

## INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA DE LA EROSIÓN LITORAL EN URABÁ (SECTOR ARBOLETES-TURBO) COSTA CARIBE COLOMBIANA

*Iván D. Correa y Georges Vernette*

### RESUMEN

La erosión litoral ha sido la tendencia histórica dominante a lo largo de los aproximadamente 145 km de línea de costa entre las ciudades de Arboletes y Turbo (sur del Litoral Caribe colombiano). En las cuatro últimas décadas ocurrieron retrocesos de la línea de costa del orden de los 50-100m en varios sectores (Uveros, Damaquiel, Zapata, Turbo), y de hasta 1.6 km en el área Punta Rey-Arboletes, en la cual las pérdidas de terrenos suman más de 4.5 km<sup>2</sup> y la erosión alcanzó tasas máximas de hasta 40m/año. La síntesis de la información disponible sugiere que la “susceptibilidad” generalizada a la erosión podría ser la respuesta a ascensos relativos del nivel del mar, asociados a la tectónica regional, a los efectos del diapirismo de lodos y a la hidroisostacia, entre otros posibles factores. En los sectores más críticos (Arboletes y Turbo), las tendencias erosivas naturales fueron aceleradas por intervenciones humanas como la desviación del río Turbo, la extracción intensiva de materiales de playa y el manejo inadecuado (o no manejo) de las aguas lluvias y residuales. El costo actualizado de las 155 obras de defensa (espolones, barreras y muros de contención que totalizan 6.2 km de longitud y un volumen de materiales de 37.000m<sup>3</sup>) construidas hasta agosto del 2000 se calcula en alrededor de los \$ Col 10.000 millones. Con muy pocas excepciones, los espolones perpendiculares a las playas no han recuperado arenas y más bien se han convertido en generadores de nuevos problemas en los sectores adyacentes. A corto plazo, la erosión litoral entre Arboletes y Turbo es causada tanto por factores marinos como por procesos de erosión subaérea y es función en buena parte de las litologías poco resistentes de las terrazas y acantilados, compuestos en su mayoría por lodolitas fracturadas y meteorizadas (con buzamientos o planos de debilidad inclinados hacia el mar) y por sedimentos finos no consolidados, fácilmente licuables: ambas condiciones facilitan la ocurrencia de deslizamientos, caídas de rocas y flujos de lodo que determinan retrocesos rápidos (3 a 4 metros) del contorno litoral, sobre todo en los primeros 15 días de la transición verano-invierno (abril) y durante los “mares de leva” (periodos de oleajes fuertes). El caso de la erosión litoral entre Turbo y Arboletes ilustra claramente cómo las tendencias erosivas naturales pueden intensificarse fuertemente por intervenciones humanas (incluyendo las defensas ingenieriles) y la necesidad urgente de coordinar esfuerzos para controlar o mitigar con eficiencia las pérdidas de terrenos litorales.

*PALABRAS CLAVE:* Litoral Caribe, Colombia, Geomorfología, Erosión, Ingeniería costera.

### ABSTRACT

**Introduction to littoral erosion problem in Urabá (Arboletes-Turbo area) Colombian Caribbean coast.** Shoreline retreat has been the net dominant historical trend along the 145 km-length littoral between Arboletes and Turbo (Southern Caribbean of Colombia). For the last four decades, there were identified in this littoral shoreline retreats of about 50-100m in several places (Uveros, Damaquiel,

Zapata, Turbo) and a maximum of 1.6 km in the Punta Rey-Arboletes area, where land losses were of 4.5 km<sup>2</sup>, at exceptional rates of 40m/year. The synthesis of the available information suggests that the general “susceptibility” to erosion between Arboletes and Turbo could be related primarily to relative sea level rise, associated to tectonic movements as well as to the effects of mud diapirism and hydroisostasy. In the more critical areas (Arboletes, Turbo), the natural erosive trends were accelerated by anthropic actions, including river diversion (Turbo), beach mining, and inadequate (or total absence) practices for controlling residual and natural waters. Up to August 2000, there were invested about \$ Col 10.000 billions in 155 engineering defences (groins, sea walls and rip-rap which totalize 6.2 km of total length and a volume of materials of 37.000 m<sup>3</sup>). With few exceptions, groins have not been successful and are now part of the problem, accelerating shore erosion along the adjacent sectors. In the short term, the littoral erosion between Arboletes and Turbo is caused both by marine and by subaerial factors. It is facilitated by the poor lithological strengths of cliffs and marine terraces, mainly composed of highly fractured and weathered claystones and mudstones (with stratification and weakness planes dipping toward sea) and non-consolidated, easily liquefacted, fine sediments; both conditions facilitate the occurrence of rocks falls, slides and mud flows that result in high figures of cliff retreat (3 to 4m), specially during the first 15 days of the summer-winter transition (April) and in high waves periods. The case of the littoral erosion between Arboletes and Turbo illustrates well how the natural erosive trends of an area can be accelerated by human interventions and the urgent need for coordinating efforts to cope with littoral land losses.

*KEY WORDS:* Caribbean Coast, Colombia, Geomorphology, Erosion, Coastal engineering.

## INTRODUCCIÓN

Los 145 km de línea de costa entre las ciudades de Arboletes y Turbo (región de Urabá; Figura 1) están sujetos a una erosión generalizada que ha impactado severamente la infraestructura física de todos los asentamientos litorales. El retroceso de playas y acantilados en esta zona se ha enfrentado casi exclusivamente por medio de obras de ingeniería, principalmente espolones, enrocados y muros de protección. La construcción de estas defensas se constituyó en un “boom” generalizado en el periodo 1997-2000, durante el cual su número aumentó de 56 a 155 y demandó inversiones públicas y privadas calculadas en alrededor de los \$ Col. 10.000.000.000 (convertidos a pesos de hoy). A pesar de lo anterior, las instituciones gubernamentales a cargo (Ministerio del Medio Ambiente, Departamento de Atención y Prevención de Desastres -DAPARD- Gobernación de Antioquia) continúan recibiendo reportes de erosión acompañados de solicitudes millonarias para la construcción de nuevas obras, aún en sectores supuestamente ya protegidos.

En el contexto de contribuir a la implementación de un plan de acción para encarar el problema a mediano y largo plazo, se procedió a la elaboración de un diagnóstico lo más actualizado posible de la situación, considerando como básicos los siguientes tres temas: a) la actualización de las magnitudes y tasas de erosión litoral en la zona, b) una evaluación del estado de conservación, efectividad e impactos de las obras sobre sus sectores adyacentes y, c) la interpretación de las posibles causas naturales y antrópicas de la erosión litoral. En este artículo se presentan y discuten los principales resultados del diagnóstico en referencia, con énfasis especial en los aspectos geológicos y en los impactos de las intervenciones humanas identificadas hasta agosto del 2002.

