almacenados bajo la nomenclatura estandarizada *Dublin Core*

6.3.1 Sistema Dublin Core. Un registro de metadatos consiste en un conjunto de atributos, o elementos, necesario para describir la fuente en cuestión; por ejemplo, un sistema de metadatos común entre los bibliotecarios “el catálogo de biblioteca” contiene un conjunto de registros de metadatos con elementos que describen un libro u otra publicación en una biblioteca: autor, título, fecha de creación o publicación, materia, y la signatura topográfica especificando la localización de la publicación en el estante (Hillman, D, 2003).

El estándar de metadatos *Dublin Core*, es un eficaz conjunto de elementos para describir una amplia gama de recursos de red. En las primeras versiones estaba formado por 13 elementos que permitían identificar las características básicas de un recurso electrónico. A pesar de que un año más tarde se le añadieron 2 elementos más, el modelo de referencia sobre el que se ha trabajado ha sido siempre el mismo (Hillman, D, 2003).

Así como una ficha bibliográfica es útil para la búsqueda de información en una biblioteca, los campos del *Dublin Core*, o metadatos resguardados en una base de datos, describen al objeto digital depositado en algún medio de almacenamiento, lo que permite un acceso al objeto por medio de un campo particular.

A continuación se presenta la descripción de los metadatos de *Dublin Core*, utilizados para la elaboración de la “Base de datos multiescalar del conocimiento geológico del litoral y áreas insulares del Caribe colombiano”



Element Name

Nombre	Nombre
Etiqueta	DC.Name
Definición	Este se encuentra conformado por el Título , Autor y Descripción del documento
Comentario	Se refiere al nombre por el que el recurso es conocido. En este también se encuentra el nombre como el documento es cargado a la base de datos y el autor de la investigación y suele incluir un resumen, índice de contenidos, una referencia a la representación gráfica del contenido

Element Publisher

Nombre	Editor
Etiqueta	DC.Publisher
Definición	Entidad responsable de crear el recurso disponible.

Element Contributor

Nombre	Colaboradores
Etiqueta	DC.Contributor
Definición	Entidad responsable de contribuir al desarrollo del contenido del recurso.

Element Type

Nombre	Tipo de recurso
Etiqueta	DC. Type
Definición	La naturaleza o género del contenido del recurso.
Comentario	Para describir el formato de archivo, medio físico, o las dimensiones del recurso.

Element Source

Nombre	Fuente
Etiqueta	DC. Source
Definición	Identifica la fuente del cual proviene el recurso actual.

Element Coverage	
Nombre	Cobertura
Etiqueta	DC. Coverage
Definición	Cobertura espacial (región física) y/o temporal (referida al contenido) del recurso.
Element Rights	
Nombre	Gestión de derechos de autor
Etiqueta	DC. Rights
Definición	Información sobre los derechos de autor que afectan al recurso.
Element Subject	
Nombre	Resumen
Etiqueta	DC. Subject
Definición	El tema del contenido del recurso.
Comentario	Por lo general se expresa en forma de palabras clave o códigos de clasificación que puedan describir la materia del recurso. Se recomienda el uso de un vocabulario controlado para extraer los términos.
Element Subject	
Nombre	Identificador
Etiqueta	DC
Definición	Es una serie alfanumérica que identifica un documento
Comentario	El ISSN (<i>International Standard Serial Number</i> , Número Internacional Normalizado de Publicaciones Seriadas) es un número internacional que permite identificar de manera única una colección.

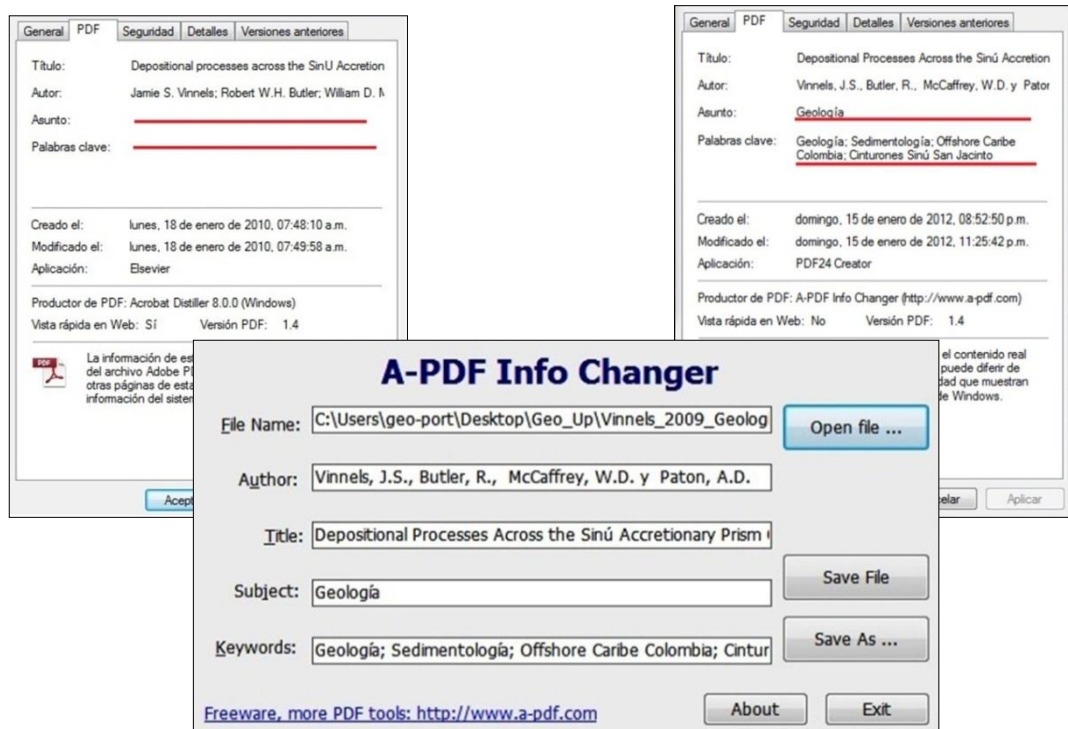
El sistema estandarizado *Dublin Core* es un sistema asequible de catalogación estandarizado, para la organización del material electrónico, con el que se pueden elaborar búsquedas rápidas y eficientes para cualquier tipo de documento digital que se encuentre en Internet, pero este funcionamiento depende de la veracidad de la metadata original de los documentos (Tabla 2)

