

EROSIÓN LITORAL ENTRE ARBOLETES Y PUNTA SAN BERNARDO, COSTA CARIBE COLOMBIANA

Correa, I.¹; Ríos, A.¹; González, D.¹; Toro, M.¹; Ojeda, G.²; Restrepo, I.¹

RESUMEN

Las morfología actual y el inventario de cambios de la línea de costa (1938-2005) del litoral Arboletes-Punta San Bernardo evidencian su carácter fuertemente erosional, caracterizado a lo largo de su mayor longitud (160 de 180km) por la desaparición/retroceso de numerosas playas y la erosión/inundación consecuente de las terrazas litorales y/o pantanos de manglar adyacentes. En términos generales, el litoral Arboletes-Punta San Bernardo retrocedió entre 30 y 100m durante las siete últimas décadas, a tasas entre 0.5 y 1.5 m/año, superadas en varios sectores críticos (Arboletes-Punta Brava) en los cuales las magnitudes de la erosión fueron del orden de los 900-1.500m a velocidades de 70 m/año durante 1960-1975. La erosión litoral en la zona resulta tanto de procesos marinos como subaéreos, y de la combinación de factores geológicos (neotectonismo/diapirismo de lodos, pocos aportes arenosos, ascenso relativo del nivel del mar, características geotécnicas pobres de las rocas) y antrópicos -minería intensiva de arenas de playas y ríos, usos diversos sin manejo de aguas lluvias y residuales, efectos de espigones y obras de defensa. La definición precisa de estos factores es necesaria para planificar el desarrollo litoral considerando aspectos como el ascenso futuro del nivel del mar asociado al Cambio Climático Global.

Palabras clave: Colombia, Costa Caribe, erosión de playas, erosión de acantilados, espigones.

SHORE EROSION BETWEEN ARBOLETES AND PUNTA SAN BERNARDO, CARIBBEAN COAST OF COLOMBIA

ABSTRACT

The present morphology and the inventory of the historical shoreline changes (1938-2005) between Arboletes and Punta San Bernardo evidenced a strong erosional trend along 160 of its 180km total-length, resulting in the disappearance/retreat of numerous beaches, followed by the consequent flooding/erosion of the adjacent littoral terraces and mangrove swamps. In general terms, the littoral Arboletes-Punta San Bernardo retreated 30 to 100m during the last seven decades, at rates between 0.5 and 1.5 m/year; maximum values were found at some critical sectors in the Arboletes-Punta Brava shore segment where magnitudes of coastline retreat were in the order of 900-1.500m at erosion rates up to 70 m/year during the period 1960-1975. Shore erosion in the study area results both from marine and subaerial processes and the combination of geological factors (neotectonism and effects of mud diapirism, minor stocks of sands, relative sea level rise, poor geotechnical characteristics of cliff's rocks) and human interventions (intensive sand mining from beaches and rivers, land uses with inadequate water management practices, adverse effects of groins and other rigid structures of defense). The precise definition of each one of these factors is necessary for planning the development of the area considering the future sea level rise associated to the Global Climate Change.

Key words: Colombia, Caribbean Coast, beach erosion, cliff erosion, groins.

¹ Área de Ciencias del Mar, Universidad EAFIT, Medellín. icorrea@eafit.edu.co

² Instituto Colombiano del Petróleo ICP, Área de Ciencias del Mar, Universidad EAFIT german.ojeda@ecopetrol.com.co

INTRODUCCION

La erosión, inundación y salinización de los litorales son amenazas geológicas mayores en muchas zonas costeras, sobre todo en aquellas intervenidas y con economías basadas en usos intensivos del espacio físico (agricultura, acuicultura, turismo, industria, actividades portuarias). Con respecto al futuro, las predicciones de los impactos del Cambio Climático Global sobre las costas consideran muy probable la intensificación de estas amenazas, en función de factores como los aumentos de población y el ascenso eustático del nivel del mar, estimado entre los 40 y 80 cm para el año 2100. (Bird, 1985; IPCC, 2001 y 2007). En el contexto anterior, es evidente la necesidad de planificar el desarrollo futuro de los litorales con base en la evaluación de sus condicionantes geológicos, incluyendo los factores naturales y antrópicos de inestabilidad y las posibles respuestas del medio a las condiciones futuras (Viles & Spencer, 1995; USGS, 2000).

El litoral Arboletes-Punta San Bernardo (FIGURA 1) tiene una longitud aproximada de línea de costa de 180 km, 130 sobre el segmento Arboletes-Coveñas, y 60 entre

Coveñas y Punta San Bernardo. El sector es de interés prioritario tanto por sus posibilidades de desarrollo futuro como por ubicarse geológicamente en ambientes geológicos inestables, sujetos a acciones marinas intensas y con numerosas manifestaciones de tectónica activa. Ha sido, además, intervenido en muchas localidades (Golfo de Morrosquillo y centros urbanos), y las pérdidas de playas y terrenos adyacentes son actualmente uno de sus mayores problemas ambientales. Con base en la ilustración de algunos ejemplos críticos se presenta una aproximación general al problema de la erosión litoral en el área y se discuten brevemente los posibles factores naturales y antrópicos asociados al retroceso generalizado del contorno costero de la zona.

METODOLOGIA

La aproximación al problema de la erosión litoral entre Arboletes y Punta San Bernardo se basó en la caracterización de la morfología actual de su línea de costa y en la identificación de sus principales cambios morfológicos históricos entre los años 1938 y 2006. Para la definición

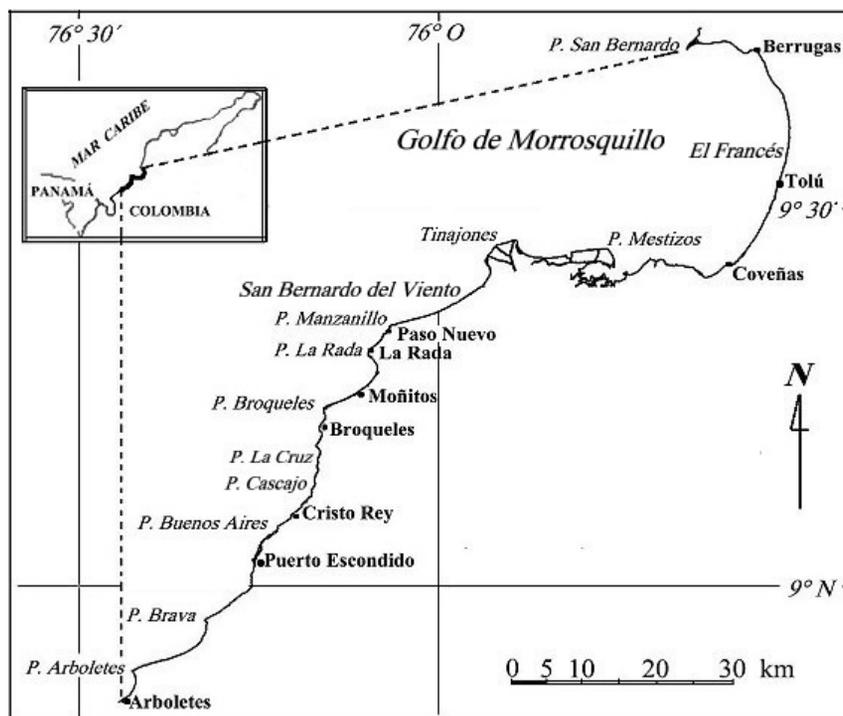


FIGURA 1. Localización del área de estudio.