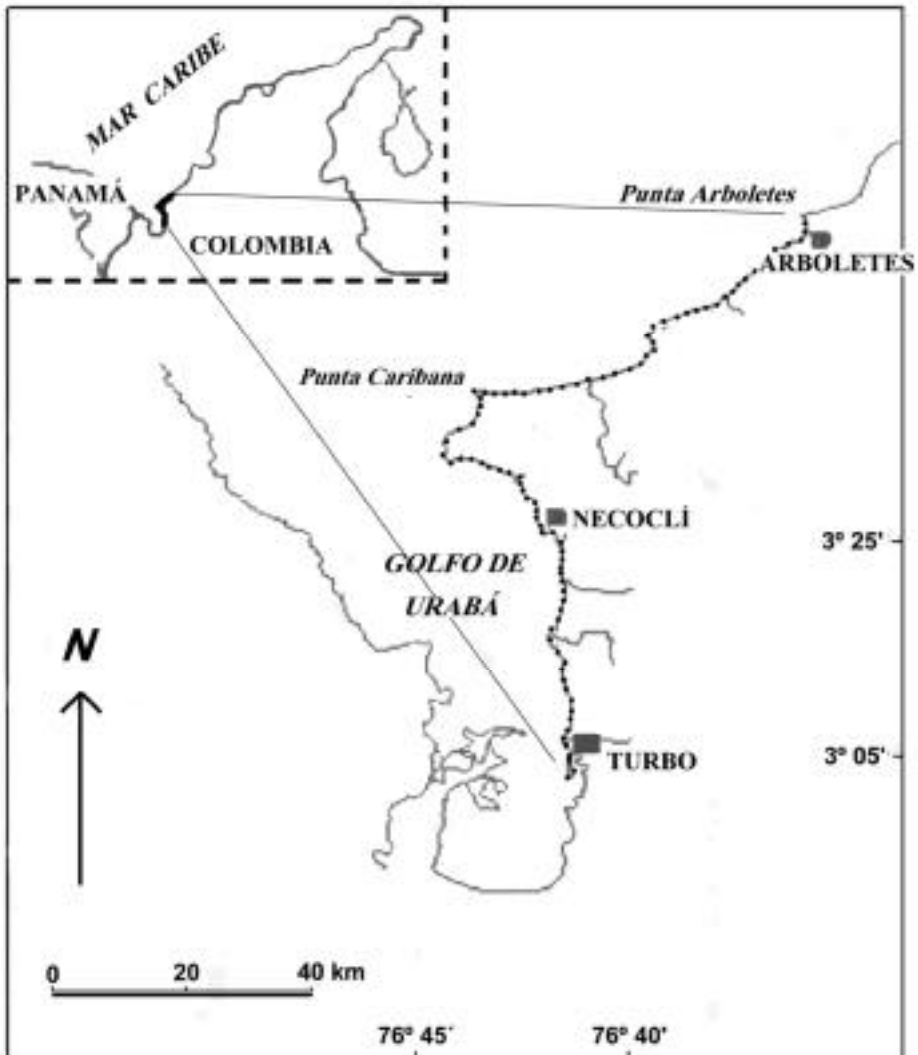


Figura 1. Localización de la franja litoral Arboletes-Turbo

## MATERIALES Y MÉTODOS

La identificación de las magnitudes y tasas de erosión entre la Punta Arboletes (4 km al norte de Arboletes, también llamada Punta Rey) y la Punta de las Vacas (Turbo) se hizo por medio de un inventario de cambios de línea de costa, siguiendo la metodología estándar presentada por Morton (1977). Sobre los mapas más actualizados de la zona (cartas catastrales a escala 1:10.000 restituidos de fotos aéreas tomadas en 1985) se trazaron, utilizando un fotorestituidor óptico Bausch & Lomb (modelo ZT-4), las líneas de costa sucesivas representadas en aerofotografías del periodo 1940-1985

(escalas entre 1:25.000 y 1:45.000) y una imagen radar ERS tomada en diciembre de 1999. Las magnitudes de los cambios se estimaron midiendo (en sentido perpendicular a las líneas de costa de los mapas catastrales) las distancias entre líneas de costas sucesivas, y las velocidades promedio (tasas) de erosión o acreción se calcularon dividiendo los desplazamientos por el número de meses entre contornos sucesivos. Las conclusiones obtenidas se confrontaron con información publicada anteriormente (principalmente estudios realizados por las universidades EAFIT y Nacional, por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) y la Capitanía del Puerto de Turbo (DIMAR), y se constataron siempre con la información aportada por los habitantes de la zona. Dada la calidad y escalas generales de los materiales utilizados, los resultados de este inventario deben tomarse como de carácter semicuantitativo.

Para obtener información básica sobre la plataforma continental somera se realizaron alrededor de 100 km de perfiles batimétricos georeferenciados, con una ecosonda Knudsen, (modelo 320 B/P) equipada con un transducer dual de 200 y 12 kHz; la frecuencia de 200 kHz se usó para la obtención de profundidades y perfiles del fondo marino y la de 12 kHz para la búsqueda de estructuras del subsuelo, principalmente diapiros y volcanes de lodo.

Las obras de defensa construidas hasta agosto del 2000 entre la Punta Rey y la Punta Las Vacas se registraron en los mapas base 1:10.000, y la evaluación de sus efectos y estado de conservación se realizó con base en la consideración de los parámetros físicos consignados en la tabla 1. Los registros consideran el tipo y calidad de los materiales de construcción (rocas, tetrápodos y pentápodos) y las evaluaciones de los efectos (sedimentación o erosión) de cada estructura sobre las playas y/o acantilados aledaños. Los volúmenes de materiales utilizados en cada obra se estimaron según los parámetros: longitud total y alturas y amplitudes en sus bases, puntos medios y puntos extremos. La cuantificación de costos se hizo con base en los precios al mes (agosto 2002) de los materiales utilizados, diferenciando entre concreto (\$ 350.000/m<sup>3</sup>), piedra tamaño menor de 40cm de diámetro (\$ 100.000/m<sup>3</sup>), acero (\$ 1.800/kg), y roca de tamaño mayor a 40 cm (\$ 150.000/ m<sup>3</sup>).

### **Contexto físico de la franja litoral Arboletes -Turbo**

**Clima y oceanografía.** La región de Urabá tiene una temperatura media anual de 27°C, con máximos y mínimos de 40°C y 19°C respectivamente. En general, el verano se presenta entre diciembre y abril y se caracteriza por precipitaciones medias entre 40mm/mes en Arboletes y 100mm/mes en Turbo y por el predominio de los vientos Alisios del Norte y Noreste (velocidades medias de 4m/s y máximas de 9.4 m/s en febrero). Durante el invierno (agosto-noviembre), las lluvias alcanzan los 200 mm/mes en el área de Arboletes y los 300 mm/mes en el sector de Turbo y los vientos predominantes inciden desde el sur; los promedios multianuales de precipitaciones varían entre los 3000 mm en el sector de Turbo y los 1000 mm en el sector de Arboletes (CORPOURABÁ-UNIVERSIDAD NACIONAL, 1998).

Tabla 1. Ficha técnica de registro y evaluación de la funcionalidad de las obras de defensa entre Arboletes y Turbo.

