

Capítulo I

Estado del Medio Abiótico

2 ESTADO DE LOS ASPECTOS FÍSICOS DEL MEDIO MARINO Y COSTERO EN COLOMBIA

Los estudios realizados durante el año 2004 en relación con los aspectos físicos de las zonas costeras colombianas son muy limitados, pero de gran ayuda para entender los procesos que allí tienen lugar y las consecuencias de los mismos. Tanto las playas como los acantilados y otras geoformas asociadas, se transforman diariamente debido a que se encuentran en un medio muy activo, donde confluyen factores de índole natural asociados con el medio marino como son las olas, las corrientes, las mareas, con el medio terrestre como los ríos y otras fuentes de agua y con la atmósfera donde los vientos y los sistemas de presiones juegan un papel primordial. Las actividades antrópicas no son ajenas a los procesos, por el contrario, los acentúan o inducen cambios que en la mayoría de los casos no son benéficos.

En el libro del informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia, publicado en el año 2003, se detallan los ambientes físicos de las zonas costeras colombianas (playas, acantilados, lagunas, etc.) y su plataforma continental próxima, según los estudios efectuados por diversas instituciones en los últimos años en Colombia. El presente informe muestra los avances sobre el conocimiento previo de los aspectos físicos, realizados durante el año 2004, como una contribución a la actualización de la información existente.

2.1 Región Caribe Continental

Consideración especial mereció durante el año 2004 la zona costera del departamento de Córdoba, entre Paso Nuevo y Puerto Rey, con énfasis especial en los procesos erosivos que afectan el área de Puerto Rey Arboletes en los límites con el departamento de Antioquia (INVEMAR; 2004).

2.1.1 Unidades Geomorfológicas

Se presenta a continuación una reseña de las unidades geomorfológicas que se identificaron en esta zona, utilizando para ello la nomenclatura establecida por INGEOMINAS (1998) para las unidades geomorfológicas y geoformas del litoral Caribe colombiano (Tomado de Rangel, 2004, Mazorra, 2004).

Terrazas Fluvio Marinas. Es una de las unidades más representativas del sector. Son superficies elevadas planas o levemente inclinadas formadas por la depositación marina y fluvial; están moldeadas por drenajes que aparecen principalmente en época de lluvias, lo que en ocasiones les da un aspecto de colinas bajas redondeadas y por la intervención antrópica. Las limitan acantilados de altura variable como consecuencia de movimientos

tectónicos, eustáticos y la subsidencia.

Terrazas coralinas. Afloran entre los corregimientos de Río Cedro y Santander de la Cruz. Son superficies planas conformadas por arrecifes coralinos que quedaron expuestos después de un retroceso de la línea de costa. Este retroceso pudo haber sucedido en la fase final de la última trasgresión marina (Burel y Vernet, 1982, En: Restrepo, 2001). El estrato coralino presenta un espesor de 1 m y en él se alcanzan a diferenciar 2 niveles, de espesores relativamente similares: en el nivel superior se observan corales distribuidos de forma aleatoria, mientras que en el nivel inferior se encuentran restos de corales en posición de vida que corresponden a las especies *Diploria clivosa* y *Siderastrea radians* que son formadores de arrecifes; los tamaños varían desde cm hasta alcanzar los 3 m de diámetro.

Colinas y Montañas. Hacen parte de las estribaciones de la Serranía de Abibe Las Palomas, con alturas menores a 200 m y alineadas en sentido SSW-NNE, en el rumbo de los pliegues estructurales. En los sectores de Puerto Escondido y Paso Nuevo hay domos estructurales característicos de diapirismo de lodos. En Puerto Escondido, el domo diapírico tiene una base amplia, con una altura de 100 m y un patrón de drenaje radial de densidad media, sobre el que se encuentran tres cráteres menores con máximo 3 m de diámetro. En inmediaciones al tope del domo se localizan depresiones lacustres menores asociadas a probables cráteres inactivos de lodo. Al sur de Paso Nuevo, y en medio de la terraza, se presenta un alto topográfico que corresponde a un gran domo producido por el diapirismo de lodo; aquí se presentan 25 bocas de diámetros variables (10 cm a 5 m) en un radio aproximado de 1 kilómetro.

Pantanos de manglar. Corresponden a superficies ligeramente cóncavas, cenagosas, compuestas de lodos, con abundancia de materia orgánica que se convierten en un sustrato apto para el desarrollo del manglar y otras especies. Su distribución es relativamente amplia desde Paso Nuevo hasta el río Mangle y en la parte central sólo asociados a los ríos Córdoba y Cordobita, básicamente. Las raíces de los manglares y especialmente las del *Rhizophora mangle*, actúan como agente estabilizador de la línea de costa ya que disipan la energía del oleaje, y retienen el sustrato y los sedimentos que llegan por diferentes medios. Estas geoformas están cortadas por arroyos que llegan a ser importantes durante la época de lluvias y permiten la entrada de las aguas marinas en mareas altas.

Playas. Son acumulaciones de material no consolidado, en este caso principalmente arenas finas, presentes en la interfase mar continente. La mayor parte de las playas que se forman frente a los acantilados o pantanos de manglar, descubren hasta 6 m de ancho durante la marea baja y se cubren completa o parcialmente durante la marea alta. En temporada de invierno, estas playas suelen aumentar ligeramente su tamaño por la oferta de sedimentos traídos por los drenajes de la zona, mientras que en verano desaparecen de forma temporal.

En los alrededores del municipio de Moñitos se encuentran las playas más amplias de toda la zona de estudio, con anchos que varían de 20 m a 40 m y varios cordones litorales ubicados en la zona supramareal que limita con la llanura costera. Le siguen en amplitud las

playas de Río Mangle con hasta 30 m y las de Broqueles que no sobrepasan los 20 m.

Playones. Son áreas extensas de material no consolidado asociado a playas antiguas que en la actualidad pueden o no estar vegetados. De manera local presentan cordones litorales o crestas de playa dispuestas de forma paralela a la costa actual. Esta geoforma sólo se presenta al sur del corregimiento de La Rada y se encuentra aladaña a los pantanos de manglar; aquí se manifiesta como una planicie de arena que no permite el crecimiento de los árboles de mangle. Su ancho oscila entre 12 m y 15 m y se extiende en ocasiones por más de 200 m.

Los playones se encuentran alejados de la playa actual por una distancia aproximada de 15 m y se intercalan con los parches de manglar. Por su morfología y ubicación son susceptibles a inundaciones periódicas, pero en general drenan más rápidamente que los suelos del manglar por su constitución esencialmente arenosa.

Llanuras costeras. Son planicies bajas y extensas con ligeras ondulaciones, que están limitadas hacia el continente por colinas y hacia el mar por playas o llanuras de inundación. Su origen está asociado a procesos fluvio marinos. En la zona de estudio se observan 3 llanuras costeras, al norte del corregimiento de Paso Nuevo, en los alrededores de Moñitos y la ubicada al sur del río Broqueles.

Valles aluviales. Son superficies planas o ligeramente inclinadas a favor de la corriente que las forma; su origen se asocia a la depositación fluvial continua o torrencial. Se destacan los valles aluviales de los ríos Yuca, Broqueles, Los Córdoba y Canalete. La forma y amplitud del cauce de los ríos sugieren un régimen de caudales alto durante el invierno.

Plataforma Somera. Se extiende por varios kilómetros, con una pendiente muy suave inferior al 1%. En ella se encontraron remanentes de bloques hasta los 10 m de profundidad aproximadamente y facies sedimentarias principalmente lodosas, sólo con predominio de arenas hasta los 2 m de profundidad.

Bajos. Son elevaciones en la plataforma, que para la zona de estudio, llegan hasta 1 m de profundidad, se encuentran en la zona central del corregimiento de Paso Nuevo, Cristo Rey y Arboletes. En Paso Nuevo están compuestos por material biogénico, mientras que en Cristo Rey presentan sedimentos lodosos terrígenos y en arboletes son remanentes rocosos de la antigua península que había en la zona.

2.1.2 Rasgos Geomorfológicos

En la zona costera del departamento de Córdoba, y asociados a distintas unidades geomorfológicas se encuentran los siguientes rasgos geomorfológicos.

Acantilados. Son escarpes que marcan el límite entre las terrazas o montañas y las playas o el mismo mar. Generalmente se encuentran constituidos por un sustrato rocoso y su altura es variable, entre 1 m hasta más de 20 m. Salientes rocosas asociadas a los acantilados,

formadas por diferencias en la resistencia de los materiales a la erosión marina, conforman playas bahía o encajadas, muy comunes en esta zona.

Cordones litorales. Son acumulaciones de arena que constituyen una antigua línea de costa. En la zona de estudio están asociados a playones y ocurren hacia el sur del corregimiento de La Rada, en algunos casos se encuentran enmascarados por la vegetación presente.

Tómbolos. Al igual que la anterior, es una geoforma depositacional, caracterizada por la presencia de una espiga o barra de arena que conecta una isla o pilar de erosión, con un punto fijo en tierra o con otra isla. En la zona se encuentran al norte del corregimiento de Cristo Rey, en la punta el Hoyito, en la zona sur de la boca del río Mangle y en cercanías de Cerro Pelado.

