



**GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA
DE LA
PLANCHA 339 MOSQUERA**

Informe No. .

Por
**ÁLVARO NIVIA
CAMILO PÉREZ
JANETH SEPULVEDA**

Cali, marzo de 2003

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN GEOCIÉNTIFICA, MINERO-AMBIENTAL Y NUCLEAR

**REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN GEOCIENTÍFICA,
MINERO-AMBIENTAL Y NUCLEAR
INGEOMINAS**

**GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA
DE LA
PLANCHA 339 MOSQUERA**

Por

**ÁLVARO NIVIA
ÁLVARO NIVIA G.
CAMILO PEREZ
JANETH SEPULVEDA**

Cali, marzo de 2003

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
1.1	ANTECEDENTES.....	5
1.2	OBJETIVOS.....	6
2.	GENERALIDADES.....	8
2.1	LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO.....	8
2.2	CLIMA.....	8
2.2.1	Precipitación.....	10
2.2.2	Humedad relativa.....	10
2.2.3	Temperatura.....	10
2.3	HIDROGRAFÍA.....	11
2.3.1	Mareas.....	11
2.3.2	Olas.....	11
2.4	VEGETACIÓN.....	11
2.5	MÉTODO DE TRABAJO.....	13
2.5.1	Fuentes de Información.....	13
2.5.2	Restitución planimétrica digital.....	14
2.5.3	Personal participante.....	15
2.6	TRABAJOS ANTERIORES.....	16
3.	GEOMORFOLOGIA.....	17
3.1	LA ZONA COSTERA O LLANURA DELTAICA MAREAL.....	17
3.1.1	Deltas de mareas (Q2dm1, Q2dm2).....	18
3.1.2	Islas Barrera (Q2ib).....	19
3.1.3	Pantanos de manglar (Q2m).....	20
3.1.4	Cordones litorales antiguos o “firmes” (Q2cl1).....	21
3.2	LA ZONA ALUVIAL O LLANURA DELTAICA FLUVIAL.....	22
3.2.1	Llanura de inundación (Q2al).....	22
3.2.2	Albardones naturales (Q2alh).....	23
3.2.3	Cauces abandonados (Q2alca).....	23
4.	AMENAZAS NATURALES.....	24
5.	EVOLUCIÓN DEL PAISAJE.....	26
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

RESUMEN

El delta del río Patía, según su entorno regional, se está formando sobre un sustrato rocoso constituido por rocas sedimentarias neógenas. Las planchas 339 y 339 Bis Mosquera, objeto de estudio de este trabajo, cubren parte del delta, principalmente la llanura deltaica mareal aunque un área menor corresponde a la llanura deltaica fluvial. En estas planchas se encuentra la desembocadura actual del río, que por corresponder a la captura artificial del caudal de río Patía por el río Sanquianga, es denominado río Patianga por los habitantes de la región. En la cartografía de estas planchas se separaron los depósitos asociados a los ambientes litorales de aquellos asociados a los ambientes aluviales y dentro de los primeros se identificaron los siguientes subambientes: deltas de mareas, llanuras intermareales, islas barrera -con sus playas y cordones litorales actuales- y pantanos de manglar con sus llanuras de inundación de mareas; por su parte, en la llanura deltaica aluvial se separaron las llanuras de inundación de los ríos, sus cauces y albardones naturales y los rasgos formados por la avulsión de los cauces como cauces abandonados. Los deltas de mareas mas notables están directamente asociados a la desembocadura del río Patianga y se trata de lóbulos subacuáticos de sedimentos finos, localizados a profundidad menores a la mitad de la longitud promedio de las olas, por lo que su presencia se notable en superficie por la posición de las rompientes. A su vez, variaciones texturales y de color en las imágenes Landsat permitieron interpretar como deltas de mareas los rasgos lobulares que ocurren frente a la desembocadura de los ríos Sanquianga y Aguacatal. Se separaron como islas barrera los cuerpos arenosos con topografía característica de crestas y surcos formados por el crecimiento sucesivo, hacia aguas afuera, de cordones litorales tipo espigas y playas, localizados frente a la línea de costa y que gradan hacia el interior a pantanos de manglar. En el área de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera se muestran ocho islas barrera: Punta Boquerón, Amarales-Mulatos, El Naranjo, Punta Ancón, Punta Guayabal, Barrera y las denominadas por Martínez et al., (1995). islas barrera 47 y 48. Asociados íntimamente a las islas barrera se separaron en la cartografía las playas y los cordones litorales actuales. La franja litoral de pantanos de manglar tienen en el área de estudio una amplitud cercana a los 25 km de ancho y un grado excepcional de preservación por lo que ha sido declarada Parque Nacional Sanquianga. Con respecto a las amenazas de origen natural, para la población de la costa que habita los sustratos sueltos de islas barrera, en habitaciones por lo general palafíticas los efectos de los tsunamis son catastróficos. La documentación de los sismos históricos registra la destrucción, por tsunamis, de varias poblaciones costeras, incluida parte de Tumaco, donde las construcciones presentan mejores especificaciones en cuanto a su diseño y construcción.

1. INTRODUCCIÓN

INGEOMINAS, en el marco del proyecto institucional Compilación y Levantamiento de la Cartografía Geológica y Geomorfológica del Territorio Nacional, programó en una fase del proyecto denominada Pacífico Sur, la realización de los estudios de cartografía, a escala 1:100.000, de la vertiente occidental de la Cordillera Occidental y la llanura costera del Pacífico del Departamento de Nariño. Dentro de estos trabajos le correspondió al Centro Operativo Regional Cali del INGEOMINAS el levantamiento geológico de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera, 361 Bis San Juan de La Costa, 361 Olaya Herrera, 383 Tumaco y 384 La Chorrera, que comprenden parte de los municipios de El Charco, La Tola, Mosquera, Bocas de Satinga, Roberto Payán, Salahonda y Tumaco. Por su parte, correspondió al Centro Operativo Regional Medellín realizar los trabajos de cartografía geológica y geomorfológica de las planchas 407 y 407 Bis Cabo Manglares y 408 Barbacoas.

En este informe se describen las características geológicas y geomorfológicas de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera localizadas completamente dentro de la llanura deltaica del río Patía y en la cual se presenta también la desembocadura actual del río, denominado hoy Patianga. Esta denominación obedece a que el río principal esta formado por la captura artificial y accidental que se produjo del caudal del Patía por el río Sanquianga como consecuencia de la construcción del Canal Naranja (Nivia *et al.*, 2000, Nivia & Romero, 2001).

1.1 ANTECEDENTES

El cubrimiento sistemático del territorio nacional con mapas geológicos se ha llevado a cabo mediante la publicación de los trabajos correspondientes en planchas a escala 1:100.000. En general, y descontando las áreas remotas de gran importancia estratégica por sus posibilidades de recursos mineros, el desarrollo de estos trabajos se ha ido cumpliendo desde las zonas que tienen mejor infraestructura de comunicaciones, que son también aquellas de mayor densidad de población, hasta cubrir aproximadamente el 75% de la zona andina. Para algunas regiones del país, sus características de aislamiento natural dificultan la realización de los trabajos de cartografía geológica sistemática, por lo que se desconocen los detalles de la geología de la región. Es el caso de la Llanura Costera del Pacífico y la vertiente occidental de la Cordillera Occidental en el Departamento de Nariño, cuyas características de infraestructura vial mínima -la única vía es la carretera que une Pasto y Tumaco- y su muy baja densidad de población -localizada a lo largo de la vía y de los principales ríos- se presentan extensas zonas que son definitivamente inaccesibles e inhospitalarias por estar cubiertas de selva virgen. El conocimiento geológico de esta región se limita a algunos trabajos de reconocimiento regional, por lo que INGEOMINAS

decidió estructurar un proyecto de cartografía regional sistemática, denominado Pacífico Sur, que permitiera recoger las diferentes capas de información necesarias para completar el conocimiento geológico y geomorfológico del área. Con este proyecto se esperaba generar información que permitiera conocer el potencial de desarrollo económico de esta región; se consideró que las investigaciones en las diferentes disciplinas encargadas del estudio del suelo y el subsuelo generarían la información útil en la toma de decisiones sobre su ordenamiento territorial, así como del desarrollo de las políticas de manejo ambiental de las costas.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo general del Proyecto Pacífico Sur fue el levantamiento de la cartografía geológica y geomorfológica de la Llanura Costera del Pacífico en el Departamento de Nariño y la elaboración, la publicación y la divulgación de los mapas correspondientes, en escala 1:100.000. De acuerdo con éste, se llevaron a cabo, en el Centro Operativo Regional Cali, los trabajos que permitieron la publicación de cinco mapas, que corresponden a las planchas 339 y 339 Bis Mosquera (este trabajo), 361 Bis San Juan de la Costa (Nivia & Pérez, 2003) 361 Olaya Herrera (Pérez & Nivia, 2003a), 383 Tumaco (Nivia *et al.*, 2003) y 384 La Chorrera (Pérez & Nivia, 2003b)

Como objetivos particulares para cada una de estas planchas se consideraron:

- La compilación, la georreferenciación, la generación de información complementaria a partir de imágenes de sensores remotos y la estandarización digital de esta información planimétrica y topográfica como base para el despliegue de la información geológica y geomorfológica.
- El reconocimiento de los ambientes geomorfológicos de la llanura deltaica del río Patía, y la descripción de las características de transporte y acumulación de sedimentos asociadas a la competencia entre la acumulación de la carga por el régimen fluvial y la distribución de estos sedimentos por la acción de flujo y refluo de las mareas y el embate de las olas.
- La documentación de la información que permitiera interpretar la historia del paisaje, sus procesos de formación y evolución, propiedades físico mecánicas y geológicas aplicadas a ingeniería y un bosquejo general de las amenazas geológicas que sirvan para planificar el desarrollo y la prevención de desastres.
- La preparación de un Sistema de Información Georreferenciado que incluyera las diferentes coberturas de planimetría, topografía, geomorfología, interpretación de imágenes de sensores remotos, estructuras geológicas y descripciones de campo, además de las coberturas con los rasgos culturales y la toponimia apropiada. Un sistema que permitiera el despliegue e impresión de *layouts*, a escala 1:100.000, de esta información de acuerdo con las necesidades del usuario de la plancha.

