

# GEOMORFOLOGÍA DE LA PLATAFORMA SOMERA DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA, COSTA CARIBE COLOMBIANA

*Isabel Cristina Restrepo C.<sup>1</sup>, Germán Y. Ojeda B.<sup>2</sup> y Iván Darío Correa A.<sup>1</sup>*

*1. Área de Ciencias del Mar, Universidad Eafit*

*2. Instituto Colombiano del Petróleo, Ecopetrol S.A. y Área de Ciencias del Mar, Universidad Eafit.  
icorrea@eafit.edu.co*

Recibido para evaluación: 23 de Octubre de 2006 / Aceptación: 15 de Junio de 2007 / Recibida versión final: 22 de Junio de 2007

## RESUMEN

La plataforma continental somera (PSC, profundidades < 10m) del Departamento de Córdoba se ubica entre los 8° 52' 58" N, 76° 24' 53" O y los 9° 20' 42" N, 75° 47' 55" O, inmediatamente al sur del Golfo de Morrosquillo, Costa Caribe colombiana. La información aportada por 140 transectos batimétricos y geofísicos de alta resolución (12/200 kHz, trayectorias perpendiculares y paralelas a la costa) permitió determinar la morfología general y algunas de las características geométricas y anomalías principales de sus fondos y subfondos marinos.

En términos generales, la morfología de los sectores central y sur de la PSC de Córdoba (Arboletes- Delta de Tinajones) es la de una superficie amplia, caracterizada por fondos cóncavos depositacionales a partir de la isóbata de -8m (pendientes mínimas del 0.01494 %) y por superficies cóncavas de erosión bien definidas a profundidades menores (pendientes máximas del 1.88 %); a lo largo de los 124 km de línea de costa, las condiciones transgresivas recientes y actuales se evidencian por la abundancia de plataformas de abrasión por oleaje (*wave cut platforms*) y por el carácter fuertemente erosional de las playas y sectores acantilados. La morfología del sector este de la PSC (delta del Sinú-Bahía de Cispatá-Punta Bolívar) es altamente variada, caracterizada al oeste por dos lóbulos progradantes y por la presencia de superficies aterrazadas, relieves positivos (¿paleoarrecifes?, ¿volcanes de lodo?) y escarpes (-4m, -6m, -10m de profundidad) de alta inclinación que representan probablemente posiciones antiguas de la línea de costa.

Los registros de alta resolución (12 kHz) de la PSC evidencian ambientes dinámicos e inestables, afectados en el Holoceno tardío por la actividad de diapirismo y volcanes de lodo, fallamientos y eventos depositacionales recientes que incluyen la formación de depósitos sedimentarios (espesores hasta 5m) de rellenos de cubetas y paleocanales.

**PALABRAS CLAVES:** Colombia, Plataforma continental, Holoceno, Geofísica marina, Diapirismo de lodo, Erosión litoral.

## ABSTRACT

The inner (less than 10 m depth) continental shelf in front of Department of Córdoba extends from 8° 52' 58" N, 76° 24' 53" O to 9° 20' 42" N, 75° 47' 55" O, just south of Gulf of Morrosquillo, Colombian Caribbean Coast. In order to get a general picture of the morphology and subbottom geometry of the area, a set of 140 bathymetrical and geophysical (200 and 12 kHz) transects were collected both perpendicular and parallel to the shoreline.

The morphology of the area in the southern and central zones (from Arboletes to Tinajones delta) resembles that of an extended surface of marine erosion with a rather uniform topography, characterized by concave-upward depositional surfaces down to the -8m isobath, (minimum slopes in the order of 0.01494 %) and a well defined, concave, erosional surface at shallower depths (maximum slopes of the order of 1.88 %) on which recent and present transgressive conditions are well evidenced by numerous wave-cut platforms and by the strongly erosional character of beaches and cliffs along most of the 124 km-long coastline. The morphology of the eastern inner shelf (from the Sinú delta-Cispatá Bay-Punta Bolívar) is highly variable and characterized to the west by two prograding prisms (Tinajones and Los Venados deltas), terraced surfaces, other positive reliefs (¿paleoreefs?, ¿mud volcanoes?) and a series of steep scarps (at depths of -4m, -6m, and -10m) suggesting ancient submerged shorelines.