de la morfología actual y las comparaciones históricas se usaron aerofotografías a color (escalas 1: 8000 a 1: 10.000) tomadas por la firma Aeroestudios entre los años 2004 y 2006; las fotos del sector Arboletes–Coveñas se georreferenciaron con base en las coordenadas de 150 puntos GPS (Trimble® Navigator; precisión estimada > 5m); para el tramo Arboletes-Puerto Escondido se georreferenciaron aerofotografías pancromáticas IGAC de 1938 (sobre 117, vuelo V-III-33-38), las más antiguas disponibles de la zona. En el sector delta de Tinajones-Bahía Cispatá, la información se complementó con datos de la imagen Landsat (Path 010, Row 053, banda 5, diciembre 2002) adquirida gratuitamente del Global Land Cover Facility: (<http://landcover.org>). Las cifras sobre erosión litoral (retroceso de la línea de costa) se calcularon a partir de la comparación de las posiciones de las líneas de costa representadas en los materiales disponibles. En los sectores bajos, la línea de costa se definió como el límite más externo de la vegetación de las playas traseras (generalmente palmeras o plantas colonizadoras de dunas), o de los manglares en las zonas lagunares; en los sectores escarpados, representa el tope de los taludes de ángulo alto, o sus contactos con el mar cuando los escarpes están afectados por movimientos de masa. Las tasas de erosión, expresadas en m/año, resultan de dividir las distancias entre sucesivas líneas de costa (medidas perpendicularmente a las líneas base (2004-2006) por el tiempo transcurrido entre la toma de las imágenes. Las cifras obtenidas fueron constatadas siempre con los reportes de estudios anteriores y con los testimonios de los habitantes. Los estimativos para el sector del Golfo de Morrosquillo se basan principalmente en apreciaciones de conocedores de la zona y en las evidencias de campo. El estudio incluyó también la ubicación, descripción y evaluación de los efectos colaterales de las obras de defensa construidas en la zona hasta el mes de diciembre de 2006.

La información sobre el Departamento de Córdoba (Arboletes-Coveñas) está integrada en una base de datos SIG a cargo de la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge - CVS.

RESULTADOS

Tipos básicos de línea de costa actual entre Arboletes y punta San Bernardo

La franja litoral y correspondientes líneas de costa entre Arboletes y Punta San Bernardo presentan sectores con

características contrastantes que reflejan en primera instancia contextos morfológicos diferentes, esquematizados en las FIGURAS 2 y 3. El sector sur (Arboletes-Punta Manzanillo) se ubica al oeste del lineamiento del Sinú, sobre terrenos del “Cinturón deformado del Sinú”, una secuencia sedimentaria de turbiditas y rocas hemipelágicas (Oligoceno-Plioceno), con estructuras y ejes de levantamiento regional N-S a N 25 E (Duque-Caro; 1980, Ingeominas, 1999). En la costa emergida y en la plataforma continental del área existen evidencias claras de diapirismo de lodos activo, incluyendo domos y numerosos volcanes de lodo en los sectores de Arboletes, Puerto Escondido y San Antero, entre otros (Ramírez, 1976; Carvajal, 1992; Restrepo, 2007; Restrepo *et al.*, manuscrito en revisión; González, 2007; Ojeda *et al.*, manuscrito en revisión). El sector muestra (FIGURA 2A) evidencias de deformaciones holocenas intensas, principalmente terrazas marinas emergidas con alturas entre 1 y 19m datadas por radiocarbono entre 2300 y 2800 B.P. (Page, 1983, 1986). Vista en planta (FIGURA 3), su línea de costa es aserrada, caracterizada por la sucesión de bahías “en espiral” desarrolladas a partir de salientes rocosos relativamente resistentes, coincidentes con ejes estructurales y/o manifestaciones diapíricas. En su mayor longitud se define sobre frentes de acantilados activos (alturas entre 1 y 20m) labrados en arcillolitas y lodolitas fracturadas y meteorizadas, suprayacidas por niveles fluviales y marinos no consolidados de hasta 2m de espesor. Las geoformas típicas de los acantilados (arcos, cavernas e islotes rocosos aislados) resultan de la erosión continuada de los taludes (FIGURA 4).

Al este de Punta Manzanillo, el sector Tinajones-Bahía de Cispatá es esencialmente un litoral bajo, estuarino, constituido principalmente por cordones de playas arenosas y lagunas costeras (FIGURAS 2B y 3). La zona se ha caracterizado en el Holoceno por una alta inestabilidad morfológica, asociada a los cambios geográficos de al menos cinco construcciones deltaicas del río Sinú (Koopmans, 1971, Robertson, 1987; Robertson & Chaparro, 1998; Serrano, 2004) y, muy probablemente, a levantamientos y hundimientos costeros resultantes de la actividad diapírica. En la plataforma somera (profundidades <10m) esta última ha sido confirmada recientemente por el hallazgo de estructuras antiforales, escarpes y quiebres batimétricos (Restrepo, 2007; Restrepo *et al.*, Ojeda *et al.*, manuscritos en revisión); en tierra, es evidente por la presencia de numerosos domos y volcanes de lodo activos en el sector de San Antero, en o cerca de la traza del lineamiento del Sinú (FIGURAS 2, 3 y 5).

