

GEOMORFOLOGÍA Y PROCESOS EROSIVOS EN LA COSTA NORTE DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA, CARIBE COLOMBIANO (SECTOR PASO NUEVO-CRISTO REY)

Nelson G. Rangel-Buitrago y Blanca O. Posada-Posada

RESUMEN

Como una contribución a la implementación de la Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de Espacios Oceánicos y Zonas Costeras e Insulares de Colombia, se realizó la caracterización física del litoral norte del departamento de Córdoba (Paso Nuevo-Cristo Rey), con el propósito de determinar cuáles son las causas de los procesos erosivos que se presentan y proponer medidas que contribuyan a reducir la vulnerabilidad de las poblaciones costeras del área. En esta zona afloran sedimentos terciarios de origen fluvio-marino, fracturados, meteorizados y levemente plegados. Las características geomorfológicas muestran que las terrazas fluvio-marinas, que están limitadas por acantilados de hasta 15 m de altura, son la unidad más frecuente y a la vez más afectada por los diferentes procesos erosivos. Le siguen en abundancia los pantanos de manglar y las colinas-montañas. Los procesos erosivos a lo largo del litoral son favorecidos por: el oleaje que incide frontalmente sobre los acantilados, causando su paulatino derrumbe; una corriente de deriva litoral débil, en sentido suroeste principalmente, que unida a la falta de sedimentos ocasionada por el escaso aporte de los ríos y los materiales de tamaño muy fino en los acantilados, no contribuyen a la formación de playas; las condiciones geológicas que muestran una roca frágil, susceptible a la degradación; escorrentía muy intensa durante los periodos invernales; el diapirismo de lodo y el ascenso relativo del nivel del mar como fenómenos regionales activos. Estos procesos, en la mayoría de los casos, son intensificados por la intervención humana, manifestada principalmente en la construcción indiscriminada de estructuras y extracción de materiales (arenas y manglar).

PALABRAS CLAVE: Geomorfología, Erosión, Terrazas fluvio-marinas, Oleaje, Intervención.

ABSTRACT

Geomorphology and erosive processes in the north coast of Cordoba department, Colombian Caribbean (Sector Paso Nuevo-Cristo Rey). As a contribution to the implementation of the National Environmental Policies for the Sustainable Development of Oceanic Spaces and Coastal and Insular Zones of Colombia, the physical characterization of the

north littoral of Cordoba department (Paso Nuevo-Cristo Rey), was undertaken. The aim of doing it, was to determine which are the causes of the erosive processes that are present and to suggest solutions that help to reduce the vulnerability of the coastal populations of the area. In this area Tertiary sediments of fluvio-marine origin, are cropping fractured, weathered and slightly folded. The geomorphological characteristics show that the fluvio-marine terraces, which are limited by cliffs of up to 15 m of height, are the most represented unit and simultaneously more affected by the different erosive processes. About abundance, they are followed by mangroves and hills-mountains. The erosive processes along the littoral are helped by: the waves that head-on beat against the cliffs, causing gradual detachment of materials; weak coastal drift currents, with principal direction southwest, that together with the lack of sediments caused by the scarce contribution of the rivers and the materials of very fine size in the cliffs, do not contribute to the beach formation; the geological conditions show a fragile rock, prone to the degradation; intense runoff waters during the rain periods; the mud diapirism and the relative sea level rise are regional active phenomena; these processes, in most of cases, are intensified by the human intervention, showed mainly by the indiscriminate construction of structures and extraction of materials (sands and mangroves).

KEY WORDS: Geomorphology, Erosion, Fluvio-Marine Terraces, Waves, Intervention.

INTRODUCCIÓN

Las características geomorfológicas, estructurales y de procesos erosivos que han afectado no sólo el área comprendida dentro de este estudio, sino en general la costa Caribe colombiana, han sido reportados en otros trabajos previos, por INGEOMINAS (1998), entidad que realizó la cartografía de las unidades y rasgos geomorfológicos del litoral Caribe colombiano, caracterizó y evaluó el comportamiento de la línea de costa en cuanto a erosión y acrecimiento; Duque-Caro (1980, 1984) y Page (1983, 1986) describieron los aspectos tectónicos de la costa noroccidental colombiana y definieron el diapirismo de lodo como el factor deformante más relevante. La Universidad EAFIT, estudió la evolución de la línea de costa del Urabá antioqueño y más recientemente se extendió hasta la desembocadura del río Córdoba (Aristizábal, 2001, Correa, 1992, González *et al.*, 2003).

La zona norte del litoral Caribe cordobés, y en general el litoral Caribe colombiano, afronta severos problemas de erosión que están afectando de manera significativa las actividades productivas y la infraestructura física de las poblaciones que allí se encuentran (Rangel, 2004). El área de estudio, localizada al NW de Colombia sobre la costa del departamento de Córdoba, entre las coordenadas N09° 19' - W76° 06' y N09° 05' -W76°14' (Figura 1), enfrenta una fuerte interacción de los procesos hidrodinámicos con las condiciones geológicas y geomorfológicas del sector, que permiten catalogarla como una zona dinámica donde predomina el retroceso general de la línea de costa.