High resolution records (12 kHz) of the area show highly dynamical and unstable environments affected during the late Holocene by mud diapirism, active faulting and depositional events (up to 5m thick) that filled ancient channels and small basins.

**KEY WORDS:** Colombia, Continental shelf, Holocene, Marine geophysics, Mud diapirism, Shore erosion

## 1. INTRODUCCIÓN

Las características sedimentológicas y geofísicas (frecuencia de 12 kHz), principales de la plataforma continental externa (profundidades entre 20 y 90m) del sector Córdoba- Antioquia fueron definidas por Javelaud (1987), quien postula la existencia de un prisma terrígeno progradante, depositado desde hace unos 5000 años sobre una superficie erosional pre-existente. A partir de ese primer marco general, el avance del conocimiento del área requiere, entre otros aspectos, de la definición de las características físicas de sus zonas someras (plataforma interna, profundidades < 10m), afectadas también significativamente por el diapirismo de lodo. La plataforma interna es, además, un área “crítica” cuyos procesos oceanográficos y geológicos controlan la evolución morfológica de la franja litoral, aspecto clave para la gestión de su aprovechamiento y desarrollo racional. Este artículo sintetiza y discute los resultados del estudio de la morfología y geometría de los fondos y subfondos de la plataforma interna del Departamento de Córdoba, realizado por medio de la adquisición e interpretación de imágenes sonar de alta resolución, con frecuencias de 12 y 200 kHz.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Generalidades

La información geofísica se obtuvo por medio de una ecosonda Knudsen (modelo 320 B/P) dotada de un transductor (transducer) de doble frecuencia: 200 kHz para los perfilamientos batimétricos del fondo (mapas de profundidades-isóbatas), y 12 kHz para la generación de información sobre la geometría y rasgos sedimentológicos/estructurales del subfondo. Este tipo de perfiles permite ver la geometría del subfondo marino mediante imágenes (ecogramas) a las cuales no se realiza ningún tipo de post-procesamiento. Cuando un ecograma se obtiene a lo largo de una línea con un rumbo constante, su información se interpreta como una sección geológica vertical en la cual los límites de capas del subfondo se visualizan como reflectores que proveen información estratigráfica, estructural y geomorfológica, y que son descritos en función de su fortaleza, penetración, irregularidad, nitidez y continuidad, entre otros criterios. La descripción de la geometría del subfondo de la plataforma se hizo enteramente a partir de reflectores, el más superficial de los cuales es el fondo del mar.

Con el fin de reducir en lo posible la influencia de los oleajes en la emisión y recepción de las señales, el trabajo de campo se hizo en su mayoría en periodos de oleajes calmos con alturas de olas inferiores al metro, generalmente entre las 6:00 y 14:00 horas.