Tabla 2. Propiedades de información de los documentos PDF

Título	Nombre del documento
Autor	Identificación del autor o autores por apellido e iniciales de los nombres
Tema	Faceta (Geología, Geomorfología y Tectónica) a la cual el documento pertenece
Palabras Claves	Las palabras que facilitan la búsqueda de los documentos dependiendo de la necesidad del usuario. Se utiliza un vocabulario controlado para extraer los términos. Uso del tesauro de geología de acceso libre del Instituto de Estudios Documentales sobre Ciencia.

La aplicación estandarizada del sistema *Dublin Core*, sin la previa corrección de la metadata original de los documentos adjuntos en la base de datos; es errónea y es necesaria la corrección de esta a todos los documentos. La corrección de los documentos se realiza con el programa *A-PDF Infochanger*, que permite cambiar la información suministrada de manera errónea a la metadata de los documentos digitales (Figura 37).

Figura 37. Corrección de las propiedades de información de los documentos (Metadata)



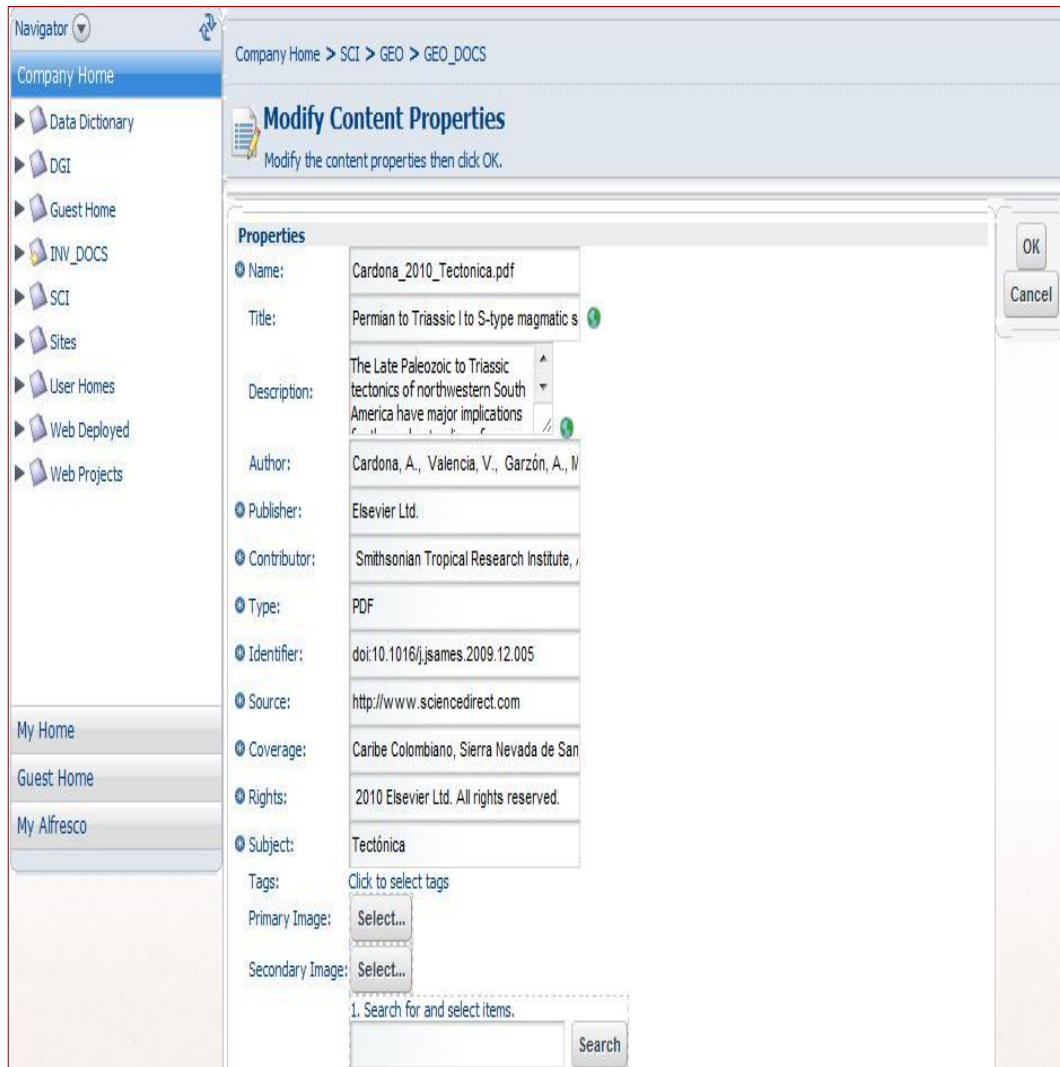
6.3.2 Base de datos en COSTERO. Aplicando la metodología estandarizada *Dublin Core*, se utilizó como sistema de aplicación, organización y catalogación de material digital el recurso en red Alfresco, mediante el cual los documentos son cargados en la base de datos bibliográfica de COSTERO (Figura 38), plataforma que integra los conocimientos obtenidos mediante los grupos de investigación pertenecientes al Programa de investigación en erosión costera, liderados por Colciencias e INVEMAR; en este sitio (www.invemar.org.co/erosioncostera) es posible generar los registros que describen el objeto electrónico a publicar (metadatos), a partir de una interfaz en web (Figura 39).