Pilares o “Stacks”. Son remanentes de roca que quedan a manera de pequeñas islas como resultado de la acción erosiva del mar sobre un acantilado o terraza. Se encontraron pilares en los corregimientos de Paso Nuevo, boca Mangle, Río Cedro, Broqueles, punta el Coquito y Cerro Pelado, principalmente. Su tamaño es variable hasta 7 m de alto muy cercanos a la costa y en algunos casos sobre la playa. Algunos pilares que no alcanzan a sobresalir por encima del nivel del mar, se convierten en bajos y son una amenaza para cualquier tipo de embarcación que se desplace cerca de la línea de costa.

Cuellos Notches. Geoforma asociada a los acantilados y pilares cuando son socavados hacia la base. Cuando este es muy profundo se genera un vacío que conlleva a desplomes de suelo o roca. Se encuentra en toda la zona de estudio, siendo los ejemplos más claros los observados en el corregimiento de Paso Nuevo y entre Arboletes y Los Córdoba.

2.1.3 Procesos Erosión-Acreción

Durante el año 2004, no hubo un avance significativo en los estudios o monitoreo de los procesos de erosión en el Caribe colombiano. En general se observó que se siguen presentando las tendencias reportadas en el informe del año anterior, con un período de erosión más acentuado durante la época de vientos fuertes y recuperación parcial de las playas durante el período de invierno, por el aporte de sedimentos significativo de parte de las fuentes fluviales.

Este informe hará énfasis en la zona de Puerto Rey - Arboletes, en donde se hizo una revisión muy exhaustiva de la información existente y el CIOH hizo trabajo de campo, todo ello encaminado a buscar las mejores soluciones a los problemas graves de erosión que afectan esta zona.

Zona de Puerto Rey Arboletes.

Geomorfológicamente está conformada por una terraza marina, interrumpida sólo por un área de colinas producidas por el diapirismo de lodo, que dio origen al volcán de Arboletes.

La terraza marina está limitada hacia el mar por un acantilado de altura variable, y en cuya superficie pueden observarse rocas sedimentarias muy frágiles, principalmente lodolitas y en menor proporción areniscas, suprayacidas por depósitos de material limoso. La erosión marina por el embate de las olas, unida a la acción antrópica en el tope del acantilado y la bioturbación han hecho retroceder los acantilados a tasas de hasta 40 m/año (Figura 2-1).

En la zona de Puerto Rey, la erosión se observa acentuada por el embate de las olas en la base del escarpe, presentando en algunos lugares notches y acanaladuras que provocan el desprendimiento de masas de suelo. Durante la época de invierno se observa un afloramiento continuo de agua en el límite entre el estrato de lutitas grises verdosas de la base y las limonitas pardas que las suprayacen; también a lo largo del contacto con el horizonte limoso superior. Asociados a estos afloramientos de agua, hay desprendimientos de masas de suelo de la parte superior del acantilado, que caen sobre la playa y son removidos paulatinamente por las olas.

Numerosas obras de defensa construidas por dueños de terrenos o fincas de recreo dan fe de la intensidad de esta erosión, que comenzó por destruir la punta Arboletes antigua, 1.6 km en escasos 30 ó 40 años y sólo permanecen tres stacks como testigos de la erosión. La bioturbación y la escorrentía juegan un papel primordial en el retroceso de los escarpes porque favorecen el desprendimiento de masas de suelo.

El sector de Minuto, según los relatos de los habitantes, ha sufrido retrocesos importantes de la línea de costa que alcanzan hasta 5 m/año. Se observó como evidencia de la erosión acelerada, las continuas entrantes y salientes de la línea de costa, sobre los altos acantilados; la presencia de pilares alineados alejados 5 a 8 metros de la línea de costa actual, en los que se observa en el escarpe la secuencia sedimentaria presente en toda la zona y su tope cubiertos por vegetación tipo pastos. Varias viviendas han sido destruidas y en la actualidad algunas se encuentran al borde del acantilado.

Al sur de Minuto hay deslizamientos asociados a zonas de milonitización de las rocas, formación de cavernas y notches y pilares o remanentes de roca. En la zona donde el acantilado fue intervenido, la erosión formó una serie de terrazas escalonadas, con erosión superficial y surcos.

En la zona de Arboletes se presentan, en el extremo norte, una serie de deslizamientos de tipo slump, con una superficie curva y un escarpe incipiente, mientras que en los alrededores del volcán de lodo adicionalmente se observan numerosos pilares de roca y arcos como evidencia de una erosión intensa que ha provocado un retroceso de la línea de costa calculado en 8m/año. Hacia la playa de Arboletes se intensifican los deslizamientos de tipo slump, con destrucción total o parcial de viviendas, pozos y tuberías. La intervención antrópica sobre este sector ha sido alta, con espolones y muros de contención para tratar de proteger el volcán de los efectos de la erosión y de recuperar playas para el turismo.

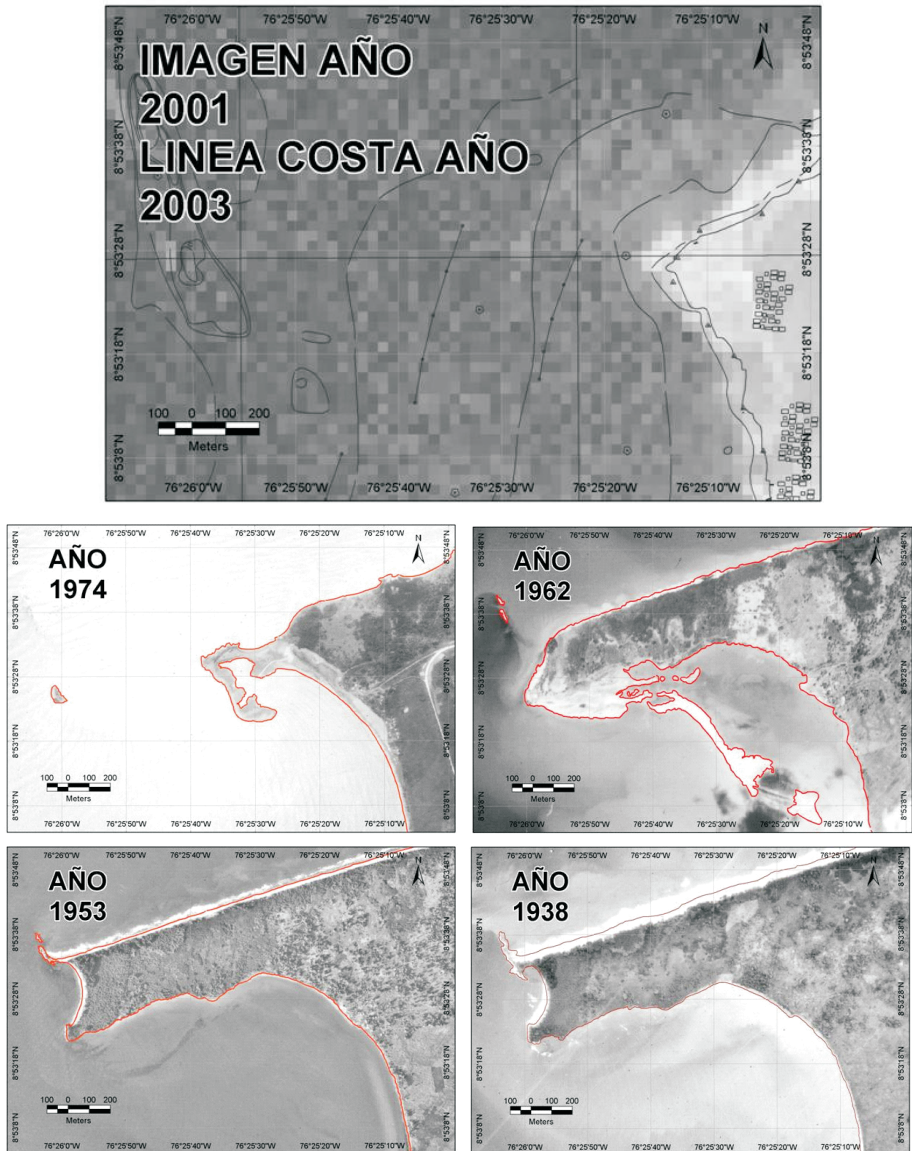


Figura 2-1. Análisis de los cambios en la zona costera de Puerto Rey Arboletes entre 1938 y 2001 (INVEMAR, 2004).

La bioturbación y la escorrentía también juegan un papel primordial en el desprendimiento de masa de suelo de la parte superior del acantilado, al igual que las aguas que se infiltran y afloran en el límite entre las lutitas grises laminadas y el horizonte limoso pardo amarillento.

Obras de defensa. Para la zona de Puerto Rey Minuto, en total se observaron y midieron 20 espolones y 1 muro rompeolas, construidos con bloques de arenita y arenita calcárea. Algunos presentan pentápodos construidos con cemento y grava. El muro rompeolas se localiza enfrente de una de las casas ubicadas en el sector norte (Puerto Rey). De todas estas obras, sólo el muro rompeolas está protegiendo realmente el sector donde fue construido. Aledaño a este muro, un espolón posibilitó el crecimiento de la playa al norte de él. De resto, todas las obras se encuentran semidestruidas.