- La completación una evaluación comprensiva de la costa en términos de ambientes, geomorfología, tipo de costa, sectores de erosión o acresión, y una evaluación preliminar de las amenazas costeras.

2. GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO

La plancha 339 Mosquera se encuentra ubicada sobre la Costa Pacífica, al noroeste del Departamento de Nariño, entre la coordenadas geográficas planas del IGAC, X = 760.000 a 800.000, y Y = 835.000 a 880.000, referidas al punto de origen X= 1'000.000, Y = 1'000.000, correspondientes al punto de coordenadas geográficas 4°35'56,57" de latitud norte y 74°04'51,30" de latitud oeste. Éstas delimitan un área de 1.800 km². La Plancha 339 Mosquera limita al oeste con la plancha 339 Bis, incluida entre la coordenadas geográficas planas X = 760.000 a 800.000, y Y = 790.000 a 835.000 referidas al mismo punto de origen. De esta última plancha de 2.400 km² solamente 12 km² son áreas continentales, mientras que el resto corresponde a aguas marinas; por esta razón, se adicionó al mapa de la plancha 339 Mosquera, una franja de 5 km de ancho que comprende las áreas continentales de la plancha 339 Bis. En esta forma, se presenta un mapa integrado que incluye la plancha 339 Mosquera y la porción continental de la plancha 339 Bis que está limitado por las coordenadas X = 760.0000 a 800.000 y Y = 830.000 a 880.000 y que incluye áreas de los municipios de Mosquera, Olaya Herrera La Tola y El Charco (Figura 1).

El acceso a las regiones de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera - definidas como se indicó en el párrafo anterior-, como a la mayor parte del litoral del pacífico colombiano es por vía acuática. Las poblaciones más cercanas que cuentan con vuelos comerciales son Guapi, al norte, en el departamento del Cauca y Tumaco, al sur. Varias empresas de lanchas prestan servicios comerciales de transporte entre las diferentes poblaciones del litoral o remontan los ríos principales. Una amplia red de navegación intercomunica los sectores de las planchas 399 y 339 Bis Mosquera con las regiones del interior a través de los ríos Amarales, La Tola y Patianga. Por su parte, la navegación entre las poblaciones del litoral se realiza, por lo general, y por mayor seguridad, "por dentro", por los principales esteros que atraviesan el bosque de mangle. Dado que las planchas 339 y 339 Bis Mosquera comprenden las desembocaduras de los principales ríos y esteros, no se presentan en este sector "secaderos" que afecten la navegación, que es continua tanto en marea alta como baja.

2.2 CLIMA

El clima se enmarca dentro de las características generales de la zona de convergencia intertropical como son altas temperaturas, aunque no excesivas, aire húmedo y bochornoso y abundantes lluvias. Influye de manera fundamental el relieve de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera que es plano y a nivel del mar, con elevaciones que no superan los 10 metros

de altura; adicionalmente, condiciona las características climáticas el frente montañoso andino que limita al oriente la Llanura Costera del Pacífico y actúa como una barrera que detiene el flujo, del mar al continente, de los vientos cargados de humedad, y los obliga a ascender.

2.2.1 Precipitación

El ascenso obligado del aire caliente y húmedo favorece la alta precipitación sobre la llanura costera y particularmente sobre el frente de sotavento de la cordillera. En general, para el litoral pacífico colombiano, la pluviosidad varía de 3.000 mm anuales en el área costanera y más de 10.000 mm en algunos sectores del piedemonte andino. Estas condiciones hacen que esta región sea no solamente una de las más húmedas del continente americano, sino que excede probablemente la humedad de otras partes ecuatoriales del mundo. A lo largo del litoral, sin embargo, la precipitación varía dependiendo de condiciones locales. La costa del Departamento de Nariño, que recibe los efectos de las corrientes frías que se encuentran mar afuera, registra un promedio de 2.000 mm anuales y las lluvias se reducen de julio a diciembre.

El volumen total anual y las pequeñas variaciones temporales en la precipitación se reflejan en la frecuencia diaria de las lluvias; en Tumaco se registra un promedio de 153 días lluviosos al año, el más bajo del litoral colombiano, y presenta una gran homogeneidad en el ritmo de lluvias. Aunque algunas lluvias caen continuamente durante períodos hasta de 24 horas. La mayor frecuencia de lluvias ocurre durante la noche y comúnmente continúa durante la mañana. Al medio día hay cielo despejado.

2.2.2 Humedad relativa

La barrera al movimiento de los frentes de aire caliente y húmedo que constituye el frente montañoso andino determina la presencia de una cubierta de nubes casi perenne que conlleva una humedad relativa alta en toda la región. En el litoral, la humedad relativa alta prevalece aun en días claros y soleados. Los porcentajes de humedad son más altos en las horas de la mañana, cuando las temperaturas son más bajas, decrecen hacia el medio día, al aumentar la temperatura y se incrementan de nuevo hacia el final de la tarde, cuando aumenta la nubosidad. La alta nubosidad tiene como consecuencia, para los estudios regionales del litoral, que impide la captura de la superficie del terreno sobre imágenes de sensores remotos pasivos.

2.2.3 Temperatura

Los promedios mensuales de temperatura presentan variaciones muy bajas, usualmente menores de 1°C. Los promedios mensuales rara vez exceden los 28°C; los promedios de temperaturas máximas se presentan alrededor de los 30°C, mientras que los de temperaturas mínimas se encuentran sobre los 21°C.

2.3 HIDROGRAFÍA

Las planchas 339 y 339 Bis Mosquera están localizadas directamente sobre la llanura deltaica mareal del delta fluvial del río Patía e incluyen la línea de costa y el frente del delta. Éstos son rasgos fisiográficos muy dinámicos, sometidos a cambios constantes y muy rápidos, debido a la interacción de varios agentes hidrográficos de influencia continental y marítima como son los tributarios del delta, la variación de las mareas, la acción modeladora de las olas y las corrientes litorales. La red de distributarios está constituida por las desembocaduras de los ríos Aguacatal, Tola, Sanquianga (Patianga), por canales de mareas con sus característicos cursos meandriforme, tales como los denominados esteros Comilínche, Guinul, Barrera y Salango. Tanto los distributarios como los canales de mareas tienen desembocaduras anchas, bordeados por llanuras intermareales descubiertas parcialmente en marea baja (*ver* Q2mlm). Numerosos esteros, por donde se produce el flujo y el refluo de las mareas intercomunican toda la red. Estos rasgos son característicos de aquellos deltas donde las mareas constituyen el factor morfogenético de mayor influencia e ilustran claramente el carácter estuarino del delta del Patía. Para el río Patía, antes de haberse producido su captura en el Canal Naranjo, Martínez *et al.* (1995) reportan una descarga de 340 m³/seg. La descarga actual del Patianga no debe alejarse mucho de esta cifra pues entre el Canal Naranjo y la boca de Patianga sólo recibe como afluente importante el río Satinga (Plancha 361 Olaya Herrera, Pérez & Nivia, 2003a) que transcurre exclusivamente por la llanura costera. Martínez *et al.* (1995), indican, además que no existen datos disponibles de la carga de sedimentos fluviales, pero que el aporte de arena parece ser bajo.

2.3.1 Mareas

El régimen de mareas es de tipo mesomareal con un rango promedio de 2,5 m y cruza al rango macromareal durante los períodos de pujas (3,9 m en el mareógrafo de Tumaco). La influencia predominante de las mareas en el desarrollo costero se puede inferir de la presencia, sobresaliente de deltas mareales de refluo (*ver* Q2dm1, Q2dm2 Q2dm3) que se extienden hasta 3 km hacia aguas afuera.

2.3.2 Olas

La dirección dominante de las olas es desde el oeste y el noroeste. La energía de las olas es moderada con longitudes de onda de 10 a 50 m y una altura promedio de 0,15 a 1,5 m. El rango de alturas en tormentas varía de 1,5 a 3,5 m y la mayoría de las playas son disipativas (Martínez *et al.*, 1995). Las corrientes litorales se presentan de suroeste a noreste de acuerdo con las direcciones de la Corriente Colombia que avanza en sentido sur a norte y es modificada por la contracorriente ecuatorial del norte; sin embargo, se presentan reversiones locales en la vecindad de algunos deltas de mareas de refluo.