Una vez capturada la descripción del recurso electrónico, el registro catalogado es enviado a una base de datos, en la que se guarda toda la información que se genere para ser almacenada dentro de un servidor (Morales, J.S., 2005). De esta manera, cuando se realiza una búsqueda, ya sea por autor, título o palabras clave, se obtiene una ficha electrónica con la metadata del documento (Figura 40).

Figura 38. Envío de un registro a la base de datos. Tomada y modificada de (Morales, J.S., 2005)



Figura 39. Interfaz de catalogación con el sistema *Dublin Core*, para la creación de la base de datos en COSTERO



Company Home > SCI > GEO > GEO_DOCS

Modify Content Properties

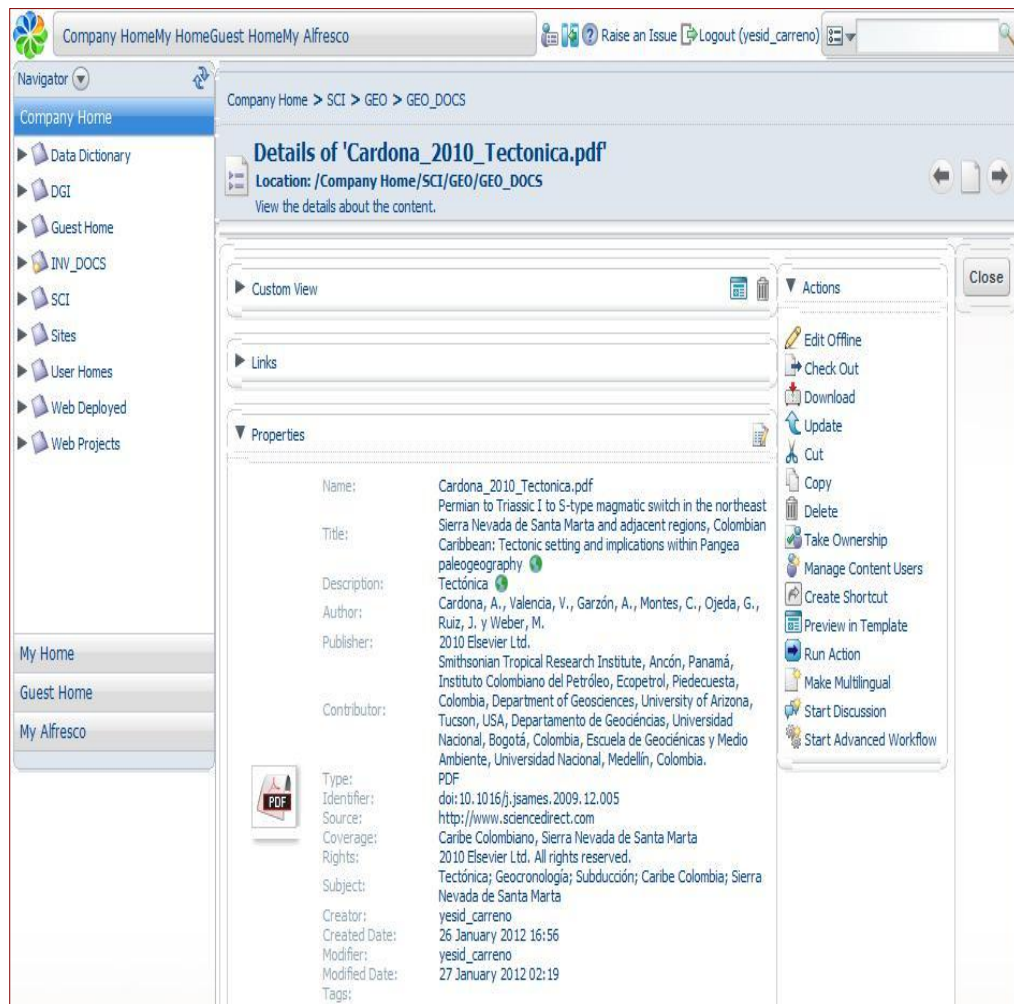
Modify the content properties then click OK.