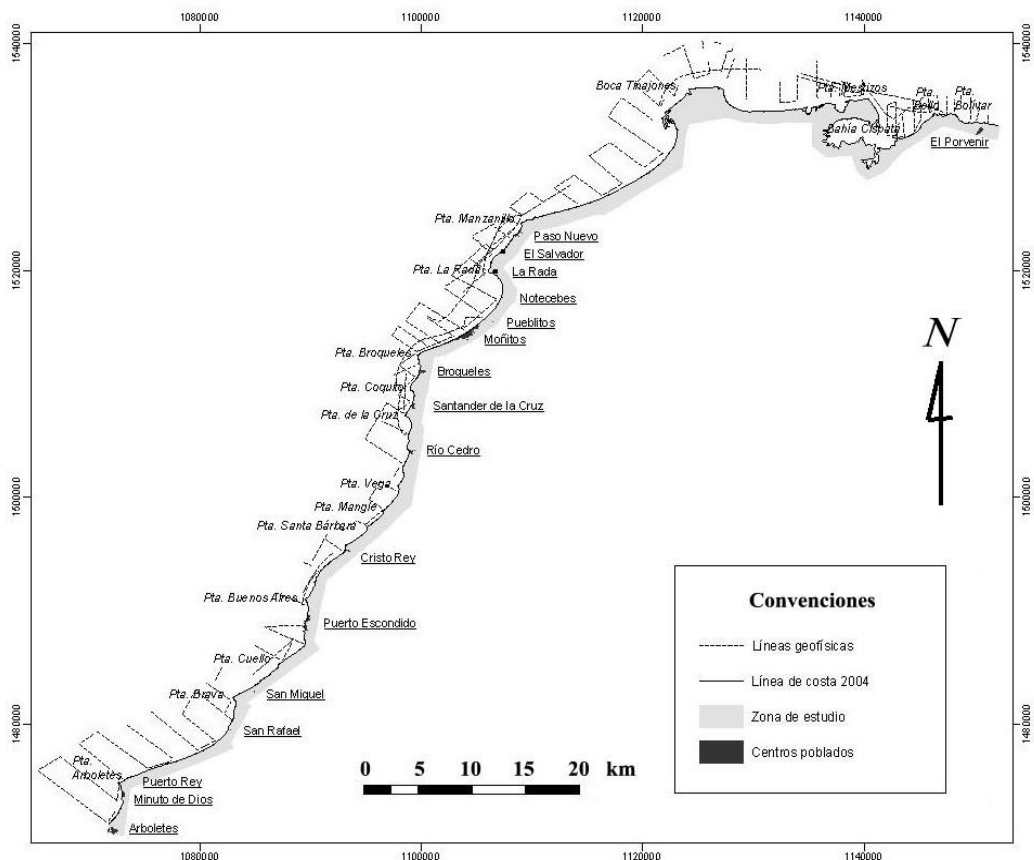
### 2.2. Colección de Datos

Los datos se colectaron con base en una grilla -arreglo geométrico de trayectos para la adquisición de información- diseñada sobre la carta de navegación más reciente disponible (DIMAR, 1998) y considerando los elementos estructurales (fallas, lineamientos y ejes de sinclinales y anticlinorios) definidos en la costa según el mapa geológico del Departamento de Córdoba. (Ingeominas, 2003).

En el extremo NE de la Costa de Córdoba, los perfiles geofísicos tienen dirección Norte-Sur; entre El Porvenir y Tinajones, son paralelos entre sí y están distanciados entre 1 y 2 km. En el sector del delta de Tinajones se usó una grilla radial, más adecuada para cubrir la morfología particular deltáica de los fondos del área; hacia el sur, las líneas son paralelas entre sí, con una orientación promedio N45°E (Figura 1).

### 2.3. Adquisición

Para el geoposicionamiento en tiempo real de los perfiles se navegó usando el software Hypack© 4.3, conectado a un GPS Trimble©, Modelo GeoTrek II. Durante la mayor parte del tiempo se tuvieron condiciones de PDOP menores a 1, lo cual indica una precisión teórica del orden centimétrico en el posicionamiento de la ecosonda. La ecosonda cuenta