Para la zona de Arboletes, el proyecto de la Universidad Nacional (1998) midió diecisiete espolones desde el río Jobo hasta el volcán, en tanto que la Universidad EAFIT (2001) midió 34 espolones y cuatro barreras de protección (Correa & Vernet, en prensa). En la mayoría de ellos se observó recuperación de playas al NE y socavación intensa en el costado sur; en algunos hubo recuperación a ambos lados del espolón y sólo los espolones más cerca al kiosco del país, no han registrado ninguna ganancia de playas. Desde el volcán hacia punta Arboletes el proceso de erosión es más acentuado y los habitantes han tirado rocas, a manera de espolón, para protegerse.

Causas de la erosión. Se han identificado en la zona como principales causas de los procesos erosivos las siguientes:

- ❖ Influencia del río Sinú. Según los estudios realizados por la Universidad Nacional (1998), los procesos erosivos afectan la costa desde el delta del Río Sinú, como consecuencia de la formación del delta del río Sinú en el área de Tinajones, a partir del año 1940, lo cual redujo los aportes debido a la detención de los sedimentos en el delta.

A pesar de los argumentos presentados en los trabajos que se reseñan, el INVEMAR considera que son necesarios estudios históricos y actuales de los aportes sedimentarios del Sinú y de su distribución en las costas de los departamentos de Sucre y Córdoba, para confirmar esta hipótesis, puesto que sólo mirando la posición actual del delta en Tinajones, con respecto a la posición resguardada que tenía en Cispatá, pareciera que el efecto es el contrario. Además, los reportes de la erosión fuerte de estas costas datan de sólo 20 a 30 años, en tanto que el delta cambió su posición hace cerca de 65 años.

- ❖ Aumento relativo del nivel del mar (ARNM). La posibilidad de que el ARNM esté involucrado en el problema se valida al considerar la información disponible sobre los ascensos del nivel del mar en el Caribe y las características tectónicas de la zona. Las cifras obtenidas recientemente por Andrade (2001) en registros de los mareógrafos de Cristóbal -Panamá- y Cartagena identifican ascensos de 15 y 22 cm

respectivamente en el área, suficientes según la ley de Brunn (1962, EN: Correa & Vernet, en prensa) para generar tendencias erosivas importantes, aún en litorales estables tectónicamente.

Pero el litoral Caribe no es estable tectónicamente como se demuestra por los hundimientos de terrenos costeros del “Cinturón del Sinú” reportados por Page (1986) y Robertson (1989), a velocidades de 0.7 mm/año. La actividad diapírica “sin-sedimentaria”, con combamiento de estratos, compactación de espacios vacíos y movimientos verticales de terrenos a lo largo de fallas, es otro factor importante a considerar (Vernet, 1985 y Vernet et al., 1992). La presencia de gases y su difusión a través de los sedimentos pueden disminuir significativamente la estabilidad y resistencia de las capas y, por lo tanto, facilitar la erosión por los oleajes de las zonas de litorales (Correa & Vernet, en prensa).

Un último punto de interés en el contexto de los ARNM se relaciona con la aparente contradicción entre la presencia de las terrazas marinas emergidas y el predominio tan marcado de la erosión litoral en esta área. En principio, los levantamientos graduales de la franja litoral deberían generar, a mediano y largo plazo, ganancias y no pérdidas de terrenos litorales; esta contradicción podría explicarse acudiendo al fenómeno conocido como hidroisostasia, el cual, en el sentido definido por Clark y Linge (1979, EN: Correa & Vernet, en prensa), considera re-equilibrios isostáticos y basculamientos (ascenso de la franja costera interna y descensos del litoral y la plataforma adyacente). La posibilidad de que en la actualidad la franja litoral Arboletes-Turbo este hundiéndose lentamente por efectos de la hidroisostasia no se puede descartar. El hecho de que las plataformas de abrasión adyacentes a los acantilados se continúen “mar afuera” por cientos de metros (información batimétrica) apoya esa posibilidad, al sugerir que la erosión del sector se inició probablemente hace siglos y no es un hecho iniciado en el pasado histórico. (Correa & Vernet, en prensa).

- ❖ La litología de las terrazas y acantilados. Las características geotécnicas muy pobres de las rocas y sedimentos que componen las terrazas, propicia la erosión acelerada de las mismas. La resistencia de estas rocas al embate de las olas es en general muy baja, las diferencias en permeabilidad y porosidad permiten que los horizontes superiores se saturen de agua en los primeros días de la transición verano-invierno, ocurriendo deslizamientos que siguen planos de fractura y buzamiento; hay además desplomes originados directamente por la socavación de la base de los acantilados por el oleaje, especialmente el denominado oleaje de tormenta.
- ❖ Intervenciones antrópicas. La franja litoral y las cuencas de drenaje adyacentes han sido intervenidas considerablemente por las actividades de agricultura y ganadería, e inclusive por la construcción de represas, que

pueden disminuir los aportes de materiales gruesos (arenas, guijarros) a las desembocaduras fluviales y acelerar el retroceso litoral, al contribuir al déficit general de sedimentos gruesos en la zona. La extracción intensiva de materiales de playa y de las desembocaduras de los ríos para la construcción de las viviendas, también ha jugado un papel fundamental, aunque no hay registro histórico de ello.

Por último, cabe señalar la ausencia de sistemas de control de aguas de escorrentía y de filtraciones de tanques y tuberías de casas que se refleja en el retroceso de los acantilados adyacentes por desprendimientos de masas de suelo y rocas. Además, la construcción desordenada de espolones ha venido agravando la situación general del sector, al aumentar los déficits de arenas en las playas adyacentes hacia el sur.

El sector de Punta Arboletes propiamente dicho, está constituido por un nivel bajo de terrazas (1.0-5.5 m) y playas frontales, donde la erosión arrasó, entre 1968 y 1990, todo su costado noroccidental, quedando como únicos remanentes dos islotes rocosos de calizas resistentes (Isla Rey) ubicados a 1.6 km hacia el oeste de la línea de costa actual. La tasa de erosión alcanzó los 40 m/año, y la pérdida de aproximadamente 4.5 km² de terrenos de sus sectores aledaños.

Los testimonios sobre las causas de la desaparición de la península de Punta Rey sugieren que a la erosión histórica natural de sus playas septentrionales se sumaron los efectos de la extracción de cantidades importantes de materiales de playa e incluso algunos habitantes proponen que su desaparición se debió inicialmente a la ampliación de un canal artificial cortado por los pescadores de la zona con el fin de ahorrar trayecto.

La posibilidad de reconstrucción de esta punta exige estudios oceanográficos previos de olas, mareas, corrientes y otros “fenómenos de mal tiempo” que se producen en el Caribe colombiano. Adicionalmente se deben complementar los estudios batimétricos realizados por INVEMAR (2003a) y la caracterización de los fondos de la plataforma, así como establecer cuál es la disponibilidad de sedimentos arenosos que permita la recuperación natural de las playas o la extracción de arenas de la plataforma para su recuperación artificial.

Medidas adicionales de protección de la zona costera proponen la estabilización de los taludes con el objeto de proteger a la población y frenar los procesos erosivos. El perfilamiento de los taludes permitiría aproximarse al perfil de equilibrio de los mismos al reducir en ellos las fuerzas desestabilizadoras y procurar una disipación de la energía del oleaje al aproximarse a la pata del talud.

2.2 Región Caribe Insular

Durante el año 2004 se adelantó en la isla de San Andrés el reconocimiento geomorfológico del sector nor-noreste de la isla, denominado punta Hansa, como parte de una petición de CORALINA para expedir una certificación ambiental. Adicionalmente, se recopiló la información secundaria existente de la costa suroriental para proponer medidas de protección contra los procesos erosivos. Se presentan aquí los resultados de estos informes con el objeto de contribuir con el avance en el conocimiento que se tiene de la zona costera de San Andrés, complementado lo reportado en el informe del estado del medio abiótico del año 2003.

Punta Hansa se localiza al noreste de la isla de San Andrés. Se observa sobre la costa una terraza coralina de edad Pleistoceno, de altura promedio 25 a 50 cm. Geomorfológicamente el sector se caracteriza por las siguientes unidades:

- ❖ Zona costera: Es un área densamente urbanizada. Conformada por una terraza coralina que corresponde a la Formación San Luis (Tpls), constituida por calizas coralinas arrecifales, de composición bioesparítica. Ésta alcanza en este sector una altura promedio de 25 a 50 cm. Está afectada por la falla punta Hansa con una dirección N55E, y movimiento sinistral en el cual el bloque oriental se desplazó hacia el noreste y el bloque occidental hacia el suroeste. Por sus efectos sobre la barrera coralina se estima que es de origen cuaternario, lo cual implica una actividad tectónica reciente en la isla (INGEOMINAS, 1996).

Una gran parte de este sector está constituido por rellenos realizados sobre pantanos de manglar, o zonas de bajamar entre los años 1944 y 1974, por lo cual presentan una susceptibilidad moderada a alta ante eventos sísmicos.

El sector norte de la isla, comprendido entre punta Norte y punta Hansa, tiene en su parte central un segmento de playa con una amplitud promedio de 31 m y se hace más angosta al occidente, cerca de la pista del aeropuerto, mientras que hacia el oriente el Little Reef la protege (INGEOMINAS, 1996).

En punta Hansa la línea de costa es rocosa, muy irregular y al sur de esta punta está conformada por rellenos artificiales realizados antes de 1974. Localmente se forman pequeñas playas en frente de las construcciones y entre los múltiples muelles existentes.