Properties

- Name: Cardona_2010_Tectonica.pdf
- Title: Permian to Triassic I to S-type magmatic s
- Description: The Late Paleozoic to Triassic tectonics of northwestern South America have major implications
- Author: Cardona, A., Valencia, V., Garzón, A., W
- Publisher: Elsevier Ltd.
- Contributor: Smithsonian Tropical Research Institute,
- Type: PDF
- Identifier: doi:10.1016/j.jsames.2009.12.005
- Source: http://www.sciencedirect.com
- Coverage: Caribe Colombiano, Sierra Nevada de San
- Rights: 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved.
- Subject: Tectónica
- Tags: Click to select tags
- Primary Image: Select...
- Secondary Image: Select...

1. Search for and select items.

Figura 40. Ficha electrónica de la metadata del documento.

Company Home > SCI > GEO > GEO_DOCS

Details of 'Cardona_2010_Tectonica.pdf'

Location: /Company Home/SCI/GEO/GEO_DOCS
View the details about the content.

Properties

Name:	Cardona_2010_Tectonica.pdf
Title:	Permian to Triassic I to S-type magmatic switch in the northeast Sierra Nevada de Santa Marta and adjacent regions, Colombian Caribbean: Tectonic setting and implications within Pangea paleogeography
Description:	Tectónica
Author:	Cardona, A., Valencia, V., Garzón, A., Montes, C., Ojeda, G., Ruiz, J. y Weber, M.
Publisher:	2010 Elsevier Ltd.
Contributor:	Smithsonian Tropical Research Institute, Ancón, Panamá, Instituto Colombiano del Petróleo, Ecopetrol, Piedecuesta, Colombia, Department of Geosciences, University of Arizona, Tucson, USA, Departamento de Geociencias, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional, Medellín, Colombia.
Type:	PDF
Identifier:	doi:10.1016/j.jsames.2009.12.005
Source:	http://www.sciencedirect.com
Coverage:	Caribe Colombiano, Sierra Nevada de Santa Marta
Rights:	2010 Elsevier Ltd. All rights reserved.
Subject:	Tectónica; Geocronología; Subducción; Caribe Colombia; Sierra Nevada de Santa Marta
Creator:	yesid_carreno
Created Date:	26 January 2012 16:56
Modifier:	yesid_carreno
Modified Date:	27 January 2012 02:19
Tags:	

Actions

- Edit Offline
- Check Out
- Download
- Update
- Cut
- Copy
- Delete
- Take Ownership
- Manage Content Users
- Create Shortcut
- Preview in Template
- Run Action
- Make Multilingual
- Start Discussion
- Start Advanced Workflow

7. RESULTADOS

Elaboración de la “BASE DE DATOS MULTIESCALAR DEL CONOCIMIENTO GEOLOGICO DEL LITORAL Y AREAS INSULARES DEL CARIBE COLOMBIANO, que se encuentra en la plataforma web COSTERO que integra los conocimientos obtenidos mediante los grupos multidisciplinarios pertenecientes al programa de investigación en erosión costera, liderados por Colciencias e INVEMAR.

Se realizó el primer inventario de información bibliográfica que reposaba en los centros de investigación (INVEMAR) y de educación superior (Universidad Nacional de Colombia y Universidad Industrial de Santander) en las facetas de tectónica, geología y geomorfología desarrollada en el Caribe colombiano, con la finalidad de generar la caracterización Geologica en dicha facetas.

Plantear y aplicar la metodología estandarizada Dublin Core, para la administración de la base de datos bibliográfica en la plataforma web COSTERO.

Elaboración del shapefile de Georreferenciación bibliográfica por medio del SIG ARC gis 9.3 de la zona donde los estudios fueron realizados en el caribe colombiano, con el propósito de alimentar la metadata del Geovisor perteneciente a la plataforma web COSTERO.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE, C. 2000. The circulation and variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea. Ph.D. Thesis. University of Wales .pp 223 p.

ANH.2007.Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal.

BARRERO, D., 1978. Geology of the Central Western Cordillera, West of Buga and Roldanillo, Colombia. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras. Publicaciones Geológicas Especiales de Ingeominas N° 4. pp. 1-75

BERNAL G., G. Poveda, P. Roldán y C. Andrade. 2006. Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la Costa Caribe Colombiana. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 30 (115): pp 195-208.

BUREL, T. y Vernet G. 1980. Evidencias de cambios de nivel del mar en el cuaternario de la región de Cartagena (Bolívar). Revista CIAF, 6 (1-3): pp 77-92.

BUSTAMANTE, C., Cardona, A. Saldarriaga, M., García-Casco, A., Valencia, V., y Weber, M. 2008-2009. Metamorfismo de los Esquistos Verdes y Anfibolitas Pertenecientes a los Esquistos de Santa Marta, Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). ¿Registro de Colisión entre el arco caribe y la margen suramericana? Boletín de Ciencias de la Tierra. No 25. Medellín. pp. 7-26.

CARDONA, A., Valencia, V., Bustamante, C., García-Casco, A., Ojeda, G., Ruíz., Saldarriaga, M., Weber, M.2010. Tectonomagmatic Setting and Provenance of the Santa Marta Schists, northern Colombia: Insights on the growth and approach continent. Journal of South American Earth Siences.pp:2-21.

