

Contribución antropogénica a los cambios geomorfológicos y evolución reciente de la costa Caribe Colombiana

Human contribution in the geomorphological changes and short-term evolution of the Colombian Caribbean coast

Recibido para evaluación: 13 de Marzo de 2009

Aceptación: 1 de Julio de 2009

Recibido versión final: 24 de Julio de 2009

Nelson Rangel- Buitrago¹

RESUMEN

La evolución reciente del Caribe colombiano está asociada, entre otras causas, a una marcada influencia antropogénica sobre la morfología litoral. A lo largo de los 30 municipios costeros que conforman esta región, se encuentran áreas intervenidas por el hombre que al mismo tiempo son afectadas por retrocesos significativos en su línea de costa. La tendencia erosiva predominante es influenciada y multiplicada, en muchos de los casos, por una expansión humana desorganizada y los fenómenos que ésta trae consigo. Un análisis general en algunas áreas permitió identificar acciones realizadas por el hombre, su influencia e sus impactos negativos sobre la geomorfología y evolución reciente del sistema litoral.

PALABRAS CLAVE: Modificaciones antrópicas, Morfología, Erosión, Procesos costeros, Costa Caribe, Colombia.

ABSTRACT

The recent coastline evolution in the Colombian Caribbean coast is associated, among other causes, with an obvious anthropogenic influence over the littoral morphology. Along the 30 coastal cities of this region, there are areas intervened by the man, that the same time are affected by significant setbacks in their coastline. The predominant erosive trend was influenced and affected, in a lot of cases, by a chaotic human expansion and their troubles associated. General analyses in some areas allowed identify the anthropic actions, their influence and negative impacts over the morphology and recent evolution of the littoral.

KEYWORDS: Human modifications, Morphology, Erosion, Coastal process, Caribbean coast, Colombia.

1. Geólogo, Candidato M.Sc. Ciencias de la Tierra
Investigador Asistente - Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INIVEMAR).

*nrangelb@invemar.org.co
nrangelb@gmail.com*

1. INTRODUCCIÓN

Una tendencia erosiva y/o acumulativa en un sistema costero no es más que el resultado final de las modificaciones geomorfológicas al paisaje, causadas por fenómenos regionales y locales que intervienen en diversos dominios de tiempo. En la historia reciente del Caribe colombiano se han presentado tendencias erosivas importantes que se encuentran asociadas a factores tales como:

- Falta de sedimentos capaces mantener "nutridas" o dar origen a nuevas playas,
- Cambios en las condiciones hidrodinámicas,
- Ascenso en el nivel del mar,
- Fenómenos geológicos regionales - locales, e
- Intervenciones antrópicas.

Autores como Franco & Gómez (1996), Delgado (2002), Posada (2002), Ordóñez (2002), González & Guarín (2003), Correa & Vernet (2004), Rangel & Posada (2005), en estudios realizados en diferentes áreas del Caribe colombiano, señalan que las intervenciones antrópicas son un factor determinante en los cambios geomorfológicos y las tendencias erosivas actuales.

Teniendo en cuenta que la población de los municipios ubicados sobre la costa Caribe colombiana corresponde al 8% de la población total del país (UNDP, 2008), es de vital importancia conocer el impacto negativo del hombre en la morfología y evolución del sistema costero. Por esta razón, se ilustran en este trabajo algunas de las modificaciones geomorfológicas dadas sobre la costa Caribe colombiana a causa de intervenciones antrópicas y su influencia sobre las tendencias evolutivas actuales.

2. GENERALIDADES

El Caribe colombiano se encuentra al extremo noroeste de Suramérica y se extiende desde el golfo de Urabá en los límites con Panamá hasta Castilletes en los límites con Venezuela presentando una longitud aproximada de 1650 km de línea de costa (Figura 1). Administrativamente, está conformado por los departamentos de Antioquia, Córdoba, Sucre, Bolívar, Atlántico, Magdalena, La Guajira y San Andrés y Providencia que sumados representan 30 municipios costeros que albergan aproximadamente 3'532.883 habitantes (UNDP, 2008).

Fisiográficamente, un alto porcentaje de la costa está dentro de la denominada Llanura del Caribe que se encuentra al norte de las cordilleras occidental y central (INGEOMINAS, 1996). Se caracteriza por la presencia de un relieve plano a levemente ondulado que exhibe en algunos sectores colinas con bajas alturas. Dentro de esta gran llanura se destaca la Sierra Nevada de Santa Marta (S.N.S.M) que aparece como un macizo montañoso de 5760 m.s.n.m que corta de forma abrupta la uniformidad presentada por el paisaje.

El clima está definido por la presencia de dos períodos húmedos y dos secos debido a la influencia del desplazamiento de la zona de convergencia intertropical (ZCI). Datos suministrados por el HIMAT para el intervalo de tiempo 1969- 1992 indican que los valores de temperatura media multianual presentan una variación de 2.2° C, mientras que las precipitaciones medias multianuales varían significativamente de 2217 mm en Turbo - Antioquia a 450 mm en Nazareth-La Guajira (INGEOMINAS, 1996).

El oleaje presenta una dirección N- NE para la época seca, mientras que en la época húmeda, la dirección es variable entre NE y SW; las alturas de ola se encuentran en un intervalo de 1- 1.5 m, que puede alcanzar los 3 m durante épocas de tormentas y mareas de leva (INVEMAR, 2003). El régimen de mareas es mixto de tipo semidiurno con amplitudes máximas de 50 cm.