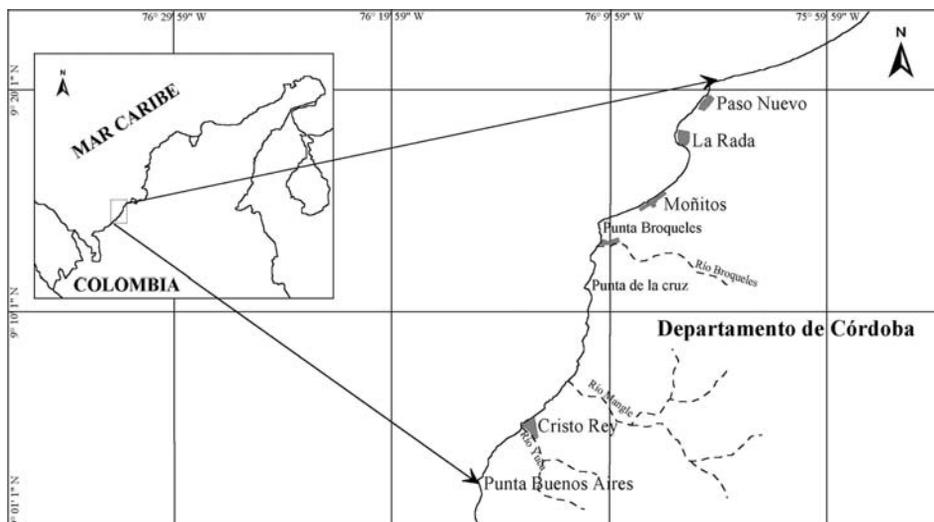


Figura 1. Localización del área de estudio.

Debido a lo anterior, se realizó un análisis de algunos de los factores que intervienen y sus posibles relaciones para así aportar soluciones a esta problemática. Entre estos están la caracterización de unidades geomorfológicas, la determinación de los cambios en la línea de costa en los últimos 65 años y la interpretación y análisis de los procesos hidrodinámicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de la interpretación preliminar de las fotografías aéreas relacionadas a continuación (Tabla 1), para identificar los aspectos geológicos, geomorfológicos y de procesos, se planeó el trabajo de campo.

Tabla 1. Fotografías aéreas utilizadas para la identificación de aspectos geológicos, geomorfológicos y variaciones de la línea de costa en este estudio.

Vuelo	Año	Escala	Zona	Fotos
III	1938	1:33000	Cispatá- Puerto Escondido	041 – 076
R4	1945	1:40000	Moñitos- La Rada	43 –47
R8	1945	1:40000	Paso Nuevo	498 –501
M 104	1957	1:5.0000	Isla Fuerte-Moñitos-Cristo Rey	382 – 391
M 106	1961	1:5.0000	Isla Fuerte- Paso Nuevo-Río Cedro	11113 – 11120
M 1169	1962	1:60000	Canalete- Puerto Escondido- Cristo Rey	21320 – 21323
C 2379	1989	1:5.0000	Paso Nuevo-Río Cedro	204 –209
C 2379	1989	1:5.0000	Playas del Viento- La Rada	165 – 168

En esta salida se realizó un levantamiento detallado de la línea de costa, siguiendo la línea de más alta marea y utilizando equipos topográficos de precisión (teodolito BERGER, DGPS OMNI STAR, brújula BRUNTON). Adicionalmente se levantaron, con la ayuda de un nivel de precisión CST/Berger 32x, el teodolito BERGER y el DGPS OMNI STAR perfiles de playa, separados entre sí por 200 m, desde una profundidad de -1.5 m hasta una distancia de 100 m, o hasta donde las viviendas o vegetación lo permitieran. Se tomó como cero (0) el nivel medio de bajamares de sicigia (MLWS) y los perfiles se amarraron a la línea de costa previamente levantada. Se tomaron puntos a intervalos que no sobrepasaban los 10 m o en donde se presentaron cambios detectables en la morfología.

Se levantaron perfiles batimétricos hasta los -10 m de profundidad, como prolongación de los perfiles de playa. En una lancha se instaló la ecosonda Odom Hidrotrac, equipada con un transducer de 200 Khz. Una vez calibrados, se efectuó un barrido sobre un área de 10 km², levantando perfiles perpendiculares y paralelos a la línea de costa. La ubicación exacta de la lancha era dada por un GPS diferencial, cuya antena de recepción se encontraba instalada sobre la barra que sostenía el sensor que colectaba los datos de profundidad. Los datos de profundidad y ubicación eran procesados simultáneamente mediante el software HYPACK.

La identificación y caracterización de las diferentes unidades geomorfológicas se hizo a partir de los recorridos, con levantamiento de las columnas estratigráficas en donde había cambios en la composición, espesor o estructura; se definieron los diferentes rasgos de las playas y se cartografiaron los sitios con erosión y sedimentación. Se recogieron muestras de los materiales presentes en los afloramientos, en las playas, en la zona submareal y en la plataforma para su posterior análisis granulométrico y de composición en el laboratorio.

Se tomaron datos sobre dirección y velocidad de las corrientes entre 3 m y 5 m de profundidad con la ayuda de una boya de deriva, diseñada para que las paletas flotaran a 1 m de profundidad y no fueran influenciadas directamente por el viento y el oleaje. Se hicieron observaciones desde la playa de trenes de olas, frecuencia y dirección con el propósito de determinar dirección de la deriva litoral e impacto sobre el litoral.

En la oficina, se compararon las diferentes fotografías aéreas (Tabla 1) para determinar los cambios sufridos en la línea de costa en cuanto a retroceso o avance en los últimos 65 años. Una vez escaneadas las fotos y llevadas a la misma escala para hacer un mosaico, la georreferenciación se hizo a partir de la identificación de, al menos, 2 puntos fijos comunes en las fotografías de los

distintos años. Las coordenadas de estos puntos, así como de toda la línea de costa, fueron tomadas en campo. El nivel de precisión alcanzado puede llegar a un 90%, lo cual se verificó en campo con los pobladores.

En laboratorio se hicieron los análisis granulométricos y de composición y luego los análisis estadísticos para la clasificación de los sedimentos según su granulometría y contenido de carbonatos. Con estos datos, las observaciones de campo y la ayuda de las fotografías aéreas, se diseñaron los mapas borrador de batimetría, geomorfología y usos del suelo, indicando unidades y rasgos morfo-sedimentarios, procesos erosivos y zonas afectadas por erosión observada o inferida. Luego se digitalizaron y se incorporaron a un SIG donde se hizo la edición correspondiente.