CARDONA, A., Weber, M., Wilson, R., Cordani, U., Muñoz, C.M., Paniagua, F. 2007. Evolución Tectono-Magmatica de las Rocas Maficas-Ultramáficas del cabo de la Vela y el Stock de Parashi, Península de la Guajira: Registro de la Evolución Orogénica Cretácica –Eocena del Norte de Suramérica y el Caribe. XI Congreso Colombiano de Geología, Bucaramanga, Agosto pp 14-17.

CASE, J.E., Holcombe, T.I., Martin, R.G., 1984. Map of geologic provinces in the Caribbean regios, in Bonini W.E., Hangraves, R.B. and Shagam, R. (editors) The Caribbean-South American plate boundary and regional tectonics. Geological Society of America Memoir 162, pp. 1-20.

CEDIEL, F., Shaw, R.P., Cáceres, C.2003. Tectonic Assembly of the Northern Andean Block, in C. Bartoline, R.T. Buffler, and J. Blickwede, eds. The Circum – Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79, pp.815-848.

CORALINA. 1997. Plan de ordenamiento ambiental para el desarrollo sostenible: plan estrategico 1998-2010. Corporación Ambiental Regional para el Desarrollo Sostenible. San Andrés Islas, Colombia

CORREA, I.D, Alcántara-Carrió,J. and González, D.A. 2005. Historical and Recent Shore Erosion Along the Colombian Caribbean Coast. Journal of Coastal Research, SI 49, pp: 52-57.

DE PORTA, J. 2003. La Formación del Istmo de Panamá. Su incidencia en Colombia. Ciencias de la Tierra, Barcelona, España. pp 1-26.

DEWEY, J.F., y Pindell, J. L., 1986, Neogene block tectonics of eastern Tukey and northern South America: continental applications of the finite difference method, Tectonics, v. 5, pp. 703-715

DRUMMOND, J., 1981 Mapa de la tectónica de placas de la región del Caribe (según los datos del mapa de la tectónica de placas de la región circumpacífica, cuadrante NW). Cons. Circumpac. Energ. Yacim. Min., U.S.A., Escala 1:10 000 000.

DUQUE-Caro, H. 1967. Observaciones Generales a la Bioestratigrafía y Geología Regional en los Departamentos de Bolívar y Córdoba. Servicio Geológico Nacional. Bogotá. pp, 71-85.

DUQUE-Caro, H., 1972. Ciclos tectónicos y sedimentarios en el norte de Colombia y sus relaciones con la paleoecología. Bol. Geol. INGEOMINAS. Vol.19 No 19. 3, pp 1-23

DUQUE-Caro, H., 1975. Los foraminíferos plantónicos y el Terciario de Colombia. Revista española de micropaleontología. Vol.7 No 3, pp 403-427

DUQUE-Caro, H. 1978. Geotectónica y Evolución de la región Noroccidental Colombiana. Informe No 1750. Asociación América de Geólogos del Petróleo. (A.A.P.G). Memoir 29, Bogotá, Bol. Geol. Vol. 23, (3): pp 4-37.

DUQUE- Caro, H., 1979. Major Structural Elements and Evolution of Northwestern Colombia, in J. S. Watkins, L. Montadert, and P. W. Dickerson, eds., Geological and geophysical investigations of continental margins. AAPG Memoir 29, pp. 329-351.

DUQUE-Caro, H. 1980. Geotectónica y Evolución de la Región Noroccidental Colombiana. Boletín Geológico del Ingeominas, Vol. 23. No. 3, pp. 4-37.

Duque-Caro. 1984. Estilo Estructural, Diapirismo y Episodios de Acrecimiento del Terreno Sinú-San Jancito en el Noroccidente de Colombia, Informe No

1928. Instituto Nacional de Investigaciones, Geológico-Mineras. Bol. Geol. Ingeominas. Vol.27 No 2, pp. 1-29.

DUQUE-Caro, H., 1984. Structural Style, Diapirism and Accretionary Episodes of the Sinú-San Jacinto terrane, southwestern Caribbean borderland. GSA Memoir 162: pp 303–316.

DUQUE-Caro, H. 1990. El Bloque de Chocó en el Noroccidente Suramericano: Implicaciones Estructurales, Tectonoestratigráficas y Paleográficas. Boletín Geológico. Bogotá, Bol. Geol. Ingeominas, V.31, No 1. pp. 1-71.

DUQUE-Caro, H. 1990. Boletín Geológico. Ingeominas, Volumen 3, No 1. pp. 1-71, ISSN 0120-1425, Bogotá-Colombia.

ERCILLA, G., Alonso, B., Estrada, F., Chiocci, F.L., Baraza, J., Farran, M. 2002. The Magdalena Turbidite System (Caribbean Sea): present-day morphology and architecture model. Marine Geology 185, pp. 303-318.

ERCILLA, G., Wynn, R.B., Alonso, B., y Baraza, J. 2002. Initiation and evolution of turbidity current sediment waves in the Magdalena turbidite System. Marine Geology 192. pp. 153-169.