Existe una pequeña playa entre el hotel Aquarium y la casa de la cultura, reportada desde 1973 (Geister, 1973) con escarpes de erosión sobre la terraza arrecifal, inferiores a 20 cm, y palmeras desarraigadas, lo que denota un rasgo de erosión media. Estas características han permanecido semejantes mínimo desde el año 1984, según registros fotográficos del sector (fotos aéreas y terrestres). Aquí, una arena coralina media a gruesa, cubre parcialmente la terraza coralina, permitiendo la formación de esta playa, que alcanza un ancho entre 3 y 4 m y un espesor de 50 cm aproximadamente. En el mar, semi-sumergidos, hay vestigios de esta terraza.

- ❖ Canal de embarcaciones. Tiene entre 0.5 y 2 m de profundidad y una amplitud de 250 m. El fondo es arenoso cubierto por *Thalassia* y algas como *Halimeda* que es el mayor componente del material arenoso grueso (Geister, 1973).
- ❖ Arrecife costero o interior (Little Reef). Franja de 1.8 km longitud y 50 m ancho, interrumpida por 3 canales. Su profundidad es entre 0.5 y 1 m (Geister, 1973).
- ❖ Laguna con bancos de coral. Tiene entre 5 y 12 m de profundidad y 200 y 600 m de ancho. El fondo está tapizado con arena calcárea, localmente escombros de corales. Hay bancos de corales y colonias. La cubren en forma poco densa praderas de *Thalassia*. Las pequeñas islas Johnny Cay y Heines Cay, así como el Acuario son porciones emergidas sobre la terraza lagunar (Geister, 1973; Díaz et al., 2000).
- ❖ Arrecife de barrera o arrecife exterior (Big Reef). Se eleva rápidamente unos 4 m desde la terraza prearrecifal hasta casi la superficie. Está disectada localmente por surcos y espolones perpendiculares a la dirección del oleaje. El declive de la cresta de la barrera hacia la zona de barlovento es suave (Geister, 1973; Díaz et al., 2000).
- ❖ Terraza prearrecifal y talud externo. Se precipita abruptamente en forma vertical a partir de los 9 a 15 m de profundidad hasta un escalón localizado a 45-50 m para luego caer nuevamente a más de 500 m. Sus paredes son casi desnudas (Díaz et al., 2000).

Condiciones Oceanográficas. El litoral nororiental, por ser un área protegida por Little Reef y Big Reef, no presenta corrientes litorales con velocidades importantes, siendo las mayores cerca de la zona arrecifal, con 17 cm/s y las menores en áreas abrigadas con 7 a 8 cm/s. En el área específica del hotel Aquarium son de 3 a 5 cm/s (Salazar, 2003)

En el archipiélago los vientos dominantes son del NE; su dirección principal en San Andrés es E y su máxima frecuencia NE. Por esta razón, la costa y los arrecifes del Este están bajo la influencia de una corriente de fuerza variable que llega del NE. Por refracción en las terrazas prearrecifales, las olas de altamar, provenientes por lo general del NE y E, se acercan siempre a los arrecifes exteriores frontalmente. La resaca en los arrecifes lagunares es menos potente y de intensidad variable (Geister, 1973).

Las corrientes en la laguna arrecifal fluyen en dirección sur suroeste, desde punta Hansa hasta el canal de entrada hacia el puerto cerca de Rocky Cay y al suroeste de Haines Cay. Las corrientes al norte de punta Hansa se dirigen generalmente hacia el noroeste, saliendo de la laguna arrecifal entre Johnny Cay y la isla principal (Sena, Secab, Coralina, 1997).

Las mareas son mixtas y tienen una amplitud entre 30 y 60 cm (Geister, 1973), mientras que las olas alcanzan 50 cm de altura. La batimetría varía entre 0.3 y 2.0 m en los alrededores de la infraestructura del hotel Aquarium, entre 0.5 y 0.8 m en el área del muelle y más hacia el mar alcanza 1.7 m, junto al canal de embarcaciones (Salazar, 2003).

Procesos Hidrodinámicos. El borde arrecifal sufre de procesos de meteorización mecánica generada por el impacto de las olas. Los sedimentos así producidos son parcialmente arrastrados por las corrientes hacia la laguna arrecifal. Allí las praderas de fanerógamas amarran estos sedimentos, de manera tal, que sólo un porcentaje alcanza a viajar con la corriente de deriva hacia el sector suroeste, en donde se localiza la playa contigua al hotel Aquarium y otras más en la bahía de San Andrés. Por esta razón se presentan algunos rasgos erosivos, que incluso podrían ser estacionales ya que no se cuenta con el registro de la época de invierno.

A partir de punta Hansa, hacia el noroeste, los sedimentos de la laguna arrecifal son arrastrados por las corrientes que salen entre German Point y Johnny Cay y las corrientes de deriva que bordean la costa y alimentan la playa localizada al norte.

La sedimentación es importante, aunque no suficiente para ahogar el buen desarrollo de la *Thalassia*. Este proceso de entrapamiento de los sedimentos en las praderas de *Thalassia* es responsable de la estabilidad del litoral rocoso, la conformación de pequeñas playas y eventualmente la escasez de tránsito sedimentario para alimentar suficientemente las playas al suroeste de esta punta. La playa localizada al norte es favorecida por una mayor dinámica marina, ya que la laguna arrecifal en este sector es mucho más amplia y por lo tanto las olas tienen mayor energía para transportar los sedimentos hasta la costa.

Es indudable que los procesos hidrodinámicos se han visto afectados a lo largo de la historia de ocupación de este sector de la Isla, por las múltiples construcciones que comprometen no sólo la zona de bajamar, sino también la parte litoral mesomareal y supramareal. Como de gran impacto se consideran las operaciones de dragado que se llevaron a cabo en el sector de la bahía San Andrés y el posterior relleno de la zona costera, cubriendo parcialmente la terraza coralina y más hacia el interior los pantanos de manglar.

Adicionalmente, la construcción de muelles y plataformas se consideran obstáculos a la circulación de las corrientes, olas y libre tránsito de los sedimentos, además de los impactos sobre los ecosistemas marinos. Las bases que conforman estas estructuras causan acumulación local de sedimentos y cambios en la dirección de las corrientes y olas, que aunque leves pueden tener un efecto importante por la gran cantidad de construcciones que se presentan en un tramo relativamente pequeño como es el sector de punta Hansa. Las actividades náuticas como el uso de lanchas de motor y jet sky a lo largo del canal navegable, generan un continuo oleaje sobre la costa que podría favorecer los procesos erosivos.

En la zona meso y supramareal se encuentran ubicados los principales desarrollos turísticos de la isla los cuales constituyen un obstáculo para los procesos subaéreos, especialmente de transporte eólico de sedimentos y de escorrentía. Los vientos alisios se encuentran presentes durante gran parte del año con gran intensidad y afectan de manera significativa el sector norte de la Isla. Sin embargo los procesos de tránsito litoral que se debieran llevar a cabo como consecuencia del viento prácticamente no existen ya que cada una de las construcciones son barreras al movimiento y por lo tanto un obstáculo adicional

al equilibrio natural de la zona costera.

La vía circunvalar, los andenes y otras áreas peatonales propician que las aguas lluvias viajen a una mayor velocidad por el suelo debido a que son superficies muy suaves. Este incremento en la velocidad de la escorrentía favorece los procesos de erosión laminar y en surcos en los bordes del litoral rocoso y en las playas.

Las costas surentales de San Andrés, al sur de San Luis, incluidos los sectores de Sound Bay, Elsy Bar y South End, están conformadas por la Formación San Luis, compuesta de calizas coralinas arrecifales de edad Plioceno y que conforma una terraza coralina que emerge en forma discontinua, intercalada con pantanos de manglar y depósitos cuaternarios de arenas y gravas que cubren la mayor parte del sector y se originaron como consecuencia de huracanes y mares de leva, que dejaron un depósito con un espesor promedio de 1.5 m y un ancho variable entre 250 m y 60 m aproximadamente.

Las playas son de color crema, grano fino a medio, constituidas por fragmentos de corales, algas y conchas y en menor proporción foraminíferos. Hacia el norte, alcanzaban en el año 1996, 32 m de ancho, mientras que hacia el sur las playas eran incipientes (INGEOMINAS, 1996). Reposan sobre la terraza coralina.

En el área submarina se encuentra inicialmente una franja que corresponde a una terraza lagunar, compuesta por sedimentos coralinos de tamaño grueso, que van gradando hacia arenas blancas, gruesas a finas a medida que se acerca a la playa (Díaz et al., 2000). Esta unidad tiene una profundidad inferior a los 2 m y una amplitud entre 100 y 600 m aproximadamente.

Hacia el mar está limitada por una barrera arrecifal, discontinua, constituida por un arrecife franjeante, que se eleva desde unos 4 m en la terraza prearrecifal hasta casi la superficie, con un ancho aproximado de 30 m (Díaz et al., 2000).

Otra unidad geomorfológica submarina importante para entender los procesos del sector en estudio es la pradera marina que se extiende desde San Luis hacia el norte, conformando una franja de ancho variable, entre 200 y 700 m aproximadamente, aledaña a la línea de costa, con fondos arenosos biogénicos, de grano medio a grueso o escombros coralinos, vegetados por fanerógamas y algas.