CONTEXTO GENERAL

La zona de estudio se caracteriza por presentar una época de verano (diciembre-abril) con presencia de fuertes vientos procedentes del N-NE cuyas velocidades alcanzan hasta 23 nudos, presentándose lluvias escasas que no sobrepasan los 50 mm/mes. En la época de invierno los vientos son variables en velocidad y dirección y las lluvias son abundantes alcanzando promedios de hasta 270 mm/mes (Molares *et al.*, 2001). En este sector y en general para el Caribe colombiano se siente el efecto de la contracorriente de Panamá, con desplazamientos reportados del orden de 0.7 a 12 nudos dependiendo de la época climática (Restrepo, 2001). El oleaje, controlado principalmente por los vientos del N-NE durante la época de verano, muestra alturas de ola que no sobrepasan los 1.5 m (Javelaud, 1987). Las corrientes litorales tienen una tendencia predominante SW, que cambia temporalmente a NE por la influencia de la contracorriente de Panamá, que se siente a mayores latitudes durante la época húmeda (julio-octubre).

En los aspectos geológicos, la caracterización de los materiales encontrados en los acantilados permitió su correlación con el conjunto de rocas sedimentarias que afloran al norte del departamento de Córdoba y cuyas edades van desde el Mioceno Medio hasta el Holoceno. Entre ellas se tienen:

- **Unidad Litoestratigráfica Broqueles, Ngb, (GEOTEC, 2001).** Aflora en los alrededores de Paso Nuevo- La Rada, Broqueles-Río Cedro y en el sector sur de río Cedro-Norte de río Mangle. Son principalmente arenitas de grano medio a grueso, color anaranjado a grisáceo, intercaladas con arcillolitas con algunos niveles delgados de óxidos de hierro. La arcillolitas se presentan en capas delgadas onduladas paralelas en las que se intercalan niveles con alto contenido en óxidos de hierro de color amarillo ocre.

• **Unidad Litoestratigráfica Moñitos, Ngmn, (GEOTEC, 2001).** Compuesta por una secuencia netamente lutítica, con lentes de arenitas calcáreas e intercalaciones de limolitas. Las lutitas se presentan en capas delgadas a muy gruesas con una laminación plana paralela. Esta unidad aflora principalmente en el sector norte del río Cedro.

• **Unidad Litoestratigráfica Cedro.** Propuesta en este trabajo como una unidad litoestratigráfica nueva, a diferencia de lo propuesto en estudios anteriores que la catalogan como un depósito coralino. Se define así al estrato de coral que suprayace de manera discordante las rocas de la unidad Moñitos. Aflora desde el norte del río Cedro hasta el sur de Santander de la Cruz y Punta el Coquito. Es un estrato coralino de 1 m de espesor compuesto por corales *Diploria clivosa* y *Siderastrea radians* (Pral. y Erhardt, 1985) en posición de vida, con diámetros que varían entre 5 cm y 3 m.

• **Unidad Litoestratigráfica Morrocoy-El Pantano, Ngmp, (GEOTEC, 2001).** Es una unidad constituida por capas gruesas de arenitas friables que gradan a limolitas, lodolitas y arcillolitas en láminas gruesas. En algunos casos se encuentran lentes de arenitas calcáreas de grano medio a fino. Aflora al sur del río mangle y en el corregimiento de Cristo Rey.

Las Unidades Geomorfológicas encontradas al norte del Departamento de Córdoba son de origen fluvial y marino, y en ellas predominan los procesos erosivos sobre los procesos depositacionales (Figura 2).

RESULTADOS

Las terrazas fluvio-marinas, a lo largo de la zona de estudio son la unidad más importante y más afectada por los procesos erosivos (Figura 3). Estas superficies elevadas están limitadas hacia el mar por acantilados que alcanzan hasta 15 m de alto. Presentan topografía plana a levemente ondulada moldeada por drenajes que originan erosión en forma de surcos y cárcavas, además de suelos que se encharcan durante la época de lluvias. Los procesos erosivos son favorecidos por la saturación de agua del terreno, ya que este no logra drenar las aguas de forma rápida durante las lluvias por su baja permeabilidad. En forma esporádica aparecen terrazas coralinas, que aunque compuestas por materiales más resistentes se ven afectadas por el oleaje que desprende bloques de gran tamaño de la base de los acantilados.

Las colinas y montañas se localizan a lo largo de toda la zona de estudio, separadas de la costa por una distancia promedio de 1000 m. Sobre estas influye principalmente la erosión por escorrentía. Los pantanos de