ESTRADA, J., 1995. Paleomagnetism and accretion events in the Northern Andes. Tesis de doctorado. State University of New York.

ETAYO-Serna, F. D., Barrero, H., Lozano, A., Espinosa, G., González, A., Orrego, A., Zambrano, H., Duque, R., Vargas, A., Nuñez, J., Alvarez, C., Ropain, I., Ballesteros, E., Cardozo, H., Forero, N., Galvis, C., Ramirez, and Sarmiento, L., 1983. Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. Publicaciones Geológicas Especiales. Ingeominas, pp. 14, 235

FAJARDO, G. 1979. Surgencia costera en las proximidades de la Península colombiana de la Guajira. Bol. Cient. CIOH (2): pp 7-19.

FLINCH, J.F., 2003. Structural Evolution of the Sinú-Lower Magdalena Area (Northern Colombia), in C. Bartolini, R.T. Buffler, and J. Blickwede, eds, The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin information, and plate tectonics: AAPG Memoir 79, pp.776-796

GEISTER, J. 1992. Modern reef development and Cenozoic evolution of an oceanic island/ reef complex: isla de Providencia (Western Caribbean sea), Facies, 27: pp 1-70.

GEISTER, J and Diaz, J.M.(2003) Reef Environments and Geology of an Oceanic Archipiélago: San Andrés, Old Providence and Santa Catalina (Caribbean Sea, Colombia). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-Invemar, Santa Marta, pp.1-185.

GEOTEC Ltda-INGEOMINAS. 2003. Geología de los Cinturones Sinú-San Jancito. 50 Puerto Escondido, 51 Lorica, 59 Mulatos, 60 Canalete, 61 Montería, 69 Necocli, 70 San Pedro de Urabá, 71 Planeta Rica, 79 Turbo, 80 Tierralta. Escala 1:100.000 Memoria Explicativa. Instituto de Investigaciones e Información Geocientíficas, Minero Ambiental y Nuclear. Ingeominas. Bogotá. D.C, pp. 1-225.

GHOSH, N., Hall, S., y Casey, J., 1984. Seafloor Spreading Magnetic Anomalies in the Venezuelan Basin, in Bonini, y otros (edt.), The Caribbean – South American Plate Boundary and Regional Tectonics. GSA Memoir 162, pp. 65 -80.

GUZMÁN, G., Gómez, F., Serrano.B.E.2004. Informe del mapa Geológico de los cinturones del Sinú, San Jancito y Borde Occidental del Valle Inferior del Magdalena-Caribe.Colombia. INGEOMINAS. Bogotá D.C,Julio.

HAQ, U., Hardenbol, J., y Vail, P., 1987. Cronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic. Science, Vol. 235., pp 1156-1167.

HILLMAN, D., 2003. Guía de uso Dublin Core. Disponible en la web: <http://dublincore.org/documents/2003/08/26/usageguide>

IDÁRRAGA-García, J., Romero, J. 2010. Neotectonic study of the Santa Marta Fault System, Western Foothills of the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. Journal of South American Earth Sciences 29: pp 849-860.

IDÁRRAGA-García, J., Morales, D.F., Henao, W., Posada, B.O., Guzmán, G., 2010. Rasgos Geológicos del Subsuelo en la Plataforma Continental frente a la Barra de Salamanca (Ciénaga Grande de Santa Marta), Caribe Colombiano. XIV Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías. pp 28-32.

IDEAM-UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA 1998. Litoral Caribe: Morfodinámica y amenazas naturales. Bogotá: Informe final.

IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1974. Estudio semidetallado de suelos de la isla de Barú. Bogotá.

IGAC, 1977. Islas del Rosario. Bogotá.

IRVING, E.M., 1971. La evolución estructural de los andes más septentrionales de Colombia. Bol. Geol. (Bogotá) 19 (2): pp 1-89

INVEVAR, INGEOMINAS, Ecopetrol-ICP-Geosearch Ltda. 2007. Geología de las Planchas 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 33 Y 34. PROYECTO: "Evolución geohistórica de la sierra nevada de santa marta". Escala 1:100,000.

JEVELAUD, O. 1986. Sedimentología de la plataforma continental del Caribe colombiano. Bol. Cient. CIOH (6): pp 17-39.

KELLOGG, J.N.1984. Cenozoic tectonic history of the Sierra de Perijá, Venezuela-Colombia, and adjacent basins. Geological Society of America. Memoir 162. pp: 239-261.

KELLOG, J.N y Vega, V., 1995. Tectonic development of Panama Costa Rica and Colombia Andes: Constraints from Global Positioning System, geodetic studies and gravity, in Mann., ed; Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 295.

LOCKWOOD, J. P., 1965. Geology of the Serranía de Jarara Area. Guajira Peninsula, Colombia. Thesis Ph.D., Princeton Univ. 167 . New Jersey.

LÓPEZ, E., y Barrero, D., 2003. Transectas Geológicas de la Corteza Superior de Colombia. Memorias del VIII Simposio de Exploración de Cuencas Subandinas, Volumen 2 ,pp 279 - 289.

LÓPEZ, E. 2005. Evolución Tectónica de la Región Caribe de Colombia. Dirección de Servicio Geológico. Instituto Colombiano de Geología y Minería. Ingeominas, Bogotá, pp.1-51.

