

La complejidad de la dimensión física en la problemática costera del Golfo de Urabá, Colombia

Recibido para evaluación: 26 de Abril de 2005

Aceptación: 09 de Junio de 2005

Recibido versión final: 24 de Junio de 2005

Gladys Bernal F. ¹
Luis Javier Montoya J. ²
Camilo Garizábal C. ³
Mauricio Toro B. ⁴

RESUMEN

El Golfo de Urabá es un sector litoral estratégico para Colombia. El papel de la zona costera en las obras de infraestructura y los planes de desarrollo del área es un elemento prioritario que debe ser considerado y analizado en detalle. Los procesos de erosión y sedimentación que ocurren actualmente se han reconocido desde hace varias décadas como uno de los ejes de sus problemas ambientales. En este trabajo se hace un análisis de la complejidad física del problema a través de la integración del conocimiento actual y el análisis de datos obtenidos en el Crucero Oceanográfico Urabá 1, con el fin de detectar patrones a escala del Golfo y vacíos en la información así como obtener una visión integrada de los procesos costeros con las dinámicas de transporte. En el sector norte dominan los procesos erosivos que tienen diferentes connotaciones en la costa oriental y occidental. Las direcciones dominantes de deriva no permiten que los sedimentos arenosos del río Atrato se distribuyan hacia estas costas, mientras que se acumulan en el sector sur. Hay diferentes aspectos sobre la dispersión y acumulación de sedimentos que requieren mayor estudio, dentro de los cuales resalta el caso de la sedimentación de Bahía Colombia, vital para el transporte del producto regional.

PALABRAS CLAVE: Zona Costera, Erosión – Sedimentación, Golfo de Urabá

ABSTRACT

The Gulf of Uraba is an strategic littoral region for Colombia. The coastal zone role on infrastructure and development planning is a priority and should be considered and analyzed in detail. The erosion – sedimentation processes in the gulf have been recognized since several decades ago as one of the central axes of the environmental problems there. This work presents an analysis of the physical complexity of the problem through an integration of the present knowledge and new data collected during the Oceanographic Cruise Urabá 1. The goal is to obtain an integrated vision of the coastal processes and the transport dynamics in the gulf. Towards the north region erosion is dominant with different connotations on the east and western flanks. Dominant littoral drift direction doesn't allow sand sediments from Atrato river to be distributed towards these coasts, while they are accumulated at the south region. There are several issues about sediment dispersion and accumulation that require further studies, among these, sedimentation of Colombia Bay, which is vital for the regional product transport.

KEY WORDS: Coastal Zone, Erosion – Sedimentation, Gulf of Uraba

1. Ph.D. en Ecología Marina. Profesora Asistente, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

gbernal@unalmed.edu.co

2. M.Sc. en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Estudiante Ph.D. en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

3. Ingeniero Ambiental. Estudiante M.Sc. en Medio Ambiente y Desarrollo, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

4. Ph.D. en Hidrociencia e Ingeniería. Profesor Asociado, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

1. INTRODUCCION

El Golfo de Urabá es un cuerpo de agua semicerrado, alargado en dirección general N-S, ubicado en el extremo occidental de la costa Caribe colombiana, en el límite con Panamá. Tiene aproximadamente 80 km de largo por 25 km de ancho y profundidades medias de 25 m y máximas de 60 m. En su extremo sur occidental se localiza el delta del río Atrato, considerado uno de los más caudalosos del mundo en relación con su cuenca. Con una longitud de 650 km, descarga 81 km³ de agua al año, ó 2740 m³/s de caudal medio (Restrepo y Kjerfve, 2000). Comparado con el río Magdalena, el área de su cuenca es sólo el 14% de la de aquel y su caudal es el 35%. Se ha calculado una descarga de sedimentos de 11.3 x 10⁶ toneladas al año, siendo el segundo en aportes de sedimentos hacia el Caribe después del río Magdalena (Restrepo y Kjerfve, 2000). Estos sedimentos han conformado un delta que ocupa un área aproximada de 400 km². El crecimiento del delta ha separado la zona sur conocida como Bahía Colombia, la cual mantiene una comunicación con el resto del Golfo de 5.9 km en su zoná más estrecha. Sobre la dispersión de los sedimentos provenientes del río Atrato fuera del delta se conoce muy poco. Otros ríos drenan al Golfo de Urabá, pero sus descargas y caudales son menores en comparación, aunque localmente pueden tener influencia, especialmente en la morfología costera. Se destacan el río León que llega a bahía Colombia, los ríos Caimán Viejo y Caimán Nuevo en la costa oriental, y el río Turbo, también en la costa oriental, que desemboca al Norte de la Bahía de Turbo, donde se localiza la principal población del Golfo, Turbo, con 135.000 habitantes (Estadística Sisbén Turbo, www.turbo.gov.co).



La llegada de los altos caudales del río Atrato al Golfo genera una circulación de tipo estuarino, con aguas dulces saliendo a nivel superficial y aguas saladas entrando a nivel profundo. Quizás el único trabajo sobre circulación oceánica en este cuerpo de agua realizado anteriormente fue el proyecto "Estudio hidrodinámico del Golfo de Urabá", del CIOH en 1992 y publicado parcialmente en Molina et al. (1992), y Chevillot et al. (1993). Estos autores indican dos épocas climáticas principales en la región, la época media o seca, de diciembre a abril, dominada por fuertes vientos del N y NE, y oleajes fuertes; y la época húmeda, de mayo a noviembre con vientos débiles predominantemente del Sur. Estos autores encontraron que las aguas dulces provenientes de los ríos permanecen sólo en los niveles superficiales y durante la época húmeda la salinidad aumenta con respecto a la época de estiaje, debido a que los fuertes vientos de la época de estiaje confinan las aguas dulces dentro del Golfo, mientras que durante la época húmeda los vientos y caudales ayudan al flujo de agua hacia el Norte permitiendo mayor intercambio con el océano abierto. De acuerdo con sus resultados, la circulación superficial en Bahía Colombia es ciclónica en ambas épocas climáticas y al Norte de Bahía Colombia en la época húmeda sale agua dulce por la costa oriental, mientras entra agua salada por la costa occidental; en la época de estiaje se presentan una serie de vórtices ciclónicos y anticiclónicos de diferentes dimensiones. En ambas épocas refieren la circulación costera hacia el sur por ambas costas encontrándose en Bahía Colombia.

Los dos principales problemas ambientales que afectan el Golfo de Urabá son el de la contaminación por descargas urbanas y agroindustriales, y el de la erosión y sedimentación costeras. El problema de erosión y sedimentación en la zona costera ha sido expuesto desde la década de los 70's. Desde entonces se han realizado numerosos estudios sobre inventarios de línea de costa, balances sedimentológicos e identificación de zonas de erosión y acreción (Santamaría y Ramírez, 1987; Aristizábal, et al., 1990; Correa, 1992; Franco, 1992; Velásquez y Rave, 1996; Franco y Gómez, 1996; Velásquez, 2000; entre otros). Estos estudios han aportado información valiosa sobre los procesos costeros de algunos sectores. Sin embargo, hace falta una visión del problema en una escala espacial mayor e integrada con las dinámicas de transporte.