<b><u>REFERENCIA OBRA:</u></b>		<b><u>UBICACIÓN:</u></b>							
		<b><u>Municipio:</u></b>							
		<b><u>Corregimiento:</u></b>							
<b><u>FECHA REGISTRO:</u></b>		<b><u>Mapa ref.:</u></b>							
<b><u>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</u></b>				<b><u>Fecha construcción:</u></b>					
<b><u>Orientación:</u></b>		<b><u>Longitud total:</u></b>		<b><u>Long. emergida:</u></b>		<b><u>Long. sumergida:</u></b>			
<b><u>Distancia obra corriente arriba:</u></b>				<b><u>Distancia obra corriente abajo:</u></b>					
<b><u>Longitud total:</u></b>		<b><u>Anchuras:</u></b>		<b><u>Base:</u></b>		<b><u>Punto medio:</u></b>		<b><u>Extremo:</u></b>	
<b><u>Longitud sumergida:</u></b>									
<b><u>Alturas:</u></b>		<b><u>Corona:</u></b>		<b><u>Punto medio:</u></b>		<b><u>Extremo:</u></b>			
<b><u>Volumen estimado:</u></b>									
<b><u>Materiales y estructura:</u></b>		<b><u>Roca</u></b>	<b><u>Piedra</u></b>	<b><u>Concreto</u></b>	<b><u>Hexa</u></b>	<b><u>Penta</u></b>	<b><u>Tetra</u></b>	<b><u>Mixto</u></b>	<b><u>Otro</u></b>
<b><u>EVALUACIÓN FUNCIONALIDAD</u></b>									
<b><u>Antecedentes construcción:</u></b>									
<b><u>Recuperación:</u></b>			<b><u>Hacia el norte:</u></b>			<b><u>Hacia el sur:</u></b>			
<b><u>Efectos colaterales:</u></b>									
<b><u>Estado de conservación:</u></b>									
<b><u>OBSERVACIONES:</u></b>									
<b><u>COSTO ESTIMADO:</u></b>									

El régimen de mareas en el Caribe sur colombiano es del tipo semidiurno mixto, con dos altos y dos bajos de diferentes amplitudes en el día mareal. De acuerdo con las tablas de mareas del IDEAM, las amplitudes máximas de marea para la zona están en el orden de los 40cm.

Los regímenes de oleajes incidentes entre Arboletes y Turbo están esencialmente controlados por los vientos Alisios del norte y noreste durante el verano, y por los vientos sur en el periodo de invierno. Los oleajes más persistentes se presentan en el sector de “costa abierta” entre Arboletes y Necoclí, mientras la zona interior del Golfo está relativamente protegida. De acuerdo con estadísticas parciales (Molina *et al.*, 1992), la altura promedio de los oleajes en el Golfo es de 0.53m y sus periodos predominantes del orden de los 5 seg; para Turbo, la altura de los oleajes incidentes varía entre 0.38m y 1.1m, mientras que en Necoclí, más en “costa abierta”, la altura de los oleajes varía entre 0.97 y 1.18m. A juzgar por la deflexión de las desembocaduras fluviales y por la posición de los extremos distales de las espigas litorales (ambos con componente sur), el transporte neto de sedimentos arenosos en la zona de estudio es hacia el suroeste entre Arboletes y la Punta Arenas, y hacia el sur

entre esta última y el sector de Turbo; no se descartan, sin embargo, inversiones temporales en los flujos de sedimentos de playa, especialmente en los periodos de incidencia de los vientos sur.

**Geología y geomorfología.** La franja costera Arboletes-Turbo hace parte del denominado “Cinturón del Sinú”, una secuencia sedimentaria de unos ocho km de espesor, conformada principalmente por rocas turbidíticas y hemipelágicas del Oligoceno-Plioceno (Duque-Caro, 1984). Las estructuras geológicas y los ejes de levantamiento regional en la zona tienen direcciones predominantes N-S a N25°E, y se caracterizan por la alternancia de sinclinales delgados y anticlinales amplios, con fallamientos normales (Page, 1986). Tanto en plataforma como en la zona emergida son comunes estructuras diapíricas, evidenciadas principalmente por domos y volcanes de lodo, muy bien desarrollados en Arboletes, San Juan, Damaquiel y Necoclí. El Cuaternario de la franja litoral entre Arboletes y Turbo está representado por depósitos de laderas, rellenos de valles y por horizontes marinos y fluviales holocenos ubicados en el tope de terrazas litorales. Las rocas consolidadas que afloran a lo largo de la línea de costa actual son principalmente arcillolitas y lodolitas, plegadas y fracturadas, eventualmente con lentes de areniscas y conglomerados.

La zona de Urabá es un área tectónicamente activa, ubicada cerca de la conjunción triple entre las placas tectónicas de Nazca, Caribe y Suramérica (González *et al.*, 1988); la franja costera entre Arboletes y Turbo es clasificada como de riesgo sísmico intermedio (ASOCIACIÓN DE INGENIERÍA SÍSMICA, 1988).

La morfología general del litoral entre Arboletes-Turbo puede diferenciarse en dos sectores principales (Figura 2):

1) Un sector de “costa abierta” entre la Punta Rey y Punta Arenas, de orientación general S40°O y una longitud aproximada de 70 km. Vista en planta, este tramo tiene una configuración “en sierra”, dada por la sucesión de bahías amplias, separadas por puntas de mayor resistencia a la erosión (Puntas Arboletes, San Juan, Sabanilla, Gigantón, Caribana). Entre Punta Arboletes y la desembocadura del Río Mulatos, la morfología del litoral está dominada por terrazas marinas emergidas, con amplitudes (perpendiculares a la costa) de 6 km y alturas máximas de 36 m respectivamente (Figura 3). Los límites tierra adentro de estas terrazas son escarpes de paleo-acantilados con rasgos fósiles de línea de costa en sus bases, incluyendo peñascos aislados y barras de playa que evidencian el levantamiento costero durante el Holoceno (Raasveldt, 1958; Page, 1986). Entre la desembocadura del Río Mulatos y la Punta Caribana, la franja litoral corresponde a una extensa planicie arenosa, conformada por cordones de playa, dunas, ciénagas y terrenos bajos inundables (Figura 4). En la Laguna del Águila (Ciénaga de Rionegro), en el extremo noreste del Golfo de Urabá, se encuentra el mayor desarrollo de manglares de la zona de estudio.

2) Un sector de costa “semiprotégida”, entre Punta Arenas Norte y Turbo, con una línea de costa de orientación general S30°E y una longitud aproximada de 75 km. El tramo Punta Arenas-desembocadura del río Necoclí es bajo y se caracteriza por



Figura 2. Tipos de línea de costa en la franja litoral Arboletes-Turbo

playas y depósitos lagunares recientes, mientras que más al sur la morfología está dominada por terrazas marinas bajas interrumpidas por las playas, cordones de playa, espigas y barras de los deltas de los ríos Caimán Viejo, Caimán Nuevo y Turbo. Al igual que en el tramo Punta Rey-Punta Caribana, la franja litoral de este sector está limitada tierra adentro por una línea conspicua de paleoacantilados.



Figura 3. Fotografía (marea alta) del sector de Damaquiel, tomada en marzo de 1998. El poblado se ubica sobre una terraza marina emergida, con una altura aproximada de 6m sobre el nivel del mar actual. Las rompientes y la zona de mayor turbidez del agua (derecha abajo) son producidas por el volcán de lodos, cuya cima aflora en marea baja.



Figura 4. Playas, dunas vegetadas y conjuntos de cordones de playa en la playas de El Venado, inmediatamente al sur de la desembocadura del Río Mulatos. Fotografía aérea tomada en marzo de 1997.