**Figura 1.** Localización de las líneas batimétricas y geofísicas.

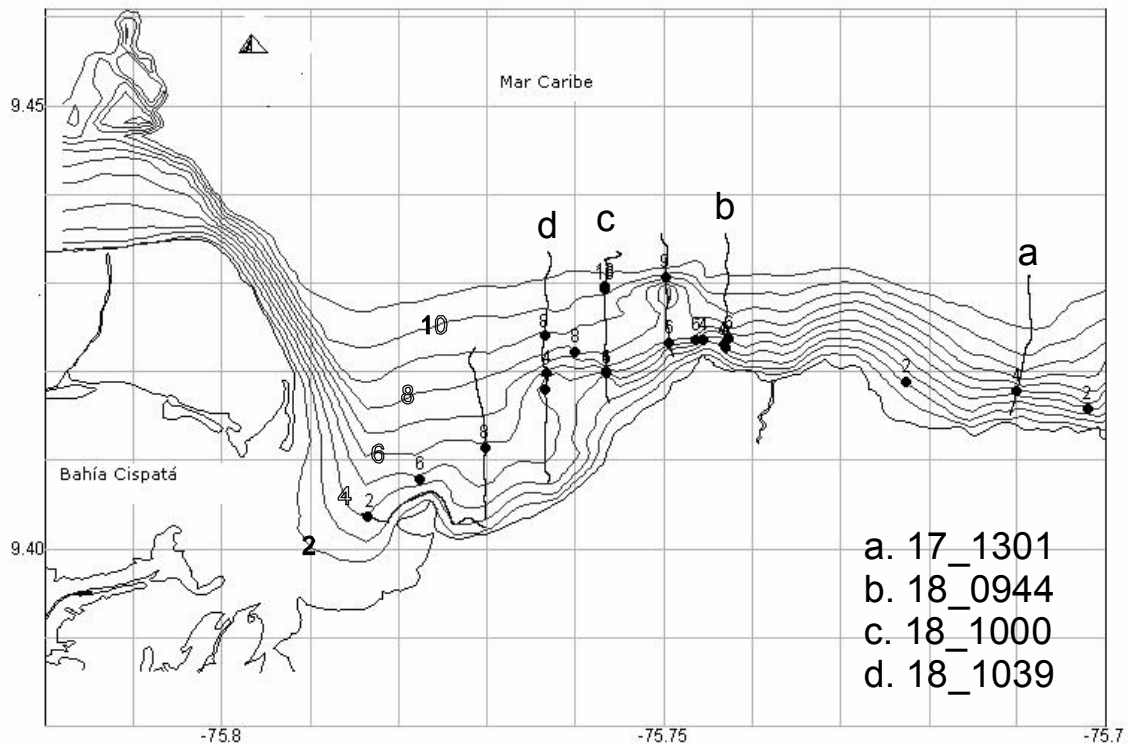
con un transductor (dispositivo que emite y recibe señales acústicas) que fue acoplado y asegurado a la borda del bote, y sumergido en posición fija a  $-0.65$  cm. del nivel del agua; a esta profundidad se minimizó el ruido generado por la turbulencia del motor de la lancha. En la punta del tubo-acople del transductor se instaló la antena del GPS, conectada a la ecosonda y al computador con el software. Esta disposición aseguró que los datos colectados estuvieran referidos exactamente a la posición real en coordenadas planas, con lo cual no se hizo necesaria corrección por ‘layback’. Durante la adquisición de los perfiles la velocidad del bote se mantuvo en el rango de los 10 a 12 km/h.

El trabajo de campo constó de tres etapas: 1a) geología-geomorfología de la línea de costa, en la cual se reconoció a pie la zona litoral (marzo del 2005); 2a) adquisición de datos batimétricos y geofísicos en el sector El Porvenir - Moñitos (14 – 22 de julio de 2005); y 3a) colección de datos en el sector Moñitos - Arboletes (1 - 5 de septiembre del 2005).