El objetivo de este trabajo es integrar el conocimiento actual sobre la problemática de erosión y sedimentación costera en el Golfo de Urabá con el fin de: (1) detectar patrones a la escala del Golfo (2) identificar vacíos importantes en la información (3) obtener una visión integrada de los procesos costeros con las dinámicas de transporte y (4) discutir sobre la complejidad de la dimensión física y su relevancia para las demás componentes ambientales involucradas.

2. MÉTODOS

Con el fin de analizar la problemática de erosión y sedimentación costera en el Golfo de Urabá de forma integral desde el punto de vista espacial y teniendo en cuenta su dinámica oceanográfica, se realizó en primer lugar una revisión de estudios previos en relación con la línea de costa, los procesos físicos costeros y la dinámica oceanográfica. A partir de esta revisión se consolidó una base de datos en un sistema de información geográfico donde se ubicaron los procesos físicos documentados en la zona costera a escala 1:100.000 con las limitaciones y generalizaciones propias de cada estudio. Se obtuvo un mapa de procesos costeros del Golfo y se detectaron los vacíos de información tanto espaciales como temáticos. En segundo lugar se analizaron datos obtenidos en el Crucero Oceanográfico Urabá 1, realizado entre el 25 y 29 de octubre del 2004, a bordo del BI/Ancón, del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis (INVEMAR). Durante el crucero, en 30 estaciones (Figura 1) se tomaron datos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto (CTDO Seabird del Invemar). Además se tomaron muestras de agua a diferentes profundidades con una botella Nansen, en las cuales se midió turbidez (turbidímetro HACH modelo 2100A de la Universidad Nacional) y concentración de sólidos suspendidos mayores a 6 micras (filtración y peso de material retenido en filtros 595). Se analizó la estructura horizontal y vertical de estas variables que conjuntamente con la información secundaria y el mapa de procesos costeros permitió hacer un análisis de la complejidad de la dimensión física en la problemática de erosión y sedimentación costera del Golfo de Urabá.

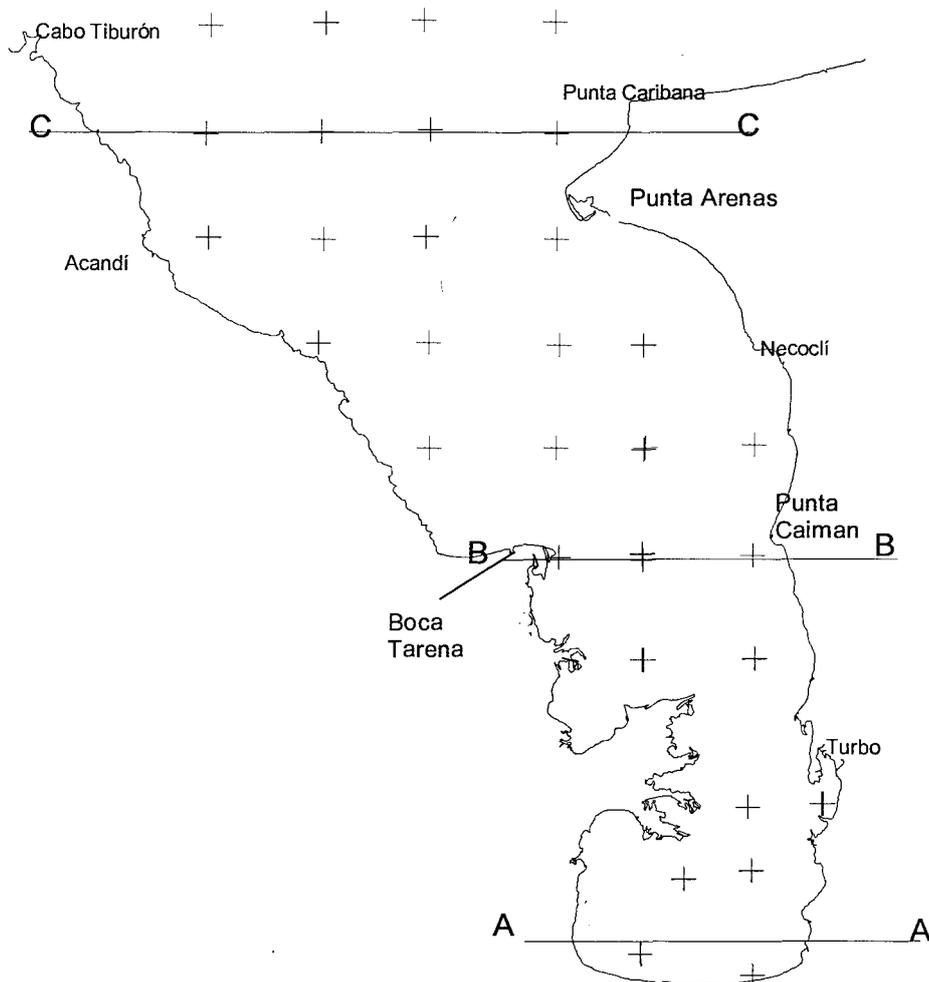


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo durante el Crucero Oceanográfico Urabá 1 y ubicación de los perfiles discutidos en el texto.

3. RESULTADOS

El Golfo de Urabá puede dividirse en dos sectores separados por una línea imaginaria entre Boca Tarena en la costa occidental y la boca del río Turbo en la costa oriental. Al norte de esta línea se presentan costas limitadas por colinas (serranía de Baudó en la costa occidental, cinturón del Sinú en la costa oriental). Las costas rocosas de la costa occidental se caracterizan por ser acantiladas, con playas de bolsillo y formaciones coralinas en su extremo norte (hacia cabo Tiburón). Aquí la acumulación de cordones litorales y playas más importante se presenta en Acandí, donde después de la colina hacia la costa hay una terraza levantada y un cordón reciente. Sin embargo, no se encontró información publicada sobre la evolución de la línea de costa de la zona entre Acandí y Boca Tarena. En la costa oriental, al frente de las colinas se presentan terrazas emergidas y cordones litorales recientes, lo que ha dejado una línea de paleoacantilado y una zona estrecha de costas bajas, alimentadas por algunos ríos menores. La mayor acumulación reciente de sedimentos se da en Punta Arenas, que conforma un promontorio triangular de extensión considerable. El sector del sur del Golfo se caracteriza por estar conformado por tierras bajas de piedemonte y el delta del río Atrato. Se destacan este delta en la costa occidental, con cordones y barras de canales distributarios, bahía Colombia en el extremo sur y la bahía de Turbo en la costa oriental.

Durante el Crucero Urabá 1 los vientos fueron predominantemente del NE con velocidades entre 0 y 7 m/s, mayores en los extremos sur y norte, evidenciando el efecto de la zona montañosa del cinturón del Sinú en la costa oriental. La temperatura superficial varió entre 26.5 y 31.5°C. Su distribución espacial (Figura 2) mostró un núcleo de baja temperatura concentrado al frente de la boca principal del río Atrato y varios núcleos de alta temperatura ubicados en el extremo sur de Bahía Colombia, en la costa oriental entre Punta Caimán y Punta Arenas, y al centro del Golfo, al frente de Punta Goleta. A una profundidad de 5 m la temperatura fue prácticamente homogénea. La salinidad superficial (Figura 3) varió entre 4 y 36, dominada por los extremos del río Atrato y el mar Caribe. La salinidad fue un buen indicador de la dispersión de agua dulce superficial del río y mostró cómo esta masa circula hacia el NE y sale recostada por Punta Arenas. En Bahía Colombia las salinidades fueron altas (36) y en la costa occidental se observó la entrada de agua oceánica superficial que llegó hasta Boca Tarena. A 5 m de profundidad las salinidades se homogenizaron entre 30 y 32.