## RESULTADOS

### **Tasas de erosión litoral entre Punta Arboletes (Punta Rey) y Turbo**

Las tasas estimadas de erosión litoral entre Punta Arboletes (Punta Rey) y Turbo se sintetizan en la figura 5, en la cual resalta a primera vista su predominio neto a lo largo de 130 de los aproximadamente 145 km de longitud total de línea de costa entre las dos poblaciones. La erosión litoral afectó indiscriminadamente a playas y acantilados, pero es en estos últimos sectores en donde se han presentado (y se presentan) los impactos erosivos más fuertes, especialmente en las zonas de Zapata, Damaquiel y Punta Arboletes-Arboletes, en donde se constataron tasas de erosión

desde 7 a 40m/año. Los valores más típicos de erosión entre Arboletes y Turbo (0.5 a 2m/año) corresponden a retrocesos de la línea de costa del orden de los 50 a 100m, comunes para las zonas de playas de Arboletes, Damaquiel, Uveros, Zapata y en el sector noreste de Necoclí.

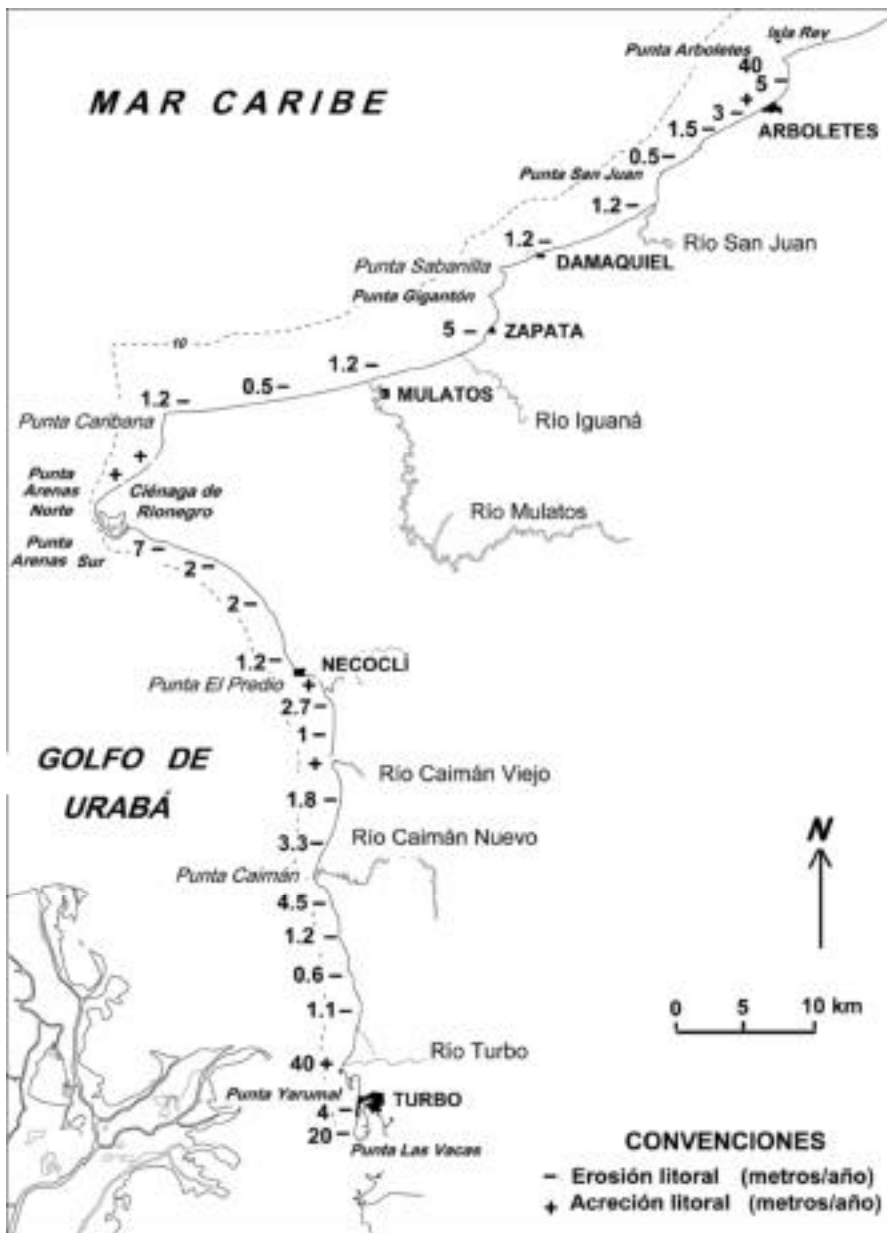


Figura 5. Tasas de erosión litoral entre Arboletes (Punta Rey) y Turbo (Punta Las Vacas)

A la resolución de este inventario, los únicos sectores estables en la zona de estudio fueron los principales salientes rocosos como las Puntas Sabanilla, Gigantón y Caribana (conformados en la base por arcillolitas duras), aunque las observaciones de campo y los testimonios de los habitantes sugieren para estas rocas velocidades de erosión en el orden de los 0.3-0.5m/año. Asociados directamente a aportes importantes de sedimentos, los sectores de acrecimiento litoral neto (sin la intervención de obras de defensa) se presentan únicamente en las áreas de acumulaciones arenosas (barras, espigas) de los deltas de los ríos Caimán Viejo, Caimán Nuevo y Turbo, todos en el costado este del Golfo de Urabá y por lo tanto relativamente protegidos de los oleajes.

En términos de inestabilidad litoral, y obviamente también en función de sus impactos sobre la infraestructura costera, quedaron definidos claramente los sectores Punta Rey-Arboletes y Turbo (Delta del río Turbo-Punta Las Vacas) como los más críticos del área de estudio, con retrocesos de la línea de costa que alcanzaron los cientos de metros.

**Erosión litoral entre Punta Rey y la ciudad de Arboletes.** En el sector Punta Rey-Arboletes (Figura 6), constituido por un nivel bajo de terrazas y playas frontales, la erosión arrasó, entre 1960 y 1990, todo su costado noroccidental (península de Punta Rey), quedando como únicos remanentes dos islotes rocosos de calizas resistentes (Isla Rey) ubicados hoy a 1.6 km hacia el oeste de la línea de costa actual. Medida según la dirección Oeste-Este, la tasa de erosión de la península de Punta Rey alcanzó los 40 m/año, aunque en el proceso real tuvo mucha importancia el retroceso acelerado de su costado norte, desde la actual Isla Rey hacia el noreste. La desaparición de esta península significó la pérdida de aproximadamente 4.5 km<sup>2</sup> de terrenos y la desprotección total contra los oleajes de las playas de Arboletes y de sus sectores aledaños, hecho que “disparó” en primera instancia la fuerte erosión que hoy puede seguirse hasta la desembocadura del Río Jovo, (1 km al sur de la ciudad), hoy con tasas extremas entre 4 y 6 m/año (Figura 7).



Figura 6. Aerofotografía del sector de Punta Rey-Arboletes, tomada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en marzo de 1975. La línea blanca discontinua indica el trazo aproximado de la línea de costa de agosto del 2000.



Figura 7. Escarpe acantilado ubicado 200m al sur de Arboletes. El retroceso de estos escarpes fue inducido también en parte por filtraciones de los tanques de almacenamiento de aguas.