Morfológicamente el litoral Caribe se destaca por una gran variedad de unidades y geoformas que pueden dividirse en unidades de costas altas y unidades de costas bajas. Dentro de las unidades y geoformas asociadas a costas altas, se destacan montañas, colinas, terrazas



marinas y plataformas de abrasión, mientras que dentro del grupo de unidades y geoformas bajas, se destacan las llanuras costeras, playas, pantanos de manglar, lagunas costeras y campos de dunas.

3. METODOLOGÍA

El estudio de la influencia de las actividades antrópicas en las unidades geomorfológicas y de su relación con la evolución reciente del Caribe colombiano requirió la utilización de un método que permitiera combinar una perspectiva espacio-temporal semidetallada. Para esto se realizó un análisis general del funcionamiento de algunas áreas, como Punta Arboletes, Paso Nuevo, La Rada, El Rodadero, Riohacha, Manaure, San Andrés Islas (Figura 1), con base en fotografías aéreas georeferenciadas y no georeferenciadas, trabajos previamente realizados y conocimiento personal adquirido mediante salidas de campo.

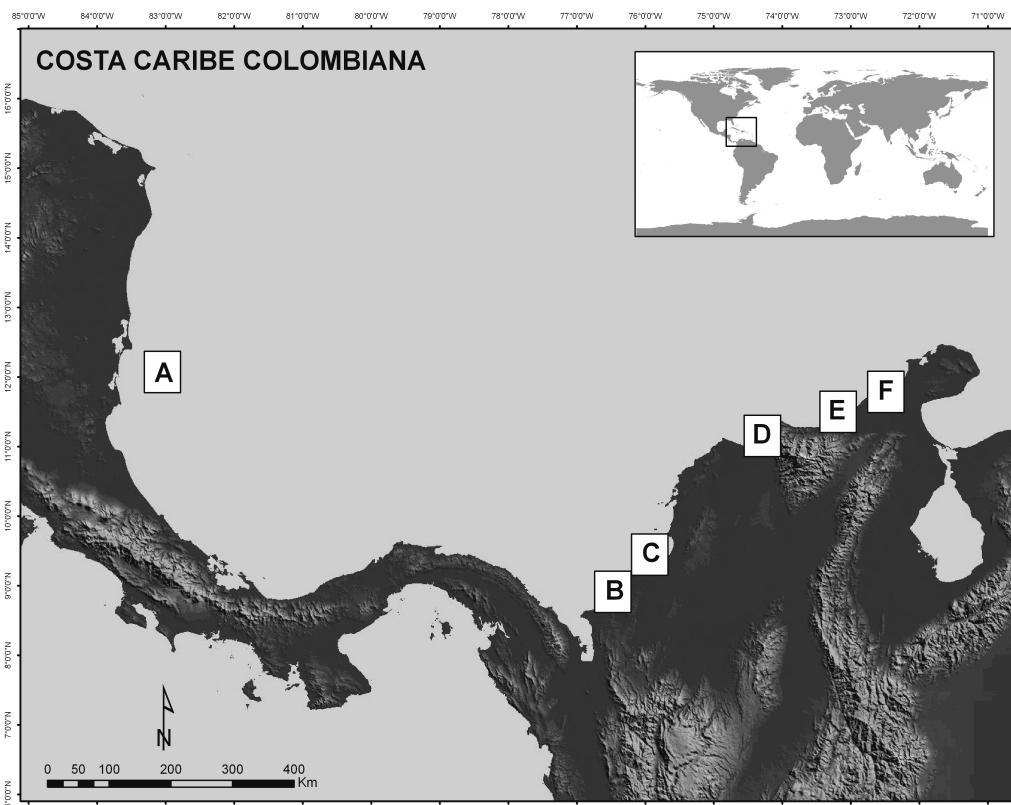


Figura 1. Localización general de la costa Caribe colombiana y de las zonas de estudio involucradas en esta investigación. A) San Andrés y Providencia, B) Punta de Arboletes (Antioquia-Córdoba), C) Paso Nuevo- La Rada (Córdoba), D) El Rodadero (Magdalena), E) Riohacha (La Guajira), F) Manaure (La Guajira). Imagen tomada de SRTM Worldwide Elevation Data.

El primer paso en el proceso de análisis consistió en realizar una selección de vuelos teniendo presente que los intervalos fueran suficientes para determinar algún tipo de variación (Tabla 1), y en este caso, variaciones influenciadas por el hombre. Para esto todas las fotografías aéreas disponibles fueron escaneadas, georeferenciadas y rectificadas para así eliminar los problemas de distorsión (Lillesand & Kiefer, 1987; Crowell et al., 1991; Chuvieco, 2000; Moore 2000). Toda la información fue llevada a un mismo sistema de coordenadas, siendo empleado el sistema UTM, Datum Bogotá. El número de puntos de control usados varió de una fotografía a otra (Intentando siempre usar entre 10 y 15 puntos), mientras que su posición fue asignada a puntos de fácil ubicación y perdurables en el tiempo (Thieler & Danforth, 1994).

Tabla 1. Fotografías empleadas para la realización de análisis multitemporales.