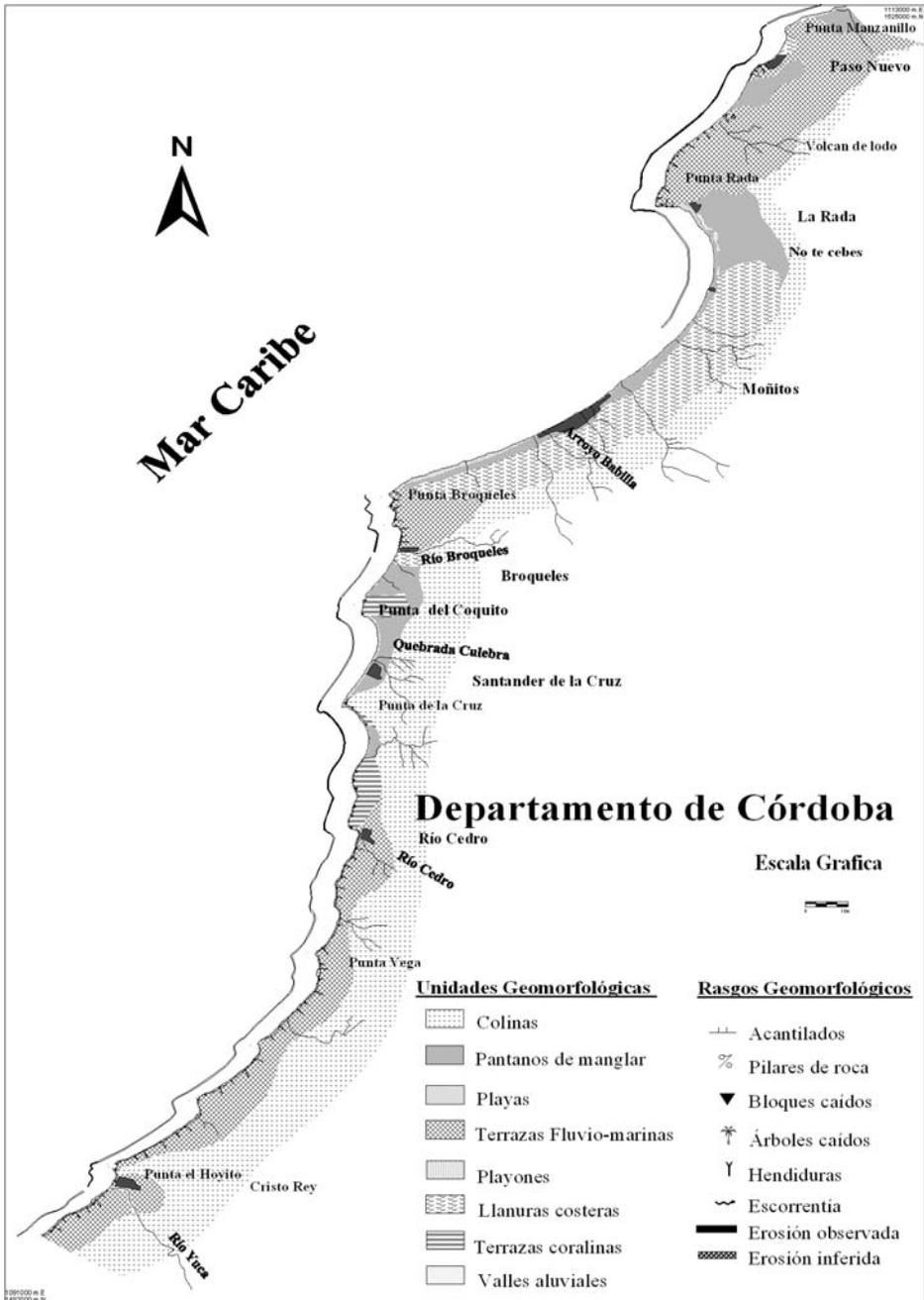


Figura 2. Mapa de unidades, rasgos geomorfológicos y procesos erosivos entre Paso Nuevo y Cristo Rey



Figuras 3 a. y b. Obsérvese cómo el oleaje embate de forma directa sobre los acantilados, generando rasgos erosivos como arcos marinos y acanaladuras. También se observan restos de árboles sobre el tope del acantilado, indicio del retroceso de la terraza.

manglar se encuentran como franjas alargadas de máximo 4 ha. Debido a la intervención por parte del hombre, muchos de los terrenos donde antes se encontraban manglares han sido rellenados, convirtiéndose en zonas inundables que no contribuyen con la estabilidad de la costa.

Las playas se caracterizan por contener sedimentos areno-lodosos de tamaños finos a muy finos de origen continental, que han sido depositados lejos de su área fuente. Están compuestos principalmente por cuarzos, minerales pesados y micas; los restos de material calcáreo se dan en cantidades mínimas a lo largo de la zona de estudio y están asociados a fuentes biogénicas muy

cercanas a su área final de depositación. Los anchos de las playas son variables, encontrándose amplias (> 15 m) en las zonas más estables a la erosión e intermedias a estrechas (< 3 m) en zonas más afectadas por la erosión litoral.

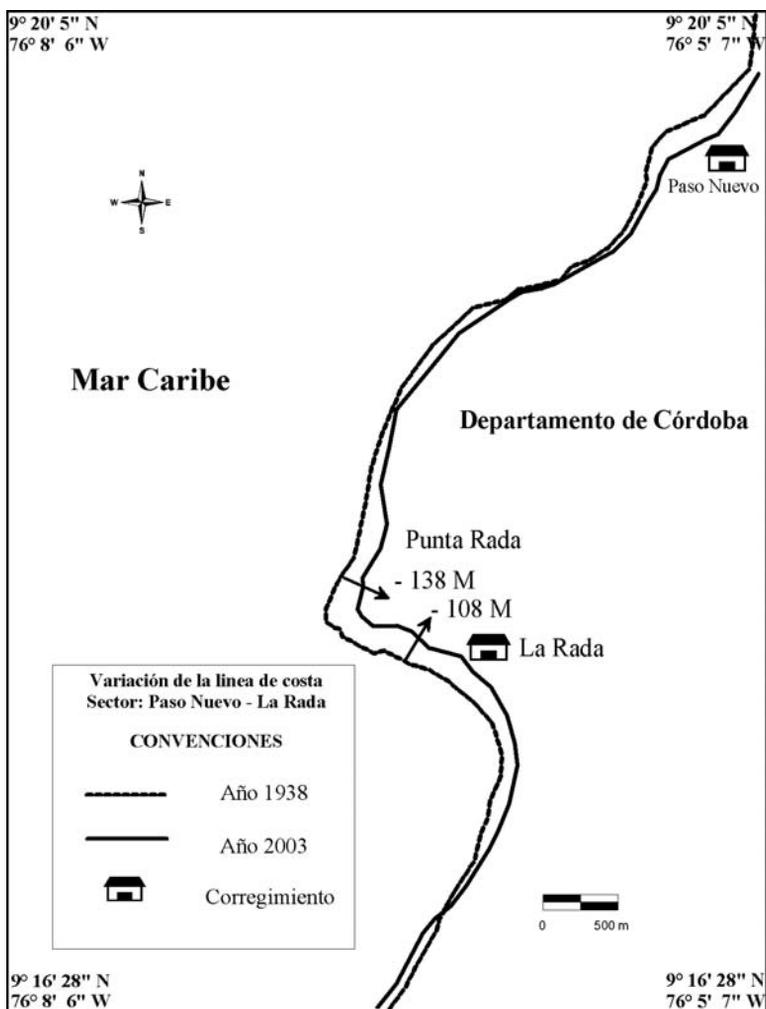
En cuanto a la evolución de la costa norte de Córdoba en los últimos 65 años, se encontró que la zona comprendida entre los corregimientos de Paso Nuevo y Cristo Rey ha manifestado cambios importantes, al menos desde 1938, representados por el retroceso general y pérdida de terreno a causa de la erosión como un fenómeno constante hasta la actualidad. Estas variaciones son el resultado de la acción de eventos que acontecen por largos periodos de tiempo, como la subsidencia, la variación del nivel del mar, el diapirismo lodoso, así como de aquellos de baja frecuencia (temporales), como lo son: mares de leva, oleajes fuertes en verano y periodos de invierno intenso. Se destacan los sectores sur de Paso nuevo, la Rada, Punta Broqueles y Punta la Cruz, como los más afectados.