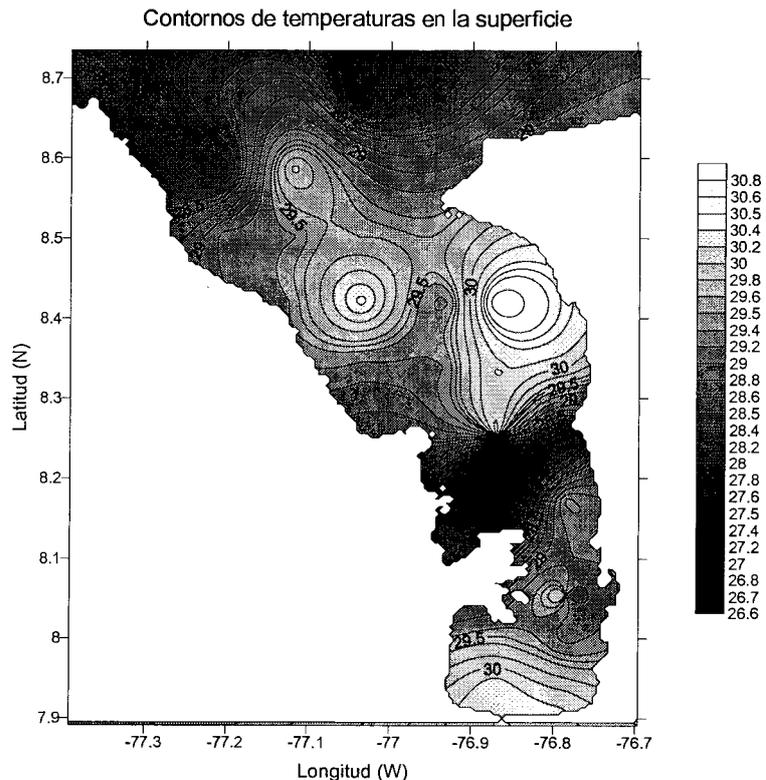


Figura 2.
Mapa de distribución de la temperatura superficial (en °C) en el Golfo de Urabá durante la campaña oceanográfica Urabá 1 (octubre / 2004).

Contornos de salinidades en la superficie

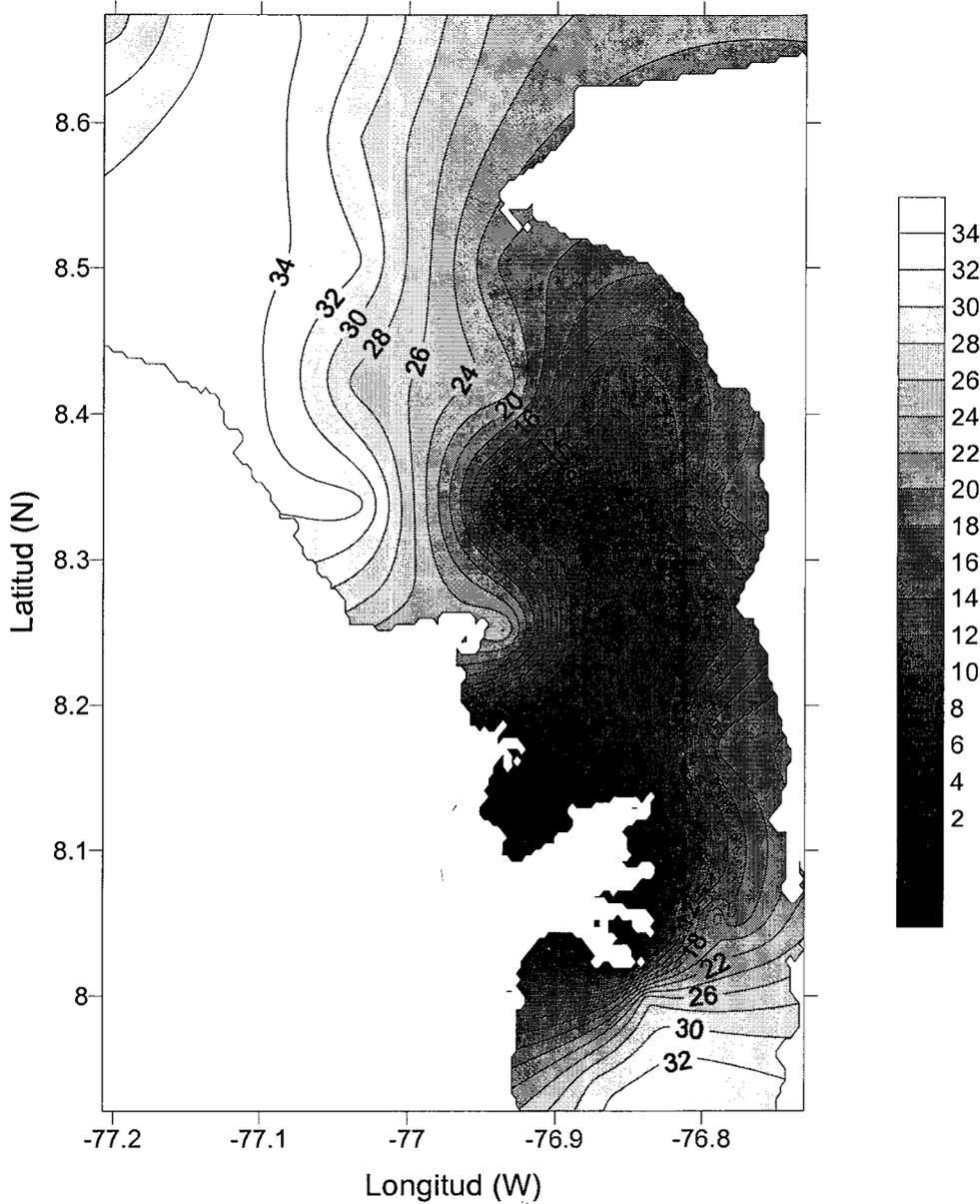


Figura 3. Mapa de distribución de la salinidad superficial en el Golfo de Urabá durante la campaña oceanográfica Urabá 1 (octubre / 2004).

La dispersión de sedimentos superficiales puede verse en la imagen satelital para el momento de las mediciones (Figura 4). En general la carga de sedimentos superficiales viajó hacia el Norte, incluso en el caso de la Boca que llega a Bahía Colombia, donde la pluma turbia se pegó a las barras deltaicas, parte se concentró en la esquina noroccidental de la Bahía y parte se dispersó hacia el norte del Golfo. La carga de sedimentos suspendidos mayores de 6 micras en la columna de agua subsuperficial (tamaños limos y arenas) varió entre 0 y 31.4 mg/l, en promedio 8.1 ± 5.2 mg/l. La turbidez subsuperficial varió entre 0.3 y 19 NTU (unidades nefelométricas), con media 1.24 ± 2.3 . Estos dos parámetros se relacionaron con un coeficiente de correlación (r) de 0.5.