En cuanto a las condiciones oceanográficas, los estudios realizados muestran un oleaje oceánico sin barreras, proveniente del nor-noreste, propiciado por la dirección predominante de los vientos Alisios, que son casi permanentes durante gran parte del año. Adicionalmente, vientos de hasta 20 m/s provenientes del W-NW se presentan asociados a tormentas tropicales y huracanes (Díaz et al., 2000).

La Corriente del Caribe proveniente del Este, se divide en dos ramales al llegar al archipiélago, uno de ellos continúa en dirección este, en tanto que el otro gira hacia el suroeste y sur conformando el denominado Giro Panamá - Colombia. Como resultado la

corriente se desplaza paralela a la costa en dirección suroeste, pero gracias a los vientos alisios de la primera parte del año su efecto se ve frenado, al menos superficialmente (Díaz et al., 2000).

Las anteriores consideraciones muestran que tanto las corrientes como el oleaje inciden de forma directa sobre la barrera arrecifal en donde descarga la mayor parte de su energía, haciendo de la zona de barlovento un área expuesta a unas condiciones marinas muy fuertes, en tanto que el lado interno de la barrera, es un ambiente protegido y esto incluye la zona de playas. Se exceptúan los sectores donde la barrera no existe y las olas llegan con fuerza directamente a la costa.

De otro lado, la dirección predominante de las corrientes sugiere que las playas de la zona de estudio deben ser alimentadas por los fondos arenosos asociados a la terraza lagunar y la cuenca lagunar contigua a esta terraza que se encuentran a sotavento de la barrera coralina, al noreste del área de estudio (East Reef). También pueden ser alimentadas por las olas que transportan los sedimentos desde la terraza lagunar que se forma a sotavento del arrecife franjeante del sector.

Lo anterior implica que la erosión del sector debería ser baja, lo cual coincide con una de las conclusiones del estudio de INGEOMINAS (1996), en donde afirman que la erosión es baja a baja media, localmente con procesos de erosión natural de intensidad moderada a baja y procesos de erosión antrópicos asociados a infraestructura urbana y extracción de materiales para construcción. Se exceptúan de esta conclusión los sitios en donde el oleaje llega directamente al litoral con una mayor energía capaz de producir procesos erosivos.

Una inspección realizada por el INVEMAR en Junio de 2003 efectivamente corroboró que existe una intensa erosión en algunos sitios de la costa sureste de San Andrés, con mayor intensidad en los sectores en donde la barrera coralina no está protegiendo el litoral y que efectivamente esta erosión está comprometiendo parte de la infraestructura de viviendas y vías.

2.3 Región Pacífico Continental

En el año 2004, el INVEMAR emprendió el estudio de la zona costera de los departamentos de Cauca y Nariño, a partir de información secundaria y con reconocimiento de campo en la costa caucana, para actualizar lo relacionado con los procesos erosivos o de sedimentación que afectan las islas barrera de la zona. Se presenta a continuación una compilación de la información recogida en cuanto a los temas de geomorfología y erosión.

2.3.1 Aspectos Geomorfológicos.

La planicie costera en la zona de estudio está muy influenciada por el régimen mesomareal existente. Con base en su influencia se consideran las distintas geoformas según se encuentren en el dominio supramareal o intermareal.

Oertel & Leatherman (1985, EN: Martínez, 2000) describen las geoformas para ambos dominios, como ambientes del sistema de islas barrera, que se pueden encontrar en su totalidad en el área entre Santa Bárbara y Timbiquí, en los deltas de los ríos Patía, Mira y Salahonda, localmente en la ensenada de Tumaco y en el sur hasta cabo Manglares. Estos ambientes han sido denominados por sus autores como: zona continental, laguna trasera, bocanas y deltas de marea, isla barrera, plataforma de la isla barrera y frente de la isla.

Zona Continental. Forma el límite hacia tierra del sistema de islas barrera y favorece la formación de la laguna anterior. Está representado por el relieve rocoso costero y las colinas bajas remanentes de la erosión de los sedimentos del Terciario y las planicies aluviales que limitan los pantanos de manglar. Localmente hay plataformas de abrasión elevadas asociadas a las colinas.

- ❖ **Relieve Rocosos Costero.** Constituyen esta unidad geomorfológica las estribaciones occidentales de las colinas costeras, y los remanentes rocosos de la erosión litoral. Las colinas bajas son el resultado de la erosión diferencial de los sedimentos del Terciario, principalmente limonitas, arcillas grises y rojas y areniscas. Tienen una topografía suave que en general no sobrepasa los 50 m, cimas redondeadas, pendientes cortas y convexas, a veces con pendientes de hasta 45° y una red de drenaje con un patrón dendrítico a subparalelo que depende de los controles estructurales (Martínez, 2000).
- ❖ Los rasgos geomorfológicos asociados a esta zona son acantilados, arcos, cavernas, remanentes rocosos y plataformas de abrasión (CCCP, 1998).
- ❖ **Planicies Aluviales.** Se ubican a lo largo de los principales ríos y consisten en vegas que sufren inundaciones periódicas y frecuentes y están constituidas por sedimentos aluviales finos a gruesos, con un drenaje natural imperfecto a pobre, mientras que las terrazas ocupan una posición elevada con respecto al nivel actual de los ríos, por lo menos 5 m, y se diferencian por lo menos dos niveles de ellas. Se localizan paralelas a las vegas de los ríos Guapí, Timbiquí, Saija y Micay y están conformadas por depósitos aluviales finos que descansan sobre capas de cantos redondeados y gravilla (Posada, 1992). Los valles aluviales están asociados con las zonas de Guandal, en la parte más adentro del continente. En ellos se localizan las principales poblaciones del área.

Laguna Trasera. Corresponde actualmente a una laguna colmatada, que forma un terreno cenagoso, conocido como pantanos de manglar y de transición, disectados por esteros y que se inundan durante las pleamares. Está constituida por lodos con un alto

contenido de materia orgánica de origen vegetal, apta para el desarrollo de manglares y otras especies halófitas. Su amplitud oscila entre 2 y 6 km aproximadamente y sus límites tanto hacia la zona continental como hacia la isla barrera son transicionales y se identifican por cambios en la vegetación y variaciones texturales en el sustrato o por la presencia de un estero.

Localmente dentro de esta geoforma se encuentran superficies que sobresalen topográficamente por encima del nivel de más alta marea 1 a 3 m, denominadas promontorios arenosos aislados o “firmes”. Tienen una geometría irregular y extensión variable de pocas decenas a centenas de metros. Son terrenos bien drenados, con facilidades de agua dulce y aptos para la vivienda y la agricultura. Muchas veces corresponden a antiguos cordones litorales.

- ❖ Pantanos de Manglar y de Transición. Se localizan a lo largo de la línea de costa de la bahía de Tumaco o detrás de las playas e islas barrera de la Ensenada, la región costera de López de Micay y de Timbiquí. Es cortada por una red de drenaje pobre, constituida por canales fluviales y esteros, con morfología típica de embudos, propia de las zonas con influencia mareal. En la zona costera del Cauca se extienden detrás de las islas barreras entre 3 y 5 km y son cortados por numerosos esteros, la mayoría de ellos interconectados y que sirven de vía de transporte a los pobladores. La subsidencia de terrenos y la erosión general de la línea de costa hace que muchas veces se les encuentre bordeando la línea de costa. Otras veces aparecen en esta posición gracias a la sedimentación alta que permite un sustrato apropiado para su crecimiento. Manglares muy bajos están asociados a este fenómeno, como por ejemplo en la punta del Coco.

Deltas de Marea. Conocidos como bajos y se localizan cerca de las bocanas en donde la interacción de la corriente fluvial y las mareas propician la acumulación de los sedimentos. Se denominan deltas de flujo cuando se localizan al interior de las bocanas y están regidos por la corriente ascendente de marea. Están compuestos por limos y arenas finas y su crecimiento puede dar lugar a que sean colonizados por manglares. Los deltas de reflujos se localizan fuera de las bocanas y responden a las corrientes descendentes de marea; están compuestos por sedimentos tamaño arena y su evolución implica alteraciones importantes en el oleaje y las corrientes, lo que eventualmente es causa de erosión en tramos cortos del litoral adyacente. Las llanuras intermareales se extienden entre los deltas de reflujos y el límite exterior de los pantanos de manglar y están conformadas por sedimentos lodosos con abundante materia orgánica.

- ❖ Llanuras Intermareales. Corresponden a los depósitos de arenas muy finas, finas y lodos que se extienden sobre la plataforma levemente inclinados al mar, en forma irregular, con canales de drenaje, elevaciones y depresiones elongadas y ondulitas (ripples) y son expuestos durante la marea baja. Tienen un mejor desarrollo al sureste de la bahía de Tumaco, donde alcanzan hasta 1.5 km de amplitud. En mareas

altas constituyen una zona de bajos y zonas someras (CCCP, 1998). Son igualmente importantes en la zona entre las bocanas del Naya, Saija, Timbiquí y Guapi.