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 y roca caliza (de la hoy Isla Rey) que fueron usados en la construcción de la mayoría de las viviendas de Arboletes y sectores aledaños. La versión “extrema” de algunos habitantes propone 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 entre la bahía interna definida por la península y el “mar abierto” de su costado septentrional.

**Erosión litoral en el sector de Turbo (Espiga las Vacas).** En este sector la erosión litoral ha afectado principalmente a los terrenos de la espiga de Las Vacas, sobre los cuales se encuentran las playas e instalaciones turísticas de la ciudad, el aeropuerto y las instalaciones de la Armada Nacional (Figura 8). De acuerdo con la información recolectada, el frente externo de playas de esta espiga empezó a erosionarse ya desde la década de los años 40 y el proceso se intensificó gradualmente hasta cubrir la totalidad de las playas y generar retrocesos de playas estimados en alrededor de 70m en algunos sectores. La intensificación de las velocidades de erosión se relacionan directamente con el desarrollo, al norte de la espiga, del delta del Río Turbo, cuya desembocadura al interior de la bahía de Turbo fue desviada artificialmente en 1954.

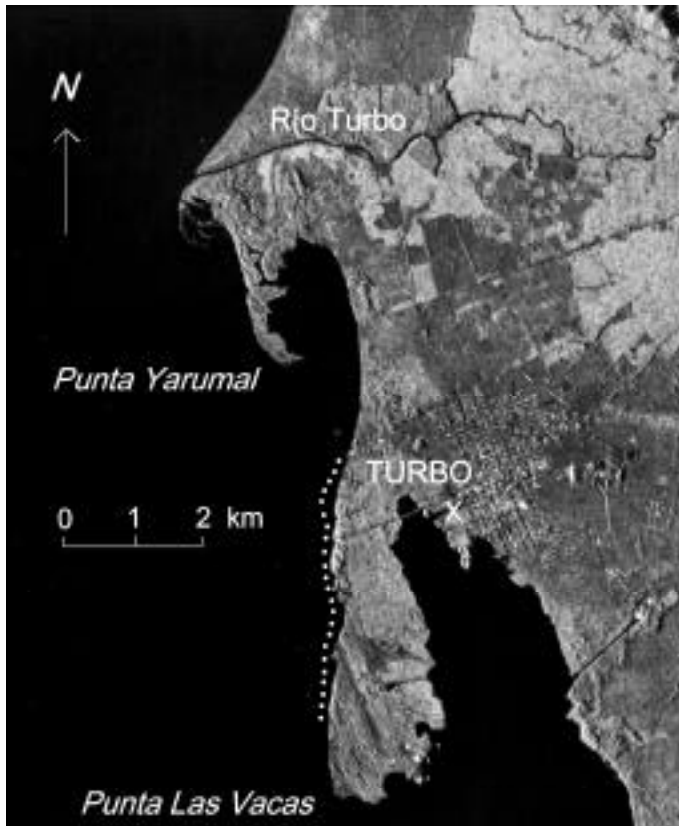


Figura 8. Imagen radar (diciembre de 1999) del sector de la desembocadura actual del Río Turbo hasta la Punta las Vacas. Los puntos blancos indican la posición aproximada de la línea de costa en el año 1946. (X) indica la desembocadura antigua del río.

### **Funcionalidad de las obras de defensa**

Las estadísticas de las obras de defensa construidas entre Puerto Rey y Turbo hasta agosto del 2002 se sintetizan en la tabla 2, en donde se consigna además su funcionalidad en cuanto a la recuperación inducida de playas.

En el contexto general, resaltan a primera vista las magnitudes involucradas en las obras de defensa (6.2 km de longitud total, 37109m<sup>3</sup> de materiales utilizados, costos totales estimados en 10.000 millones de \$ Col.), pero el punto más importante se relaciona con los deficientes resultados alcanzados por los espolones construidos en las ciudades de Arboletes y Turbo (Figuras 9, 10 y 11). En la franja costera de estas dos ciudades, la recuperación de playas ha sido ninguna (Turbo) o, en el mejor de los casos, mínima (15 de 34 espolones en Arboletes).

Atítulo de síntesis general, el análisis ingenieril del fracaso de los espolones en Arboletes y Turbo en cuanto a recuperación-formación de playas puso de presente la repetición sistemática de errores en su construcción, incluyendo, entre los principales,

Tabla 2. Síntesis de evaluación de la funcionalidad de las obras de defensa entre Arboletes y Turbo.

Municipios	Obra	Cant.	Longitud (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Recuperación	Valor (\$ col )
Turbo	Espolones	26	1.307	8.183	Ninguna	2.267'213.000
	Enrocado de orilla	20	1.134	7.129	Mínima	1.693'750.000
	Barreras de protección	10	367	3.221	Protección en 7 de ellas	676'481.000
	Muros de contención	4	172	225	Protección	63'280.000
	TOTAL	60	2980	18.713		4.700'724.000
Arboletes	Espolones	34	1.090	6.590	Mínima en 15 de ellos, ninguna en los restantes	1.371'136.000
	Barreras de protección	4	152	1.435	Protección	358'810.000
	TOTAL	38	1.242	8.025		1.729'946.000
Necoclí	Espolones	51	1.732	8.745	Adecuada	3.108'225.500
	Barrera de protección	1	12	31	Protección	10'850.000
	TOTAL	52	1.744	8.776		3.119'075.500
San Juan de Urabá	Espolones	4	219	1.551	Mínima	542'878.000
	Barrera de Protección	1	37	44	Ninguna	15'540.000
	TOTAL	5	256	1.595		558'418.000
TOTALES		155	6.222	37.109		10.108'163.500



Figura 9. Vista aérea del sector septentrional de la espiga Las Vacas, Turbo, tomada en marzo de 1997. Nótese la recuperación nula de arenas en los espolones perpendiculares a la línea de costa.

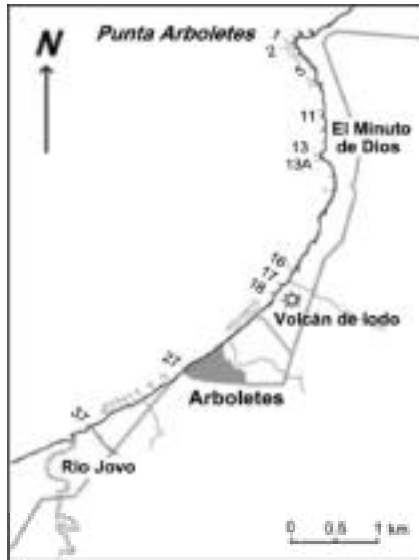


Figura 10. Distribución espacial de los 34 espolones construidos en el sector Punta Rey–Río Jobo. Nótese la entrante costera justo al sur de los espolones 13 y 13A, resultado directo de la interrupción del tránsito litoral por parte de estas estructuras.