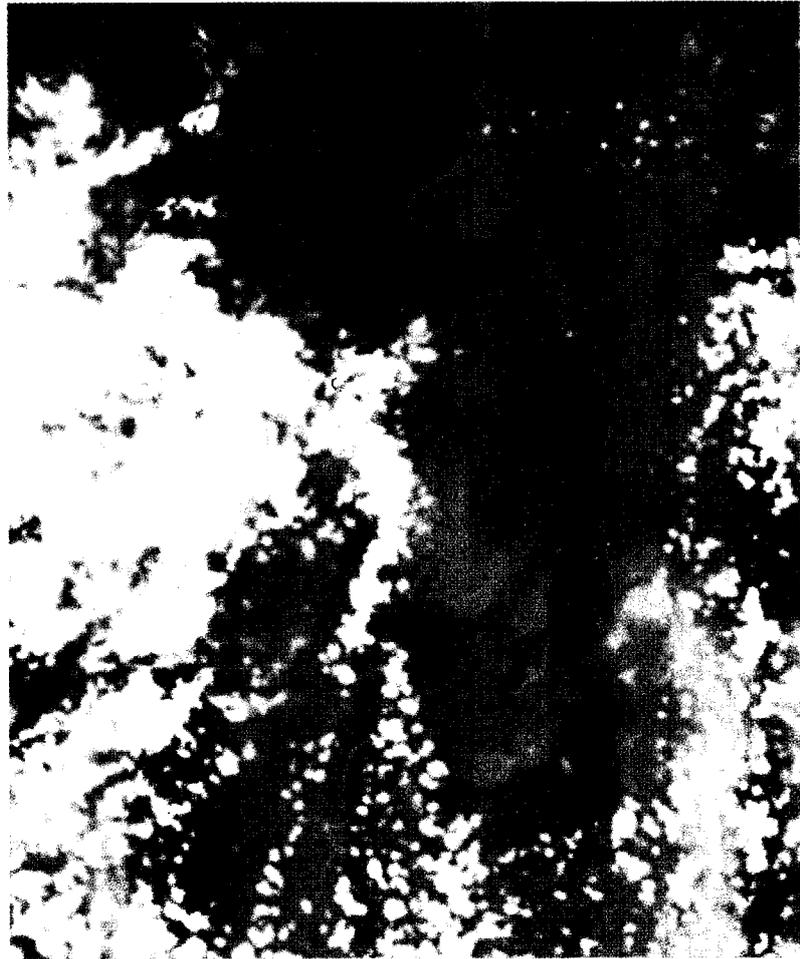


Figura 4.
Imagen satelital de color del mar
(Modis aqua del 26 de octubre del
2004) durante el crucero Urabá 1.
Se aprecia la dispersión de la pluma
turbia del río Atrato.

Los perfiles de temperatura y salinidad a la altura de Bahía Colombia, Boca Tarena y la entrada al Golfo en el sector externo (Figuras 5 y 6) muestran que en Bahía Colombia las aguas más cálidas y menos salinas se concentraron a nivel superficial hacia la costa occidental, mientras que las más frías y saladas se ubicaron en profundidad hacia la costa oriental. En las estaciones medidas en Bahía Colombia la mayor carga de sedimentos suspendidos (y turbidez) subsuperficial se presentó hacia la costa oriental y cerca del fondo. A la altura de Boca Tarena las aguas dulces formaron una capa delgada a nivel superficial (< 3m) con valores bajos de temperatura y salinidad. Por debajo de esta capa la salinidad fue muy homogénea (entre 34 y 36) aunque la temperatura mostró un núcleo cálido hacia la costa occidental a una profundidad de 15 m. A lo largo de este perfil las concentraciones de sólidos suspendidos y de turbidez fueron mayores en superficie y disminuyeron hacia profundidad, a excepción de la estación más profunda, donde a 35 m se incrementaron de nuevo. En las estaciones cercanas al frente deltaico del río Atrato en general el patrón de sedimentos suspendidos fue variable, y aunque en la mayor parte de los casos mostró una tendencia a ser mayor en superficie y disminuir hacia profundidad, también se presentó el patrón inverso o el caso de un mínimo o máximo intermedios. En el sector externo del Golfo se encontraron aguas frías y salinas en el fondo recostadas hacia la costa oriental y aguas dulces más cálidas a nivel superficial. La carga de sedimentos en esta zona también fue muy variable, dominó la presencia de un máximo a profundidades intermedias, pero se dieron casos de aumentos o disminuciones progresivas, así como mínimos intermedios.

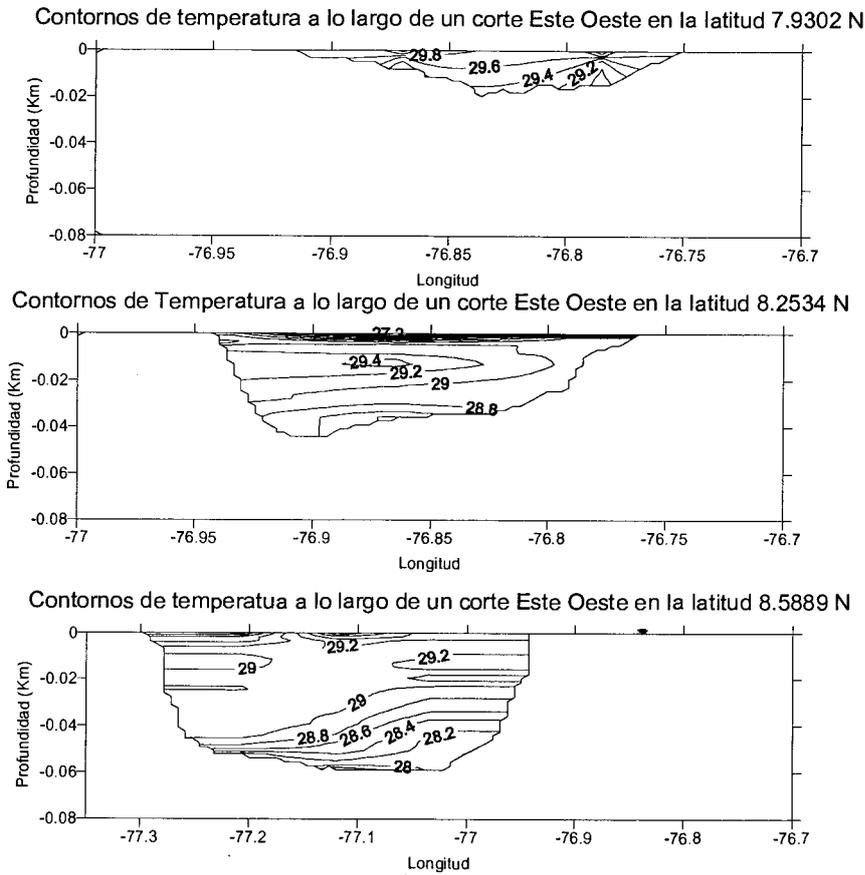


Figura 5.a.
Comportamiento de la temperatura en la vertical, visto en tres perfiles a lo largo del Golfo.