2.4 VEGETACIÓN

Existe una zonación de las asociaciones vegetales que depende de las características fisiográficas particulares de las diferentes unidades naturales que se identificaron en las

planchas durante la cartografía (ver Geomorfología y Geología). La mayor parte del área continental de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera consiste en pantanos de manglar (ver Q2m) constituidos por un sustrato de lodos inestables, acumulados en sitios protegidos por una barrera de cuerpos arenosos o islas barrera (ver Q2ib) o en sectores protegidos del litoral donde la energía de las olas se ha disipado antes de alcanzar la línea de costa. Estos ambientes se presentan poblados por el bosque de mangle, una asociación vegetal característica. Del Valle (1996), Cantera (1997) y Pralh *et al.* (1990) han descrito las asociaciones vegetales en el área de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera o en áreas circunvecinas.

El manglar presenta su propia zonación vegetal interna que en las márgenes del pantano, a lo largo de los esteros, incluye sapatolongo (*Pachira acuatica*), nato (*Mora megistosperma*) y macharé (*Symphonia globulifera*), pero principalmente mangle rojo (*Rizophora mangle* y *Rizophora harrisoni*). El manglar rojo presenta un apuntalado de raíces altas que tornan el pantano de manglar prácticamente impenetrable. Hacia el interior del pantano dominan mangle comedero (*Avicenia germinans*), mangle fénix (*Laguncularia racemosa*) mangle piñuelo (*Pelliciera rhizophorae*) y nato (*Mora megistosperma*).

Martínez *et al.* (1995) reportan las descripciones de la vegetación de las islas barrera (ver Q2ib) e indican que en éstas se presenta una zonación que varía con la distancia desde la parte posterior de la isla, ocupada por los manglares descritos previamente, a la parte anterior o cara de la playa, y pasa por las crestas de playa. Estas últimas desarrollan un denso bosquecillo de matorrales leñosos (*e.g. Hibiscus tiliaceos, Dalbergia* sp.) y parches de árboles de bosque húmedo que incluye palmas como naidí (*E. cuatrecasana*), zancona (*Socratea exorrhiza*), jícara (*Manicaria saccifera*), asociadas con machares (*Symphonia globulifera*) y natos (*Mora magistosperma*) (Ramírez & Urrego, 2001). La cubierta baja del frente superior de la cara de la playa presenta, por su parte, halófitas herbáceas, principalmente rastreras y trepadoras (*e.g. Ipomea pre-caprea, Canavalia rosea, Wedelia brasiliensis* y *Rhabdadenia biflora*) que dan lugar a matorrales de juncos altos (*Cyperus* sp.), hierbas rojizas altas (*Uniola pittieri*) y otras hierbas (Martínez *et al.*, 1995). En las elevaciones de zonas firmes (ver Q2c11, Q2c12) que representan antiguas crestas de playas, y que según su distancia a la línea de costa pueden estar influidas por condiciones de agua dulce, se encuentran palmas, sajos (*Camptosperma panamaensis*), cuángares (*Otoba gracilipes*), dormilón (*Pentaclethra macroloba*), aceitemaría (*Calophyllum mariae*) e individuos de las familias Araceae y Zamiaceae (Ramírez & Urrego, 2001).

Con respecto a la influencia de la vegetación sobre el desarrollo del paisaje, Martínez *et al.* (1995) resaltan la rapidez con que la vegetación coloniza las playas de acreción, aportando estabilidad a las arenas sueltas y facilitando el crecimiento hacia costa afuera de los depósitos litorales de la llanura deltaica.

2.5 MÉTODO DE TRABAJO

2.5.1 Fuentes de Información

Como fuentes de información cartográfica para la fotointerpretación, restitución análoga de la fotointerpretación, la interpretación digital y la preparación de archivos digitales de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera se utilizaron los siguientes documentos:

- Plancha 339 Mosquera, escala 1:100.000 (IGAC, 1990). Mapa análogo restituido con base en información de fotografías aéreas de 1961 a 1983.
- Plancha 339-II-D, escala 1:25.000 (IGAC, 1988). Mapa análogo restituido con base en información de fotografías aéreas de 1961 a 1983.
- Plancha 339-III-B, escala 1:25.000 (IGAC, 1988). Mapa análogo restituido con base en información de fotografías aéreas de 1961 a 1983.
- Plancha 339-III-D, escala 1:25.000 (IGAC, 1988). Mapa análogo restituido con base en información de fotografías aéreas de 1961 a 1983.
- Plancha 339-IV-A, escala 1:25.000 (IGAC, 1988). Mapa análogo restituido con base en información de fotografías aéreas de 1961 a 1983.
- Plancha 339-IV-B, escala 1:25.000 (IGAC, 1988). Mapa análogo restituido con base en información de fotografías aéreas de 1961 a 1983.
- Plancha 339-IV-C, escala 1:25.000 (IGAC, 1988). Mapa análogo restituido con base en información de fotografías aéreas de 1961 a 1983.
- Plancha 339-IV-D, escala 1:25.000 (IGAC, 1988). Mapa análogo restituido con base en información de fotografías aéreas de 1961 a 1983.
- Archivos planimétricos digitales de la Plancha 339 Mosquera, escala 1:100.000, preparados por el DANE.
- Imagen Landsat TM de la Plancha 339 Mosquera preparada por el Grupo de Teledetección de INGEOMINAS a partir de la escena Landsat TM P10R58 del 16/07/93
- Mapa imagen (copia análoga) de la Plancha 339 Mosquera. Composición en falso color RVA:TM4, TM5, TM2 con ecualización de histogramas, preparada por el Grupo de Teledetección de INGEOMINAS a partir de la escena Landsat TM P10R58 del 16/07/93 (cubrimiento por nubes de aproximadamente el 20%).
- Mosaico de Radar Digital de la Plancha 339 Mosquera, escala 1:100.000 (Intera & IGAC, 1992). Fotocopia (análoga).

- Mosaico de Radar Digital de la costa pacífica. Escala 1:500.000 (Intera & IGAC, 1992). Fotocopias parciales que incluyen desde Guapi hasta la frontera con Ecuador.
- Fotografías aéreas de los vuelos C2076 y M1178 en escalas aproximadas 1:30.000.

2.5.2 Restitución planimétrica digital

Para aproximadamente el 90% del área de las planchas, correspondiente a aquella con cubrimiento aerofotográfico, se hizo inicialmente una fotointerpretación geológica geomorfológica; la restitución sobre las planchas análogas 1:25.000, de los rasgos interpretados, se realizó mediante un Stereo Zoom Transfer Scope marca Bausch & Lomb. Estos mapas de fotointerpretación se llevaron al campo donde se verificaron y describieron las características de las unidades de fotointerpretación.

Los trabajos de campo para la descripción de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera se realizaron durante la misma comisión de trabajo de las planchas 361 Olaya Herrera y parte de la 384 La Chorrera. En las planchas 339 y 339 Bis Mosquera se interpretaron a partir de las imágenes varios ambientes y subambientes que se describen en detalle en el capítulo de geomorfología. Éstos, a excepción de los cauces actuales de los ríos y sus sectores adyacentes -por donde se realizaron los desplazamientos de los comisionados- se describieron a nivel de reconocimiento teniendo en cuenta que su naturaleza plana, monótona, la pobre exposición de los depósitos constituyentes y los procesos relativamente sencillos de su formación, a nivel de cartografía geológica regional, escala 1:100.000, no ameritaban mayor exploración y descripción. Los diferentes rasgos geomorfológicos identificados dentro de esta zona son de fácil identificación y separación sobre imágenes de sensores remotos, por lo que la mayor parte de su interpretación se realizó sobre las imágenes disponibles.

Para la compilación de la información digital y la preparación del SIG de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera se utilizó inicialmente el programa ILWIS 2.1. Con este software se superpusieron los archivos digitales planimétricos, escala 1:100.000, preparados por el DANE sobre la Imagen Landsat TM de la Plancha 339 Mosquera, y así se pudo comprobar que no existía una buena correspondencia de los rasgos geográficos entre ambas fuentes. Además de errores de digitalización que eran obvios en los archivos del DANE, se observaron en el paisaje variaciones debidas a la naturaleza cambiante del delta y más aun cuando la dinámica fluvial y costera habían sido alteradas por la captura del río Patía en el Canal Naranjo (ver Nivia & Romero, 2001). Dado que la digitalización del DANE se realizó con base en la planchas del IGAC que, a su vez, fueron restituidas con información de fotografías aéreas de 1961 a 1983, se consideró que era más conveniente ceñirse a la información de la imágenes LANDSAT y Radar más recientes -1993 y 1992- y desechar los archivos del DANE. Utilizando la imagen Landsat TM y archivos escaneados de la imagen de radar INTERA, georreferenciados con respecto a la primera imagen, se realizó la captura digital de los rasgos de la plancha y con este archivo como base, se digitalizó posteriormente la fotointerpretación de las fotografías aéreas. La combinación de la interpretación de fotografías aéreas y de la imagen de radar resultó ser una herramienta precisa para la interpretación de este tipo de ambientes, donde aprovechando que la

radiación de radar es fuertemente absorbida por la humedad, mientras existe una muy buena reflectancia por parte de la vegetación, se pudo separar en forma muy precisa las zonas ocupadas por bosques de manglar de los esteros y llanuras de inundación de mareas, que son ambientes constituidos los primeros, por agua, y los segundos, por lodos saturados de agua y carentes de vegetación. Las fotografías aéreas permitieron, por su parte, separar los esteros de las llanuras de inundación de mareas. Sin embargo, el límite entre estas últimas y los primeros varía dependiendo del grado de inundación de las mareas. Se tomó como límite el presente en el instante de toma de las fotografías, pero se ignora el estado preciso de avance de la marea en el momento de la toma.