IMAGEN	AÑO	ESCALA	ÁREA
C-2687	2003	1:43000	Riohacha
R-137	1947	1:35000	Riohacha
C-1358	1951	1:25000	Manaure
Imagen Landsat	2003	-	Manaure
M-15	1954	1:50000	Santa marta
Imagen Ikonos	2005	-	Santa marta
M-1228	1953	1:35000	Punta Arboletes
M-1169	1962	1:60000	Punta Arboletes
R-683	1974	1:40000	Punta Arboletes
Imagen Landsat	2003	-	Punta Arboletes

El error asociado a la distorsión de las fotografías (Dolan et al., 1980; Crowell et al., 1991; Anders & Byrnes, 1991; Moore 2000) fue controlado en los documentos con estimaciones visuales que comparaban la fotografía aérea georeferenciada con un mapa base. De igual forma se empleó el error medio cuadrático (RMSE) que fue calculado usando todos los puntos de control para cada fotografía utilizada, arrojando valores de precisión de 1 m. Debido a que la reconstrucción de las condiciones maréales en el momento en que fue tomada la foto, no fue posible, se asumió que la posición de la línea de marea está sujeta a una incertidumbre máxima de 8 m., teniendo en cuenta la pendiente intermareal de cada una de las zonas (Dolan et al., 1980; Ordóñez, 2002; Rangel & Anfuso, 2009). Los efectos del oleaje no fueron considerados debido a que no se observaron condiciones de tormenta en ninguna de las fotografías aéreas. Un error adicional de posición de la línea de costa se determinó con una precisión de 3 m., debido a las dificultades y limitaciones de las fotografías asociadas con su resolución espacial. Una vez disponibles todas las líneas de costa, y para el cálculo de las tasas de erosión/acumulación, se midieron las respectivas distancias entre ellas, empleando la extensión de ARCGIS denominada Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Esta aplicación desarrollada por el Servicio Geológico Norteamericano (USGS) calcula parámetros estadísticos que indican el estado y las tendencias evolutivas para períodos específicos de tiempo (Thieler et al., 2005).

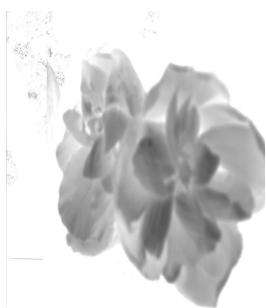
4. RESULTADOS

Para un mayor entendimiento de la influencia antropogénica sobre la morfología del Caribe colombiano, se escogieron los sectores de Punta de Arboletes en el departamento de Antioquia, los corregimientos de Paso Nuevo y La Rada en el departamento de Córdoba, el balneario de El Rodadero en el departamento del Magdalena, Riohacha y Manaure en La Guajira y el territorio insular de San Andrés y Providencia, debido a que son áreas con fenómenos expansivos significativos y afectadas por serios procesos de erosión.

4.1. La Punta de Arboletes (Departamento de Antioquia)

El municipio de Arboletes, con una extensión de 710 km², se encuentra ubicado al NW del departamento de Antioquia, a orillas del Mar Caribe y a un extremo de la Serranía de Abibe- Las Palomas. Esta porción de costa está dominada por terrazas marinas que oscilan entre los 0.50 y 35 metros de altura sobre el nivel medio del mar y algunas playas que no superan los 10 metros de ancho.

Para inicios del siglo XX, como rasgo geomorfológico más importante en el sector, se destacaba la punta de Arboletes que se adentraba con una tendencia SW aproximadamente 1.5 km hacia el mar sirviendo como un "espolón natural" y resguardando un amplio sector de playas, ubicado hacia el sur en la cabecera municipal de Arboletes. Para algunos habitantes, la mencionada geoforma se convertía en un obstáculo a la hora de trasladarse hacia las poblaciones ubicadas al norte del municipio. Por esta razón decidieron realizar un canal que permitiera un



rápido y económico desplazamiento entre áreas vecinas. La realización de este canal fue posterior al año de 1953 y para el año de 1974, gran parte de la punta se erosionó trayendo consigo la pérdida de terreno y favoreciendo serios desequilibrios en la zona costera adyacente. (Figura 2)

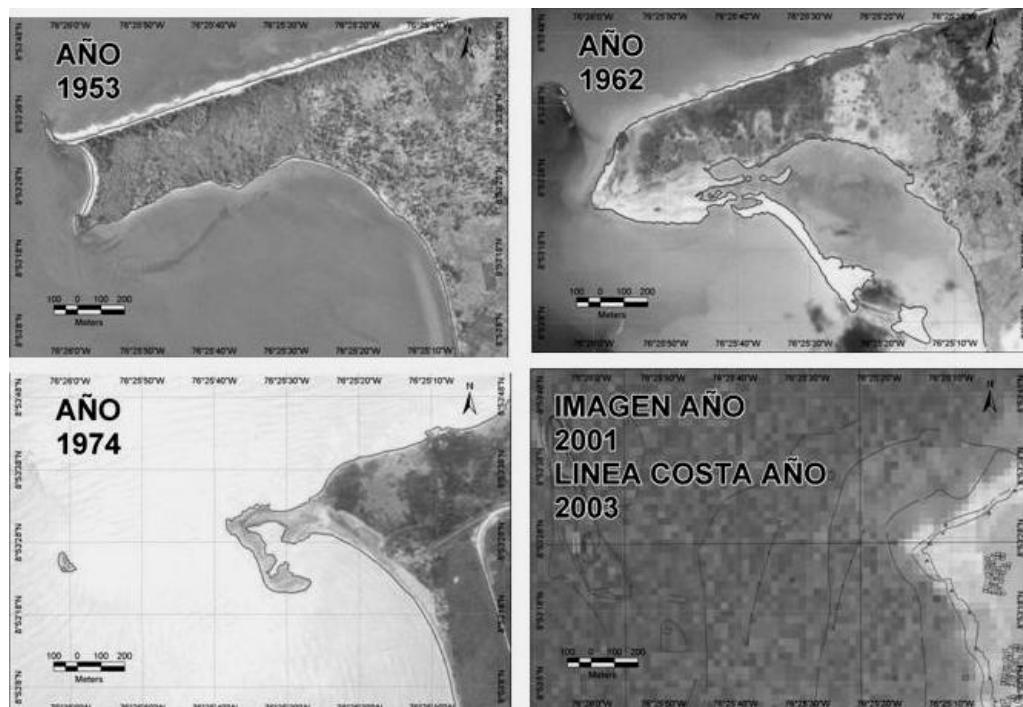


Figura 2. Evolución histórica de la Punta de Arboletes desde el año de 1953. La evolución y los cambios de la punta estuvieron estrechamente ligados a fenómenos de tipo antropogénico. (Imagen: INVEMAR).