El único sector a lo largo de toda la zona de estudio que registra estabilidad es la línea de costa en inmediaciones del casco urbano del municipio de Moñitos. Se caracteriza por tener playas amplias (mayores de 15 m), limitadas hacia tierra por una franja ancha y larga de manglar (50 m-100 m), seguida por una extensa llanura costera. Su estabilidad se debe a la presencia de drenajes capaces de aportar cantidades apenas suficientes de material, que permiten mantener “nutridas” de sedimento las playas del sector y una geomorfología muy suave a casi plana, que incluye la plataforma, por lo que las olas al llegar a la costa ya han disipado casi por completo su energía.

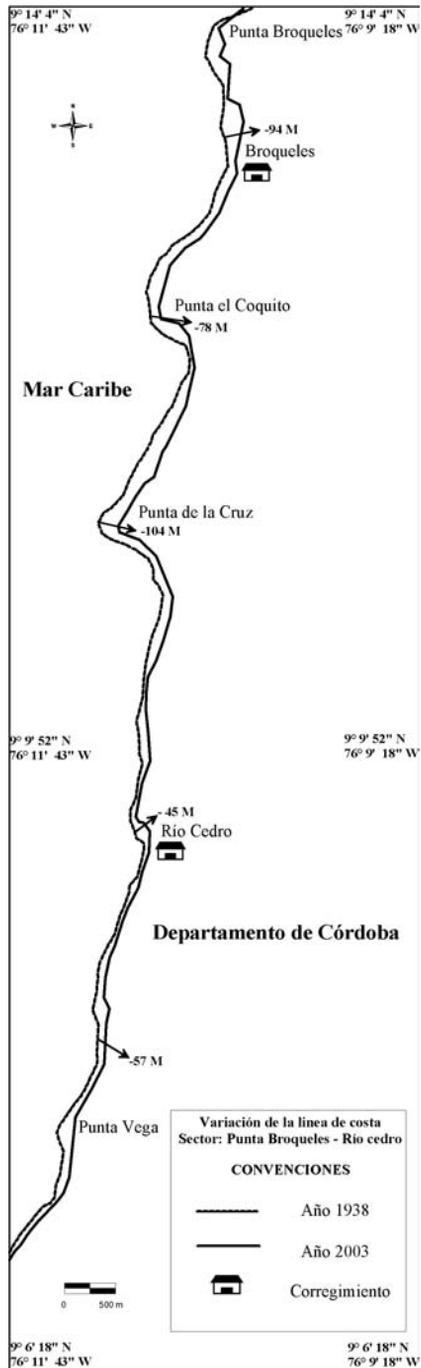
El sector Paso Nuevo-La Rada (Figura 4), formado principalmente por terrazas fluvio-marinas y pantanos de manglar intervenidos, ha sufrido retrocesos de hasta 138 m en la línea de costa, registrados desde 1938, lo que equivale a tasas de erosión que oscilan entre 1 m y 2 m por año. Esta situación ha incentivado la construcción desorganizada y sin ningún tipo de estudio previo, de obras de defensa que han acentuado la erosión y generado altos impactos negativos en el paisaje. La principal causa del retroceso de la línea de costa entre Paso Nuevo y La Rada es el deterioro de un bajo localizado a 1600 m de la línea de costa y paralelo a ella, el cual servía como protección natural de la costa ante el embate directo del oleaje. A todo esto se le ha sumado la extracción de importantes cantidades de material perteneciente a la terraza fluvio-marina y las playas y la destrucción de los pantanos de manglar; esto es confirmado por los habitantes del sector que indican un retroceso de la línea de costa y disminución en la amplitud de las playas de 50 m- 80 m en los últimos 50 años.

En el sector Punta Broqueles-Río Cedro la erosión ha afectado principalmente a una terraza fluvio-marina compuesta por rocas poco

consolidadas, fracturadas, levemente plegadas y meteorizadas. Los datos obtenidos muestran retrocesos en la costa de hasta 140 m desde el año 1938 (Figura 5), con tasas de erosión que varían entre 1.5 m y 2 m por año. A lo largo de la costa se encuentran pilares de roca 70 m mar adentro, que sirven para marcar antiguas posiciones de la terraza y por ende de la línea de costa. Además de estos rasgos erosivos, a lo largo de la zona se presentan árboles caídos sobre la corona de los acantilados, tanques de recolección de agua destruidos y en algunos casos desplome de bóvedas de antiguos cementerios, los cuales son fuertes indicadores de la acción de la escorrentía y el oleaje principalmente.