- ❖ Los deltas de marea están representados por los depósitos de sedimentos no consolidados, que quedan expuestos durante la bajamar y se ubican en los fondos someros adyacentes a la costa y al interior de las bocanas. Su importancia geomorfológica radica en su gran extensión y en que hacen la función de disipadores de la energía del oleaje en especial en condiciones de tormenta. La presencia de los manglares definiendo la línea de costa es en buena medida una consecuencia de los deltas de marea. La constitución granulométrica varía de arenas de grano grueso a medio en los deltas de los fondos de las bocanas, a mezclas heterogéneas de arenas de grano fino, limos y arcillas, para los planos adyacentes al contorno costero.

Durante la bajamar los deltas de marea al margen de las bocanas de Guapi, Quiroga, e Iscuandé, se proyectan mar adentro por más de 2 kilómetros. En algunas de las bocanas se proyectan mar afuera por aproximadamente 1 km y sólo quedan expuestos en media marea y períodos de bajamar. Durante los pleamares se comportan como zonas de rompientes. (Martínez y González, 1996).

Las bocanas de Santa Rita, Montserrate, La Candelaria, El Coco, El cantil y el Tigre, forman grandes bajos, que en marea baja se descubren parcialmente y con zona de rompientes amplia y alejada de la línea de más alta marea. Situaciones similares de sedimentación y colmatación ocurren en las bocanas de Saija, Bubuey y Timbiquí, las cuales poseen canaletas muy estrechas para la navegación durante la marea baja. Los bajos que forman al frente de las playas de Santa Bárbara, El Tigre, Bubuey, Chacón y Cuerval pueden llegar a tener un kilómetro de amplitud. La sedimentación en ellos varía de arenas finas con lodos hacia el norte, a lodos y arenas hacia el sur (Cuerval).

Islas Barrera. Es un cuerpo arenoso elongado, localizado entre los pantanos de manglar y las playas y limitado por bocanas y estuarios. Presenta cordones litorales paralelos de 3 a 8 m de ancho y alturas de 0.5 m y espigas (Martínez y González, 1996). La morfología de las bocanas y estuarios está controlada por las corrientes mareales y la dinámica fluvial, con múltiples canales distributarios, bajos y pequeñas islas.

- ❖ En el área entre la bocana del Naya y Timbiquí se desarrolla un sistema de islas barrera con orientación preferencial N30E. Este sistema es cortado por los principales ríos de la zona, en donde conforman bocanas de diverso tamaño, entre las que se destaca el estuario de Micay, donde desemboca el río Naya y las bocanas de Santa Rita, Monserrate y El Coco (Martínez, 2000, Martínez & Carvajal, 1990), además de El Cantil, El Tigre, Saija, Bubuey, Timbiquí y Guajú, entre otras. Las islas barrera en este sector alcanzan desde 2 km hasta 11 km de longitud y un ancho

máximo de 1 km en la isla Santa Bárbara. Su altura no sobrepasa 1.5 m sobre el nivel de marea alta. En ellas se aprecian cordones litorales (beach ridges) orientados paralelos a la costa o siguiendo la dirección de terminación del cuerpo (Martínez & Carvajal, 1990).

La isla barrera de San José está constituida por lo que se conoce localmente como majagual. Está limitada en el frente hacia el mar por una playa de ancho variable entre pocos cm hasta 10 m aproximadamente, o por un acantilado o escarpe de erosión de hasta un metro de altura que demarca la línea de más alta marea y en donde se acumulan restos de madera y troncos. Así como localmente parece estarse erosionando por la acción del mar, en otros sitios se han formado grandes bajos que la protegen de la erosión y causan acreción de la misma.

A diferencia de la isla barrera de San José, la de Santa Rita está fuertemente erosionada como consecuencia de un evento marino muy fuerte que ocurrió hace aproximadamente tres años y que acumuló la arena de las playas y zona intermareal en la berma y detrás de ésta, causando el taponamiento del estero Santa Rita. Por esta razón sólo se encuentran remanentes de esta isla barrera caracterizados por un escarpe de erosión frente al mar, con árboles de comedero, una berma muy alta y pronunciada (1 o 2 m sobre la línea de más alta marea), constituida por arenas medias, con abundantes fragmentos de conchas, y una playa trasera que se extiende con arenas gruesas hasta el estero, en cuyas márgenes se desarrolla el manglar.

La isla barrera de Montserrate se caracteriza por ser una barra arenosa de 100 a 150 m de ancho, con vegetación permanente, representada por el majagual. La playa entre la línea de alta marea y más alta marea (puja) puede alcanzar máximo 5 m de ancho y se desaparece hacia la parte central a sur, donde empieza a aparecer un escarpe de erosión de 50 cm a un metro de alto, con palmeras en la playa y otras desarraigadas.

La isla barrera de Caimanero no varía mucho de la anterior. No se observan rasgos de erosión, y se desarrolla localmente un drenaje que corre paralelo a la playa y evacúa el agua de la isla barrera. El extremo sur registra acreción con el desarrollo de una punta. En la imagen de satélite del año 2000, este sector aparece como un bajo, pero ahora está emergido y tiene algo de vegetación. Por el contrario, la punta al otro lado de la bocana de Candelaria se reporta como en erosión.

La isla barrera de Candelaria era una de las mejor desarrolladas de la región. Hace 30 años tenía una amplitud promedio de un kilómetro y en ella había agricultura abundante y ganadería. Actualmente está reducida a una pequeña franja, como resultado de los procesos de erosión que han actuado sobre ella. Condiciones similares presenta la isla barrera del Coco, que actualmente está prácticamente reducida a una barra muy angosta sometida a las condiciones marinas por su condición de ser una punta que sobresale de la línea costera.

La isla barrera de Santa Bárbara es una barra arenosa con un ancho entre 50 y 100 m; la

punta norte presentaba una playa extensa de hasta 50 m que empezó a desaparecer hace 10 años aproximadamente y el año pasado en un evento fuerte terminó de erosionarse. Actualmente sólo queda una berma remanente en donde crecen árboles de comedero y que cae hacia un canal que constituía el antiguo canal del estero.

Hacia el sur de la bocana del tigre y hasta la bocana Sofía, se desarrolla una isla barrera con condiciones similares a ésta, protegida de la erosión por un amplio bajo que hace que el oleaje rompa muy lejos de la línea de costa.

La isla barrera de Chacón comienza en su parte sur en el caserío de Chacón, en donde hay un firme con cultivos y el desarrollo de una pequeña playa utilizada para el desembarco. El recorrido hacia el norte mostró una franja muy amplia, que se va estrechando hacia el norte en donde los manglares afloran en la línea de costa. A pesar de estar respaldada por un gran bajo, el sector centro sur de la isla presenta procesos de erosión acelerados, representados por vegetación seca o desarraigada, en posición de vida en la zona intermareal, escarpes de erosión de 50 cm alto, que definen la línea de más alta marea y afloramiento de lo que parecen ser antiguas superficies de erosión, conformadas por lodolitas oscuras finamente laminadas.

La isla barrera de San Miguel es una franja de majagual de aproximadamente 100 m de ancho interrumpida localmente por la presencia de manglar. En las puntas se desarrolla una playa de 5 m aproximadamente.

Un transecto realizado a través de la isla barrera del Cuerval mostró un terreno de topografía muy suave, cortado por canales; la punta norte es amplia, con vegetación inicial baja y una playa de hasta 10 m de ancho, con una berma alta bien definida por la acumulación de restos vegetales y la vegetación permanente. En las playas las conchas son muy abundantes, lo que las hace aparecer como blancas. Hay un sector de aproximadamente 500 m de largo por 100 m de ancho en donde hay manglar muerto en la zona intermareal, o zonas con palmeras desarraigadas y/o caídas en la zona intermareal, todo esto como consecuencia de la erosión fuerte ocurrida durante los últimos 20 años que ha destruido fincas cocoteras completas. El costado sur de la playa es mucho más recto que el norte y está caracterizado por la acumulación de una capa de aserrín que puede llegar a tener entre 15 y 50 cm de espesor. Esta acumulación abarca gran parte de la zona intermareal y se extiende incluso dentro de la zona de majagual. Aquí no hay desarrollo de playas como tal pues el agua en marea alta llega hasta la línea de vegetación permanente.

Las islas barrera de Bocagrande y Vaquería, La Viciosa Tumaco y El Morro e isla Gallo también se caracterizan por ser depósitos de arena finas a medias, de relieve bajo, entre 1.5 y 2 m de altura. Poseen en el frente hacia el mar playas con diferente grado de exposición a las olas y por lo tanto con características diferentes.

Plataforma de las Islas Barrera. Corresponde a la estructura sobre la cual se asienta la isla y que para el caso de Colombia no se conoce.

Frente de la Isla. Conformado por las playas y la plataforma continental hasta los 100 m de profundidad. Las playas son la expresión más notable y alcanzan hasta 400 m en marea baja; se forman espigas favorecidas por la dirección de la corriente de deriva, que a veces alcanzan los deltas de marea.

- ❖ Playas. El frente de las islas barrera usualmente está constituido por playas de arena fina y localmente media a gruesa o con gravas; sin embargo, el reciente recorrido de campo permitió verificar la ausencia casi total de las mismas, si se considera esta geoforma como supramareal. Localmente se llama playa a la extensión que queda descubierta durante la marea baja, caso en el cual, siempre habría una playa, que algunas veces alcanza 50 m. La inclinación de la playa varía entre 3° y 6° dependiendo de la granulometría del material y la energía del oleaje (Martínez & Carvajal, 1990). Alcanza un ancho de 5 a 10 m, con vegetación rastrera de pastos, dispersa y raramente desnuda. La arena es suelta, seca y con restos de vegetación. Algunas pequeñas playas que sobresalen se localizan en la punta norte de la isla Barrera de San José, en Santa Rita y Monserrate, en Caimanero, en Chacón y el Cuerval.