A la par con el aumento del fenómeno erosivo, se dio una expansión humana que permitió la fundación del corregimiento de Puerto Rey- Minuto, un asentamiento humano que hasta nuestros días es afectado por el retroceso de su área litoral. El problema se hace mucho mayor ya que la expansión de este corregimiento se ha dado sin ningún tipo de diseño y organización; el asentamiento no cuenta con un sistema de alcantarillado óptimo; y todas las aguas residuales están siendo arrojadas sobre la terraza marina, produciendo así un incremento de la erosión por las aguas de escorrentía.

En la actualidad el problema persiste y un número considerable de habitantes del corregimiento de Puerto Rey- Minuto es afectado por el fenómeno erosivo. En la zona se presentan desplazamientos de hasta -1.5 m/año (Mazorra, 2004; González, 2007). Las autoridades trabajan para encontrar soluciones que permitan contrarrestar las pérdidas sufridas por la erosión litoral. Sin embargo, el trabajo es estropeado nuevamente por el hombre ya que en su afán de solucionar un problema muy puntual como es el deterioro- disminución de un territorio privado en particular, construye obras de defensa (espolones), lo que trae consigo desequilibrios mucho mas graves. (Figura 3)



Figura 3. Destrucción de estructuras a causa de la erosión litoral. A la derecha, se observa una serie de pentapodos usados como medida para contrarrestar la pérdida de terreno. Esta imagen corresponde al sitio que antes era la punta de Arboletes

4.2. Paso Nuevo- La Rada (Departamento de Córdoba)

Al norte del departamento de Córdoba, se encuentran los corregimientos de Paso Nuevo y La Rada que, a pesar de ser dos áreas que en total no superan los 5.000 habitantes, reflejan cómo el hombre puede llegar a modificar el entorno y a favorecer un fenómeno tan complejo como lo es la erosión litoral.

Antes de la existencia de estos dos corregimientos (principios del siglo XX), la zona se caracterizaba por presentar terrazas fluviomarinas con acantilados de hasta 5 metros de altura, extensos pantanos de manglar, amplias playas y zonas de playones. De igual forma, en su plataforma contigua, se encontraba un extenso bajo formado por hallimedas opuntia, un alga calcárea de suma importancia en el balance sedimentario ya que aporta cantidades suficientes de sedimento biogénico capaz de formar playas.

Para la creación de estos corregimientos, se talaron y llenaron gran parte de los pantanos de manglar y allí fueron edificadas las viviendas que paulatinamente se extendieron hacia la zona litoral. La expansión trajo consigo la destrucción de los acantilados ocasionada, en gran parte, por el vertimiento de las aguas residuales sobre éstos; y la erosión condujo a la pérdida de terreno, hasta el punto de que muchas de las casas han sido destruidas por la acción directa del oleaje. (Figura 4)



Figura 4. Acantilados en estado de erosión en el sector de Paso Nuevo. La imagen de la derecha muestra stacks de roca que sirven como evidencia del retroceso del sector litoral.

Además de las variaciones en la morfología de la zona, el hombre fue el causante de desequilibrios importantes en el balance sedimentario. Como primer ejemplo, se tiene el bajo ubicado al frente de Paso Nuevo: el ecosistema que allí se encontraba, se vio seriamente afectado y modificado por la explotación y el constante paso de lanchas que se desplazan hacia la Isla Fuerte. La transformación del ecosistema que servía como fuente de material biogénico fue creando un desbalance importante en el sedimento formador de playas.

Hacia el sur, la explotación de arenas pertenecientes a las terrazas fluviomarinas no sólo trajo consigo pérdidas significativas de terreno hacia el mar, sino también serios desajustes en los aportes sedimentarios que en la actualidad se ven reflejados con el retroceso del litoral.

En la actualidad, la erosión litoral es común en este sector de costa perteneciente al departamento de Córdoba; trabajos realizados por Rangel (2004), Rangel & Posada (2005), González (2007) muestran tanto los cambios previamente enumerados en la morfología del sector como tasas de erosión que alcanzan valores de hasta -2 m/año.

4.3. Balneario de El Rodadero (Departamento del Magdalena)

El balneario de El Rodadero se encuentra ubicado en los 11° 12' de latitud norte y 74° 14' de longitud oeste y hace parte de la cabecera municipal del municipio de Santa Marta, capital del departamento del Magdalena. Desde el año 1960 y con una mayor intensidad a partir de 1965, se ha convertido en uno de los balnearios preferidos durante ciertas épocas del año por los turistas colombianos y extranjeros que visitan el Caribe.

En 1950 el Rodadero era una porción de costa formada por playas, dunas, cordones litorales y una llanura costera que se extendía hasta los 500 m tierra adentro. Durante esta época, el sector era un lugar de pesca para algunos de los habitantes del corregimiento de Gaira. Sobre la playa se encontraban algunos ranchos dispersos que servían de abrigo entre las faenas de pesca y esporádicamente daban albergue a turistas de fin de semana. A finales de los 50's y a partir de esta fecha, cada vez con una mayor intensidad, El Rodadero se ha convertido en el balneario preferido por los habitantes de las ciudades de Santa Marta y Barranquilla durante los fines de semana y días feriados (Mertins, 1972).