Figuras 4. Variaciones en la línea de costa entre 1938 y 2003 en las zonas Paso Nuevo – La Rada y punta Broqueles – río Cedro en el departamento de Córdoba.



Figuras 5. Variaciones en la línea de costa entre 1938 y 2003 en las zonas Paso Nuevo – La Rada y punta Broqueles – río Cedro en el departamento de Córdoba.

DISCUSIÓN

El análisis de las características geomorfológicas de costa cordobesa muestra en general dos tipos de ambientes: zonas con playas cuyo ancho es mayor a 15 m, limitadas por pantanos de manglar y/o llanuras costeras, aparentemente más estables ante la acción de los procesos erosivos y acantilados, en los que pueden presentarse o no pequeñas playas, limitados por una terraza fluvio-marina y/o colinas-montañas y son las zonas más afectadas por los procesos de erosión, según se observó en este trabajo y lo reportó anteriormente Molina *et al.* (1998).

Al relacionar estas características geomorfológicas con la erosión a lo largo del área de estudio se pone de manifiesto que el oleaje incidente en el litoral y el escaso aporte de sedimentos juegan un papel preponderante en los cambios identificados. Sin embargo, las condiciones geológicas de los materiales que conforman los acantilados, el diapirismo de lodo, la intervención humana y el ascenso en el nivel del mar propician el efecto erosivo de las olas y la falta de sedimentos.

Dentro de la zona de estudio los drenajes capaces de aportar cantidades suficientes de sedimento para nutrir las playas del sector son escasos y sus mayores aportes están restringidos exclusivamente a la época de invierno, donde las altas precipitaciones generan mayores caudales y una mayor carga de sedimentos. Sin embargo, los sedimentos aportados por estos drenajes son muy finos, con una predominancia de limos y arenas finas que rápidamente son desplazados por las corrientes hacia la plataforma; sólo circulan a lo largo del litoral las arenas finas a medias.

Los análisis textuales y de composición muestran que estos materiales están compuestos por cuarzos, minerales pesados, micas y bajos contenidos de material biogénico que indican áreas fuentes alejadas de su zona final de depositación. Otra fuente de material sedimentario es la asociada a la erosión de los materiales que conforman los acantilados, lo que también trae consigo sedimentos muy finos que igualmente son transportados hacia la plataforma, generando un déficit sedimentario que restringe la formación de playas.

El oleaje que incide sobre la costa genera las corrientes litorales responsables de transportar el poco sedimento proveniente de los drenajes o de la erosión del litoral. Estudios regionales realizados por Molares (2001), por Javelaud (1987) y Vernet (1985), han reportado una corriente de deriva predominante hacia el suroeste, que se ve afectada por la contracorriente de Panamá, una vez han disminuido los vientos Alisios, lo cual genera corrientes con tendencia N-NE, como las medidas durante la salida de campo y que coinciden con un periodo de transición hacia la estación húmeda.

Cuando el oleaje llega paralelo a la costa no genera corrientes de deriva y su energía se enfoca en producir un lavado y relavado principalmente sobre zonas de terrazas, produciendo socavación hacia la base de los acantilados, manifestada con cuellos de erosión (notches) y posterior remoción y pérdida de material. Este proceso se ve magnificado cuando las olas chocan contra un acantilado, debido a que se refractan con mucha energía e incrementan así el efecto de la siguiente ola. No ocurre lo mismo cuando la costa es baja, pues la ola incidente se disipa sobre la zona intermareal y al regresar, su energía es muy baja.

La importancia de las propiedades geológicas de los materiales que conforman los acantilados radica en que son geotécnicamente muy frágiles, es decir, lutitas, lodolitas y arenitas de tamaños finos, altamente fracturadas, meteorizadas y levemente plegadas. Estas propiedades de las rocas también son discutidas en el informe presentado por la Universidad Nacional de Colombia a CORPOURABÁ (1998). Estas rocas ofrecen una baja resistencia ante el embate directo del oleaje y la acción de la escorrentía, por lo que se producen desprendimientos de masas de roca y suelo, que paulatinamente ocasionan el retroceso de la línea de costa. Este proceso se ve favorecido por la presencia de una discontinuidad hidrogeológica entre los estratos terciarios y el horizonte de suelo del Cuaternario, de manera tal que durante la época de lluvias, tanto la escorrentía como la infiltración del agua por esta capa de suelo, provocan continuos desprendimientos de masas de suelo.

En muchos sectores la disposición de los estratos contribuye a la acción de la erosión. La dirección de buzamiento favorece la socavación por parte del oleaje, encontrándose que éste golpea el estrato de roca formando una acanaladura que al irse profundizando genera desplomes de material a causa de la gravedad (Figura 6).

Los diapiros y volcanes de lodo, como máxima expresión de la neotectónica en el Caribe colombiano, ampliamente discutido por Duque-Caro (1980, 1984) y Pages (1983), también influyen en las características geológicas y por ende en la erosión que actúa en el sector. La fuerza ascendente de las intrusiones diapíricas es capaz de penetrar los diferentes sedimentos (Martínez, 1993); los fluidos (agua-gas) traídos por este fenómeno llegan a producir inestabilidad en las capas, pues al moverse a través de ellas disminuyen su resistencia, favoreciendo así la erosión. La presencia de estos cuerpos en las plataformas contiguas puede llegar a incidir notablemente en la batimetría de los fondos y modificar las corrientes y condiciones oceanográficas.