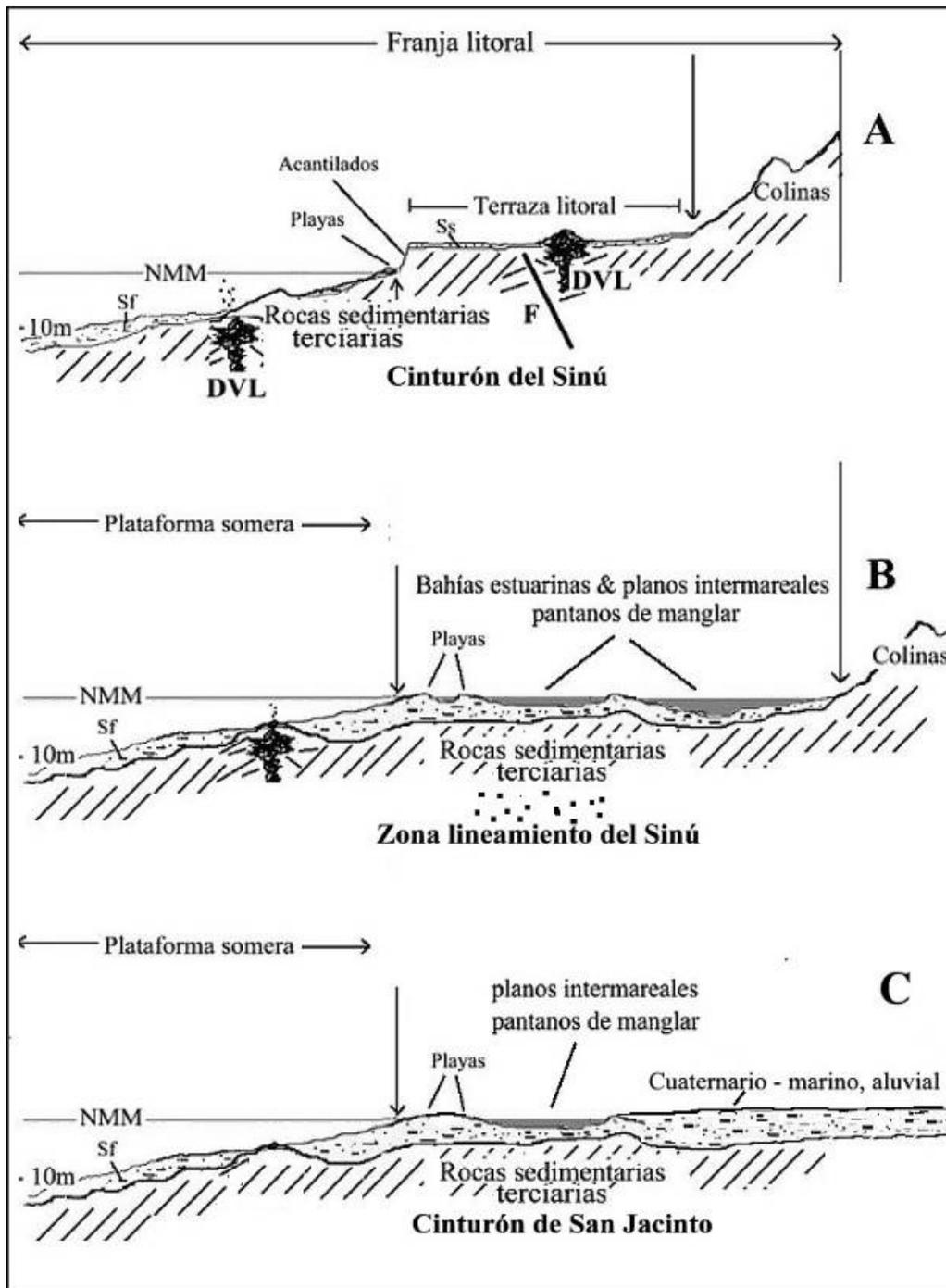


FIGURA 2. Esquemas morfológicos básicos de los diferentes sectores del área de estudio. A) Litoral Arboletes-Punta la Rada, B) Sector Tinajones Bahía de Cispatá, C) Golfo de Morrosquillo. Ver FIGURA 3 para ubicación.

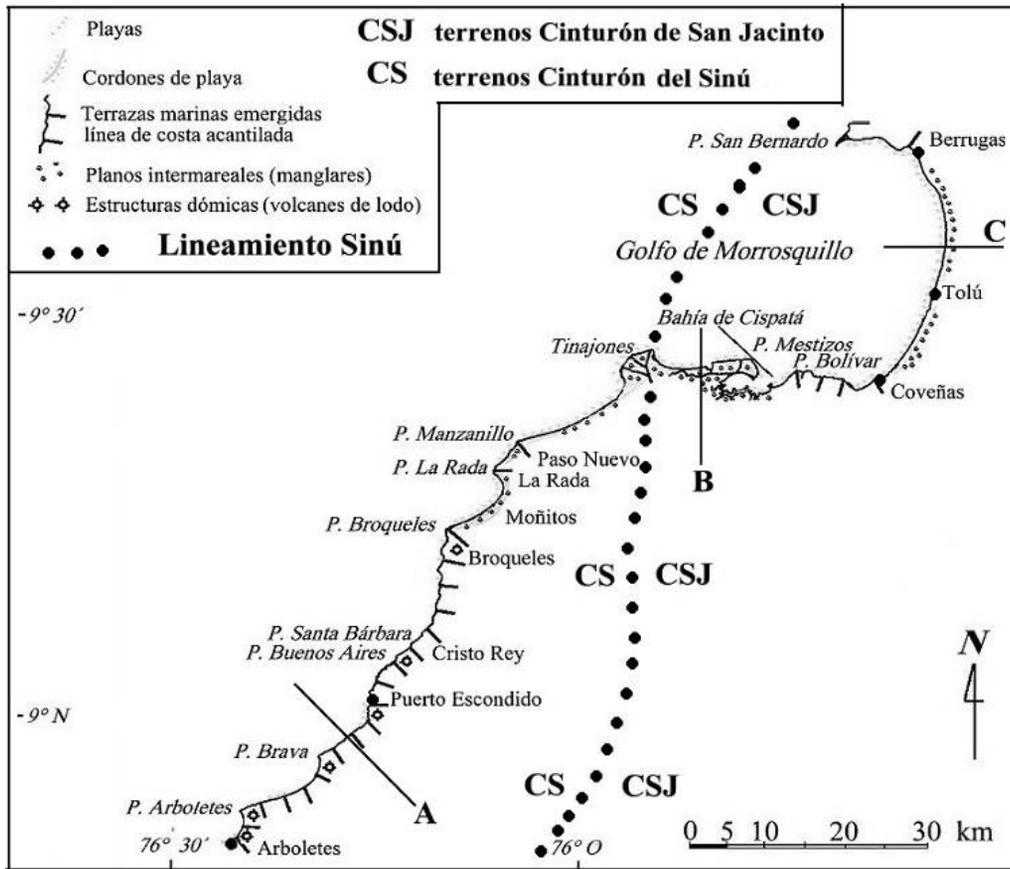


FIGURA 3. Tipos básicos de línea de costa entre Arboletes y Punta San Bernardo. Las líneas A, B y C indican la ubicación de los esquemas de la FIGURA 2.

En el extremo norte del área de estudio, el Golfo de Morrosquillo constituye una profunda entrante costera, relativamente protegida de los oleajes y de los vientos Alisios del N y NE. Todo el Golfo se ubica en el “Terreno San Jacinto”, una secuencia de turbiditas, rocas hemipelágicas, vulcanitas básicas y depósitos lacustres y fluviales (Plioceno superior al Pleistoceno) con un estilo estructural de dirección general N-S a N 20° E (Duque-Caro, 1980; Ingeominas, 1999). Su morfología litoral actual está dominada por superficies de relieve bajo y drenaje pobre (FIGURAS 2C y 3) desarrolladas en acumulaciones fluvio-marinas holocenas, con una plataforma continental somera caracterizada por numero-

sos relieves positivos y negativos y drenajes submarinos enterrados por niveles de sedimentos recientes de hasta 2m de espesor. (Ojeda *et al.*, manuscrito en revisión). Page (1983, 1986) señala la posibilidad de que el sector sea un área subsidente, a tasas probablemente mayores a los 0.7 mm/año. La línea de costa actual del Golfo se define sobre conjuntos de cordones de playa, sencillos o múltiples, con alturas máximas de 1.5m sobre el nivel general de las mareas altas en la zona. En muchos sectores (Punta San Bernardo, Tolú-El Francés, Coveñas), estos cordones de playa aíslan hacia tierra varias series de lagunas salobres interconectadas y planos intermareales colonizados por manglar (FIGURA 6).



FIGURA 4. Rasgos geomorfológicos erosionales de la línea de costa Arboletes–Punta Rada. A) Erosión de escarpes (2m de altura) controlada por desplomes a lo largo de agrietamientos paralelos a la línea de costa, iniciados a partir de caminos del ganado, suelos residuales de arcillolitas y lodolitas; sector de la Punta Santa Bárbara. B) Intento (fallido) de proteger frente acantilado (5m de altura) con cilindros rellenos de concreto; 1 km al sur de Puerto Escondido. C) Vista aérea de Puerto Escondido (2005): línea de costa de contornos irregulares, caracterizada (vista en planta) por playas cóncavas (playas de bolsillo) entre salientes rocosos erosionales. D) Erosión de playas y suelos residuales adyacentes en el sector de Puerto Rey. E) depósitos remanentes de playa al frente de escarpes acantilados en retroceso, típicos del sector de Punta Cascajal.