En las islas barrera de Bocagrande, Vaquería, isla del Morro y Salahonda las playas son afectadas por un oleaje fuerte a moderado, perpendicular a la línea de costa que forma varias líneas de rompientes. Asociadas a aguas más tranquilas y con propagación oblicua del oleaje se conocen las playas de Isla Gallo, estero Llanaje, río Chagui, río Colorado, estero Resurrección y estero Rosario, todas al interior de la Bahía y caracterizadas por tener acumulaciones de arenas y lodos. Al frente de los acantilados se desarrollan pequeños sectores de playas con granulometría gruesa e incluso bloques, como resultado del oleaje sobre el acantilado, como sucede en isla Gallo, La Chorrera, punta Laura y Curay (CCCP, 1998).

En la zona de Guapi-Iscuandè, hay ausencia casi total de playas definiendo el contorno costero, lo que se puede entender en razón del clima de olas bajo que impera en esta parte de la costa, que favorece la presencia de los pantanos de manglar definiendo la línea de costa y la acumulación de sedimentos de textura predominantemente lodosa en los planos de bajamar. Las playas son de extensión y amplitud reducida y sólo una porción pequeña de ellas permanece emergida por encima de los niveles de pleamares máximas. El material constituyente son arenas de grano medio a fino con un contenido alto de material bioclástico. Por su posición de terreno firme no inundable y su ubicación estratégica cercana a las bocanas, las tres playas identificadas, Obregones, Juanillo y Ensenada sirven de asentamiento a pequeños poblados.

2.1.1 Amenazas de Origen Geológico

La zona de estudio está sujeta al impacto potencial de una diversidad de amenazas naturales, con periodos de recurrencia largos, derivados de la alta sismicidad del área y

algunas con periodos de recurrencia más cortos, asociadas a otros fenómenos geológicos. La zona de subducción originada por la convergencia de las placas de Nazca y Sur Americana, es la fuente de la alta sismicidad. Entre las amenazas que originan la alta sismicidad se encuentran, además de sismos destructores, tsunamis, subsidencia tectónica, y licuación del suelo.

Amenazas originadas por otros procesos geológicos para el área incluyen el fenómeno del ENSO que trae consigo inundaciones y erosión de la línea de costa, procesos que también se presentan aislados de este fenómeno.

- ❖ Amenaza por Erosión de la Línea de Costa. En el área de estudio, la línea de costa se encuentra sujeta a una serie de procesos físicos complejos asociados al oleaje fuerte de mar abierto, al Fenómeno del Niño, que produce aumentos temporales del nivel del mar del orden de 30 cm, o la ocurrencia de sismos que han generado tsunamis y subsidencia del terreno de 30 a 40 cm. Bajo estas condiciones, la constante en la línea de costa debería ser una tendencia erosiva generalizada, evidenciada por rasgos erosivos como árboles derribados, substrato de manglar expuesto, o escarpes erosivos. Sin embargo no toda la zona tiene este comportamiento, por el contrario, hay zonas con acreción o aparentemente muy estables.

Las áreas más vulnerables a la amenaza por erosión son las islas barrera y las playas arenosas localizadas al frente de las mismas (CCCP, 1998). Los procesos erosivos detectados en la zona costera del Cauca, son destrucción de manglares y acción erosiva de las olas con formación de escarpes de playa, árboles caídos, afloramiento de substrato de manglar y plataformas de abrasión y playas muy angostas. La inestabilidad es generalizada en este sector de la costa, en donde se percibe un retroceso continuo, favorecido por hundimiento diferencial de la zona costera, configuración batimétrica o acción de corrientes (Martínez & Carvajal, 1990). Es de anotar, sin embargo, que también los procesos de sedimentación son muy altos y conforman bajos muy extensos no sólo a nivel de las bocanas sino a lo largo de la zona costera, cambiando la dinámica marina y su aproximación a la costa.

Se destacan por los procesos erosivos, las áreas al sur de la bocana de Santa Rita, Candelaria, El Coco. Sectores en acreción se presentan en la punta Caimanero principalmente y el Cuerval al norte. En la ensenada de Tumaco se presentan procesos erosivos en las islas Bocagrande, Vaquería, La Viciosa, El Morro y Salahonda, siendo más significativos en Bocagrande y el sector de playas al noreste de la isla El Morro y la playa de Pasacaballos (CCCP, 1998). Para la isla del Morro se ha registrado un proceso de erosión progresivo en su costado noroccidental originado a partir de los eventos de diciembre/79 (tsunami) y El Niño del 82/83.

- ❖ El fenómeno El Niño es importante porque trae consecuencias sobre el clima y aumenta el nivel del mar, razón por la cual las zonas expuestas a la acción directa del oleaje son más vulnerables, entre ellas Bocagrande, Vaquería, El Morro, Salhonda,

San Juan de la Costa y Pasacaballos. También han resultado afectadas por este fenómeno las playas Obregones y Juanillo, con una reducción en su amplitud y la presencia de árboles muertos o derribados y lavado de arena documentado por la presencia de abanicos recientes, en la parte trasera de la playa Juanillo (sector central (CCCP, 1998).

- ❖ Amenaza por Inundaciones. Las inundaciones en la zona de estudio son un fenómeno común que se presentan de manera regular asociadas a cada pleamar. Por lo tanto su ocurrencia, duración y alcances son en cierto grado predecibles, gracias a lo cual, los habitantes de la zona han aprendido a convivir con ellas. En este sentido las inundaciones pudieran no considerarse como una amenaza geológica; sin embargo, se han incluido en este listado por la gran extensión de terrenos que se inundan dos veces diarias, o porque en ocasiones su magnitud no es predecible debido a una combinación de altas mareas y altas descargas fluviales, en temporada de lluvia.

En los años en que se tiene incidencia del Fenómeno de El Niño, el alcance de las mareas es mayor, y por ende es mayor el sector que se inunda, llegando incluso a cubrir áreas de la unidad de terrazas bajas. Las inundaciones son de corta duración; una vez que la marea comienza a bajar el nivel de inundación desciende rápidamente hasta el nivel de bajamar sin que el agua permanezca retenida.

Independientemente de las mareas, se producen inundaciones por eventos extremos de lluvia, marejadas o tsunamis. La amenaza por inundaciones en Guapi, ubicada sobre una terraza baja, que sobresale algo más de un metro por encima del nivel de pleamares máximas, es baja. Allí los habitantes no recuerdan para los últimos 30 años una inundación de gran magnitud. En Iscuandé la amenaza por inundación es similar a Guapi, la terraza sobre la que se construyó la población sobresale menos de un metro sobre el máximo nivel de represamiento del río. Allí tampoco se reportan grandes inundaciones, aún en años de impacto por el Fenómeno del Niño. En timbiquí hay amenaza por desbordamiento del río por lo menos una vez año, a veces llega a tener repercusiones económicas importantes.

En algunos sectores de La Viciosa y la isla El Morro se presentan inundaciones en terrenos que están deprimidos y casi siempre asociadas a periodos de lluvias (CCCP, 1998). Es de anotar que el hundimiento de 30 - 40 cm del terreno, producido por el sismo de 1979, aumentó de manera significativa el área de terrenos inundables, y en consecuencia redujo el área de los terrenos no inundables.

- ❖ Amenaza Sísmica. En la costa Pacífica colombiana, la zona de mayor actividad sísmica se encuentra entre 1°N y 4°N y 78°W y 80°W, lo que implica que toda el área de estudio está bajo riesgo sísmico alto, como lo han reportado los registros históricos y los recientes obtenidos por el Observatorio sismológico del suroccidente, OSSO, desde 1987 (CCCP, 1998). Los eventos sísmicos registrados de mayor magnitud son los ocurridos en 1778, 1836 y 1868, más los reportados en

este siglo en Enero 31/1906, con magnitud de 8.9° en la escala de Richter, Enero 19/1958 con magnitud de 7.8°, febrero 2/1958 con magnitud de 6.9° y Diciembre 12/1979, con magnitud de 7.9°.