Este auge turístico trajo consigo una rápida expansión humana con el fin de obtener un provecho económico. La primera obra realizada fue la construcción de la vía que comunica El Rodadero con Santa Marta que al mismo tiempo tiene conexión con los municipios de Ciénaga y Barranquilla. Autores como Mertins (1972) y Kellet (1997) hablan de tres etapas de expansión de El Rodadero; en este trabajo se sugieren cinco posibles etapas (Figura 5):



Figura 5. Cambios geomorfológicos (destrucción de dunas, cordones litorales y zonas de playas) en el sector de El Rodadero, cabecera municipal de Santa Marta. Estas modificaciones se deben al fenómeno expansivo del sector.

Primera etapa: Construcción de vías de acceso y levantamiento del hotel Tamaca, con obras realizadas y puestas en funcionamiento entre 1957 y 1959.

Segunda etapa (1964): Construcción de una quinta parte de los hoteles actuales, la tercera parte de casas privadas y el 16 % de edificios de propiedad horizontal (Mertins, 1972).

Tercera etapa (1971): Desarrollo de las principales construcciones: 60% de hoteles, 85% de edificios de propiedad horizontal, colonias de "bungalows" y aproximadamente el 50% de casas privadas. Para esta época, la zona de dunas y cordones litorales fue destruida y reemplazada por edificios de propiedad horizontal que para 1971, alcanzaban los 15 pisos.

Cuarta etapa (década de 1980): Los cambios geomorfológicos que se dieron en el área, trajeron consigo desequilibrios importantes que se manifestaron con la erosión litoral. Ante la preocupación de las autoridades ante la inminente entrada al mar, para el entonces perímetro urbano, fue propuesto el dragado de sedimentos con fines de regeneración de playas. En 1985, la empresa china HARBORS INGENIERING COMPANY efectuó la alimentación artificial mediante un relleno hidráulico utilizando una draga que desplazó aproximadamente 600.000 m³; éste se hizo de norte a sur y de afuera hacia adentro en toda la bahía, formando una playa de por lo menos 1100 m de largo y 60 m de ancho, doblando casi la existente (Garavito, 1988).

Quinta etapa (actualidad): La zona costera se encuentra en su totalidad invadida y modificada, además de sobreexplotada durante los fines de semana, festivos y épocas de vacaciones. El exceso en la capacidad de carga trae consigo serios problemas de índole ambiental como la falta de agua y la saturación en los sistemas de alcantarillados. El impacto paisajístico es grave y se está presentando un decaimiento en la calidad de vida y belleza del sector.

4.4. Riohacha - Río Ranchería (La Guajira)

El río Ranchería tiene su nacimiento en la laguna de Chirigua a 3700 m de altura y desemboca al mar en la zona de Riohacha. Dentro de esta desembocadura, se puede identificar 4 distributarios: brazo Riito, brazo Calancala, brazo Caimancito y Cienaga de Buenavista. En conjunto forman el delta del río Ranchería en el denominado Valle de los Cangrejos. El sistema deltaico del río Ranchería es una superficie plana a suavemente deprimida e inclinada hacia el mar, originada por procesos de sedimentación aluvial acompañados por fluctuaciones en los cauces de los diferentes brazos del río y hacia la costa por procesos marinos.

El análisis de fotografías aéreas de 1947, 2003- 2004 realizado por (Rangel 2005) y 1981, 1987, 1993, 1997 que se encuentran en el estudio realizado por la Maza & Zarate (2001) titulado "Hidroclimatología del delta del río Ranchería, posibles efectos sobre la estructura del manglar en el Riito y Valle de los Cangrejos, Caribe Colombiano", permitieron determinar los cambios sufridos en este sistema y su relación con actividades antropogénicas, y son los siguientes:

Brazo Riito:

1947. El cauce del río presentaba una amplitud entre los 50 y lo 70 m.; la desembocadura estaba 300 m al norte de lo que hoy es el muelle sobre el malecón. La zona se encontraba totalmente deshabitada, lo que favorecía el desarrollo de áreas con manglar.

1981. La línea de costa mostraba pocas edificaciones y no tenía asentamientos poblacionales importantes. El cauce inundaba totalmente el área.

1987. Comenzó a construirse el sector que hoy es conocido como Villa Fátima, y a la par, se registraron inundaciones asociadas al crecimiento del río durante la época de lluvias.

1993. Los asentamientos aumentaron tanto a lo largo de la desembocadura como a lo largo de la línea de costa.

1997. Se observaba presencia notoria de edificaciones y zonas residenciales sobre la línea de costa. Las inundaciones fueron constantes.

2003- 2004. La zona está completamente urbanizada; el manglar se redujo a una estrecha franja que protege el cauce y se extiende desde la desembocadura por 1 km hacia la parte

continental. El parcelamiento de la zona favorece las inundaciones constantes durante las lluvias y las crecidas del río. La carretera sirve como presa y permite el estancamiento de las aguas en el sector.

Valle de los Cangrejos

1947. Claramente pueden diferenciarse los diferentes cauces que presenta el río Ranchería en el sector. La Ciénaga de Buenavista tiene aporte fluvial constante por medio de un brazo derivado del cauce Calancala. El frente deltaico se encuentra claramente definido y en él, se aprecia una playa seguida por una franja de 130 m. de dunas. La salida de la boca Calancana está rodeada por un parche de manglar que se adentra hacia el continente por varios metros. Al frente de La Ciénaga, se forma una espiga que para la época, estaba en proceso de destrucción.

1981. Pequeñas construcciones se evidencian a lo largo de la línea de costa; el brazo Calancala alimenta la zona correspondiente a este valle.

1987. Hay estabilidad demográfica en el sector, y se origina, en un punto de la corriente principal, una serie de canales que irrigan toda la zona.