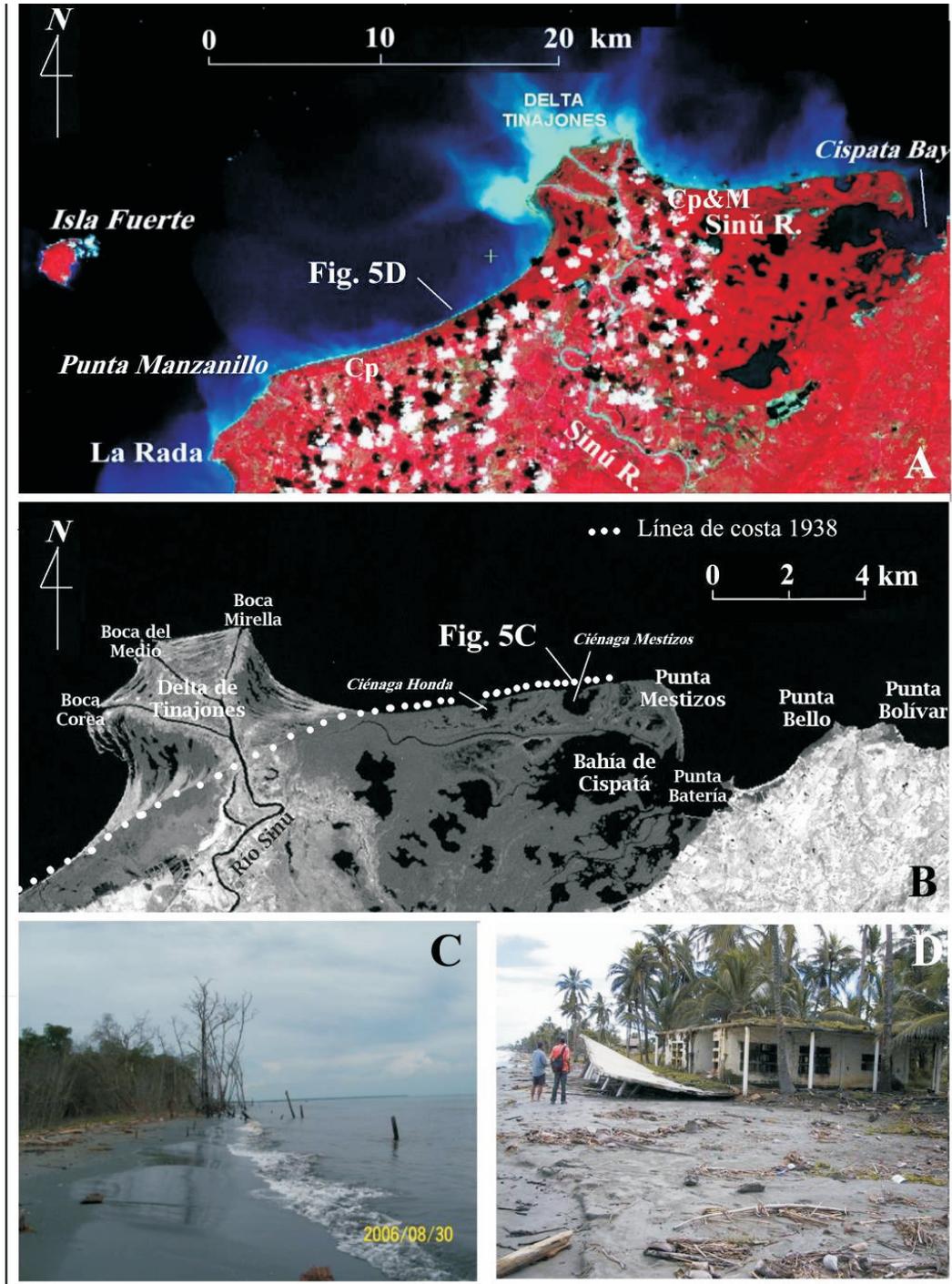


FIGURA 5. Geomorfología general de la franja litoral Tinajones-Bahía de Cispatá. A) Panorama general del sector mostrando el complejo estuarino y de manglares al este del delta de Tinajones (Bahía de Cispatá, Cp&M), el lóbulo de acreción de Tinajones y la línea de costa hacia el suroeste, conformada por cordones de playa (Cp) “anclados” a puntas rocosas resistentes (imagen Landsat, 1999), cortesía del Invemar. B) Acercamiento a los sectores Delta de Tinajones-Bahía de Cispatá mostrando la ruptura por el mar de las ciénagas frontales (Mestizos y Honda) del complejo de manglares entre Tinajones y la Punta Mestizos; al este de la Bahía, litoral rocoso bajo labrado en areniscas y calizas arrecifales; Imagen Landsat, 2000 (Global Land Cover Facility). C) erosión de playas y destrucción de los manglares en el sector de la Punta Mestizos. D) Destrucción de viviendas por migración de playas en las playas de San Bernardo, oeste del Delta de Tinajones.

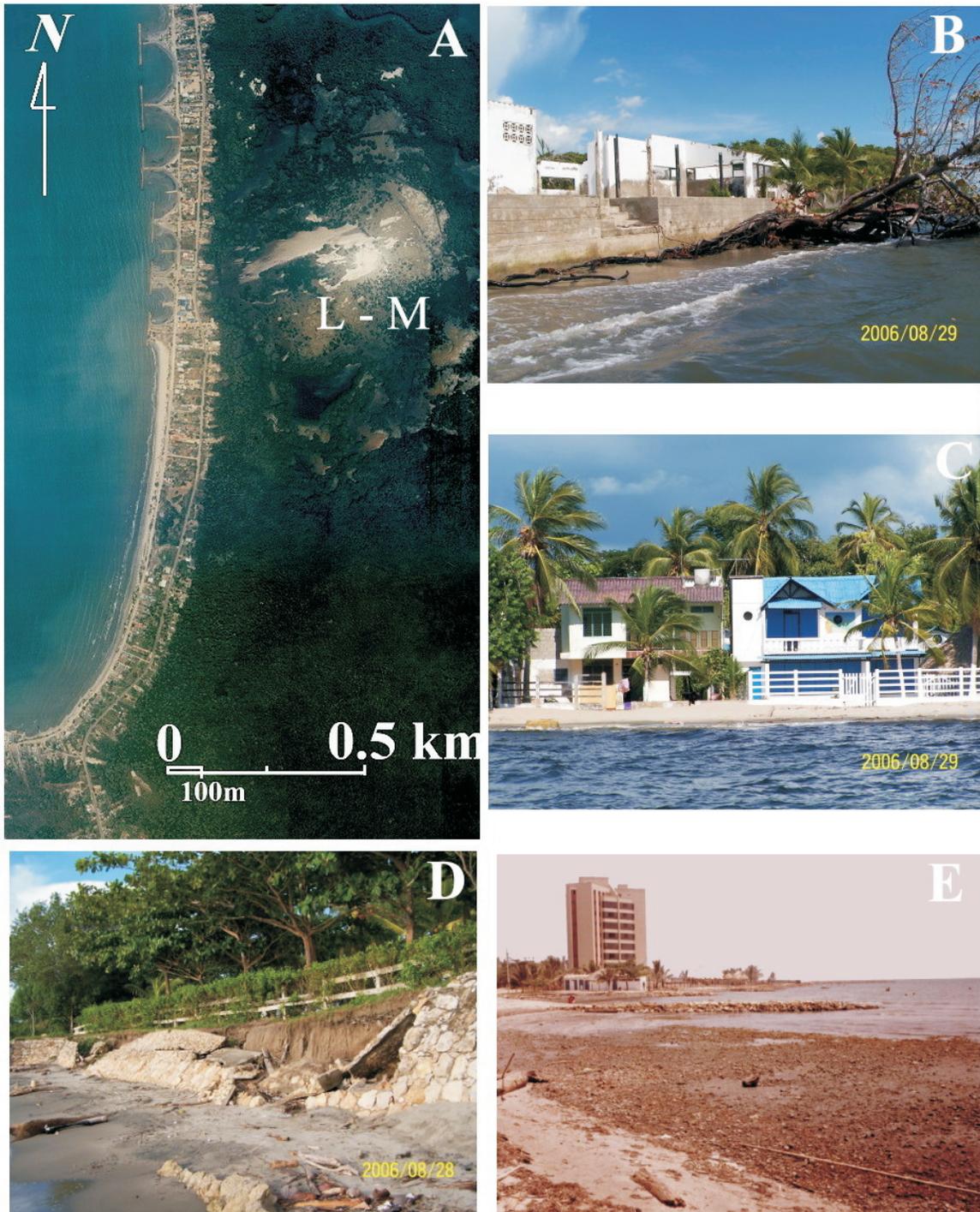


FIGURA 6. Rasgos erosionales típicos del litoral del Golfo de Morrosquillo. A) Aerofotografía (2005) de las playas justo al norte de Coveñas, densamente pobladas y con intentos de estabilización a partir de estructuras ingenieriles (espolones sencillos y “en T”); al este del cordón de playas, sistemas de laguna y pantanos de manglares (L-M). B) Erosión de playas y destrucción de vivienda, 2 km al sur de Berrugas, extremo norte del Golfo. C) Playas delgadas (5m de amplitud) en El Francés, 5 km al norte de Tolú. D) Colapso de muros de protección, extremo sur del área urbana de Tolú. E) Afloramiento del substrato de las playas en Punta de Piedra (Coveñas) debido a la retención de las arenas por las estructuras de defensa construidas para defender el edificio del fondo.