Figura 11. Vista del espolón 13A, que une la terraza de Arboletes con un remanente rocoso de erosión. Al impedir el tránsito litoral, este espolón genera una erosión intensa, hacia el sur, con velocidad de hasta 6 a 7 metros/año. En el horizonte, a la derecha, se divisa Isla Rey, extremo oeste de la desaparecida península de Punta Rey. La distancia actual entre la isla y la línea de costa es de 1.6 km.

el uso de materiales inadecuados (en cuanto a resistencia y tamaño mínimo), la no consideración del espaciamiento mínimo entre obras adyacentes y la falta de mantenimiento de la gran mayoría. En el contexto temporal se hizo también evidente que los conjuntos de espolones de ambos sectores se han configurado de una manera caótica, respondiendo ante todo a necesidades inmediatas y sin considerar los efectos colaterales en los sectores adyacentes. En todos los casos, la construcción de los espolones mayores, con fondos gubernamentales, ha generado la erosión de sus sectores adyacentes y justificando la construcción de espolones menores, con fondos privados y

en su mayoría de carácter “artesanal”. Las barreras de protección, constituidas por acumulaciones de bloques han, en general, protegido las bases de los acantilados, con la excepción muy notable del frente del volcán de lodos de Arboletes, en donde los bloques no tienen ni el tamaño ni el peso suficiente para evitar ser dispersados.

## DISCUSIÓN

La complejidad de la erosión litoral ha sido tratada en numerosos estudios (Bird, 1985, 1994; Viles y Spencer, 1995; Williams *et al.*, 1995), en los cuales se enfatizan las interrelaciones estrechas entre los procesos naturales (climáticos, oceanográficos, biológicos y geológicos) y las intervenciones antrópicas, en muchos casos actuando conjuntamente. En relación con el área de estudio, el muy poco conocimiento que se tiene de los factores oceanográficos y climáticos (en cuanto a controles de los aportes de sedimentos a la franja litoral y de los mecanismos, volúmenes y direcciones de transporte) impide por el momento cualquier evaluación profunda del problema. Sin embargo, el contexto de la erosión litoral en la zona puede empezar a definirse considerando los aspectos básicos de su marco geológico general (cambios relativos del nivel del mar, aspectos tectónicos, litologías) y los efectos de las intervenciones antrópicas identificadas a la fecha.

### **Contexto geológico de la erosión litoral entre Arboletes y Turbo**

El retroceso generalizado de la parte sur del litoral Caribe colombiano sugiere, en principio, la posibilidad de que factores de alcances regionales como los relacionados con ascensos relativos del nivel del mar (ARNM) sean responsables, a mediano y largo plazo (décadas en adelante), de la “susceptibilidad” general en el área. 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. En relación con el primer factor, se destacan las cifras obtenidas recientemente por Andrade (2002) en cuanto a que las tendencias históricas del nivel medio del mar (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) para generar tendencias erosivas importantes, aun en litorales estables tectónicamente. En este último contexto debe señalarse también que, debido al neotectonismo (tectónica regional y/o a los efectos colaterales del diapirismo de lodos en el pasado reciente) de la margen colombiana del Caribe, las posibilidades de hundimientos de terrenos costeros del “Cinturón del Sinú” son reales y se demuestran, por ejemplo, por el carácter subsidente del Golfo de Morrosquillo, a velocidades de 0.7 mm/año (Page, 1986; Robertson, 1989). La actividad diapírica “sin-sedimentaria”, que incluye el “combamiento” de estratos, la compactación de espacios vacíos y los movimientos verticales de terrenos a lo largo de fallas, es otro factor en juego, ilustrado por Vernet (1985) y Vernet *et al.*, (1992) para la plataforma continental entre Cartagena y el Golfo de Morrosquillo (Figura 12). En el contexto

histórico, la coincidencia espacial entre el diapirismo de lodo y fuertes cambios en el contorno costero ha sido evidenciada además para áreas como Cartagena-Galerazamba, en donde la erosión y formación de espigas litorales involucran cambios de la línea de costa del orden de los cientos de metros en los dos últimos siglos (Ramírez, 1959; Correa, 1990). Tales influencias podrían incidir en las áreas de Arboletes y Damaquiel, (Figuras 4 y 13), ambas con importantes manifestaciones diapíricas en su franja litoral y plataforma somera adyacente; señalamos, además, que la presencia de gases y su difusión a través de los sedimentos pueden aumentar significativamente la estabilidad y resistencia de las capas y, por lo tanto, facilitar la erosión por los oleajes de las zonas de litorales (perfil Figura 13).

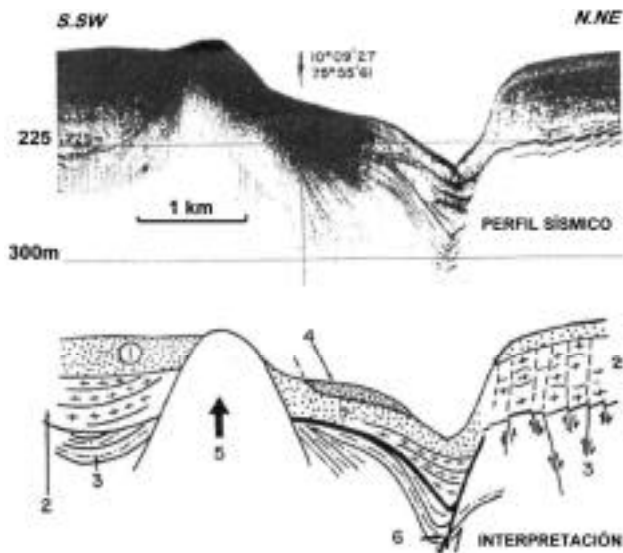


Figura 12. Tectónica sinsedimentaria asociada al diapirismo de lodos (5: domo), evidenciada por sísmica de alta resolución (mud penetrador 3.5 kHz) de la plataforma continental Caribe en el área del Golfo de Morrosquillo. Se pueden interpretar los levantamientos y/o hundimientos de terrenos asociados a plegamientos (2, 3), combamientos de las rocas de cobertura (1) y a fallamientos normales (6) ubicados a varios km del eje de emplazamiento del diapiro. (4) representa un depósito de deslizamiento con forma lenticular, en el costado este del domo.

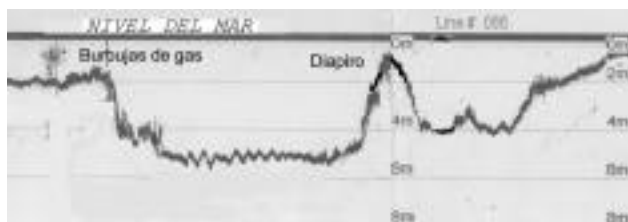


Figura 13. Perfil batimétrico al frente de Damaquiel, ilustrando la presencia de un diapiro submarino (centro derecha) adyacente al ilustrado en la figura 4, y la expulsión de burbujas de gas (extremo izquierdo).

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. El levantamiento costero en el Holoceno se manifiesta entre Coveñas y San Juan de Urabá principalmente por terrazas marinas (wave-cut marine terraces) ubicadas actualmente a alturas entre unos pocos metros y 36 m por encima del nivel medio actual del mar (San Juan de Urabá). Las dataciones efectuadas (Carbono14, Page, 1986) en estas terrazas indicaron edades entre  $2065 \pm 120$  años y  $2940 \pm 130$  años ( $2070 \pm 160$  años en San Juan de Urabá), cifras que indican formación en la fase terminal del Holoceno y levantamientos litorales a tasas máximas de hasta 18 mm/año. En principio, los levantamientos graduales de la franja litoral deberían generar, a mediano y largo plazo, ganancias y no pérdidas de terrenos litorales, por lo cual sería de esperar una línea de costa no dominada casi enteramente por la erosión. En teoría, esta contradicción podría explicarse acudiendo al fenómeno conocido como hidroisostacia, el cual, en el sentido definido por Clark y Linge (1979), considera re-equilibrios isostáticos y basculamientos (ascenso de la franja costera interna y descensos del litoral y la plataforma adyacente) asociados a la “sobrecarga” de agua sobre la plataforma a medida que el nivel del mar asciende; en ese contexto, la posibilidad de que en la actualidad la franja litoral Arboletes-Turbo esté hundiéndose lentamente por efectos de la hidroisostacia 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. En nuestra opinión ambas alternativas (re-equilibrio isostático por basculamiento y movimientos asociados a diapirismo) son válidas.