1993. Se registran nuevos establecimientos en la línea de costa y en la zona de influencia del brazo Caimancito.

1997. El brazo Calancala tiende a cerrarse, mientras se abre un nuevo brazo en la intersección de los antiguos canales.

2003- 2004. Calancala es ahora un brazo intermitente debido a que su cauce sólo aparece durante las lluvias. Para esta época, toda la zona correspondiente a la llanura aluvial se inunda hasta más de 2 km, y prueba de ello es el represamiento que se da hasta el sector de la carretera que de Riohacha conduce a Maicao. De igual forma, el valle de los Cangrejos ha perdido terreno a causa del retroceso de la línea de costa.

Para mediados de 2007, el Comité de Prevención y Atención de Desastres ha contabilizado 1505 familias que quedaron en medio de las aguas del río Ranchería (sectores de Riito y Valle de los Cangrejos) luego de que éste se desbordara en una jornada de fuertes lluvias.

4.5. Manaure- Salinas (La Guajira)

En este punto de la media Guajira, se encuentran playas, salinas y llanuras costeras que contrastan con el color del mar en una de las zonas más hermosas del Caribe colombiano. En Manaure, se produce el 90% de la sal que requiere el país para el consumo humano e industrial; el área de las salinas es de 4200 hectáreas en las que existen siete piscinas (llamadas por los habitantes "charcas"), algunas explotadas de manera artesanal por las comunidades Wayuu que anualmente llegan de diferentes lugares de la Guajira y de Venezuela para participar de la recolección del mineral. Se calcula que unas cuatro mil familias subsisten de la recolección de mineral.

La historia de los cambios generados por el hombre puede remontarse al año 1971. El área se caracterizaba por cordones litorales, espigas y dunas que se encontraban en una zona levemente deprimida. Las fotografías aéreas muestran el comienzo de una intervención por parte del hombre, debido a las condiciones favorables del sector para la formación de sal. Entre los años 1971 y 2003, las diferentes geoformas fueron destruidas, el área intervenida, "parcelada" y convertida en lo que hoy se conoce como salinas de Sarampión (Figura 6). Las acumulaciones observadas en la zona están asociadas a rellenos antrópicos realizados hacia la costa con el fin de un mayor aprovechamiento del área para la extracción de sal.





Figura 6. Variaciones en la morfología litoral del municipio de Manaure en la península de La Guajira. La imagen correspondiente al año 2003 ilustra la zona de expansión para la explotación del mineral.

Este desarrollo y expansión trajeron consigo el traslado del municipio al lugar donde se encuentra actualmente; de igual forma, condujo a desequilibrios importantes en el balance sedimentario que se ven reflejados, en los últimos años, con importantes pérdidas de terreno por la entrada del mar. Este ingreso produce daños considerables en las estructuras usadas en la explotación de sal, lo que se convierte en pérdidas económicas considerables para los habitantes del sector (Figura 7).

En la actualidad, el municipio tiene como objetivo principal reactivar y expandir la minería de sal, pasando de producir 391.856 toneladas en el año de 2006 a estimativos de 1'019.075 para el año 2011 (IFI Concesión Salinas, 2005); para ello, se encuentran en diseño y en construcción de nuevas piscinas de salinización hacia el suroeste del municipio.



Figura 7. Muros de contención y espolones realizados hacia el borde de la salina para contener el ingreso del mar. Durante épocas de oleaje fuerte, éste ingresa a la misma salina acarreando consigo la pérdida de la producción.

4.6. Isla de San Andrés

La Isla de San Andrés se ubica entre los 12° 28' y 12° 35'' de latitud norte y entre los 81° 40' y 81° 43' de longitud oeste. Hace parte del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, compuesto además de las islas mayores por un conjunto de islotes y cayos (INGEOMINAS, 1996).

Trabajos realizados por autores como Kielman (1999), Chow (2002), Ossa (2004) muestran que el hombre y su actividad deben ser considerados como agentes trascendentales en los cambios de la morfología litoral como en el balance de sedimentos que han desencadenado en los niveles de erosión actuales.

Entre las principales actividades realizadas por el hombre en esta área insular del caribe colombiano se destacan según Ossa (2004):

- Eliminación de dunas frontales en algunos sectores de playa,
- Obras de defensa costera como espolones y muros sin ningún tipo de estudio previo que han producido anomalías en el transporte litoral,
- Rellenos y dragados que influyen en la pérdida de pantanos de manglar y praderas con pastos marinos,
- Extracción de arena con fines expansivos,
- Construcción de vías sobre o muy cerca de la zona de playas,
- Vertimiento de aguas residuales, produciendo deterioros considerables en los ecosistemas, y
- Eliminación de vegetación asociada a zonas de playas.

5. DISCUSIÓN

Los ejemplos previamente citados para el Caribe colombiano ilustran el grado de influencia de los habitantes de esta región en los diferentes cambios geomorfológicos al igual que en la evolución reciente del sistema litoral. La expansión desorganizada sobre la zona costera es quizás la principal influencia del hombre sobre el entorno; ésta comienza con una destrucción- adecuación de terrenos, construcción de asentamientos y posterior desarrollo.

La modificación geomorfológica causada por un fenómeno de expansión actúa de forma

negativa y en ocasiones (caso del Caribe colombiano), acentúa el incremento de la erosión litoral. Si se toma como ejemplo las casas que son construidas sobre ó muy cerca de la playa, se obtendrán resultados negativos. En un perfil de playas, las olas disipan su energía al moverse en la zona mesomareal y algunas veces, en la zona supramareal. En las playas donde se han realizado construcciones sobre la zona de berma o cerca de ésta, el oleaje choca sobre la pared u obra de defensa y la energía de la ola es empleada en poner en movimiento una mayor cantidad de material, que es transportado por las corrientes fuera de la línea de la rompiente. (Juanes, 1985)

La evolución del paisaje también se ve influenciada por la creación de un sinnúmero de áreas dedicadas a la extracción de material (arena, manglar). En ocasiones, esta actividad se hace sobre la playa o muy cerca de ella con el fin de conseguir el insumo necesario para la construcción. El resultado principal del desarrollo de estas actividades es el considerable decrecimiento en los aportes de sedimento capaces de formar playas.