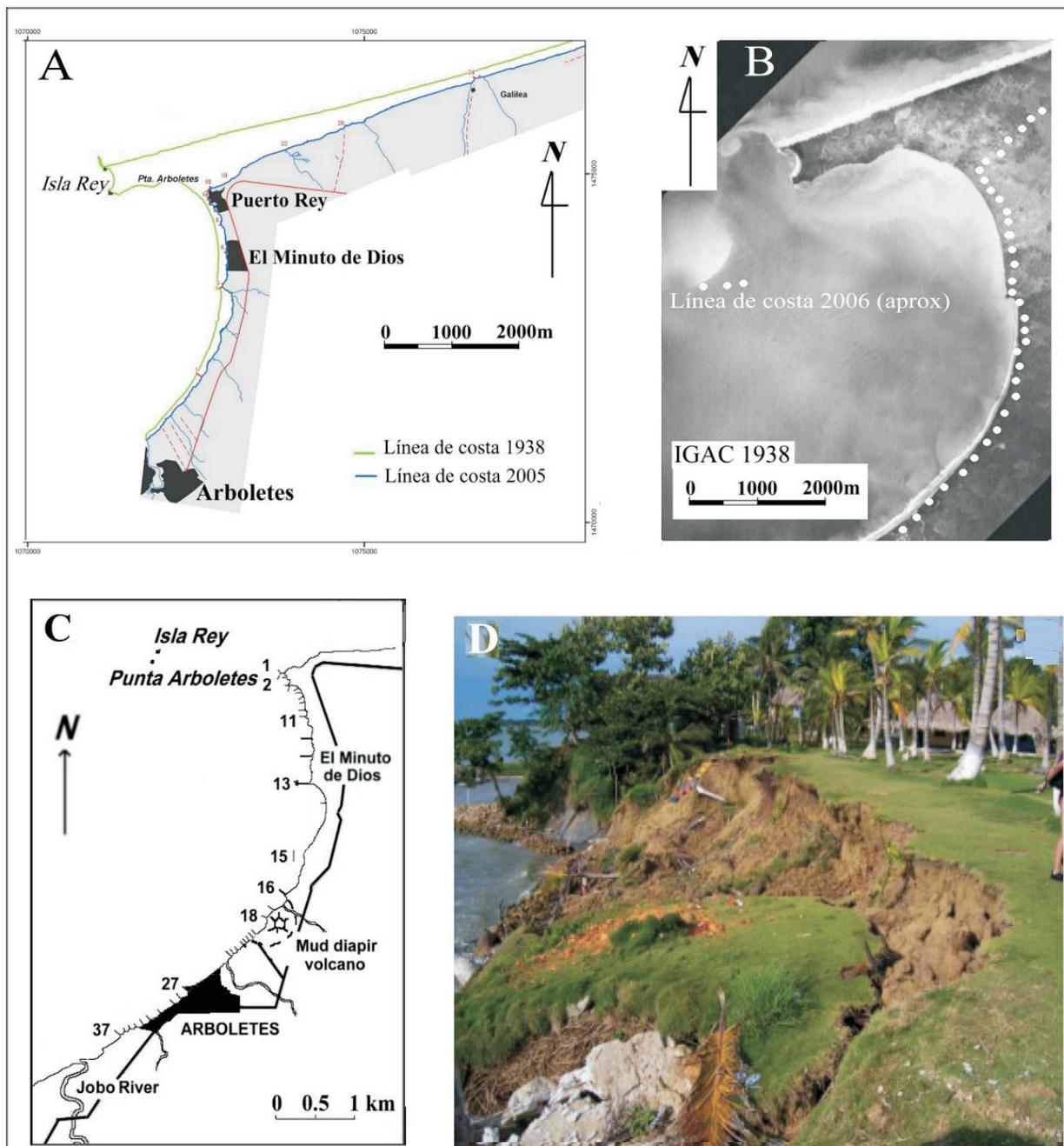


FIGURA 7. Evolución histórica de la línea de costa del sector Arboletes–Punta Rey (Punta Arboletes). A) cambios en la posición de la línea de costa entre 1938 y 2005, evidenciando la desaparición de la península de Punta Rey y la erosión generalizada hacia el sur y este de la Punta Arboletes. B) Aerofotografía IGAC (1938) de la península de Punta Rey. C) Como respuesta a la erosión en la zona se construyeron (hasta 2004) 37 obras de defensa en la zona: el espolón No. 27, ubicado al frente de Arboletes ha sido hasta la fecha la única estructura que ha logrado minimizar el retroceso de la línea de costa; tomada de Correa & Vernet, 2004. D) Retroceso de acantilados asociado a movimientos de masa generados por lluvias, norte del casco urbano de Arboletes.

Erosión litoral histórica (1938-2005) y actual entre Arboletes y Punta San Bernardo

La evolución histórica del litoral Arboletes–Punta San Bernardo muestra una fuerte tendencia erosional, evidenciada por el retroceso generalizado de alrededor del 90% (160 km) de su línea de costa durante 1938-2005. En cuanto a ganancias históricas netas de terrenos, el único sector acrecionario es el delta de Tinajones, desarrollado a partir de 1938 como consecuencia del último cambio de curso del río Sinú. En lo que respecta a su comportamiento actual y más reciente (últimas tres décadas), la zona de estudio puede tomarse, exceptuando algunos pocos sectores localizados (Punta la Cruz, Cristo Rey, Punta Cascajal), como un litoral esencialmente transgresivo en el cual las franjas de playas han o están desapareciendo rápidamente (Invemar, 2003; Correa & Vernet, 2004; Rangel & Posada, 2006, Correa *et al.*, 2005; Correa & Morton, 2006) y la inundación de los terrenos bajos adyacentes o la erosión acelerada de los frentes acantilados y terrazas litorales son los procesos dominantes en la actualidad (FIGURA 4).

En el sector sur (Arboletes-Punta Manzanillo), las pérdidas de playas y terrenos contiguos alcanzaron valores medios del orden de los 60-100m para las ocho últimas décadas, y máximos del orden del 1.5 km en el área Arboletes-Punta Brava (FIGURA 7). En este último sector, el retroceso costero incluyó, entre 1962 y 1974, la desaparición de la península de Punta Rey y la pérdida acelerada de terrenos contiguos (mas de 1.5 km²), a velocidades máximas de hasta 70m/año (Corpourabá & Universidad Nacional, 1998; Correa & Vernet, 2004; CVS & Universidad EAFIT, 2006; González, 2007).