### **La litología de las terrazas y acantilados.**

En el corto plazo, puede afirmarse con seguridad que las altas tasas de erosión de las terrazas y acantilados de la zona de estudio se facilitan en función de las características geotécnicas muy pobres de sus rocas y sedimentos componentes. Especialmente en las cercanías de las intrusiones diapíricas (Arboletes- Damaquiel) y en las zonas de fracturas y posibles fallas (desembocadura de los ríos Jovo y San Juan de Urabá, por ejemplo), los acantilados están conformados por un nivel basal (1 a 8 m de altura) de arcillolitas y lodolitas buzando hacia el mar, y fuertemente fracturadas y meteorizadas. La resistencia de estas rocas al embate de las olas es en general tan baja que no da tiempo a la formación de una acanaladura de erosión típica (notch), paso previo al desplome por gravedad de la roca suprayacente (Figura 14). El nivel basal se encuentra por lo general suprayacido disconformemente por un nivel (1 a 3m de espesor) de suelos o de lodos pardos no consolidados, erosionado fácilmente por las aguas lluvias, de escorrentía y de filtraciones de los tanques de las casas ubicadas en la superficie de las terrazas (ver Figura 7). La saturación de agua de estos horizontes, (cuarteados y agrietados extensivamente por los calores del verano) se da rápidamente en los primeros días de la transición verano-invierno (abril), durante los

cuales coinciden, con las primeras lluvias, deslizamientos (siguiendo los planos de fractura y buzamiento), desplomes y flujos de lodo extensivos en muchos acantilados, especialmente en las zonas de Arboletes, Damaquiel y Zapata. Los desplomes y deslizamientos en los frentes de las terrazas, disparados directamente por la socavación de la base de los acantilados por el oleaje, son especialmente frecuentes durante los “mares de leva” (fuertes oleajes frontales a la costa), comunes entre octubre y marzo.



Figura 14. Deslizamientos gravitacionales y flujos de lodos en materiales fuertemente meteorizados, inmediatamente al norte del volcán de lodos.

### **Intervenciones antrópicas.**

La franja litoral Arboletes - Turbo y las cuencas de drenaje adyacentes han sido intervenidas considerablemente por las actividades de agricultura y ganadería, ambas generadoras de talas extensivas y, muy posiblemente, de modificaciones a los sistemas fluviales (construcción de pequeñas presas, desviación de causes, tomas de agua para irrigación). Esas acciones pueden, en su conjunto o aun individualmente, 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. Este aspecto podría ser parte fundamental del problema y deberá ser evaluado en detalle en estudios posteriores, aunque por el momento se hace patente al considerar los impactos de la desviación del río Turbo: aunque la erosión natural de la espiga de Las Vacas se inició con anterioridad a 1957 (fecha de la desviación) y, obviamente, al desembocar al interior de la bahía el río no aportaba sedimentos a su frente, la formación de un delta en su nueva desembocadura cortó el tránsito de arenas e intensificó las condiciones de déficit hacia el sur, acelerando su erosión. Llama la atención la no consideración de este aspecto técnico básico antes de la construcción de la serie de espolones, que obviamente no cumple su función al no haber arena para atrapar. Anuestro entender, en su momento ni siquiera se elaboró un mapa detallado de tipos de sedimentos de fondo en la plataforma somera de la espiga como soporte mínimo para la elección del tipo más apropiado de defensa.

Un segundo factor, sin evaluaciones cuantitativas por la falta absoluta de registros, pero con seguridad común a todos los asentamientos de la zona, se relaciona con la extracción intensiva de materiales de playa. De acuerdo con la información de los habitantes, gran parte de los materiales de construcción utilizados para las casas de Arboletes, Turbo y Necoclí fue extraída directamente de las playas o de las áreas de desembocaduras fluviales adyacentes, en actividades que se llevaron a cabo constantemente durante las últimas cuatro décadas y que aún en la actualidad se presentan eventualmente. La extracción de materiales de playa debe haber involucrado volúmenes considerables de arenas y guijos, con toda certeza con impactos muy negativos en vista de la existencia de las condiciones de erosión natural previa definidas anteriormente.

Por último, señalamos dos aspectos de importancia, notables especialmente en el sector de Punta Rey-Arboletes, que puede considerarse como el más crítico en la actualidad en cuanto a las velocidades de erosión del contorno costero. En primera instancia y en relación con el retroceso de las terrazas acantiladas, la ausencia de sistemas de control de aguas de escorrentía y de filtraciones de tanques y tuberías de casas se refleja sistemáticamente en las altas velocidades de retroceso de los acantilados adyacentes (ver Figura 7) y en la ocurrencia de flujos de lodo y de deslizamientos rotacionales del tipo “cuchara”. Estos últimos, con cicatrices de desgarré entre 5 y 10m hacia el interior de la línea de costa actual, evidencian en varios sectores el predominio de los procesos de erosión subaéreos sobre las acciones del oleaje. En segunda instancia, se hizo evidente que 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: la erosión continuada del sector Arboletes-río Jovo está directamente relacionada con la construcción del espolón principal de Arboletes, y la erosión entre Punta Rey y Arboletes responde a déficits intensificados por la construcción de los espolones de Punta Rey y por el espolón número 13 (ver Figura 10), causante de la formación de una bahía erosiva “en espiral” inmediatamente hacia el sur. En el caso extremo de imprevisión se pretendió defender el volcán de Arboletes con la construcción de un espolón en su sector más septentrional, sin tener en cuenta que la dirección de transporte neto de arenas tiene componente sur.

## CONCLUSIONES

A título de conclusión puede señalarse que la erosión del litoral Arboletes-Turbo refleja en primera instancia un déficit generalizado de materiales gruesos en su franja litoral, resultante muy probablemente de la combinación de factores naturales y antrópicos que actúan a escalas de tiempo diversas. La “susceptibilidad” natural generalizada a la erosión tendría en principio que ver, en su contexto geológico de largo plazo (miles de años), con ascensos relativos del nivel del mar asociados a fenómenos tectónicos (incluyendo los efectos del diapirismo de lodo) y a la

hidroisostacia. A corto plazo, el retroceso litoral se facilita por la estratigrafía de las terrazas litorales, constituidas predominantemente por arcillolitas y lodolitas muy fracturadas y meteorizadas y por niveles de sedimentos finos no consolidados: en ese contexto, tanto los oleajes como los procesos subaéreos son agentes muy efectivos de erosión y movimientos de masas y pueden causar retrocesos del contorno costero del orden de los metros por año. Debido a su composición esencialmente limosa y arcillosa, la erosión de las terrazas y acantilados de la zona de estudio no aporta arenas a la franja litoral y por lo tanto no contribuye a mitigar la erosión de los sectores de playas adyacentes.