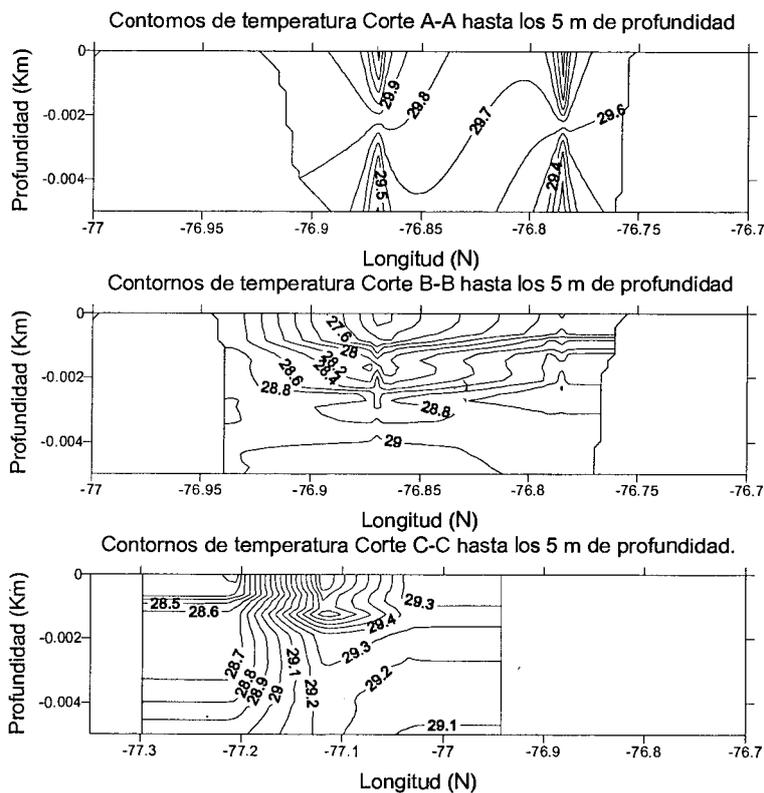
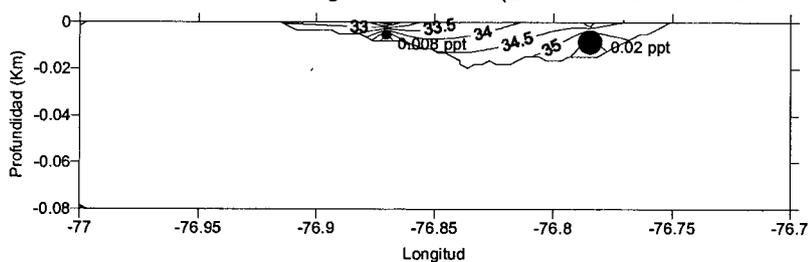
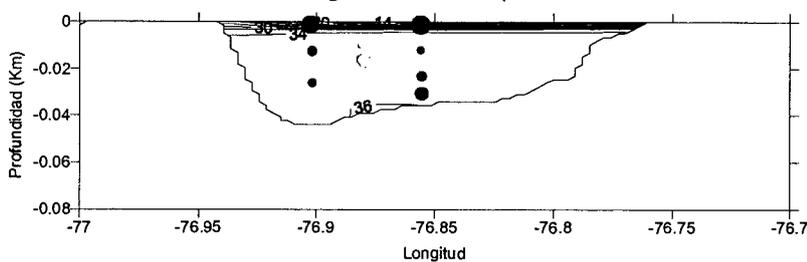


Figura 5.b.
Comportamiento de la temperatura en la vertical, visto en tres perfiles a lo largo del Golfo. Detalle de los 5 m superficiales

Contornos de salinidad a lo largo del corte A-A (Este Oeste en la latitud 7.9302 N)



Contornos de salinidad a lo largo del corte B-B (Este Oeste en la latitud 8.2534 N)



Contornos de salinidad a lo largo del corte C-C (Este Oeste en la latitud 8.5889 N)

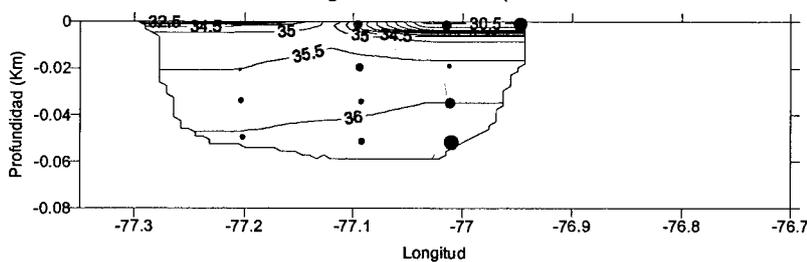
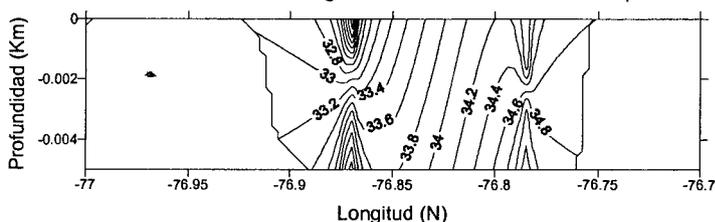
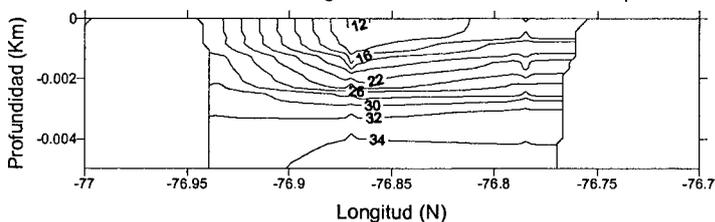


Figura 6.a.
Comportamiento de la salinidad en la vertical, visto en tres perfiles a lo largo del Golfo. Incluye datos de concentración de sólidos suspendidos mayores a 6 micras (círculos llenos). El diámetro de los círculos es proporcional a la concentración. Para escala se indican los valores en el perfil A-A' (ppt= partes por mil por sus siglas en inglés, equivale a g/l).

Contornos de salinidad a lo largo del corte A-A hasta los 5 m de profundidad



Contornos de salinidad a lo largo del corte B-B hasta los 5 m de profundidad



Contornos de salinidad a lo largo del corte C-C hasta los 5 m de profundidad.

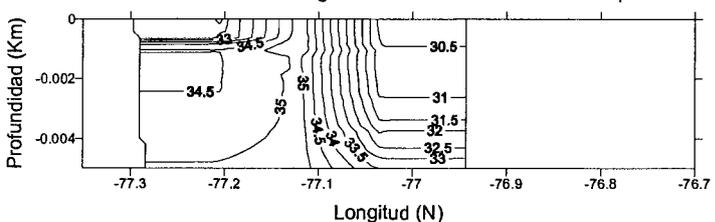


Figura 6.b.
Comportamiento de la salinidad en la vertical, visto en tres perfiles a lo largo del Golfo. Detalle de los 5 m superficiales.