A lo largo de litoral Punta Manzanillo–Bahía de Cispatá el retroceso generalizado de las playas fue también evidente, especialmente hacia el oeste y este de los flancos del delta de Tinajones, desarrollado sobre una línea de costa 1938 regularizada y erosional en ese entonces (FIGURA 5). Los aportes arenosos asociados a la formación del nuevo delta contrarrestaron las tendencias erosionales en las zonas inmediatamente adyacentes a sus flancos, pero no han sido suficientes para estabilizar el sector entero, sujeto en la actualidad a un retroceso acelerado estimado entre dos y cuatro m/año durante las tres últimas décadas, crítico en las playas de San Bernardo del Viento (oeste del delta) y a lo largo de la espiga de Mestizos. En este sector, el avance histórico del mar ha sido de más de 100m y amenaza con destruir el ecosistema estuarino y de manglares de la Bahía; Ingeominas (1998) reporta

tasas de erosión intensa de hasta 12 m/año para algunos segmentos de la espiga.

El sector del Golfo de Morrosquillo es en su parte sur (Coveñas-Tolú- el Francés) un área fuertemente intervenida, con edificaciones importantes y una densa estructura vial. La erosión histórica de las playas en la zona alcanza los 30m aproximadamente, y el retroceso de la línea de costa ha sido contenido parcialmente con numerosas estructuras de defensa (espolones simples, espolones “en T”, muros de contención; FIGURA 6). Hacia el norte de Tolú, el adelgazamiento de los frentes de playa (15-20m; desaparición total en algunos segmentos) es evidente y generalizado hasta la población de Berrugas, a velocidades estimadas entre 0.5 y 1 m/año.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La erosión litoral es un problema complejo, resultante en muchos casos de interacciones múltiples y a diferentes escalas de tiempo entre los procesos naturales e intervenciones antrópicas sobre las áreas costeras, incluyendo tanto las cuencas de drenaje como los fondos sumergidos de la plataforma continental somera, cuyas evoluciones determinan en parte el predominio o no de condiciones erosionales sobre las líneas de costa (Morton, 1977; Viles & Spencer; 1995; Williams *et al.*, 1995). En relación con el área de estudio (y con todos los litorales del País), el poco conocimiento que se tiene de los factores climáticos, oceanográficos e hidrológicos impide por el momento evaluar la importancia de variables como los volúmenes de aportes/pérdidas y transporte de arenas y gravas a lo largo del litoral, aspectos básicos para el planteamiento de balances de sedimentos a mediano y largo plazo. Sin embargo, al menos algunos de los factores principales de la erosión litoral en la zona pueden identificarse en función de lo conocido sobre sus contextos geológicos/geomorfológicos, cifras sobre ascensos históricos relativos del nivel del mar y algunos efectos de las intervenciones antrópicas. En nuestra opinión, el retroceso generalizado del litoral Arboletes-Punta San Bernardo puede estar relacionado en primera instancia con los siguientes factores principales:

- ascensos relativos históricos del nivel del mar, evidenciados por los registros de los mareógrafos de San Cristóbal (Panamá) y Cartagena (Andrade, 2003; Pavón, 2003; FIGURA 8). Aunque en un ambiente tectónicamente activo y fragmentado como el del Caribe sur este

tipo de información puntual no es concluyente (algunas áreas podrían estar ascendiendo más rápido que el nivel del mar), el hecho de que la erosión esté generalizada no sólo en el área de estudio sino también a lo largo de todo el Caribe (Ingeominas 1998; Robertson, 1987; Correa & Vernet, 2004; Correa & Morton; 2006) sugiere fuertemente un control de alcance regional, suficiente para promover una susceptibilidad generalizada a la erosión del orden de los cientos de metros en el contexto general explicitado por Brunn (1962)

-desplazamientos métricos de la línea de costa como respuesta a ascensos milimétricos del nivel del mar. Los ascensos relativos del nivel del mar en la zona pueden incrementarse en los sectores diapíricos por la generación/activación de fallas y por eventos de subsidencia asociados al ascenso de diapiros y volcanes de lodo, como ha sido reportado por Ramírez (1985) y Vernet *et al.* (1992) en los sectores de Galerazamba y la plataforma del Caribe sur de Colombia, respectivamente. En todo caso, los estudios de sismica de alta resolución (12 y 28 kHz) realizados recientemente por Restrepo *et al.* y Ojeda *et al.*, (manuscritos en revisión) evidencian una plataforma somera con cambios morfológicos importantes en el Holoceno que muy seguramente inducen inestabilidad sobre la franja litoral, al promover, entre otros, subsidencia del fondo marino y cambios importantes en la distribución de la energía de los oleajes incidentes.

- alta susceptibilidad a la erosión de las terrazas y acantilados a lo largo de la línea de costa, en su mayor longitud conformada por arcillolitas y lodolitas fracturadas (en dirección a la pendiente) y meteorizadas, con muy pobres características geotécnicas (Correa & Vernet, 2004; González, 2007). Este factor determina una resistencia muy baja a los embates del oleaje y facilita la ocurrencia de numerosos movimientos de masa (caídas de rocas, desplomes, flujos de derrubios y de lodos, etc.), especialmente frecuentes en los primeros 15 días de la transición entre invierno y verano, normalmente en el mes de abril. La erosión de este tipo de acantilados no aporta arenas/gravas al sistema de circulación litoral de sedimentos y por lo tanto sólo se refleja por el retroceso acelerado de la línea de costa. En general, los sectores del área de estudio con las tasas de erosión más bajas (Punta Cascajo, Punta La Cruz, El Cedro) están “respaldados” por los aportes provenientes de la erosión de frentes acantilados constituidos por areniscas y conglomerados. Los sectores urbanos más fuertemente afectados (Arbo-

letes, Puerto Escondido) se caracterizan siempre como zonas de alta densidad de construcciones y la ausencia de procedimientos de canalización efectiva de aguas lluvias y/o residuales, aspecto que promueve en buena medida la ocurrencia de movimientos de masa.

- disminución general de la disponibilidad de arena en el sistema litoral, como resultado de intervenciones antrópicas, principalmente la minería de arenas y la construcción de obras de defensa. La erosión de las franjas de playa de la zona de estudio refleja, en primera instancia, un déficit creciente de materiales arenosos, promovido, a nivel general, por la extracción de materiales gruesos del sistema, tanto para las construcciones y obras de

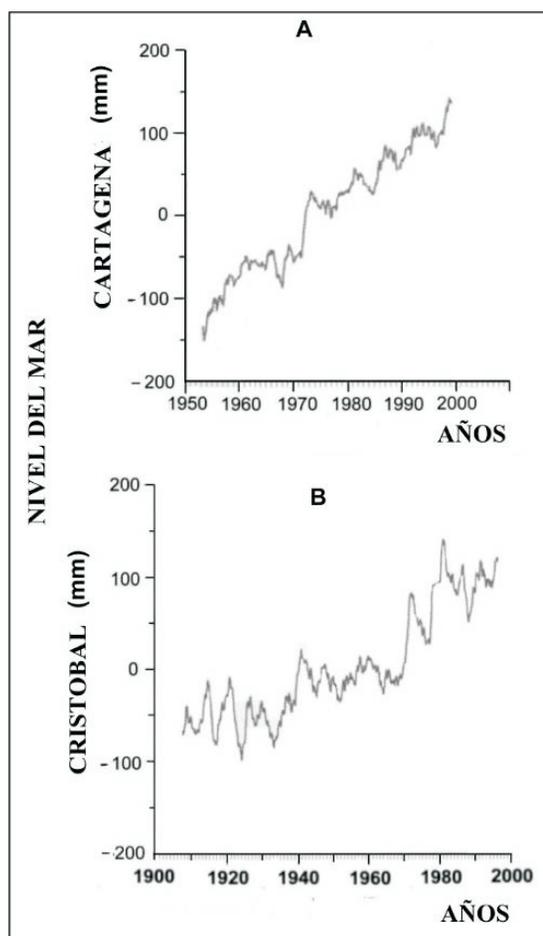


FIGURA 8. Ascensos y cambios relativos históricos del nivel del mar en el Caribe sur. A) Registro del mareógrafo de Cartagena, evidenciando un ascenso relativo del nivel medio del mar de 30 cm entre 1955 y el 2000. B) Registro del mareógrafo de Cristóbal (Panamá), evidenciando un ascenso relativo de 15 cm entre 1907 y 1999. Modificada de Andrade (2001).