El ascenso en el nivel del mar a escala mundial se convierte en otra de las causantes de la erosión en las zonas costeras. Es factible que su incidencia

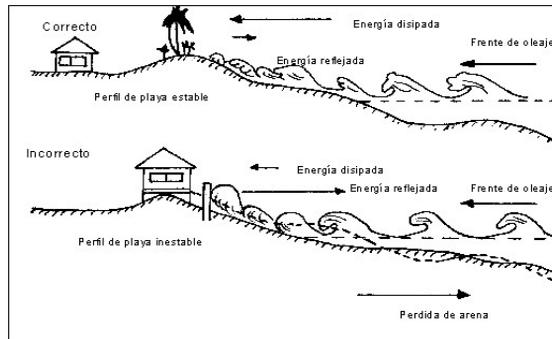


Figura 6. Bloques de roca caídos pertenecientes a una terraza fluvio-marina ubicada en la zona central de Paso Nueva causa de la socavación producida por el oleaje. Nótese como la disposición de los estratos favorece la acción del oleaje para producir la erosión.

sea alta, como lo indica la información que se tiene acerca de las variaciones en el nivel del mar en la zona del Caribe colombiano, que muestra ascensos de 15 cm y 22 cm (registros de los mareógrafos de Cristóbal y Cartagena (Andrade, 2002)), suficientes, según Brunn (1962), para generar tendencias erosivas importantes, aún en litorales estables tectónicamente. La principal causa de este ascenso es el cambio eustático del nivel del mar como consecuencia del aumento del volumen del agua oceánica. El calentamiento global, con la expansión de aguas oceánicas y el retroceso glaciar, está siendo provocado por los cambios atmosféricos y/o efecto invernadero.

Sin embargo, su efecto sobre la zona de estudio no puede ser estimado hasta ahora con la información que se tiene, pero es probable que sea alto si se considera el aumento relativo del nivel del mar, causado por una posible subsidencia o basculamiento de bloques cuyas evidencias deban reconocerse en las superficies de abrasión que se encuentran en la zona, las diferentes alturas de los acantilados y el indiscutible efecto del diapirismo de lodos.

Se suma a todo lo anterior la intervención por parte de los seres humanos, lo cual está desencadenando la acentuación de los procesos erosivos a lo largo de la zona. La construcción de casas u otras obras de infraestructura urbana o de defensa sobre la playa, zonas de bermas y cordones litorales, impide que la circulación natural de los sedimentos propiciada por el viento, las mareas y las olas se lleve a cabo y por lo tanto el déficit de los mismos ocasiona procesos erosivos. Es conocido que en un perfil normal de playa las olas disipan su energía al moverse en la zona mesomareal y algunas veces en la zona supramareal (Figura 7), en tanto que los vientos transportan los sedimentos a lo largo de todo el litoral. Las construcciones propician en



Figuras 7 a. y b. Localización inadecuada de obras civiles sobre la zona de playa, nótese los impactos negativos que una mala construcción trae al entorno.

muchas ocasiones que el oleaje choque sobre la pared u obra de defensa ocasionando que la energía de la ola ponga en movimiento una mayor cantidad de material, el cual será transportado por las diferentes corrientes hacia la plataforma. A la vez, dichas construcciones actúan como barreras al movimiento de los sedimentos por parte del viento o las corrientes litorales.

La construcción empírica de obras de protección (espolones y muros) se convierte en otro detonante de la erosión producida por el oleaje y la falta de aporte de sedimentos. Estas estructuras están modificando los procesos naturales de transporte de sedimentos que se dan a lo largo de la zona litoral. Al comparar la funcionalidad de las obras de defensa encontradas en la zona con lo que se pagó por su construcción, se obtienen datos negativos: de aproximadamente 20 obras de defensa encontradas en la zona sólo una de ellas cumple con su función. Todo esto pone en evidencia los pobres resultados de estas obras y la cantidad de dinero perdido en estas.

Para la construcción de casas en los centros urbanos de los corregimientos y municipios se ha recurrido a la fuente más cercana de arenas:

las playas y desembocaduras de ríos. Esta extracción de material genera desequilibrios importantes en la costa, con cambios en el perfil de playas y pérdida importante del material necesario para la formación de playas. Esta situación es igualmente presentada en INVEMAR (2002) y Restrepo (2001), con un estudio de caso en Tolú. Un ejemplo de este fenómeno en la zona de estudio se presenta en punta Rada cuya fragmentación y posterior erosión fue ocasionada por la extracción de arenas de los estratos correspondientes a la terraza fluvio-marina. La extracción indiscriminada de manglar también se ha convertido en una causa de la erosión debido a que se pierden las raíces de los mangles que son las responsables de atrapar sedimentos que se desplazan por las corrientes litorales o que son traídos por las olas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al norte del departamento de Córdoba se definieron dos zonas de acuerdo a sus características geomorfológicas y la inestabilidad que presentan ante la acción de los procesos erosivos. Playas de hasta 15 m, limitadas hacia el continente por pantanos de manglar o llanuras costeras, más estables y acantilados, sin o con pequeñas playas y limitadas por una terraza fluvio-marina y/o colinas y montañas, caracterizadas por una mayor afectación de los procesos erosivos.

La erosión en el sector norte del departamento de Córdoba pone de manifiesto una escasez de material sedimentario apto para la formación de playas. Este déficit de material arenoso grueso es ocasionado por la poca presencia de drenajes capaces de nutrir con cantidades suficientes de sedimento las playas del sector y que estos aportes están limitados a la época de invierno.

El constante retroceso de la línea de costa en los últimos 65 años está siendo facilitado por las condiciones geológicas de los materiales que conforman las terrazas fluvio-marinas, compuestas principalmente por rocas de tamaños muy finos (arcillolitas-lodolitas y arenitas finas) fracturadas, meteorizadas, levemente plegadas y por suelos no consolidados. Gracias a estas características litológicas, el oleaje y la escorrentía actúan en mayor escala favoreciendo así la erosión y por ende la pérdida de material, que debido a su tamaño fino, no ayuda a la formación de playas a lo largo de la zona.