De acuerdo con la información secundaria recolectada y el mapa de procesos costeros realizado con la integración espacial de la misma (Figura 7), la costa noroccidental recibe directamente el oleaje proveniente de mar abierto, mientras que en el resto del Golfo el oleaje incidente es o producto de la refracción de éste al propagarse hacia la parte interna, o generado localmente. Las condiciones de oleaje más fuerte ocurren en la época seca, cuando los vientos locales son más fuertes y el oleaje proveniente del mar Caribe (N) es más intenso. En Boca Tarena se ha reportado oleaje en la época seca con crestas en dirección este-oeste, las cuales son perpendiculares a la costa occidental y paralelas a los depósitos deltaicos en este lugar. El sector nororiental es el más protegido del oleaje externo. Las direcciones de aproximación a esta costa no han sido registradas en detalle, pero se ha indicado oleaje con dirección desde el NW (alturas hasta 1.2 m) y el SW (alturas hasta 1 m) según la estación climática. En Bahía Colombia se ha registrado una incidencia del oleaje predominante de frente a la costa. Las direcciones de oleaje, así como los rasgos geomorfológicos indicadores de deriva litoral coinciden en que la deriva predominante es hacia el sur por ambas costas aunque haya inversiones temporales de la misma.

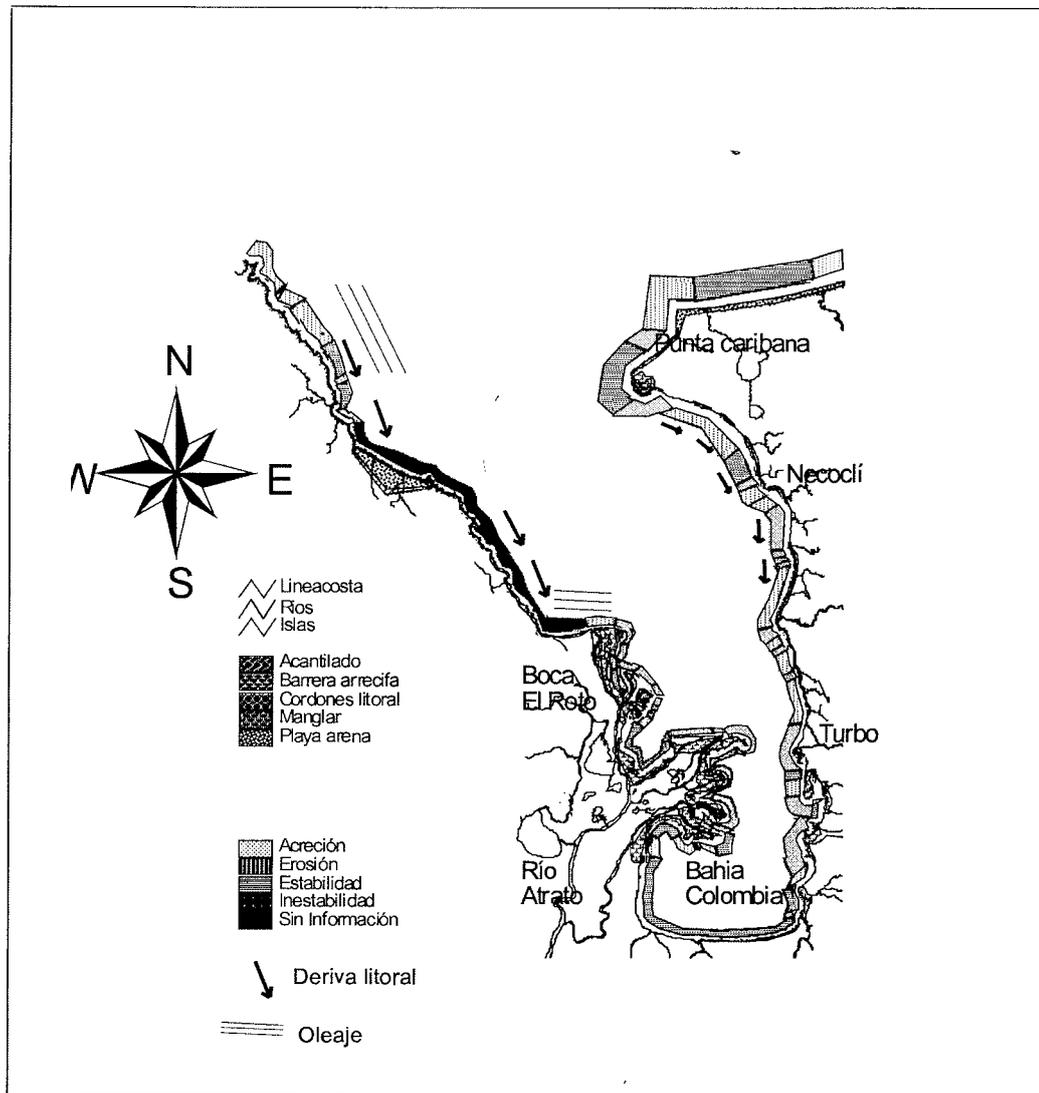


Figura 7. Síntesis del mapa de Procesos Costeros del Golfo de Urabá, elaborado a partir de información secundaria.

De acuerdo con los estudios revisados, el patrón de erosión y sedimentación costera en el Golfo puede resumirse así: Punta Arenas se considera una zona estable y en crecimiento. Desde allí hasta Turbo la costa es variable con procesos de erosión y acreción. Puede decirse que los procesos de erosión dominan y que la acreción se da en el sector sur (deriva abajo) de las costas erosionadas o en las bocas de los ríos. Al frente de la Bahía de Turbo hay un proceso de erosión localizado en Punta las Vacas que ha sido bien documentado, el cual se ha atribuido al cambio de curso del río Turbo. La costa de Bahía Colombia parece ser estable. La zona deltaica hasta Boca Tarena es altamente variable. Se presentan erosión y acreción, propias de la variabilidad de los depósitos de frente de delta. Desde Boca Tarena hasta Acandí se carece de información en cuanto a la evolución de la línea de costa, y desde Acandí hasta Cabo Tiburón se ha documentado una dominancia de la erosión costera, aunque los retrocesos no son tan significativos como en la costa oriental.

4. DISCUSIÓN

Los problemas de erosión y sedimentación en el Golfo están ligados a los cambios del nivel del mar así como al transporte y dispersión de sedimentos. De acuerdo con Robertson y Martínez (1999) en ambos flancos de los sectores del Norte y Centro, bordeados por montañas, hay evidencias de un nivel del mar entre 2 y 3 m por encima del actual, que podría implicar levantamientos de la zona costera, mientras que hacia el sector sur, donde dominan las acumulaciones fluviales de los ríos Atrato, León y otros, se manifiesta una probable subsidencia con basculamiento hacia el oeste. Por su parte, Correa y Vernet (2004) indican que hay una aparente contradicción entre las terrazas marinas emergidas y el predominio marcado de la erosión litoral en el área entre punta Arenas y Turbo, el cual podría explicarse por efectos hidroisostáticos en los que no se puede descartar un hundimiento progresivo de esta zona. Estos cambios del nivel del mar abarcan largos períodos. La edad de las terrazas emergidas es entre 2000 y 3000 años (Correa y Vernet, 2004). Estos levantamientos pueden ocurrir por pulsos o abruptamente, mientras que la respuesta isostática puede ser de largo plazo. Las implicaciones de levantamientos tectónicos sobre el manejo actual de la zona costera no son directas, si bien son indicativos de una amenaza sobre esta zona. En cambio, el hundimiento isostático sí sería un factor de impacto directo, pero su comprobación es compleja. A los factores tectónicos y locales del nivel del mar se suman los factores globales, que tienen un impacto directo en la problemática actual de erosión – sedimentación. El ascenso desde 1850 se ha cuantificado en 2 mm por año para el Caribe (González et al., 1997; Robertson y Martínez, 1999; Pabón, 2003) y es un proceso inevitable que afecta todo el litoral colombiano. De este análisis se deduce que es necesario un estudio de la vulnerabilidad de la zona costera del Golfo ante ascensos del nivel del mar (isostáticos y globales) con el fin de detectar las distintas zonas de riesgo, las cuales deben ser tenidas en cuenta en los planes de manejo costero.