La digitalización se realizó por coberturas y en este caso de la planchas 339 y 339 Bis Mosquera, se limitaron a las coberturas de segmentos de hidrografía y geología. Para esta última, una vez digitalizados todos los rasgos interpretados en la imágenes de sensores remotos, se elaboraron los mapas/archivos de puntos, donde se asignó un identificador para cada área separada durante la interpretación de imágenes y se procedió posteriormente a su poligonización. En un archivo independiente se separaron los segmentos de la cobertura de hidrografía que representaban áreas, ya sea las comprendidas entre las dos orillas de un río, madre viejas o lagunas y a partir de este archivo se creó un mapa de puntos y se generó el correspondiente mapa de polígonos de hidrografía. Tanto el mapa de polígonos de geología como el de hidrografía y la cobertura de segmentos de hidrografía se convirtieron en archivos *shape* - *SHP* que permitieran continuar su edición en el *software* ArcView[®] GIS 3.2 (1999) del *Environmental Systems Research Institute Inc.* En este programa se diseñaron las tablas de atributos de las diferentes coberturas y se procedió a la edición de la representación cartográfica de las diferentes unidades, es decir, se asignaron colores y tramas a cada una. Una vez editadas estas coberturas, se agregó una cobertura que permitieran desplegar la red de coordenadas espaciadas cada 5 km y se crearon las coberturas de toponimia para la identificación de los diferentes rasgos geográficos y culturales. Con estos archivos se preparó un *layout* donde se incluyó el mapa geológico, constituido por todas las coberturas mencionadas, leyendas explicativas de las unidades geomorfológicas geológicas y de los diferentes símbolos de la base cartográfica, índices de participación y localización, y la bandera de identificación con su información estandar como es: autor institucional, autor personal, nombre de la plancha, fecha, escala e información sobre proyección y origen de coordenadas.

2.5.3 Personal participante

Todos los trabajos de compilación, interpretación de imágenes de sensores remotos, restitución análoga de la información de fotointerpretación, digitalización de la información de restitución, captura de información digital, edición digital de las planchas y preparación de las memorias se realizaron en el Centro Operativo Regional Cali del INGEOMINAS. La interpretación de fotografías aéreas la realizaron los geólogos Álvaro Nivia, Janeth Sepúlveda y Camilo Pérez; el primero se encargó de la restitución análoga de esta fotointerpretación, mientras que el segundo, realizó su digitalización. Estas tres personas se encargaron también de la captura de información digital a partir de las imágenes escaneadas de radar y de las subescenas Landsat TM. La edición de los *layouts* para impresión de las planchas, y la adición de las coberturas de toponimia correspondió a Janeth Sepúlveda, bajo la supervisión de Álvaro Nivia y la preparación de esta memoria correspondió a este

último. En los trabajos de campo participaron, además, los geólogos Ennio Galves e Isabel Mejía.

2.6 TRABAJOS ANTERIORES

Debido a que el paisaje de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera es de desarrollo reciente, no se han realizado directamente en el área de estas planchas trabajos específicos de geología. Sin embargo, en varias publicaciones se presentan consideraciones generales acerca de la evolución reciente de la corteza en este sector, interpretadas a partir de trabajos de reconocimiento regional. Los primeros trabajos de la geología de la Llanura Costera del Pacífico se deben a Oppenheim (1948), quien describe sus rasgos más sobresalientes entre la desembocadura del río San Juan, al norte, y la desembocadura del Patía, al sur. En estos trabajos pioneros describe la secuencia sedimentaria que constituye el subsuelo de la región e infiere que los niveles inferiores, no expuestos, deben corresponder con la secuencia observada en el Departamento de Chocó, donde la deformación de estas mismas permite la observación de niveles más profundos. El resultado cartográfico de este trabajo fue un bosquejo geológico, donde separó en forma esquemática tres unidades: (a) el zócalo de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera Occidental; (b) la que denominó “faja costanera sedimentaria de estratos terciarios”, y (c) los sitios más sobresalientes de depósitos aluviales y costeros. Con respecto a la “faja costanera sedimentaria de estratos terciarios”, Oppenheim (1948) reporta que al sur de Buenaventura los estratos del Mioceno superior son los más extensos, y tienen en valle del río Naya unos 500 m de espesor. Estos suprayacen estratos del Mioceno medio e inferior que en el río Guapi pueden alcanzar unos 3.000 metros. A pesar de que no establece una nomenclatura estratigráfica, en un cuadro de correlación donde compara la secuencia costera desde Zorritos en Perú hasta el Golfo de Urabá, incluye toda la secuencia miocénica como Formación Naya.

Van der Hammen (1960) publicó una síntesis de la estratigrafía del “Terciario”, donde, sin mencionar las fuentes bibliográficas, indica que la Formación Naya de edad miocénica es más antigua que la Formación Guapi, que sería pliocénica, y reposaría en forma discordante sobre la primera. Es decir, van der Hammen (1960) invierte el orden que parece deducirse de las descripciones de Oppenheim (1948).

El primer mapa donde se muestra un límite entre las principales unidades que había bosquejado Oppenheim (1948) lo realizó van Es (1975) a partir de la interpretación de imágenes de radar (escala aproximada 1:200.000) de la llanura pacífica de Nariño. En este trabajo, publicado a escala 1:500.000, delimita, además, una cuarta unidad que corresponde a lo que hoy reconocemos como el glacis formado por la coalescencia de abanicos aluviales que se forman donde los ríos que drenan las cordilleras alcanzan la llanura costera. No obstante, aquellas rocas que deberían constituir las unidades de Naya y Guapi las presenta como una sola unidad. El mapa de van Es (1975) incluye también la primera interpretación estructural del área costera como formada por pliegues amplios de orientación general NNE-SSW.

El Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras, INGEOMINAS publicó el Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Nariño, a escala 1:400.000 (Arango &

Ponce, 1982), donde se delimitan con mejor precisión, las mismas unidades que contenía el mapa de van Es (1975) pero simplifican la estructura de la secuencia paleógena y neógena, y reducen el número de pliegues. Lo mismo que en los mapas anteriores, representan las rocas del Paleógeno y Neógeno integradas en una sola unidad. Sin embargo, en la reseña explicativa del mapa (Arango & Ponce, 1980) mencionan que esta secuencia consiste de las formaciones Naya y Guapi; y que esta última había sido propuesta por van der Hammen (1958).

Los primeros estudios sistemáticos de la geomorfología de la línea de costa de los departamentos de Cauca, Nariño y Valle del Cauca los realizaron Martínez & Carvajal (1990a y b) y en ellos definieron, a escala 1:100.000, las características geomorfológicas de la zona costera y presentaron, además, una evaluación cualitativa sobre sus problemas de erosión. Los mapas de este trabajo fueron simplificados y con estudios similares de la línea de costa del departamento de Chocó (González & Marín, 1989a y b) publicados en González *et al.* (1995a y 1995b). A partir de los trabajos de Martínez & Carvajal (1990) y González & Marín (1990), se puso de manifiesto (Martínez *et al.*, 1995) la importancia evolutiva de las islas barrera que limitan la línea de costa del Pacífico colombiano y que no habían sido reconocidas previamente por la exuberancia de la vegetación que oculta en muchos sitios los límites internos de estos accidentes. En la planchas 339 y 339 Bis Mosquera, Martínez *et al.* (1995) reconocieron entre la bahía Tapaje y la boca de Guandipa, siete islas barrera a las que designaron, de norte a sur, simplemente con números 42 a 48.

3. GEOMORFOLOGIA

El rasgo geomorfológico fundamental de esta región es el delta formado por el río Patía, sobre un sustrato rocoso constituido por rocas sedimentarias neógenas (*ver* Pérez *et al.* 2003a, 2003b). En el sistema deltaico se han intentado diferentes clasificaciones de los subambientes asociados que dependen de la escala y profundidad de los trabajos (Van Es, 1975; Arango & Ponce, 1982; Moreno, 1998; González *et al.*, 1998; Nivia *et al.*, 2000). En términos generales, se pueden separar en un delta dos ambientes principales interrelacionados, de características de formación propias: costero y aluvial. Tratándose de un delta, sería más preciso considerar estos ambientes como la llanura deltaica mareal y la llanura deltaica fluvial según de cuáles procesos sean los dominantes.