MACDONALD, W.D. y HURLEY, P.M., 1969. Precambrian gneisses from Northern South America. Bull. Geol. Soc. America, 80: 1867-1872.

MACDONALD, W. D., and N. D. Opdyke (1972), Tectonic Rotations Suggested by Paleomagnetic Results from Northern Colombia, South America, J. Geophys. Res., 77(29), 5720–5730, doi: 10.1029/JB077i029p05720.

MANN, P., 1999. Caribbean Sedimentary Basins: Classification and Tectonic Setting from Jurassic to Present, in P. Mann, ed., Caribbean Basins. Sedimentary Basins of the World: Amsterdam, Elsevier Science B.V., v. 4, pp. 3-31.

MANTILLA-Pimiento, A.M., Jentzsch, G, Kley, J. and Alfonso-Pava, C. 2009. Configuration of the Colombian Caribbean Margin: Constraints from 2D Seismic Reflection data and Potential fields interpretation. ©Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 247-272.

MARTÍNEZ, S. y Vernet G. 1981. El complejo arrecifal de las islas del Rosario, zonación coralina, sedimentación y foraminíferos bentónicos. Revista CIAF Vol. 6 (1-3): pp 329-345.

MESA García, J. C. 2009. Metodología para el reanálisis de series de oleaje para el Caribe colombiano. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Medellín.

MESA S, O., G. Poveda J y L. F. Carvajal S. 1997. Introducción al Clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Medellín. pp 390.

MESCHEDE, M., Frisch, W. 1998. A plate- tectonic model for the Mesozoic and Early Cenozoic history of the Caribbean plate. Tectonophysics 296, 269-291.

NIETO, Ma, J. 2004. Estudio Morfodinámico del Delta del Rio Atrato, Golfo de Urabá, A partir de Cartografía Histórica y Percepción Remota. Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Ciencias-Departamento de Geociencias, Bogotá, pp.1-119.

MOLARES, R. 2004. Clasificación e identificación de las componentes de marea del Caribe Colombiano. Bol. Cient. CIOH (22): pp 105-114.

MOOERS, C. N. K. and G. A. Maul. 1998. Intra-Americas sea circulation in The Sea. Vol. 11. Edited by A. R. Robinson and K. H. Brink. New York. pp. 183–208

MORALES, J. S., 2005. El formato Dublin Core como sistema de catalogación electrónico. Disponible en la web: <http://www.mati.unam.mx>

NIETO, M.J., 2004. Estudio Morfodinámico del Delta del Rio Atrato, Golfo de Urabá, A partir de Cartografía Histórica y Percepción Remota. Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Ciencias-Departamento de Geociencias, Bogotá, pp.1-119.

OJEDA, G.Y, Restrepo I.C, Correa,I.D. y Ríos, A.A. 2007. Morfología y Arquitectura interna de una Plataforma Continental Cambiantes: Golfo de Morrosquillo. Boletín de Geología, Vol. 29 No 2, pp, 105-114.

ORDOÑEZ, O., Pimentel, M., 2001. Rb-Sr and Sm-Nd isotopic study in the Puqui Complex, Colombia Andes. Journal of America Earth Sciences, V. 15. pp 173-182

PARRISH, J., 1995. Paleogeography of Corg-Rich Rocks and the Preservation Versus Production Controversy, in Huc, A. (edit.), Paleogeography, paleoclimate, and source rocks. AAPG Studies in Geology N° 40, pp 1 - 20.

PINDELL, J., Higss, R. and Dewey, J., 1998. Cenozoic palinspastic reconstruction, paleogeographic evolution and hidrocarbon setting of the Northern margin of South america, in Pindell, J y Drake, C. (edit.),Paleogeographic evolution and non-glacial eustacy, Northern South America. SEPM Special Publication N° 58, pp.45 - 86.

PINDELL, J., Kennan, L., Maresch, W., Stanek, K., Draper, G., Higgs, R. 2005. Plate-Kinematics and Crustal dynamics of Circum-Caribbean arccontinent interactions: Tectonic Controls on basin development in Proto-Caribbean margins. Geological Society of America-Special Paper 394.pp.7-52

PINDELL, J., Dewey, J., 1982. Permo-Triassic reconstruction of western Pangea and the evolution of the Gulf of Mexico/Caribbean region. Tectonics 1 (2), pp 179-211.

PINDELL, J.L., 1994, Evolution of the Gulf of Mexico and the Caribbean: in Donovan S.K. and Jackson, T. A. (eds.) Caribbean Geology: an introduction, University of the West Indies Publishers Association/University of the West Indies Press, Kingston, Jamaica, pp. 13-39.

POSADA, B. O., y Henao, W., 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. Serie Publicaciones Especiales No 13 , Invemar, Santa Marta, 200 páginas.

PUJOS, M., J.L. Pagliardin, R. Steer, G. Vernet y O. Weber. 1986. Influencia de la contracorriente norte colombiana para la circulación de las aguas en la plataforma continental: su acción sobre la dispersión de los efluentes en suspensión del río Magdalena. Bol. Cient. CIOH (6): pp 3-15.

RANGEL-Buitrago, N.R, 2004. Estudio Geológico de los Procesos que tiene Lugar en la Zona Marino Costera del Sector Cristo Rey-Paso nuevo, Departamento de Córdoba. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad de Caldas - INVEMAR. Manizales, Colombia. 124 p.