En cuanto al transporte y dispersión de sedimentos en la zona costera, se identificaron cuatro fuentes posibles: la zona externa, los ríos, los acantilados y los organismos (sedimentación biogénica). Los aportes biogénicos importantes se limitan a las costas entre Cabo Tiburón y Acandí (Velásquez, 2000), pero no se tiene información sobre su magnitud. Igualmente, aunque la mayor parte de los sedimentos litorales del resto del Golfo son predominantemente terrígenos, no hay información sobre eventuales aportes biogénicos locales. En cuanto al aporte de los acantilados, cabe anotar que el sector de costa alta entre Boca Tarena y Acandí carece de información básica, mientras que en el sector de la costa oriental Correa y Vernet (2004) indican que las características geotécnicas de las rocas son pobres, lo que ha contribuido a las altas tasas de erosión en terrazas y acantilados.

Los aportes sedimentarios externos pueden presentarse especialmente en el sector norte de la costa oriental, donde se ha documentado que la espiga de punta Arenas se formó con sedimentos transportados en la celda litoral proveniente de Punta Arboletes, la cual probablemente penetraba en el Golfo (Corpurabá – Universidad Nacional, 1998). Sin embargo, como menciona este estudio, el transporte de sedimentos desde la costa abierta oriental hacia el Golfo fue anulado probablemente debido al crecimiento del delta del río Sinú. Si este era el mecanismo principal de alimentación de las costas entre Necoclí y Punta Arenas, el cese del transporte litoral en las costas de Córdoba puede ser una de las causas de la erosión que se presenta en este sector.



Los ríos que drenan al Golfo, especialmente el río Atrato, contienen una carga de sedimentos que podría alimentar la zona costera del mismo. Sin embargo, poco se conoce sobre la magnitud de los aportes reales, la dispersión de estos sedimentos y las áreas de influencia en la zona litoral. Robertson y Martínez (1999) afirman que contrario a lo esperado, el delta del río Atrato ha permanecido prácticamente inalterado durante los últimos 150 años y el único cambio morfológico importante ha sido la migración de la desembocadura principal, de Boca Tarena en el extremo Norte, a El Roto, hacia el Sur. Argumentan que el sistema litoral del sur del Golfo revela un déficit de sedimentos y que la poca afluencia de arenas puede deberse a un efecto de trampa que configura el sistema de abanicos aluviales y pantanosos del Bajo Atrato donde se da un proceso de subsidencia, lo cual haría poco probable el cierre del Golfo por la boca de este río.

Por su parte, Chevillot et al. (1993) indican que el 80% del Golfo está tapizado por lodos terrígenos que son aportados por los ríos, viajan por suspensión y se depositan por decantación. Las arenas y arenas lodosas terrígenas de origen fluvial se ubican frente a las desembocaduras de los ríos, principalmente del Atrato. También hay una acumulación arenosa importante en Bahía Colombia. El patrón de distribución de sedimentos de fondo encontrado por estos autores parece indicar que hay poco transporte por carga de fondo, que las arenas fluviales quedan atrapadas principalmente en las barras de las bocas de los ríos y que el transporte litoral lleva una fracción hacia Bahía Colombia donde finalmente se depositan.

Molina et al. (1992) hicieron la comparación de las batimetrías de Bahía Colombia en 1938 y 1983 y encontraron una tendencia a disminuir la profundidad de la misma, especialmente hacia la costa oriental. Aunque esta comparación no es totalmente conclusiva, pues hay que considerar los diferentes métodos y errores de medición en los dos mapas comparados, puede ser indicativa de una tendencia a la sedimentación en esta zona de Bahía Colombia, idea que se refuerza por las concentraciones mayores de sedimentos suspendidos encontrados durante el crucero Urabá 1 en este sector. Esta tendencia está relacionada con la llegada del río León a Bahía Colombia y es un sector que presenta problemas para la navegación y por su importancia en el transporte del producto regional, el banano, es sometido a dragados continuos.

Además del transporte de fondo, la dispersión de sedimentos desde los ríos puede darse por suspensión y transporte a lo largo de la costa. Se encontró que el transporte en suspensión es máximo en la capa superficial que conforma la pluma turbia de los ríos, especialmente del río Atrato, pero hacia la zona externa pueden presentarse máximos de concentración intermedios o profundos, que pueden reflejar la decantación de los sedimentos finos. El patrón de distribución de los sedimentos suspendidos en el Golfo es complejo y requiere un análisis detallado en relación con la evolución de las costas y de los sedimentos de fondo. El transporte a lo largo de la costa es la forma más efectiva de repartición de las fracciones arenosas de los sedimentos desde las barras y depósitos deltaicos hacia las costas. En el área la deriva dominante hacia el sur en ambas costas genera muy pocas posibilidades de que los sedimentos gruesos del río Atrato alimenten las costas. Al contrario, estas direcciones tienden a mantener las arenas en la zona sur (delta del río Atrato y Bahía Colombia). Para entender cómo funciona la dispersión a lo largo de la costa es necesario un estudio completo de la propagación del oleaje dentro del Golfo de Urabá.

Con la información actual puede decirse que los procesos de erosión en la costa occidental del Golfo están relacionados con el embate directo del oleaje del Caribe sobre este sector y los procesos de erosión de la costa oriental están conectados con la erosión de la línea de costa externa que disminuyó radicalmente la alimentación de sedimentos a la deriva litoral. Hay otros factores que hay que considerar en los procesos generalizados de erosión de la costa oriental. Uno es la posible isostasia discutida anteriormente y otro es el patrón de circulación del Golfo. De acuerdo con la información existente (Chevillot et al., 1993) y la recolectada durante el Crucero Urabá 1 en la época húmeda el agua del río Atrato sale recostada por esta costa. Dada la magnitud del caudal, que en esta época debe ser mayor a la media de 2740 m³/s, la presión de éste debe actuar como un chorro sobre la línea de costa de este sector afectando la acumulación de sedimentos. La forma arqueada de la costa entre Punta Caimán y Punta Arenas coincide con el impacto de este chorro (Figura 3), pero los mecanismos sobre la costa deben ser estudiados con mayor detalle.



Para analizar la problemática ambiental ligada con los fenómenos de erosión y sedimentación en el Golfo de Urabá es importante tener en cuenta también las componentes biótica y antrópica. Al hacer un análisis de la problemática se puede decir que la raíz del problema está en la componente física. Sin embargo, la complejidad de la componente antrópica es importante, por cuanto tiene implicaciones económicas y sociales relevantes. De hecho, ha tenido un impacto directo sobre las zonas de erosión y sedimentación con la construcción indiscriminada de espolones, la desviación de ríos, la explotación de materiales de playa, el mal manejo de aguas residuales y el dragado de canales, la mayoría de las veces realizados sin un ordenamiento claro (Corpurabá – Universidad Nacional, 1998; Correa y Vernet, 2004). El papel de la zona costera en las obras de infraestructura, los planes de desarrollo del área, la actividad agroindustrial, los conflictos sociales y las etnias que confluyen en ella, así como las implicaciones sociales y económicas de la problemática de erosión y sedimentación son elementos que necesariamente deben ser considerados para llegar a propuestas sólidas y sostenibles en el Manejo de la Zona Costera del Golfo. Esta dimensión tendrá que ser considerada en detalle posteriormente.