La construcción empírica de estructuras de protección, por lo general espolones y muros, se convierte en otro detonante en los cambios morfológicos y en la erosión producida por el oleaje; y éstos modifican los procesos de transporte natural de sedimentos. Autores como Correa & Vernet (2004), Rangel (2004), Mazorra (2004), Rangel & Posada (2005) comparan la funcionalidad de las obras de defensa encontradas en algunas zonas del Caribe con su costo y obtienen datos alarmantes, pues aproximadamente del 80% al 90% de las obras de defensa encontradas no cumplen con su función. Todo esto pone en evidencia los pobres resultados de estas obras y la cantidad de dinero perdido en ellas. Siempre se repite el mismo error: la construcción de espolones como única medida para la solución de un problema de erosión, por lo general para salvar alguna vivienda afectada por el oleaje, sin un estudio previo o una revisión de las medidas de protección probables. Queda claro que son pocas las estructuras de defensa construidas que cumplen con normas técnicas mínimas como el uso de material adecuado, espaciamiento entre obras, mantenimiento y dirección correcta de la estructura de acuerdo con las corrientes y el oleaje.

5.1. Consideraciones para el Manejo de la Zona Costera

En Colombia existen leyes y regulaciones que protegen los espacios oceánicos y las zonas costeras (Leyes 164 y 165 de 1994), el desarrollo sectorial (Leyes 658 y 730 de 2001; Ley 330 de 1996; Ley 1152 de 2007), y el ordenamiento jurídico de medio ambiente a nivel nacional (Ley 99 de 1993). El cumplimiento de estas leyes es responsabilidad del Gobierno Nacional a través del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, pero a su vez, hay entidades encargadas por mandato legal de ejecutar, proteger y controlar las actividades de la zona costera como las Corporaciones Autónomas Regionales (CARS), las Gobernaciones, las Alcaldías y las Unidades de Parques.

En los últimos 5 años, el interés del Gobierno Nacional sobre la planeación, organización y manejo de la zona costera ha aumentado significativamente, buscado zanjar la separación existente entre los pobladores del litoral y sus representantes en las distintas organizaciones. Sin embargo, las diferentes partes involucradas sólo intervienen de manera local, cuando hay algún tipo de beneficio directo o indirecto para defender algún tipo de bien material como casas de veraneo, hoteles y cultivos. Por esta razón, la gestión litoral enfocada a las amenazas costeras se ha basado principalmente en la "reacción" y no en la "protección".

Para los entes vinculados en los sectores litorales estudiados, es de suma importancia identificar los problemas costeros (e.g. erosión) y sus vulnerabilidades asociadas para así generar bases sólidas y estrategias que permitan una óptima utilización del litoral. También es importante, regular y controlar ciertas actividades (principalmente la urbanización) en determinadas zonas críticas de erosión. La prevención es de gran importancia en las áreas estudiadas donde se dan serios cambios que son producto del retroceso litoral y generan zonas altamente vulnerables. De igual forma debe pensarse en soluciones "blandas" como la alimentación de playas (previamente utilizada en áreas como la ciudad de Santa Marta) para prevenir daños costeros en el futuro.

Se puede concluir que los departamentos costeros del Caribe colombiano están siendo afectados por una alta influencia antropogénica que desencadena cambios geomorfológicos importantes y al mismo tiempo influye de manera negativa en la evolución reciente de la zona litoral.

Es necesario que la legislación existente sobre el manejo de la zona litoral se cumpla para que el desarrollo en la costa Caribe colombiana se dé sobre bases sólidas que permitan el mayor aprovechamiento y menor impacto en el sistema costero.

A la par, todos los esfuerzos deben llevarse a cabo para reducir los altos costos asociados con la erosión. Con este fin, es necesario impulsar las investigaciones dedicadas al estudio de los procesos costeros para así entender mejor su comportamiento y el grado de afectación e impacto que tienen sobre el entorno.