3.1 LA ZONA COSTERA O LLANURA DELTAICA MAREAL

Entre los ambientes costero y aluvial, es el primero el más dinámico por presentar variaciones producidas por la acción de olas (altura, amplitud, velocidad, dirección y ángulo de incidencia de los frentes de olas con respecto a la línea de costa), de las corrientes litorales (dirección y velocidad) y de las mareas y por estar influenciado por el aporte continuo de sedimentos a través de las bocanas de los ríos (volumen, velocidad de

descarga y tipo de sedimentos). En las planchas en estudio, 339 y 339 Bis Mosquera, localizadas en su mayor parte dentro del ambiente costero, es de esperar, además, la ocurrencia de una variación importante durante las tres últimas décadas, como consecuencia de la construcción del Canal Naranjo que provocó la desviación del aporte de sedimentos por las bocanas de Patía, Hojasblancas, Majagual y Salahonda (Plancha 361 Bis San Juan de La Costa, Nivia & Pérez, 2003) hacia la bocana de Sanquianga. Teóricamente, era de esperar que la disminución de la descarga del río Patía en los primeros sitios facilitase la erosión litoral, mientras que su aumento, en el segundo, favoreciese el depósito y la acumulación de sedimentos. Sin embargo, no existen estudios donde se hayan cuantificado cambios al respecto. Las plumas de sedimentos que conllevan al consecuente crecimiento del lóbulo deltaico en la desembocadura actual del río son evidentes en las imágenes Landsat TM, así como la acumulación por debajo del nivel del mar de sedimentos en deltas de mareas (*ver* Q2dm1, Q2dm2). En estas imágenes, los tonos más claros que presentan las aguas del río y brazo Sanquianga permiten colegir mayores contenidos de sedimentos que los presentes en las aguas de los ríos Aguacatal, Tola y los grandes esteros asociados San Antonio del Mar, Caimito y Camino Real al oriente del río Sanquianga y los esteros Comilnche, Barrera Salango al occidente, donde las imágenes presentan tonos muy oscuros que sugieren aguas libres de sedimentos. Evidencias cuantificables adicionales de crecimiento de los depósitos litorales se pueden establecer por comparación entre los mapas topográficos publicados del IGAC (como la plancha 1:100.000 que tiene fecha de 1990 pero que contiene información del 1961 a 1983) y los resultados de este estudio donde se observa crecimiento y estabilización de, por ejemplo, la isla barrera localizada entre las bocanas de Paval y Pasacaballos. Los trabajos sobre la erosión litoral de esta zona, regionales y cualitativos (escala 1:100.000; González *et al.*, 1998) clasifican toda la costa en este sector como de alta erosión pero la presencia de los deltas de mareas y el crecimiento y la estabilización de islas barrera mencionadas así como la misma forma del lóbulo deltáico parece indicar que, en el área de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera, ocurre crecimiento progresivo de la costa.

Para la cartografía de las planchas se separaron los depósitos asociados a los ambientes litorales de aquellos asociados a los ambientes aluviales y dentro de los ambientes costeros se identificaron desde el mar hacia el continente los siguientes subambientes: deltas de mareas (Q2dm1, Q2dm2), islas barrera (Q2ib) con sus playas (Q2p) y cordones litorales actuales (Q2cl2); pantanos de manglar (Q2m) con las llanuras de inundación de mareas (Q2mlm) asociadas y cordones litorales antiguos o “firmes”(Q2cl1).

3.1.1 Deltas de mareas (Q2dm1, Q2dm2)

Los deltas de mareas son áreas submarinas que constituyen el frente de delta actual del río Patianga. Corresponden a la plataforma marina de poca profundidad asociadas a la bocana Barrera en la desembocadura del estero Barrera (Q2dm1) y a la bocana de Guayabal en la desembocadura del estero Chitacorral (Q2dm2) y cuyos límites se establecieron a partir de las líneas lobuladas de rompientes que se observan claramente en fotografías aéreas. A partir de la presencia de rompientes es posible colegir que en la concavidad del arco que éstas definen, la profundidad del fondo del mar es menor a la mitad de la longitud de onda de las olas y que esta menor profundidad se debe a acumulación de sedimentos. Estos sedimentos corresponden a arenas lodosas en la cercanía de las bocanas y varían a lodos

arenosos y a lodos en las partes distales. Variaciones texturales y de color en las imágenes Landsat permiten una clara identificación de estos rasgos y observar, además, que lóbulos con características similares y de una extensión mucho mayor ocurren frente a la desembocadura de los ríos Sanquianga y Aguacatal, pero en estos casos el lóbulo está dividido en su parte media justo frente a las bocanas de Sanquianga y de Amarales por donde desembocan, respectivamente los ríos mencionados, lo que sugiere que en su desembocadura presentan un canal más profundo. A pesar de que se puede interpretar la presencia de deltas de mareas, no se separaron como unidades independientes en la cartografía por no presentar el límite claro definido por la línea de rompientes; y en consecuencia, no es posible establecer a partir de los tonos y las texturas de las imágenes la diferencia entre sedimentos poco profundos o turbiedad del agua.

3.1.2 Islas Barrera (Q2ib)

Las islas barrera están constituidas por depósitos costeros arenosos localizados sobre la línea de costa, que en vista de planta presentan forma corta y prismática y algunas veces de baqueta (Martínez *et al.*, 1995); presentan hacia el mar una cara de playa limitada hacia el interior por una cresta de playa o berma y cambian, en el mismo sentido, a una plataforma arenosa formada por el crecimiento progresivo hacia el mar de bermas y playas, lo que les concede en ocasiones una topografía de crestas y surcos. Hacia el interior, estos depósitos arenosos limitan con pantanos de manglar, pero líneas de separación precisas entre ambos ambientes son difíciles de establecer, porque las crestas de playa internas y las playas altas se encuentran cubiertas por vegetación que pasa de manera continua en el impenetrable manglar. Las islas barrera actúan a su vez como protección contra la acción erosiva de las olas y permiten así que se desarrolle en su parte posterior un pantano de manglar, constituido por lodos muy inestables. La separación más precisa de las islas barrera se logra cuando se presentan esteros que se unen detrás de las islas barrera y las aísla, aun con marea baja (Martínez *et al.*, 1995).

De acuerdo con Martínez *et al.* (1995), las islas barrera se caracterizan por presentar los siguientes elementos: una cara de playa hacia el mar, una plataforma arenosa que constituye el cuerpo de la isla barrera, deltas y esteros de mareas asociados y una albúfera posterior que en el caso de las islas barreras del Pacífico colombiano está ocupada por pantanos de manglar. En este trabajo se separan, además, dentro de las islas barrera, como cordones litorales actuales (Q2cl2), las crestas de playas o bermas; los esteros, por representar cuerpos de agua, no se describen como unidades geomorfológicas independientes, aunque se les da en la cartografía toda la representación que merecen, y los deltas de mareas y pantanos de manglar, por su parte, se describen y representan como unidades independientes.

En las planchas 339 y 339 Bis Mosquera se puede reconocer, de oriente a occidente las islas barrera:

- Punta Boquerón en la bocana de Amarales.
- Amarales Mulatos entre las bocanas de Amarales y Sanquianga.

- El Naranjo entre la boca de Sanquianga y la bocana de Guascama.
- Punta Ancón entre las bocanas de Guascama y Guayabal.
- Guayabal, entre las bocanas de Guayabal y Barrera.
- Barrera entre las bocanas de Barrera y Paval.
- La denominada Isla Barrera 47 (Martínez *et al.*, 1995) entre las bocanas de Paval y Pasacaballos.
- El extremo noreste de la denominada Isla Barrera 48 (Martínez *et al.*, 1995) entre las bocanas de Pasacaballo y Guandipa.

3.1.2.1 Playas (Q2p) y cordones litorales actuales (Q2cl2)

Las playas (Q2p) se encuentran directamente sobre la línea de costa, asociadas genéticamente al transporte, la distribución y la acumulación de sedimentos por acción de las olas y corrientes de deriva litoral. En el área de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera son depósitos longitudinales angostos asociados al desarrollo de islas barrera. En la parte posterior de la cara de las playas se acumula, por el oleaje de la marea alta, una berma de sedimentos que sobresale por encima del nivel de la cara de la playa y que permite su separación en fotografías aéreas como cordones litorales (Q2cl2). La textura de los sedimentos de playas y vermas es esencialmente arenosa, pero varía de fina hacia el mar a gruesa sobre las bermas o crestas de playa. La ausencia de vegetación indica que esos depósitos arenosos son formas no estabilizadas en vía de elaboración. Además de los sedimentos de origen terrígeno provenientes de la carga de los ríos, se acumulan sobre las bermas de las playas -que marcan el límite de pleamar- abundantes restos de origen orgánico como troncos de árboles y también muchos desperdicios “culturales” no biodegradables tales como vidrio, plástico, poliuretano, y otras que dan un aspecto sucio a las playas.