infraestructura locales como para la exportación hacia el interior (gravas) del País. Esta actividad ha sido una de las fuentes de ingresos principales de muchos de los habitantes y se ha desarrollado sistemáticamente en toda el área por más de siete décadas; la ausencia de registros en las oficinas de planeación municipales no permite estimar los volúmenes de arenas y gravas extraídos de las playas y cursos bajos de los ríos de la zona. De hecho, los testimonios de muchos habitantes del sector confirman la relación directa entre la extracción de arenas y el inicio o agudización del retroceso de las playas en muchas localidades como Arboletes, Puerto Escondido, Santander de la Cruz y Coveñas-Tolú-El Francés. En este último sector, la ventaja de no estar sujeto a las influencias de oleajes de energía importante se anula por el hecho de que grandes cantidades de las arenas de los frentes de playa se han trasladado hacia zonas internas para rellenar terrenos bajos (lagunas y pantanos de manglar), urbanizados posteriormente. La evaluación de los eficacia y efectos colaterales de la construcción de obras de defensa (espolones, muros de contención, enrocados, etc.) entre Arboletes y Punta San Bernardo resalta, entre otros, los siguientes dos aspectos principales: 1) en el sector del Golfo de Morrosquillo, el avance del mar ha sido contenido parcialmente por medio de más de 70 estructuras mayores (espolones sencillos y “en T”; FIGURA 6), construidos en su mayoría a partir de la década de los 70’s; a pesar de lo anterior, aproximadamente 2/3 de la longitud del litoral del Golfo presentan actualmente tasas de erosión mínimas estimadas en 0.5 m/año, evidenciando la continuidad del problema; 2) en el sector Arboletes-Coveñas, la efectividad de la mayoría de la 157 defensas construidas a la fecha ha sido nula (no retuvieron arenas) y/o generaron o aumentaron en muchos sitios aledaños los déficits de sedimentos de playa, como en los sectores de Arboletes (FIGURA 7) y Broqueles (FIGURA 9) en los cuales el transporte neto de sedimentos hacia el sur, prevaleciente en la zona, fue fuertemente perturbado. Para toda el área de estudio son evidentes los efectos de interrupción del transporte de sedimentos ocasionado por los espolones descritos a lo largo de los litorales del mundo (Bird, 1985; Silvester, 1995), cuya defensa se ha intentado por medio de espolones y ha sido contraproducente a mediano-largo plazo.

La confirmación de la evidente vulnerabilidad actual del litoral Arboletes-Punta San Bernardo fue dada por los mares de leva ocurridos en el Caribe sur durante la semana del 20 al 26 de noviembre del año pasado (2006), en la cual vientos fuertes provenientes del oeste

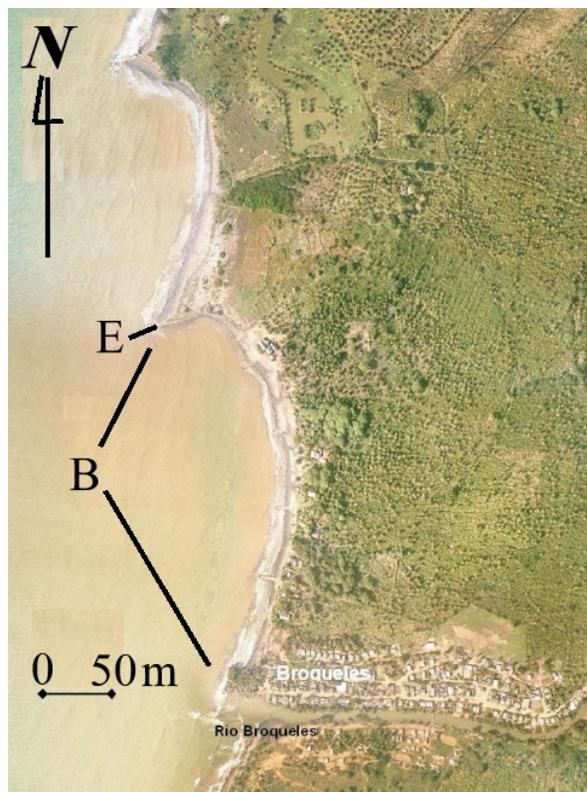


FIGURA 9. La construcción del espolón (E) 300m al norte de Broqueles generó la formación de una playa de más de 50m de amplitud en su costado norte (saliente), pero ocasionó un déficit general de arenas hacia el sur que intensificó la erosión a lo largo de más de 200m de playa. La bahía “en gancho” B es el resultado del retroceso de la línea de costa a la erosión ocasionada por E; los espolones construidos entre Broqueles y E no han sido efectivos debido a la insuficiencia de arenas en la zona.

y noroeste generaron oleajes de más de dos metros de altura. Las consecuencias fueron sentidas entre Barranquilla y el Golfo de Urabá, y en el área de estudio fueron afectadas prácticamente todos los asentamientos litorales, con situaciones críticas reportadas en Moñitos (figura 10), Broqueles y San Bernardo del Viento, entre otros lugares.

CONCLUSIONES

La erosión litoral del sector Arboletes-Punta San Bernardo ha sido la tendencia histórica y actual dominante en la zona, con valores medios de retroceso de playas y acantilados estimados entre 30 y 100m para el periodo 1938-2005, a tasas entre 0.5 y 1.5m/año. En la zona más



FIGURA 10. Aerofotografía de Moñitos (2005), mostrando (líneas interrumpidas) los límites de penetración del mar en el casco urbano durante los mares de leva de noviembre del 2006. Más de 60 viviendas ubicadas a lo largo de la línea de costa fueron afectadas de consideración. En el área de estudio fueron damnificadas más de 5000 personas por las inundaciones.

crítica- Arboletes–Punta Brava, la erosión del contorno costero alcanzó los 1.5 km, a velocidades de hasta 70 m/año durante el periodo 1962-1974. A corto-mediano plazo, la alta “susceptibilidad” a la erosión de más del 90% del contorno costero (180 km de longitud total) entre Arboletes y Punta San Bernardo refleja la existencia de déficits de sedimentos arenosos y las pobres condiciones geotécnicas de las rocas de las terrazas litorales, ambas condiciones favorecidas por la minería extensiva de arenas de playa y la urbanización y construcción de infraestructura sin prácticas adecuadas del manejo de aguas lluvias y residuales. A niveles locales, los efectos de las obras de ingeniería han generado o acelerado las velocidades de erosión en muchos sectores adyacentes, especialmente en la franja litoral entre Arboletes y Punta Manzanillo. A largo plazo, es necesario considerar el carácter tectónicamente activo del área, en la cual la actividad de fallas y los efectos del diapirismo de lodos son factores que pueden promover eventos de subsidencia costera que amplifican los asensos relativos del nivel del mar, del orden de los 20-30 cm en el Caribe sur, de acuerdo con los registros de los mareógrafos de Cartagena y Cristóbal (Panamá); la erosión litoral del Caribe sur (tanto al como al norte del área de estudio sugiere que este último factor es uno de los controles principales.