Este trabajo se limita a un análisis de la componente física desde los resultados obtenidos, bajo la premisa de que una visión física integrada espacialmente es un aporte importante para establecer planes adecuados de Ordenamiento Litoral. En cuanto a la dimensión física hace falta conocimiento sobre la circulación del Golfo y la dispersión de sedimentos a escalas anual e interanual, los fenómenos de subsidencia e isostasia, cuantificaciones de aportes sedimentarios de los diferentes ríos y análisis del viento y oleaje como generadores y modificadores del transporte a lo largo de la costa. Asimismo es necesario realizar estudios de vulnerabilidad y riesgo a los problemas de erosión – sedimentación para tener en cuenta en la planificación de los usos, las estrategias de protección y el manejo de la zona costera.

5. CONCLUSIONES



La dimensión física en la problemática de erosión - sedimentación en la zona costera del Golfo de Urabá es compleja en escalas de tiempo y espacio. Los procesos de gran escala incluyen levantamientos tectónicos de los cinturones Sinú y Baudó, posibles procesos isostáticos, subsidencia de los abanicos aluviales del Bajo Atrato y cambios eustáticos de nivel del mar.

El estado actual del conocimiento sobre la configuración del Golfo, la dispersión de sedimentos, la dinámica costera y la circulación oceánica indican que el sector norte del Golfo es una zona sometida a erosión generalizada. La dirección de la deriva no permite que los sedimentos deltaicos del río Atrato se distribuyan hacia estos sectores y por tanto la alimentación de arenas se da principalmente por aportes de acantilados y biogénicos en la costa occidental y de ríos menores en la costa oriental. En el lado occidental la erosión se produce por el embate de las olas sobre la costa, mientras que la situación de la costa oriental es más compleja e incluye falta de alimentación de la deriva, posible isostasia y el efecto de chorro de las aguas del río Atrato.

En el sector sur del Golfo dominan la acreción y estabilidad. La tendencia a la sedimentación en esta zona ha generado problemas para el transporte de carga, por lo que merece un estudio sobre las tasas de sedimentación en Bahía Colombia y las posibilidades reales de colmatación o cierre de su boca, que tendrían importantes implicaciones económicas para el área.

En este trabajo se detectaron zonas con vacíos de información tal como el sector entre Boca Tarena y Acandí, así como temáticas en las cuales hay que profundizar para un mejor entendimiento del problema. Hace falta conocimiento sobre la circulación del Golfo y la dispersión de sedimentos a escalas anual e interanual, los fenómenos de subsidencia e isostasia, cuantificaciones de aportes sedimentarios de los diferentes ríos y análisis del viento y oleaje como generadores y modificadores del transporte litoral.

También se destaca la importancia de realizar estudios de vulnerabilidad y riesgo a los problemas de erosión – sedimentación del Golfo y hacer un análisis de la complejidad de la componente antrópica para tener en cuenta en la planificación de los usos, las estrategias de protección y el manejo de la zona costera.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo en el marco del proyecto de investigación: "Estudio de la dispersión de sedimentos del río Atrato y sus impactos sobre la problemática ambiental costera del Golfo de Urabá". Agradecemos al fondo ISA – UNIVERSIDAD NACIONAL por su apoyo financiero para la realización de este proyecto. Al INVEVAR y el personal técnico del BI/Ancón por su apoyo en la campaña oceanográfica. Y a todo el personal, colegas y amigos de la Universidad Nacional, sede Medellín, por su apoyo en gestión, equipos, laboratorio y otras contribuciones.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aristizábal, O., J. Betancur y C. Vásquez., 1990. Erosión y sedimentación de la línea de costa entre Turbo y Necoclí, Golfo de Urabá. Proyecto de Grado de Geología, Universidad EAFIT.
- Chevillot, P., A. Molina, L. Giraldo y C. Molina., 1993. Estudio geológico e hidrológico del Golfo de Urabá. Boletín Científico CIOH, 14: 79-89 pp.
- Corpurabá – Universidad Nacional, 1998. Evaluación de zonas de erosión críticas en el litoral Caribe Antioqueño. Informe Final. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Medellín, 199 p.
- Correa, I., 1992. Erosión y sedimentación litoral de la línea de costa entre Turbo y Necoclí, Golfo de Urabá, Departamento de Antioquia. Informe Final. Universidad EAFIT, Medellín. 345 p.
- Correa, I.D. y G. Vernet., 2004. Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (Sector Arboletes – Turbo) Costa Caribe Colombiana. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, 33: 5-26 pp.
- Franco, J.V., 1992. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe Colombiano, sector Punta Caribaná – Boca Tarena. Ingeominas, 48 p.
- Franco, E. y J.F. Gómez., 1996. Evolución de la Línea de Costa del Litoral Antioqueño. Aspectos Geomorfológicos, Sector Río Necoclí - Turbo, Trabajo de Grado, Universidad Nacional, Facultad de Minas, Medellín, 106 p.
- González, J.I., J. Ochoa y P. Ripa., 1997. Variación estacional del nivel del mar en el Golfo de México y Mar Caribe. GEOS. Unión Geofísica Mexicana, 17 (33): 168-171 pp.
- Holguín, S., 1996. Geomorfología y Evolución de la línea de costa del litoral Antioqueño. Sector Río Necoclí - Arboletes. Trabajo de grado, Universidad Nacional, Facultad de Minas, Medellín, 92 p.
- Molina, A., C. Molina 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, 11: 43-58 pp.
- Pabón, J.D., 2003. El aumento del nivel del mar en las costas y área insular de Colombia. En: Montañez G., G., N.H. Campos, F. Avella y J. Polanía (eds). El Mundo Marino de Colombia: Investigación y Desarrollo de Territorios Olvidados. Universidad Nacional de Colombia, REMAR. pp 75-82 pp.
- Restrepo, J.D. y B. Kjerfve., 2000. Water discharge and sediment load from the Western slopes of the Colombian Andes with focus on río San Juan. *Journal of Geology*, 108: 17-33 p.
- Robertson, K y N. Martínez., 1999. Cambios en el nivel del mar durante el Holoceno en el litoral Caribe Colombiano. Cuadernos de Geografía, 8(1): 168-198 pp.
- Santamaría, J.J. y D.P. Ramírez., 1987. Estudios para la recuperación de las playas de Turbo. Trabajo de Grado. Universidad de Medellín. 165 p.
- Velásquez, C. y J. Rave., 1996. Dinámica costera y geomorfología en el Golfo de Urabá Antioqueño. Sector Boca Tarena - Espiga de Turbo. Trabajo de grado, Universidad Nacional, Facultad de Minas, Medellín, 136 p.
- Velásquez, N., 2000. Geomorfología y Dinámica en el Urabá Chocoano. Sector: Cabo Tiburón – Bahía Acandí. Trabajo de Grado, Ingeniería Geológica, Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 284 p.