3.1.3 Pantanos de manglar (Q2m)

Los pantanos de manglar corresponden a los sustratos localizadas entre los niveles de bajamar y pleamar, colonizados y cubiertos por bosques de mangle y vegetación asociada que cubren la vasta mayoría del área de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera. El bosque de mangle es un biotopo particular que requiere aguas salobres y la remoción frecuente de las aguas intersticiales de su sustrato de tal manera que éste permanezca oxigenado. Estas condiciones se logran gracias a la variación en la altura del agua y de la salinidad que ocurren durante el flujo y el reflujo de las mareas y se produce a través de una intrincada red de canales o esteros. A lo largo de los esteros se presentan en muchos sitios, de baja energía del flujo de mareas, acumulaciones muy recientes de sedimentos que carecen hoy de desarrollo de vegetación y que se presentan como amplios lodazales ente la orilla del estero y el margen del bosque de mangle, principalmente durante bajamar. Estos lodazales, así como los esteros, son parte integral del pantano de manglar, se separaron en la cartografía de estas planchas como llanuras intermareales (Q2mlm). El sustrato del

pantano de manglar consiste en lodos de composición mixta orgánica y terrígena. El componente orgánico del sedimento corresponde a la acumulación de material vegetal del bosque que se está renovando continuamente, en tanto que el componente terrígeno corresponde a la carga transportada en suspensión en el agua. Teniendo en cuenta la baja energía relativa de este ambiente y las lentas velocidades de flujo producidas por el cambio de mareas, el transporte de sedimentos ocurre principalmente en suspensión y la sedimentación dentro del mismo obedece a decantación desde aguas estancadas en irregularidades del sustrato o entrampadas por troncos, ramas u hojas en las orillas de los esteros o dentro del bosque mismo.

La amplitud de la franja de manglares es excepcional en el área de las planchas en estudio, donde varía cerca de los 25 km de ancho. También lo es su grado de preservación, razones por las que gran parte del área de esta plancha y la adyacente, 340 Guapi, han sido declaradas Parque Nacional Sanquianga. Una comparación entre la exuberancia de los bosques del parque con aquellos que circundan a Tumaco, sometidas a la presión del hombre y caracterizados por bosques de árboles no más altos de 5 metros que contrastan con los del parque y sectores aledaños de la Plancha 361 Bis San Juan de La Costa (Nivia & Pérez, 2003) donde los árboles son 5 a 6 veces más altos, permite entender la fragilidad de estos sistemas que sirven de protección a las costas.

3.1.3.1 Llanuras intermareales (Q2mlm)

Las llanuras intermareales hacen parte integral del pantano de manglar y corresponden a las orillas lodosas y libres de vegetación de los esteros emergidas durante bajamar, pero inundadas en pleamar. Los sedimentos que constituyen los sustratos de estos accidentes corresponden a lodos arcillosos y orgánicos o a sustratos lodosos ricos en raíces de mangle, en los sitios donde estos bosques ha retrocedido. Aunque, como se indicó, junto con los esteros hacen parte del manglar, y la forma que presentan en los mapas está sometida a variación rápida, en términos históricos, se separaron en la cartografía de las planchas por ser evidentes en las fotografías aéreas y se espera que sirvan como documento que permita el estudio de la variación de los límites del bosque de mangle. Estas llanuras son de gran productividad orgánica, y por lo tanto, básicas para la población de pescadores y recolectores de mariscos que habitan las costas.

3.1.4 Cordones litorales antiguos o “firmes” (Q2cl1)

Los “firmes” son depósitos arenosos de plataformas o crestas de playas antiguas y, con menor probabilidad, aluviales que se encuentran por encima del nivel de pleamar y que han quedado circundados por bosques de mangle durante el proceso de crecimiento de la llanura deltaica mareal. Su forma elongada y angosta, de orientación general paralela a la línea de costa, sugiere que su origen como playas y, por lo tanto, como posiciones antiguas y sucesivas de la línea de costa, es el más probable. Con un método de datación apropiado tendríamos entonces, en estos cordones litorales, el potencial de poder establecer el tiempo de crecimiento de la llanura deltaica mareal. Son terrenos secos y duros conocidos localmente con el nombre de “firmes” por los habitantes de la región, que aprovechan estas condiciones para el establecimiento de poblaciones, pero, además, porque son los únicos sitios habitables dentro del manglar. En las planchas 339 339 Bis Mosquera, constituida,

como se ha indicado, en su gran mayoría por bosques de manglar, son notables, en este sentido, los firmes de Mosquera -donde se encuentra establecida la cabecera municipal del municipio del mismo nombre-, el de los Cifuentes, el Cocal de los Jiménez y el Firme Redondo y, en general, todas las poblaciones incluidas en estas planchas: Santana (F-10), Pangamosa, Santa Bárbara, Secadero, Las Delicias, San Pablo, El Pueblito (F-9), La Tolita (G-8), La Porquera, Vaquería (G-7), Jorge Eliecer Gaitán, Garcero, Carlos Lozano Lozano (F-6), Chiriquí (G-6), El Pinal, La Pampa, (G-5), Pedro, Guinulcito (F-5), aparte de las poblaciones establecidas directamente sobre las islas barrera y sus cordones litorales actuales asociados (Q2c11) de condiciones de sustrato muy similares como Amarales, Mulatos, El Naranjo, Guayabal y Barrera.

3.2 LA ZONA ALUVIAL O LLANURA DELTAICA FLUVIAL

La llanura deltaica mareal descrita cambia de manera gradual y natural a medida que los procesos modeladores del paisaje pasan de costeros a aluviales, a la llanura deltaica fluvial asociada al desarrollo de todos los ríos que han contribuido a la formación del delta: Tapaje, Tola, Satinga, Sanquianga, Guandipa, Patía y sus afluentes Telembí y Patía Viejo, y corresponde al área que han ocupado históricamente los deltas progradacionales correspondientes. Uno de los rasgos geomorfológicos más sobresalientes de esta región es la gran abundancia de madrevejas y otros tipos de cauces abandonados (*ver* Nivia & Pérez, 2003; Pérez *et al.*, 2003a, 2003b), de fácil separación sobre las imágenes de sensores remotos (radar y fotografías aéreas), que desde el punto de vista evolutivo permite comprobar que la avulsión o el cambio de curso de los ríos es un fenómeno que caracteriza el ambiente deltaico. En las planchas en estudio la llanura deltaica aluvial está representada por un área muy pequeña al extremo sur de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera (H-4). La característica hidrodinámica principal de este sector de tributarios del delta es el cambio en la dirección de flujo de la corriente que le imparte la variación semidiurna de las mareas. Esta condición de flujo y refluo, y la inundación periódica adicional de las llanuras de inundación de mareas, favorece la sedimentación de lodos de la carga aluvial.

3.2.1 Llanura de inundación (Q2a1)

Dentro de la llanura deltaica fluvial se separaron como llanuras aluviales o llanuras de inundación de los ríos todos los terrenos de superficie plana que se consideró correspondían al depósito de aluviones acumulados tanto directamente a lo largo del cauce de los ríos -que cambian permanentemente de posición- como a aquellos depositados por el desbordamiento periódico de los ríos por encima de sus bancos o albardones. La llanura de inundación aumenta entonces su espesor por la acumulación de la carga del río que se producen por la sumatoria de los procesos que se explican en seguida.

Los sedimentos acumulados sobre la llanura de inundación y ambientes relacionados se observan bien en los taludes del cauce actual y corresponden a estratos de espesor medio de arenas y lodos, de colores grises y pardos oscuros, con alto contenido orgánico, normalmente muy húmedos.

3.2.2 Albardones naturales (Q₂alh)

Se reconocieron como albardones u hombreras naturales los bancos arenosos, elongados, localizados en ambas márgenes de los ríos, que sobresalen topográficamente por encima de la llanura de inundación y, por lo tanto, susceptibles de separación en imágenes de sensores remotos. El origen de estos bancos se reconoce como debido al cambio de velocidad y consecuentemente, capacidad de carga de sedimentos, que se presenta cuando, por desbordamiento, el agua que corría dentro del cauce pierde velocidad y deposita su carga en los sitios de desborde.

3.2.3 Cauces abandonados (Q₂alca).

Asociadas a la llanura de inundación es posible separar áreas de vegetación de menor talla que aquella de los terrenos adyacentes, que ocurren en franjas elongadas y meandriformes, con variaciones de anchura del mismo orden de magnitud que aquella de los ríos principales en los que en ocasiones terminan “desembocando”, que presentan además, en ocasiones, márgenes constituidas por bancos o albardones y que a veces contienen quebradas desadaptadas (*i.e.* su caudal no parece capaz de producir el ancho del curso por el que transcurren), o lagunas elongadas en serie. Todas estas rasgos sugieren claramente que se trata de cauces secos abandonados de ríos (Q₂alca) que han sufrido avulsión. Un número notable de cauces antiguos de ríos se puede separar en imágenes de sensores remotos, especialmente de escala grande como fotografías aéreas, pero también en imágenes de radar que resaltan los contrastes de contenido de humedad del suelo. Además de estos cauces abandonados, es posible separar también sobre estas imágenes numerosas madrevejas, rasgos que demuestran la naturaleza de cambios muy rápidos debidos en muchos casos a avulsión, característicos del ambiente deltaico.