A lo largo del área de estudio se evidencia que los procesos de erosión son favorecidos por la intervención antrópica. Esta se manifiesta principalmente en la extracción indiscriminada de arenas en las playas y desembocaduras de ríos; la construcción desorganizada de viviendas en zonas de playas y terrazas además de la construcción empírica de obras de defensa (espolones y muros).

Se pone de manifiesto el escaso conocimiento científico de la zona norte del departamento de Córdoba, y en general de las zonas costeras en Colombia; se hace necesaria la evaluación de las diferentes características que intervienen de una u otra manera en el fenómeno erosivo como el clima, la oceanografía, las características sedimentarias y tectónicas de la zona, entre otras. Además, deben cumplirse de manera clara y estricta las diferentes reglamentaciones existentes en cuanto a la construcción de viviendas y obras de protección y/o defensa a lo largo de las zonas litorales. Todo esto debe ir acompañado por una serie de medidas (principalmente geotécnicas) que servirían para contrarrestar los efectos negativos de la erosión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan sus más sinceros agradecimientos al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, por todo el apoyo prestado a lo largo de la elaboración del proyecto Estudio de los Procesos Costeros que Toman Lugar en las Inmediaciones de Paso Nuevo, la Rada, Cristo Rey-Puerto Escondido, Puerto Rey-Minuto y los Córdobas, Costa Cordobesa (financiado por INVEMAR, BPIN ZC 2003 y CVS mediante convenio 064-02). Se agradece especialmente a Julio Bohórquez y Juan Pablo Parra por su constante y desinteresada colaboración durante el desarrollo de este trabajo.

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, Informe técnico N 4.
- Aristizábal. 2001. Erosión Marina en el Litoral Caribe (Sector Punta Rey-Turbo): Introducción a sus causas naturales y antrópicas. Resumen en: Mem. X COLACMAR-Noveno Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. ICFES-Universidad Nacional, San Andrés Isla, sept. 16-20, m 2001. p 23.
- Brunn, P. 1962. Sea-level rise as a cause of shore erosion. Proceedings, American Society of Civil Engineers. Journal of Waterways and Harbor Division, 88:117-130.
- Correa, I.D. 1992. Erosión y sedimentación litoral de la línea de costa entre Turbo y Necoclí. Golfo de Urabá-Departamento de Antioquia. Informe final, Tomo 2, Universidad EAFIT. Medellín. 345p.
- Duque Caro, H. 1980. Geotectónica y evolución de la región noroccidental colombiana En: Boletín geológico del INGEOMINAS Vol. 23 N° 3, Santa Fe de Bogota, Colombia. 80 P.

- _____. 1984. Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú-San Jacinto en el noroccidente de Colombia. En: Boletín geológico del INGEOMINAS. Vol. 27. N° 2. Bogotá. 29p.
- GEOTEC, 2001. Geología de los cinturones Sinú-San Jacinto. Memoria explicativa. Informe presentado a INGEOMINAS. Bogotá. 225p.
- González, R., A. Diego, T. Guarín y J. Franz. 2003. Evolución geomorfológica de los acantilados entre Arboletes (Antioquia) y la desembocadura del río Córdoba (Córdoba). Tesis de grado de Geología. Universidad EAFIT, Medellín. 116p.
- Molina, L.; F. Pérez, J. Martínez, J. Franco, L. Marín, J. González y J. Carvajal. 1998. Geomorfología y Aspectos Erosivos del Litoral Caribe Colombiano. Publicación Geológica Especial de INGEOMINAS, 21:1-73.
- INVEMAR-CVS-CARSUCRE 2002. Formulación del plan de manejo integrado de la unidad ambiental costera estuarina del río Sinú y golfo de Morrosquillo, Caribe colombiano. INVEMAR. Santa Marta. 356p.
- Javelaud, O. 1987. La sedimentation du plateau continental de la Colombie Caraibe au cours du quaternaire terminal. Thèse d Université, Université Bordeaux. Francia. 147 P.
- Martínez, J. 1993. Geomorfología y amenazas geológicas de la línea de costa del Caribe central colombiano. En: Publicaciones geológicas especiales de INGEOMINAS N° 19: pp. 75-83.
- Molares, R., M. Cañon, y M. Gonzáles. 2001. Caracterización oceanográfica y meteorológica del Caribe colombiano. Centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas. Cartagena de Indias. 114 p.
- Page, W. 1983. Holocene deformation of the Caribbean coast, northwestern Colombia, Woodward & Clyde consultants, typescript. San Francisco. 25p.
- _____. 1986. Geología, sísmica y sismicidad del noroeste de Colombia. Inf. Woodward-Clyde para ISA. Medellín.
- Prahl, H. von. y H. Erhardt. 1985. Colombia, Corales y Arrecifes coralinos. Fondo para la protección del medio ambiente "José Celestino Mutis" FEN Colombia. 295p.
- 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
- Restrepo, J.C. 2001. Geomorfología y análisis de las variaciones de costa de la zona norte del golfo de Morrosquillo y archipiélago de San Bernardo, Caribe colombiano. Trabajo de grado. Facultad de ciencias exactas, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. 183p.
- Universidad Nacional de Colombia. 1998. Evaluación de zonas de erosión críticas en el litoral Caribe antioqueño. Informe presentado a CORPOURABA. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 198p.
- Vernette, G. 1985. La Plate-forme continentale Caraibe de colombie (dú Debouché du Magdalena au golfe de Morrosquillo). Importance du diapirisme argileux sur la morphologie et la sedimentation. Thesé de doctorat d' etat Université Bordeaux 1. Francia. 378p.

FECHA DE RECEPCIÓN:06/07/04

FECHA DE ACEPTACIÓN:01/09/05

DIRECCIÓN DE LOS AUTORES:

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), A.A 1016, Santa Marta, Colombia.

E-mail: nrangelb@invemar.org.co (NR). bposada@invemar.org.co (BP).