RANGEL-Buitrago, N.R, Idárraga-García, J. 2010. Morfología Submarina y Sedimentos en la Margen Continental y Fondos Oceánicos del Caribe Colombiano. XIV Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar.pp.54-57.

RESTREPO, I.C., Ojeda, G.Y., y Correa,I.D.2007. Geomorfología de la Plataforma Somera del Departamento del Córdoba, Costa Caribe Colombiana. Boletín de Ciencias de la tierra No 20, pp.1-5.

RESTREPO, J.D., y López,S.A .2008. Morphodynamics of the Pacific and Caribbean deltas of Colombia, South America. Journal of American Earth Sciences 25,pp.1-21.

RESTREPO-Pace, P., 1992. Pliotectonic characterization of the Central Andean terrane, Colombia. Journal of South America Earth Sciences, V. 5 N^o1, pp 97 - 116.

RESTREPO-Pace, P., 1997. Geochronology and Nd isotopic data of Greville-age rocks in the Colombian Andes: New constrains for Late Proterozoic – Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. Earth and Planetary Sciences Letters, 150, pp 427 - 441.

REYES, H.A., Montenegro, B.M., Gómez, P.D. 2004. Tectonoestratigrafía y Evolución Geológica del Valle inferior del Magdalena. Boletín de Geología. Vol.26, No 42, pp. 19-38.

ROBERTSON, K.,y Martínez, N. 1999. Cambios del nivel del mar durante el holoceno en el litoral caribe colombiano. Departamento de geografía universidad nacional de Colombia. Cuadernos de geografía, VIII (1), pp.168-169. Santa fe de Bogotá, Colombia.

ROBERTSON, K., y Chaparro, J. 1998. Evolución Histórica del Delta del Río Sinú. Cuadernos de Geografía, 7 (1-2), pp. 70-86.

RODRÍGUEZ, G., Londoño, A.C. 2002. Mapa Geológico del Departamento de la Guajira. Geología, Recursos Minerales y Amenazas Potenciales. Escala 1:250,000. Version 2. Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear. INGEOMINAS. Medellín, pp. 1-259.

ROSS, M. y Scotese, C., 1988. A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico and Caribbean region; Tectonophysics, 155, pp. 139-168.

SERRANO, B.E. 2004. The Sinú River Delta on the Northwestern Caribbean Coast of Colombia: Bay infilling associated with delta development. Journal of South American Earth Sciences 16, pp. 623-631.

TSCHANZ, C.M., Jimeno, A., Vesga, C. 1969. Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta Área (Colombia). Instituto de Investigaciones e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear. Ingeominas, I-1829.

TSCHANZ, C. M., Marvin R.F., Cruz, J., Mehnert, H., and Cebulla, G., 1974. Geologic Evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta area, Colombia. Geological Society of America Bulletin, V. 85, pp. 273-284.

UJUETA-Lozano, G. 2003. La Falla de Santa Marta-Bucaramanga no es una sola falla; son dos fallas diferentes: La Falla de Santa Marta y La Falla de Bucaramanga. Geología Colombiana, Bogotá, 28. pp. 133-153.

UJUETA-Lozano, G. 2007. Tectónica de bloques, delimitadas por lineamientos de dirección NO-SE Y NNE-SSO en el norte y nordeste de Colombia y en el noroccidente de Venezuela. Geología Colombiana 32, Bogotá, pp. 3-20.

VAN Der Hammen, T., 1958. Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogenesis de los Andes colombianos. Bol. Geol. (Bogotá) 6, (1-3): pp 67-128

VARGAS-Jiménez, C.A., Pujades, L.G., Ugalde, A., Canas, J.A. 2002. Estado de Deformación y Esfuerzos en el Territorio Colombiano. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Volumen 26, No 100. 373-391.

VERNETTE, G., 1985. La Plateforme Continentale Caraibe de Colombia (Du Debouche Du Magdalena Golfe de Morrosquillo) Importance du Diapirisme Argileux Sur la Morphologie et la Sedimentation, Thesis, Universite de Bordeaux, 387 pp.

VILLAMIL, T and Pindell, J., 1998. Mesozoic paleogeographic evolution of northern South America: Foundations for sequence stratigraphic studies in passive margin strata deposited during non glacial times, in Pindell, J y Drake, C. (edit.), Paleogeographic evolution and non - glacial eustacy, Northern South America. SEPM Special Publication N° 58, pp. 283 - 318.

Weber, M., Cardona, A., Valencia, V. A., Garcia-Casco, A., Altenberger, U., Zapata, S. and Tobón, M., 2009. Late Cretaceous tectonic interactions between the South American plate and the Caribbean arc: insights from the magmatic and metamorphic record of the Guajira region, northern colombia. VII Congreso Cubano de Geología. Workshop IGCP-546.

WUST, G. 1963. On the stratification and the circulation in the cold water sphere of the Antillean-Caribbean basin, Deep Sea Res. (10): pp 165– 187.

ANEXOS

ANEXO A. Shapefile de georeferenciación de la base de datos multiescalar del conocimiento geológico del litoral y áreas insulares del caribe colombiano (Digital)