Con respecto a las unidades de cartografía separadas dentro de la zona aluvial, en las planchas 339 y 339 Bis Mosquera, algunos esteros localizados en pantanos del manglar, pero en los límites con la llanura aluvial (H-8, H-9, H-10) podrían haber sido abandonados y colmatados por sedimentos, por lo que se separaron como cauces abandonados (Q₂alca). Por su parte, el estero Manglares (H-7) presenta bancos asociados a sus orillas y al contrario de los “firmes” se encuentran en posición normal a la línea de costa, por lo que se interpretaron como hombreras naturales (Q₂alh) de antiguos cauces de ríos principales avulsionados. También en el límite sur de la plancha se presenta una pequeña área de aluvión constituida por cauces abandonados en llanura de inundación (Q₂al) entre la quebrada Barrera y el estero Salango (H-4). De acuerdo con las rasgos del paisaje observados en la Plancha 361 Olaya Herrera (Pérez *et al.*, 2003), con la que limita al sur la 339 Mosquera, estas pequeñas áreas separadas en esta última como aluviales están genéticamente asociadas a tributarios avulsionados del delta. Los rasgos de avulsión descritos previamente para los cursos abandonados son evidentes en el estero Calabazo (continuación hacia el sur del estero Salango de las planchas 339 y 39 Bis Mosquera) que ocupa un cauce abandonado por el que corre también, en dirección contraria, para desembocar por la margen occidental del Patianga, 550 m aguas arriba de la Boca de Satinga, la quebrada (desadaptada) El Pital (*ver* Pérez *et al.*, 2003).

4. AMENAZAS NATURALES

Regionalmente, el delta del Patía, se encuentra en la margen activa asociada a la subducción de la placa Nazca bajo la placa suramericana, cuya expresión en superficie es la fosa colombo ecuatoriana. La zona de subducción es una importante fuente sismogénica que condiciona toda el área a una alta amenaza sísmica. Por ejemplo, durante el siglo XX, ocurrieron en el norte de Ecuador y sur de Colombia cuatro sismos mayores ($M_w \geq 7,7$). El 31 de enero de 1906, un sismo de magnitud (M_w) de 8,8 rompió un segmento del límite de placas de una longitud alrededor de 500 km (Kelleher, 1972, Kanamori & McNally, 1982). Tres porciones del mismo segmento se rompieron posteriormente de sur a norte, durante tres sismos sucesivos: el 14 de mayo de 1942 ($M_s = 7,9$), el 19 de enero de 1958 ($M_w = 7,7$) y el 12 de diciembre de 1979 ($M_w = 8,2$).

Durante la actividad sísmica, los terremotos que afecten el fondo del mar pueden transmitir la energía disipada al agua del mar y generar olas sísmicas o tsunamis, de particular importancia en el estudio de las amenazas naturales de las planchas en discusión, por tratarse de áreas costeras. Lockridge & Smith (1984) indican que terremotos con magnitudes de $\geq 7,5$ pueden producir frentes de olas de alturas que varían entre 2,0 y 5,9 m y por lo tanto de alta capacidad para erosionar rápidamente playas y manglares. Como comparación, se puede tener en cuenta que Neal & González (1990) reportan retrocesos de 10 a 15 m en El Choncho, sobre la costa del Departamento del Chocó, durante la puja perigeal de abril de 1989, cuando con cada marea alta se perdía hasta un metro de la línea costera. La capacidad erosiva del tsunami es, por supuesto, mayor.

Para la población costera, que habita los sustratos sueltos de islas barrera, en habitaciones por lo general palafíticas, los efectos de los tsunamis son, por lo general, catastróficos. Martínez *et al.* (1995) han documentado información sobre tsunamis que indica que el 31 de enero de 1906 destruyó varias poblaciones costeras, incluida parte de Tumaco, en cuyas vecindades mató de 500 a 1.500 personas y erosionó playas y manglares a lo largo de 100 km de costa. Estos investigadores (Martínez *et al.*, 1995) documentaron que Tumaco resultó dañada también con el tsunami del 19 de enero de 1958, pero que la alteración más significativa de la costa ocurrió asociada al tsunami del 12 de diciembre de 1979. Durante este sismo, seis poblaciones fueron destruidas, incluida San Juan de La Costa donde, al menos 220 personas murieron. En este sitio la máxima altura de la ola de tsunami estuvo 2,5 m por encima del nivel de marea alta, mientras que estuvo 0,8 m por encima de este nivel en Tumaco.

Con respecto a la inundación padecida en San Juan de La Costa durante el sismo del 12 de diciembre de 1979, Herd *et al.* (1981) proponen que la mitad de la altura de inundación se debió a subsidencia, previa al tsunami, asociada directamente a la ocurrencia del sismo. Sugieren que el temblor de tierra y la licuefacción causaron movimientos de arena y fracturamiento del terreno en San Juan, antes del tsunami, que contribuyeron a la destrucción de las construcciones. Estos investigadores reportan un sector de hundimientos, que presentó una subsidencia máxima de 1,6 m en San Juan de La Costa, y que abarca desde Santo Domingo, al sur de Tumaco, hasta Aserrío Candelaria, al norte de Timbiquí; con una línea de isovalores de -0,5 m que pasa por punta Cascajal, Fátima y El

Charco. A lo largo de 200 km de la costa la sumergencia resultante mató árboles y matorrales, inundó antiguas playas y llanuras de mareas que previamente estaban expuestas en marea alta e incrementó las áreas de las albuferas. No obstante, tanto Herd *et al.* (1981) como West (1957) habían observado que existían árboles sumergidos a lo largo del frente costero antes del terremoto de 1979. Además, la cartografía de Martínez & Carvajal (1990) muestra que las raíces de árboles sumergidos, los manglares muertos localizados directamente frente al mar, la erosión de las playas y las exposiciones de turba de manglares en el frente oceánico son rasgos comunes a lo largo de muchas de las islas barrera. Estos hechos, como lo insinúan Martínez *et al.* (1995), sugieren que la destrucción de San Juan de La Costa se debió más probablemente a la erosión inmediata producida por el tsunami, que a subsidencia del terreno asociada al sismo.

5. EVOLUCIÓN DEL PAISAJE

Las descripciones del paisaje en las planchas 399 y 339 Bis Mosquera muestran un gran delta asociado a los procesos fluviales de los ríos Patianga (Patía capturado por el Sanquianga), Amarales, La Tola, Tapaje y los numerosos afluentes de estos. Van Es (1975) y Gómez (1986) a partir del estudio regional de esta red de drenaje en imágenes de sensores remotos, concluyen que el cauce del río que transporta el caudal principal, captado en la hoya hidrográfica cordillerana, ha migrado hacia el SW, y ha abandonado una serie de cauces que ocupan ahora los ríos Tapaje, Tola, Satinga, Sanquianga, Patía Viejo y Patía (pre-captura). El resultado es el crecimiento de un lóbulo deltaico, que desde la Boca de Tapaje al NE hasta la de Patía al SW, describe un arco con una longitud de línea de costa de cerca de 100 km, conspicuo en imágenes de pequeña escala y en cualquier tipo de cartografía regional.

Van Es (1975) y Gómez (1986) consideran que el canal principal del río migró hacia el sur en el Cuaternario como resultado probable de actividad tectónica. Sin embargo, a pesar de que la actividad sísmica es importante en el área, como lo demuestra el gran número de terremotos registrados, tanto histórica como instrumentalmente, la importancia directa de la actividad tectónica en el control de la migración de los cauces es difícil de establecer. Los rasgos del paisaje sugieren que en su modelado han preponderado procesos fluviales que han contribuido a la acumulación muy rápida de sedimentos que cubrirían o modificarían las evidencias de actividad neotectónica, si ésta se hubiese presentado. A partir de las características observadas, por ejemplo, en los cauces abandonados, uno de los rasgos geomorfológicos sobresalientes sobre la llanura deltaica fluvial -planchas adyacentes 361bis San Juan de La Costa (Nivia *et al.*, 2003), 361 Olaya Herrera (Pérez *et al.*, 2003a) y 384 La Chorrera (Pérez *et al.*, 2003b) que limitan la llanura deltaica mareal de las planchas 339 y 339 Bis Mosquera-, como son las lagunas en serie, las quebradas desadaptadas o las diferencias en vegetación entre cursos abandonados y llanuras de inundación adyacentes, es posible interpretar que el tiempo transcurrido después del abandono de estos brazos es insuficiente para el secado completo del cauce o la homogeneización de la vegetación. La cartografía geomorfológica detallada de estos accidentes aluviales (Nivia *et al.*, 2003; Pérez *et al.* 2003a, 2003b), además de demostrar lo reciente que es la edad de formación del paisaje muestra una distribución aleatoria de los cauces abandonados que sugiere que el principal control de su desarrollo es diferente a la actividad tectónica que impartiría algún grado de alineamiento. La ocurrencia común de los fenómenos de avulsión parece tener un control más exógeno relacionado con la incapacidad de los cauces de transcurrir por bancadas colmatadas de sedimentos que facilita la ruptura de los albardones o bancos durante períodos de inundación y la salida del caudal del río por terrenos adyacentes bajos, donde no había alcanzado la acumulación de sedimentos durante el último episodio de evolución del cauce y la ocupación de uno principal nuevo por quebradas menores o esteros. La frecuencia del fenómeno depende de muchos factores que incluyen la rapidez

con la cual se forman y fijan por vegetación los albardones; depende también de los cambios climáticos en la cuenca del río, de la intervención general humana (tala de árboles, modificación del curso de ríos y quebradas, entre otras y desde luego que también por procesos tectónicos, que en este caso no parece que se puedan demostrar. Afectando los depósitos recientes, aproximadamente en el sitio donde se ha colocado el límite entre la llanuras deltaica mareal y fluvial, Gómez (1996) propone la existencia de la Falla El Charco Remolinos, de extensión regional, con base en el alineamiento del cauce de algunos ríos y quebradas. Los hechos discutidos previamente, como la ausencia de verdaderas evidencias neotectónicas de actividad -diferentes a la alineación casual de los cursos- y la probabilidad de que el control de desarrollo de la avulsión sea principalmente exógena y aleatoria, crean dudas sobre la importancia o aun la existencia de esta estructura.