- 1906 Tumaco, 31 de Enero. Hora local 10 y 35. Se presenta un sismo con epicentro localizado en el océano a Lat. 1o N, long. 81.5 o W y a una profundidad de 40 km. Este sismo hizo historia dado que se le considera como el tercer sismo que más energía cinética ha liberado en la historia sísmica del mundo. Se le asignó una magnitud de 8.9° en la escala de Richter (Ramírez y Goberna, 1980; Szirtes 1911). Este sismo fue sentido a lo largo de toda la Costa Pacífica entre Ecuador y Panamá, y causó los peores destrozos entre Tumaco y Buenaventura. Szirtes (1911) narra: . . . entre Tumaco y Guapi era imposible permanecer en pie sin apoyo de algún objeto y el movimiento del piso duró 5 minutos.
- 1958. Dos nuevos sismos destructores afectaron las costas ecuatorianas y colombianas, el 19 de Enero y el 1 de Febrero. El primero con epicentro localizado a Lat. 1o 20' N y Long. 9o 35' W; su magnitud fue de 7.8° y su profundidad de 60 km. Aunque no se reportaron muertos, este movimiento produjo enormes destrozos en algunas construcciones. El segundo no fue muy fuerte en Colombia, tuvo una magnitud de 6.9° y una profundidad de 33 km.
- 1979, 12 de Diciembre. Se presenta un sismo de magnitud 7.9° y profundidad 33 km con epicentro localizado a Lat. 1o 6' N y Long. 79o 4'. Este sismo causó numerosos muertos y daños materiales graves a lo largo de la costa desde Tumaco hasta Guapi. Entre las poblaciones más seriamente afectadas en la zona de estudio aparecen: Cuerval, Currupí, Vuelta Larga y Sequihondita. La mayoría de las víctimas, sin embargo, las produjo el maremoto que sobrevino a los pocos minutos.

Según se deduce de los recuentos de los tres sismos mencionados arriba y dada la proximidad del área de estudio a la principal fuente sísmica de Colombia, (fosa Colombo-Ecuatoriana) y el potencial que ésta tiene para generar sismos de gran magnitud (6.1° - 8.9°) y foco somero a intermedio (30 - 70 km), se puede afirmar que la zona de estudio se encuentra situada en un área de una alta amenaza sísmica.

Amenaza por Tsunamis. Asociados a algunos de estos eventos sísmicos se han reportado dos tsunamis en las poblaciones de la zona de estudio (hasta varios kilómetros aguas arriba de la costa), que se manifestaron por la llegada súbita de varias ondas de 1 a 2 m que tomaron el cauce de los principales ríos causando inundaciones y algunos daños.

Tsunamis en forma de una gran ola rompiente de varios metros de altura, sólo parecen haber impactado tramos de la línea de costa, sin que se tengan recuentos precisos de la altura de la ola.

Esta situación ha obligado a un estudio detallado de riesgo por tsunami en Tumaco y otros sectores poblados cercanos, que han arrojado los niveles de riesgo para los distintos sectores, dependiendo básicamente de la topografía del terreno. Se definieron como de alto riesgo los sectores noroeste y norte de la zona costera de Tumaco: islas Bocagrande, Vaquería, Tumaco-Viciosa, El Morro, Salahonda, Salahondita, San Juan de la Costa y Pasacaballos (CCCP, 1998).

Amenaza por Subsistencia. Asociado al sismo de magnitud 7.9 ocurrido el 12 de diciembre de 1979 frente a la costa de Tumaco, se pudo comprobar, por comparación entre los niveles de marea, anterior y posterior al sismo, un hundimiento súbito o subsistencia tectónica de toda la costa sur del Pacífico desde la Bocana de Guapi hasta el Sur de Tumaco (Ramírez y Goberna, 1980; Herd et al., 1981). El hundimiento aparentemente ocurrió en el momento del sismo, pero sólo durante la pleamar siguiente, pudieron los habitantes de la costa percatarse de la ocurrencia y magnitud del evento. Árboles, arbustos y palmeras quedaron parcialmente sumergidos y varios caseríos ubicados sobre la costa o a poca distancia de ésta se inundaron. La magnitud del hundimiento no fue uniforme a lo largo de la costa; Herd et. al., (1981) reportaron valores máximos de 1.6 m para la población de San Juan de la costa y de 0.25 - 0.30 m para el área de la Bocana de Guapi.

Otro de los efectos del terremoto de 1979 fue la licuación de suelos, reportada en los municipios de Tumaco y el Charco y en varios tramos de la costa. Herd et al., (1981) observaron los restos de un gran cono de arena en una de las bocas del Río Patía, que alcanzó 5 m de diámetro, y pudieron documentar en Tumaco, edificios que se hundieron un metro.

2.1 Literatura Citada

- CCCP, Centro de Control de la Contaminación del Pacífico. 1998. Proyecto Caracterización y evaluación zona costera del Pacífico colombiano. Fase III Departamento del Cauca. Anexo 4 Cambios en la línea de costa de Tumaco. Jefe del proyecto C.C. Eduardo Montagut Cifuentes.
- Correa, Iván D. & Vernet, Georges, en prensa. Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá. (Sector ArboletesTurbo). Costa Caribe Colombiana.
- Díaz, J.M., L.M. Barrios, M.H. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. López-Victoria, G.H. Ospina, F. Parra-Velandia, J. Pinzón, B. Vargas-Angel, F.A. Zapata y S. Zea, 2000. Áreas Coralinas de Colombia. INVEMAR. Serie publicaciones especiales No. 5. Santa Marta, 176 p.
- Geister, Jörn, 1973. Los arrecifes de la isla de San Andrés (Mar Caribe, Colombia). En: Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de investigaciones Científicas Punta Betín. Santa Marta, No. 7, pp 211-228.
- Herd, D.G., Youd, L., Meyer, H., Arango, J.L., Person, W.J. Mendoza, C., 1981. The great Tumaco,

- Colombia earthquake of 12 December 1979: *Science*, v.211, p. 441-445.
- INGEOMINAS, Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química, 1996. Estudio de las amenazas geológicas de la isla de San Andrés. Bogotá, 90 p.
- INVEMAR. 2003a. Estudio de los procesos costeros que toman lugar en las inmediaciones de Paso Nuevo, La Rada, Cristo Rey, Puerto Escondido, Los Córdoba y Puerto Rey Múnico, en la costa cordobesa.
- INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, 2004. Posibilidad de Reconstrucción de punta Arboletes. Informe Técnico presentado por Programa de Geociencias Marinas y Costeras GEO, para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MVADT. Marzo 4 de 2004.
- INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, 2004. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2003. Santa Marta, Colombia. Serie de publicaciones periódicas, Número 8. Junio de 2004.
- Martínez G., Carlos Humberto. 2000. Características geológicas y amenazas naturales en el municipio de López de Micay. Esquema básico de ordenamiento territorial. Diagnóstico. Popayán, 70 p.
- Martínez Jaime O. & Carvajal, José H. 1990. Problemas geológicos asociados a la línea de costa de los departamentos del Cauca, Nariño y Valle; Geomorfología y riesgos geológicos. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras, oficina regional del Pacífico. Pp 51-81.
- Martínez, Jaime O. & González, Juan Luis. 1996. Evolución histórica de las islas barrera del sector de Buenaventura y el Naya. Investigación ganadora del premio nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. INGEOMINAS. Bogotá, 103 p.
- Mazorra, John, 2004. Geomorfología y Dinámica de la franja costera entre punta Arboletes y Cristo Rey, Departamento de Córdoba. Tesis de pregrado para optar por el título de Geólogo. Santa Marta.
- Molina L; Pérez, F; Martínez, J; Franco, J; Marín, L.; González, J. y J. Carvajal. 1998. Geomorfología y Aspectos Erosivos del Litoral Caribe Colombiano. Publicación Geológica Especial de INGEOMINAS, 21: 1-73.
- Page, W. 1986. Geología, sísmica y sismicidad del noroeste de Colombia. Inf. Woodward-Clyde para ISA. Medellín.
- Page, W. 1986. Geología, sísmica y sismicidad del noroeste de Colombia. Inf. Woodward-Clyde para ISA. Medellín.
- Posada D., Luis A. 1992. Estudio y levantamiento de la cobertura forestal, estudio de la tierra y zonificación general preliminar de la costa Pacífica del departamento de Cauca. Informe técnica preparado para la Corporación para la Reconstrucción del Departamento del Cauca, CRC. Bogotá, 93 p.
- Ramírez, J.E. y Goberna, J.R., 1980. Terremotos colombianos noviembre 23 y diciembre 12 de 1979. Instituto Geofísico de los Andes Colombianos. 45 p.

- Rangel B., Nelson G., 2004, Estudio Geológico de los Procesos que tienen lugar en la Zona Marino Costera del Sector Cristo Rey - Paso Nuevo, Departamento de Córdoba. Tesis de Pregrado para optar por el grado de Geólogo. Santa Marta.
- Restrepo J.C., 2001. Geomorfología y análisis de las variaciones de costa de la zona norte del golfo de Morrosquillo y archipiélago de San Bernardo, Caribe colombiano. Trabajo de grado. Facultad de ciencias exactas, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. 183 p.
- Salazar Ramiro, 2003. Caracterización oceanográfica y meteorológica de punta Hansa “Hotel Aquarium” San Andrés Caribe Colombiano.
- Universidad EAFIT, 2001. Proyecto erosión marina en el litoral Antioqueño. Sector Turbo Arboletes. Causas y estrategias de prevención y mitigación. Mapa geomorfológico, escala 1:10.000.
- Universidad Nacional de Colombia, 1998. Evaluación de zonas de erosión críticas en el litoral Caribe colombiano. Informe final preparado para CORPOURABÁ. 199 P. Medellín.
- Vernette, G. 1985. La plate-forme continentale caraïbe de Colombie. Importance du diapirisme argileux sur la morphologie et la sédimentation. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Bordeaux-1, 387p.
- Vernette, G., Mauffret, A., Bobier, C., Briceño, L. and J. Gayet. 1992. Mud diapirism, fan sedimentation and strike-slip faulting, Caribbean Colombian Margin. *Tectonophysics*, 202, 335-349.