BIBLIOGRAFÍA

- Anders, F.J. and Byrnes, M.R., 1991. Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs. *Shore and Beach* 59 N°1, pp. 17- 26.
- Chow, R., 2002. Monitoreo de playas de San Andrés Isla. Informe final. CORALINA. 11 P.
- Chuvieco, E., 2000. Fundamentos de teledetección espacial. Rialp. Madrid.
- Correa, I.D. y Vernet, G., 2004. Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (sector Arboletes- Turbo) costa Caribe colombiana. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 33, pp. 7- 28.
- Crowell, M., Leatherman, S.P., and Buckley, M., 1991. Historical shoreline change: error, analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research* 7 N°3, pp. 839-852.
- Delgado, R., 2002. Evaluación de la estabilidad de la franja costera del departamento del Magdalena en términos de erosión y sedimentación. Trabajo de grado; Geociencias, Universidad Nacional de Colombia; Bogotá. 120 P.
- Dolan, R., Hayden, B., May, P., and Suzette, R., 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and Beach* 48, pp. 22-29.
- Franco, E. y Gómez, J., 1996. Evolución de la línea de costa del litoral antioqueño. Aspectos geomorfológicos. Sector Río Necoclí- Turbo. CORPOURABA. Apartadó, Colombia, 118 P.
- Garavito, R., 1988. Informe técnico del contrato 01-85, sobre el dragado realizado en la Bahía de "El Rodadero". Santa Marta. 27 P.
- González, A., 2007. Erosión litoral del sur del Departamento de Córdoba (Minuto de Dios - Santander de La Cruz) magnitudes, factores y estrategias de control y mitigación. Tesis de Maestría en Ciencias de La Tierra, Departamento de Geología, Universidad EAFIT, Medellín. 145 P.
- González, R. y Guarín, A., 2003. Evolución geomorfológica de los acantilados entre Arboletes (Antioquia) y la desembocadura del Río Córdoba (Córdoba). Proyecto de grado de Geología. Universidad EAFIT, Medellín. 116 P.
- IFI- Concesión de Salinas., 2005. Salinas marítimas de Manaure-Sama, estructura y modelo. Manaure, La Guajira. 15 P.
- INGEOMINAS, 1996. Estudio de las amenazas geológicas de la Isla de San Andrés CORALINA- Convenio No. 055-95.230 P y Anexos.
- INGEOMINAS, 1996. Atlas geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe Colombiano. Instituto de Investigaciones Geológicas, Mineras, Ambientales y Nucleares. Publicación Geol. Especial N° 21, Cartagena de Indias.
- INVEMAR, 2003. Programa Holandés de Asistencia para estudios en Cambio Climático: Colombia. Definición de la vulnerabilidad de los sistemas bio-geofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana (Caribe, Insular y Pacífico) y medidas para su adaptación. Santa Marta, Colombia. 103 P.
- Juanes, J.L., 1995. Procesos costeros y criterios metodológicos para la recuperación de playas. Instituto de oceanología, Academia de Ciencias de Cuba. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. 129 P.



- Kellett, P., 1997. City profile: Santa Marta. *Rev Cities*, 14, No. 6, pp. 393- 402.
- Kielman, M., 1999. Manual metodológico - muestreo de sedimentos y análisis granulométrico. Proyecto: Estudio morfodinámico de los sedimentos del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, SENA - SECAB - CORALINA. 14 P.
- Kielman, M., 1999. Plan de monitoreo de playas para las Islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Programa COSALC (Coast and Beach Stability in the Caribbean Islands) UNESCO-U. Puerto Rico. Proyecto Estudio Morfodinámico de los Sedimentos de las Zonas Costeras del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Convenio 0051-97 SENA- SECAB- CORALINA. 102 P.
- Kielman, M., 1999. Playas de san Andrés Isla: Historia, procedencia y morfología. Proyecto: Estudio morfodinámico de los sedimentos de las zonas costeras del Archipiélago de San Andrés, providencia y Santa Catalina. Programa COSALC (Coast and Beach Stability in the Caribbean Islands) UNESCO- SENA - SECAB - CORALINA. 23 P.
- Lillesand, T. and Kiefer, R., 1987. *Remote sensing and image interpretation*. Wiley. New York.
- Maza, E. y Zarate. A., 2001. Hidroclimatología en el delta del río Ranchería, posibles efectos sobre la estructura del manglar en el Río y Valle de los Cangrejos, Caribe Colombiano. Trabajo de Grado. Facultad de Ingeniería, Universidad de la Guajira. Riohacha, La Guajira. 91 P.
- Mazorra, J., 2004. Geomorfología y dinámica de la franja costera entre Punta Arboletes y Cristo Rey, Departamento de Córdoba. Trabajo de grado. Facultad de geología, Universidad Nacional- INVEMAR. Santa fe de Bogota, Colombia. 100 P.
- Mertins, G., 1972. El Rodadero (Santa Marta), centro turístico o colonia de vacaciones. *Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient.*, 6, pp. 151-168.
- Moore, L., 2000. Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research* 16 N°1, pp.111-124.
- Ordóñez, C., 2002. Dinámica de la línea de costa por erosión y sedimentación, del tramo entre playa de los holandeses y punta Chuchupa, departamento de La Guajira. Tesis de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogota, 130 P.
- Ossa, J., 2004. Evaluación de la influencia antrópica en los cambios de la línea de costa y la erosión litoral en la isla de San Andrés, Caribe colombiano. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería, Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 120 P
- Posada., L. 2002. Erosión costera en el litoral Caribe colombiano, Departamentos de Antioquia y Córdoba. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Medellín 16 P.
- Rangel, N., 2004. Estudio geológico de los procesos que tiene lugar en la zona marino costera del sector Cristo Rey-Paso nuevo, departamento de Córdoba. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad de Caldas- INVEMAR. Manizales, Colombia. 124 P.
- Rangel, N., 2005. Caracterización de la zona costera del departamento de La Guajira. Una aproximación para su manejo integrado. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, Santa Marta.124 P.
- Rangel, N. and Anfuso, G., 2009. Assessment of Coastal Vulnerability in La Guajira Peninsula, Colombian Caribbean Sea. *Jounal of Coastal Research* 56, pp. 792-796.
- Rangel, N. y Posada, B.O., 2005. Geomorfología y Procesos Erosivos en la Costa Norte del Departamento de Córdoba, Caribe colombiano (Sector Paso Nuevo- Cristo Rey). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 34, pp. 101-119.
- Thieler, E.R. and Danforth, W., 1994. Historical shoreline mapping: improving techniques and reducing positioning errors. *Journal of Coastal Research* 10 N°3, pp. 549-563
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Miller, T.L., 2005. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0. En; *An ArcGIS extension for calculating shoreline change*, US Geological Survey. Woods Hole. 33 P.
- UNDP - United Nations Development Programme., 2008. *Human Development Report 2008. Gender and Human Development*. 36 P.