Los escenarios de ascensos futuros del nivel del mar asociados al cambio Climático Global introducen una nueva dimensión al problema, teniendo en cuenta que ascensos eustáticos del orden de los 40–80cm durante el presente siglo magnificarían las posibilidades de erosión-inundación-salinización de suelos en todos las áreas bajas, y permitirían a los oleajes alcanzar altos niveles en los sectores acantilados, aumentando muy seguramente las velocidades de erosión de las terrazas litorales. El área de estudio presenta numerosos sectores urbanos (Arboletes, Puerto Escondido, Moñito, Coveñas) cuya situación debe clasificarse como crítica, señalando la urgencia de definir estrategias futuras que incluyan, entre otras opciones, la toma de medidas alternativas, como la relocalización de los cascos urbanos. Dada la erosión generalizada y las perspectivas futuras, el desarrollo de las zonas rurales del área debe considerar las debidas restricciones de uso del espacio para el desarrollo de nueva infraestructura, considerando instrumentos de planeación adecuados, como la zonificación de usos litorales. La evolución geomorfológica futura de los sectores más bajos e inundables como la bahía de Cispatá y varias zonas del Golfo de Morrosquillo debe ser prevista al máximo detalle posible. Dado que la identificación de las causas y las predicciones sobre los alcances y efectos de la erosión litoral requieren

de un conocimiento detallado de la morfodinámica y evolución geológica de la plataforma somera, se recomienda priorizar los estudios de cartografía, sedimentología y arquitectura interna con el fin de descifrar las tendencias evolutivas en el marco temporal del Holoceno.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a las instituciones involucradas en el presente estudio, realizado por los proyectos 1): Análisis de las causas y monitoreo de la erosión litoral en el Departamento de Córdoba -convenio de transferencia horizontal de Ciencia y Tecnología No. 30; CVS-Universidad EAFIT y, 2) Universidad EAFIT-COLCIENCIAS: Geomorfología de la Zona Costera (Plataforma somera) del departamento de Córdoba: observación y análisis de una margen continental cambiante, convocatoria Ciencias Básicas, Código 1216-09-16911, CT 209 -204.

REFERENCIAS

- Andrade, C. A. (2001). Análisis del nivel del mar en la zona costera colombiana. En: Invemar, 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. Informe técnico No. 4.
- Bird, E. F. C. (1985). *Coastline Changes, a Global Review*. John Wiley&Sons, New York. 219p.
- Brunn, P. (1962). Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Proceedings of the American Association of Civil Engineers, Journal of Waterways and Harbour Division*. Vol. 88, pp. 117-130.
- Carvajal, J. (1992). Consideraciones acerca de los Problemas Erosivos de San Bernardo del Viento, Paso Nuevo, Puerto Escondido y Puerto Rey, Departamento de Córdoba. Informe inédito Ingeominas, Cartagena, 35p.
- CVS-Invemar (2003). 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-Minuto de Dios, en la Costa cordobesa. 120p.
- CVS-Universidad EAFIT (2006). Análisis de las Causas y Monitoreo de la Erosión litoral en el Departamento de Córdoba. Informe final, actividades del convenio de transferencia horizontal de tecnología No. 30. Montería. 170p.
- Correa, I. D., Gonzáles, D. y Alcántara, J. (2005). Historical and Recent Shore Erosion along the Colombian Caribbean Coast: *Journal of Coastal Research, Special Issue, No. 49*, pp. 52-57.
- 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 del Invemar*, Vol. 33, pp. 5-26.
- Correa, I. D. y Morton, R.A. (2006). Coasts of Colombia. En: sitio web del United States Geological Survey, <http://coastal.er.usgs.gov/coastal-colombia/>, consultado el 30/03/2007.
- CVS-INVEMAR, (2003). 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-Minuto en la Costa Cordobesa, Resumen Ejecutivo, CVS – INVEMAR. Santa Marta. 332p.
- Duque-Caro, H. (1980). Geotectónica y Evolución de la Región Noroccidental Colombiana: *Boletín Geológico del Ingeominas*, Vol. 23. No. 3, pp. 4-37.
- _____ (1984). Estilo estructural, Diapirismo y Episodios de Acrecimiento del Terreno Sinú-San Jacinto, en el Noroccidente de Colombia.: *Boletín Geológico del Ingeominas*, Vol. 27, pp. 1-29.
- González, Diego 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. 145p.
- Ingeominas (1998). Geomorfología y Aspectos erosivos del Litoral Caribe Colombiano. *Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas*, N° 21, 73p.
- Ingeominas (1999 a). Geología del Departamento de Sucre. Mapa Geológico a escala 1: 250.000. Bogotá.
- Ingeominas (1999b). Geología del Departamento de Córdoba. Mapa Geológico a escala 1: 250.000. Bogotá.
- IPCC, Internacional Panel on Climate Change (2001). Tercer Informe de evaluación, Cambio Climático 2001. Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad: En: <http://www.ipcc.ch/meet/session17.htm>, consultado el 15/03/2006. 91p.
- _____ (2007). *The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*. En: <http://www.ipcc.ch/meet/10session.htm>, consultado el 15/03/2007. 21p.
- Ojeda, G. Restrepo, I., Correa, I. D., Ríos, A. (2007). Morfología y arquitectura interna de una Plataforma Continental cambiante: Golfo de Morrosquillo. Manuscrito en revisión, XI Congreso colombiano de Geología.
- Pavón, J. D. (2003). El aumento del nivel del mar en la costa y área insular de Colombia. En: *El mundo marino de Colombia: investigación y desarrollo de territorios olvidados*. Red de

Estudios del Mundo Marino REMAR-Universidad Nacional de Colombia. pp. 75-82.

Williams, S.J., Dodd, K., Kraft (1995). Coasts in Crisis. USGS Circular 1075. 32p

Page, W. D. (1983). Holocene Deformation of the Caribbean Coast, Northwestern Colombia: San Francisco, Woodward and Clyde Consultants, San Francisco, 25 p.

_____ (1986). Geología Sísmica y Sísmicidad del Noroeste de Colombia. Informe I.S.A- INTEGRAL-Woodward Clyde Consultants, Medellín, 155 p.

Trabajo recibido: marzo 21 de 2007

Trabajo aceptado: julio 9 de 2007

Ramírez, J. E. (1959). El Volcán Submarino de Galerazamba. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Vol. 10 No. 4, pp. 301-314.

Ramírez, J. E. (1969). Los Diapiros del Mar Caribe colombiano. Memorias I Congreso colombiano de Geología., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, agosto de 1969. Separata publicada en 1976. 15p.

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 del Inveemar, Vol. 34, pp. 101-119.

Restrepo, I., Ojeda, G., Correa, I. D. (2007). Geomorfología de la Plataforma somera de Córdoba. Manuscrito en revisión, XI Congreso colombiano de Geología.

Robertson, K. (1987). Avulsión y Cambios del Curso y Delta del Río Sinú, Colombia, II Simposio Latinoamericano Sobre Sensores Remotos., pp. 237-249. Bogotá,

Robertson, K. y Chaparro, J. (1998). Evolución Histórica del Delta del Río Sinú. Cuadernos de Geografía, Vol. 1, Nos1-2, p. 16.

Serrano, B. (2004). The Sinú River Delta on the Northwestern Caribbean Coast of Colombia: Bay infilling associated with delta development. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 16, pp. 639-647.

Silvester, R. y Hsu J.R.C.,(1993). Coastal Stabilization: innovative concepts. P.T.R. Prentice Hall INC.337p.

USGS (2000). National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea Level Rise. USGS Fact Sheet FS-076-00, June 2000.

Vernette, G., maufret, A., Bobier, C., y Gayet, J. (1992). Mud diapirism, fan sedimentation and strike-slip faulting, caribbean Colombian margin. Tectonophysics, Vol. 202, pp. 335-349.

Viles, H., y Spencer, T. (1995). Coastal Problems- Geomorphology, Ecology and Society at the Coast. Arnold, London, 350p.