La erosión litoral “natural” entre Arboletes y Turbo ha sido acelerada, al menos en la mayor parte de las playas y acantilados de estas dos ciudades, por intervenciones antrópicas, principalmente por la desviación de causes fluviales (río Turbo), la extracción intensiva de arenas y materiales de playa, y la construcción desordenada y antitécnica de obras de defensa, particularmente de espolones. Estas últimas estructuras han acelerado en la mayoría de los casos la erosión de los sectores adyacentes y su falta de mantenimiento ha degradado el paisaje y la seguridad (bloques esparcidos por las playas) de los sectores turísticos principales de Arboletes y Turbo. En el fondo de la situación, se hace evidente la falta de un plan de manejo que regule las intervenciones y plantee alternativas a mediano y largo plazo para el control y la mitigación de pérdidas de terrenos litorales.

Debido al pobre conocimiento científico del litoral de Urabá (y de los litorales del país en general) prácticamente todas las variables del problema están por evaluar en detalle, particularmente en cuanto a las influencias climáticas, oceanográficas, de la dinámica sedimentaria y de los tipos e impactos de las intervenciones humanas en las cuencas de drenajes. De interés prioritario sería la elaboración de mapas topográficos actualizados (con cotas de nivel cada 0.5m) de la franja litoral y plataforma somera adyacente para iniciar evaluaciones detalladas de las posibles respuestas de la franja costera al ascenso previsto del nivel del mar en el futuro próximo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo sintetiza parte de los resultados del proyecto “Erosión Marina en el Litoral Antioqueño (Sector Arboletes-Turbo): causas y estrategias de control y mitigación”, cofinanciado por COLCIENCIAS-BID, contrato No. 141-99. Código 1216-09-024-9. Los autores expresan sus agradecimientos a las doctoras Olga Aristizábal (Universidad EAFIT) y Beatriz Calderón (DAPARD, Gobernación de Antioquia) por su participación en el proyecto y por realizar la evaluación de las obras de defensa. Igualmente a los señores alcaldes y al personal de las oficinas de planeación de los municipios de Arboletes, San Juan de Urabá, Necoclí y Turbo por su apoyo logístico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, C.A. 2002. Análisis del nivel del mar en la zona costera colombiana. En: INVEMAR, 2001. 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, Informe técnico N 4.
- ASOCIACIÓN DE INGENIERÍA SÍSMICA. 1988. Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia. Publicación especial, INGEOMINAS, Segunda edición, 17-27.
- Bird, E.C.F. 1985. Coastline Changes: AGlobal Review. John Wiley & Sons, New York, 219p.
- \_\_\_\_\_. 1994. Cliff Hazards and Coastal Management. En: Charles W. Finkl, Jr. (Ed): Coastal Hazards: Perception, Susceptibility and Mitigation. The Journal of Coastal Research, Special Issue, 12, 299-311.
- Bruun P. 1962. Sea-level rise as a cause of shore erosion. Proceedings, American Society of Civil Engineers. Journal of Waterways and Harbour Division. 88, 117-130.
- Correa I.D. 1990. Inventario de Erosión y Acreción Litoral (1793-1990) entre Los Morros y Galerazamba, Departamento de Bolívar, Colombia. En: Hermelin M. (ed.) Memorias del Primer Seminario Andino de Geología Ambiental-I Conferencia Colombiana de Geología Ambiental. Agid Report No. 13 Geology and Natural Hazards of the Andean Region. Universidad EAFIT, Medellín. 129-142
- Case, J.E., 1974. Major basins along the continental margin of northern South America. The Geology of Continental Margins. Burk and Drake Ed., 733-741.
- Clark J. y C.S. Linge. 1979. Predicted sea level changes (18000 to Present) caused by late glacial retreat of the Antarctic ice-sheet. Quaternary Research, 11, 279-298.
- CORPOURABÁ-UNIVERSIDAD NACIONAL. 1998. Informe Final sobre la “Evaluación de Zonas de Erosión Crítica en el Litoral Caribe Antioqueño”. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Medellín. 1999p.
- Duque-Caro, H. 1984. Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú - San Jacinto en el Noroccidente de Colombia. Boletín Geológico INGEOMINAS. 27, (2) 1-29.
- González H., Nuñez, A. y G. Paris. 1988. Mapa Geológico de Colombia, Memoria explicativa, Ingeominas, 8-11.
- INVEMAR. 2002. NCCSAP, Colombia: Definición de los sistemas bio-geofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la Zonas Costeras colombianas (Caribe, Insular y Pacífico) y medidas para su adaptación. Informe Técnico No. 4. Evaluación de Impactos, Efectos y Respuestas del Sistema Natural. Santa Marta. Colombia. 107 p + anexos.
- Molina, A., Molina, C. y P. Chevillot. 1992. La percepción remota aplicada para determinar la circulación de las aguas superficiales del Golfo de Urabá y las variaciones de su línea de costa. Boletín Científico CIOH, Cartagena - Colombia. 11, 43-58.
- Morton, R. 1977. Historical Shoreline Changes and Their Causes, Texas Gulf Shoreline. Geol. Circ. 77-6, Bureau of Econ. Geology, The Univ. of Texas at Austin.
- Page, W. 1986. Geología sísmica y sismicidad del Noroeste de Colombia. ISA-INTEGRAL-WOODWARD-CLYDE CONSULTANTS. Versión española por Rodrigo Alvarez, Ingeniería e Hidrosistemas IEH Ltda. 156p.
- Ramirez J.E. 1959. El Volcán de lodo de Galerazamba. Rev. de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, físicas y Naturales. V 10 (41), 301-314.

- Raasveldt H, y Tomic, A. 1958. Lagunas colombianas. Rev. de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. V. 10 (40), 175-198.
- Robertson, K. 1989. Evolución reciente del delta del Río Sinú, Colombia. Cours International d' Océanographie Côtière en Région Caraïbe, Bull. IGBA, Bordeaux, 45, 305-312.
- Vernette, G. 1985. La Plate-forme Continentale Caraïbe de Colombie (du débouché du Magdalena au Golfe de Morrosquillo). Importance du diapirisme argileux sur la morphologie et la sédimentation. Thèse de Doctorat d'état, Université Bordeaux I. France, 378 p.
- Vernette G.; Mauffret A.; Bobier C.; Briceño L. y J. Gayet. 1992. Mud diapirism, fan sedimentation and strike-slip faulting, Caribbean Colombian Margin. Tectonophysics, 202, 335-349.
- Viles H. y T. Spencer. 1995. Coastal Problems. Edward Arnold (Ed.), 350p.
- Williams, S. J., Dodd, K. y K. Kraf & Gohn 1995. Coasts in crisis. U.S. geological Survey, Circular 1075, 32 p.

FECHA DE RECEPCIÓN: 18/02/03

FECHA DE ACEPTACIÓN: 6/02/04

DIRECCIÓN DE LOS AUTORES:

*Universidad EAFIT. Departamento de Geología. Cra. 49 # 7 Sur 50 Medellín. E-mail: icorrea@eafit.edu.co (I.D.C.). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) AA 1016 Santa Marta. E-mail: georges\_vernette@yahoo.fr (G.V)*