De acuerdo con el carácter estuarino de los tributarios y el ancho de la franja intermareal que se extiende tierra adentro por más de 20 km Vernet *et al.* (2001) clasifican el delta del Patía como de tipo mareal modificado por tectónica sísmica. En los deltas mareales, las influencias marinas (oleajes y mareas) son más importantes que las fluviales y contribuyen a una distribución más amplia de los sedimentos a lo largo de la costa, lo que podría explicar en parte la génesis de las islas barrera que bordean el lobulo deltaico. Los deltas mareales o deltaicos contrastan con los deltas *sensu stricto* o fluviales donde las influencias fluviales son más importantes que las marinas y los aportes sólidos del río posibilitan el avance hacia el mar de las desembocaduras del río. Los deltas fluviales son fuertemente constructivos y en ellos la costa avanza de manera notable sobre la plataforma continental y la consecuente retirada progresiva del mar. Se caracterizan, entonces, por la presencia de una protuberancia o abanico sedimentario que crece más o menos rápidamente desde la tierra hacia el mar. En llanura mareal del delta del Patía, la acumulación de los sedimentos es principalmente de finos que son atrapados en las llanuras de inundación de mareas y en los deltas de mareas, mientras que las arenas son transportadas costa afuera durante la descarga del tributario principal. De allí, las arenas pueden ser retrabajadas por los procesos costeros que las acumulan sobre las márgenes de los depósitos del delta y facilitan así el crecimiento progresivo de cordones litorales que terminan acumulados en islas barrera. Estos depósitos arenosos limitan, a su vez, la acción de los procesos costeros y generan así ambientes de baja energía en su parte posterior, donde, gracias a la inundación periódica producida por las mareas, se dan las condiciones para que prosperen los bosques de mangle.

La acumulación de sedimentos en las zonas litorales que favorece el crecimiento de deltas ocurre, por lo general, en costas subsidentes y ésta debe ser la condición que favorece la formación del delta del Patía. Es difícil establecer si la subsidencia es una respuesta de la corteza al peso de los sedimentos acumulados, si se debe a la compactación consecuente del relleno del delta, a doblamiento diastrófico hacia abajo de la margen continental encima de la placa oceánica subducente o a subsidencia catastrófica inducida por terremotos; tal vez solo se pueda concluir que varios de estos fenómenos están interactuando y la posición de la línea de costa reajustándose continua y consecuentemente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANGO, J.L. & PONCE, A. 1982. Reseña explicativa del Mapa Geológico de Nariño, INGEOMINAS, Bogotá.
- CANTERA, K.J. 1997. Los manglares del Pacífico Colombiano. *Ciencia y Tecnología*, **15/1**, 20-26. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.
- DEL VALLE, J.I. 1996. Los bosques de guandal del delta del río Patía (Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, **XX/78**, 476-489.
- GONZÁLEZ, J.L. & MARÍN, L. 1989a. Atlas de geomorfología y erosión de la costa pacífica chocoana. Informe inédito, 14p. INGEOMINAS, Cali, Colombia.
- GONZÁLEZ, J.L. & MARÍN, L. 1989a. *Problemas geológicos asociados a la línea de costa del departamento de Chocó: Geomorfología y riesgos geológicos*. Informe inédito. 167p. INGEOMINAS, Cali, Colombia.
- HERD, D.G., YOUNG, T.L., MEYER, H., ARANGO, J.L., PERSON, W.J. & MENDOZA, C. 1981 The great Tumaco, Colombia, earthquake of 12 December 1979. *Science*, **211/4481**, 441- 445.
- KANAMORI H. & McNALLY, K.C. 1984. Variable rupture mode of the subduction zone along the Ecuador - Colombia coast. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **72/ 4**, 1241 - 1253.
- KELLEHER, J.A. 1972 Rupture Zones of Large South American Earthquakes and Some Predictions . *Journal of Geophysical Research*, **77/11**, 2087 – 2103.
- LOCKRIDGE, P.A. & SMITH, R.H. 1984. Tsunamis in the Pacific Basin 1900-1983: Map (1:17'000.000), National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado.
- MARTINEZ, J.O. & CARVAJAL, H. 1990a. *Atlas de geomorfología y erosión de la Costa Pacífica Colombiana (Valle, Cauca y Nariño)*. Informe inédito. 14p. INGEOMINAS, Bogotá, Colombia.
- MARTINEZ, J.O. & CARVAJAL, H. 1990b. *Problemas geológicos asociados a la línea de costa de los departamentos de Cauca, Nariño y Valle: Geomorfología y riesgos geológicos*. Informe inédito. 167p. INGEOMINAS, Bogotá, Colombia.
- MARTINEZ, J.O., GONZÁLEZ, J.L., PILKEY, O.H. & NEAL, W.J. 1995. Tropical barrier islands of Colombia's Pacific Coast. *Journal of Coastal Research*, **11/2**, 432-453.

- MORENO, M. 1998. *Evaluación de la problemática del Río Patía en la Costa Nariñense*. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil, Programa de Especialización en Recursos Hidráulicos. Bogotá. 89p.
- NEAL, W.J. & GONZÁLEZ, J.L. 1990. Coastal photograph 142. *Journal of Coastal Research*, **6**, 800.
- NIVIA, A. & ROMERO, J. 2001. *Reconocimiento geológico del delta del río Patía: el canal Naranjo captura del río Patía por el río Sanquianga*. Informe interno, 19p. INGEOMINAS, Bogotá. Colombia.
- NIVIA, A. & PÉREZ, C. 2003 (en revisión). *Mapa Geológico de Colombia - Escala 1:100.000, Geomorfología y Geología de la Plancha 361bis San Juan de La Costa*. INGEOMINAS. Bogotá, Colombia.
- NIVIA, A., PÉREZ, C. & SEPULVEDA, J. 2003 (en revisión).). *Mapa Geológico de Colombia - Escala 1:100.000, Geomorfología y Geología de la Plancha 383 Tumaco*. INGEOMINAS. Bogotá, Colombia.
- NIVIA, A., PEREZ, C., MEJIA, I. & GALVEZ, E. 2000. *Comisión de Cartografía Geológica de las Planchas 339, 361, 361bis, 383 y 384. Proyecto A00G01 - Cartografía del Pacífico Sur*. Informe de Comisión. INGEOMINAS, Bogotá, Colombia.
- OPPENHEIM, V. 1949. *Geología de la Costa Sur del Pacífico de Colombia*. Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, Serie C - Geología
- PÉREZ, C. & NIVIA, A. 2003a. (en revisión). *Mapa Geológico de Colombia - Escala 1:100.000, Geomorfología y Geología de la Plancha 361 Olaya Herrera*. INGEOMINAS. Bogotá, Colombia.
- PÉREZ, C. & NIVIA, A. 2003b. (en revisión). *Mapa Geológico de Colombia - Escala 1:100.000, Geomorfología y Geología de la Plancha 384 - La Chorrera*. INGEOMINAS. Bogotá, Colombia.
- RAMÍREZ, L.F. & URREGO, L.E. 2001. *vegetación holocénica en el delta del río San Juan, Pacífico colombiano*. En CORREA, I.D. & RESTREPO, J.D. (eds.), *Geología y Oceanografía del delta del río San Juan*. Fondo BID COLCIENCIAS - Universidad EAFIT. 151-166. Medellín, Colombia.
- VAN DER HAMMEN, T. 1958. *Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes Colombianos*. *Boletín Geológico Servicio Geológico Nacional*, **VI/1-3**, 67-128. Bogotá.
- VAN ES, E. 1975. *Análisis geológico - geomorfológico de las imágenes de radar de la llanura pacífica de Nariño, Colombia, América del Sur*. *Revista CIAF*, 59 - 70.

VERNETTE, G., GAYET, J., ECHEVERRI, C. M., PIEDRAHITA, I. & CORREA, I. 2001. Introducción a los ambientes deltaicos: morfología y sedimentación. . En CORREA, I.D. & RESTREPO, J.D. (eds.), *Geología y Oceanografía del delta del río San Juan*. Fondo BID COLCIENCIAS – Universidad EAFIT. 20-53. Medellín, Colombia.

VON PRAHL, H., CANTERA, J. & CONTRERAS, R. 1990. *Manglares y hombres del Pacífico Colombiano*. Fondo FEN, Editorial Presencia, Bogotá, Colombia. 190p.