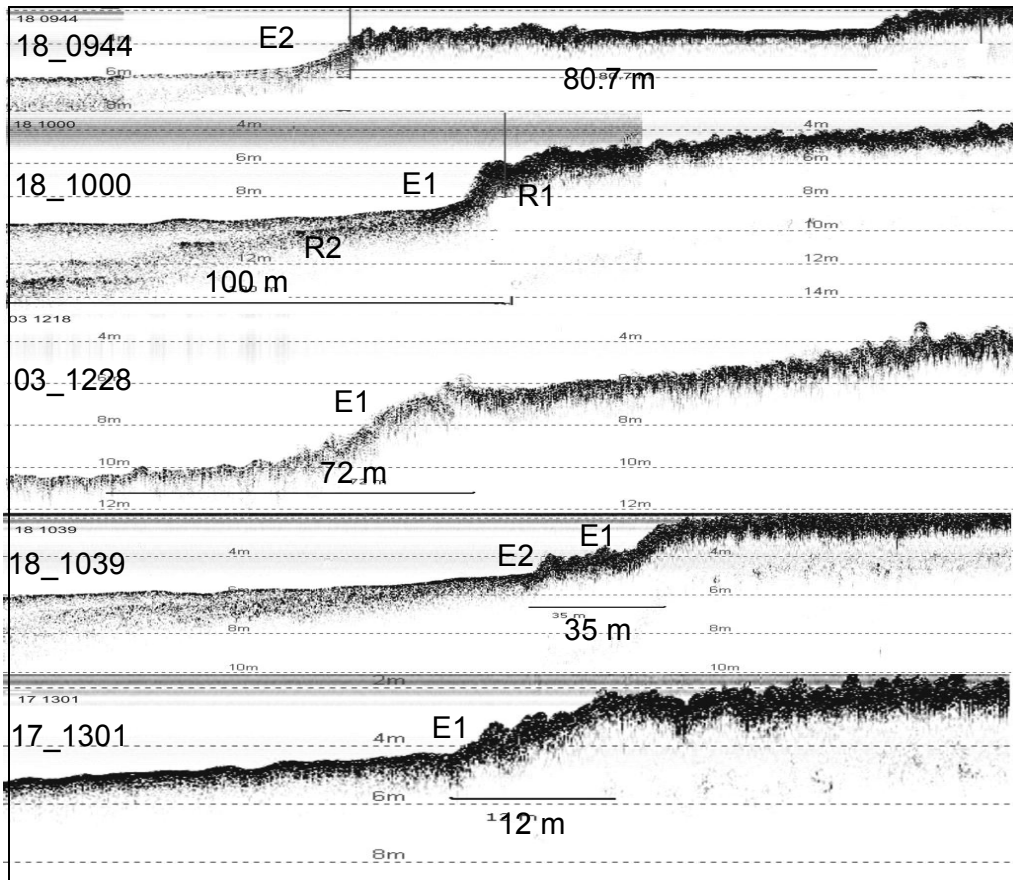
### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Escarpes

Un escarpe es un cambio abrupto (salto) de la superficie del terreno en la dirección vertical. Sus orígenes pueden ser diversos según el contexto geológico dentro del cual se encuentren. En la PSC se registraron aflorando o sepultados por sedimentos (Figuras 2 y 3). Estos escarpes, antes no reportados, pueden ser la expresión de uno a tres procesos previamente descritos en el registro geológico del Caribe Colombiano: (1) Erosión diferencial debida a cambios litológicos laterales (Duque-Caro, 1980, Correa et al., en prensa); (2) Procesos costeros tales como migración de antiguas líneas de costa (Page, 1983, Vernet, 1985, Javelaud, 1987); (3) Movimientos tectónicos (fallas o ascensos de lodos) (Duque-Caro, 1984, Vernet et al, 1991).



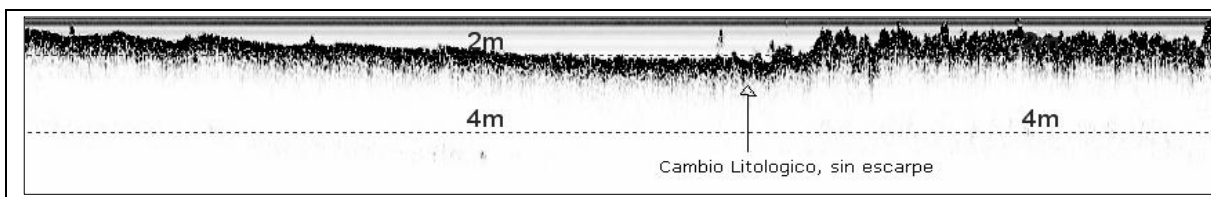
**Figura 2.** Los puntos indican la localización de las bases de los escarpes en la plataforma. Las letras en minúscula enumeran los ecogramas cuyos escarpes se presentan en la Figura 3. Profundidades en metros.



**Figura 3.** Ejemplos de algunos ecogramas con escarpes. Escalas difieren entre paneles. Para ubicación ver Figura 2.

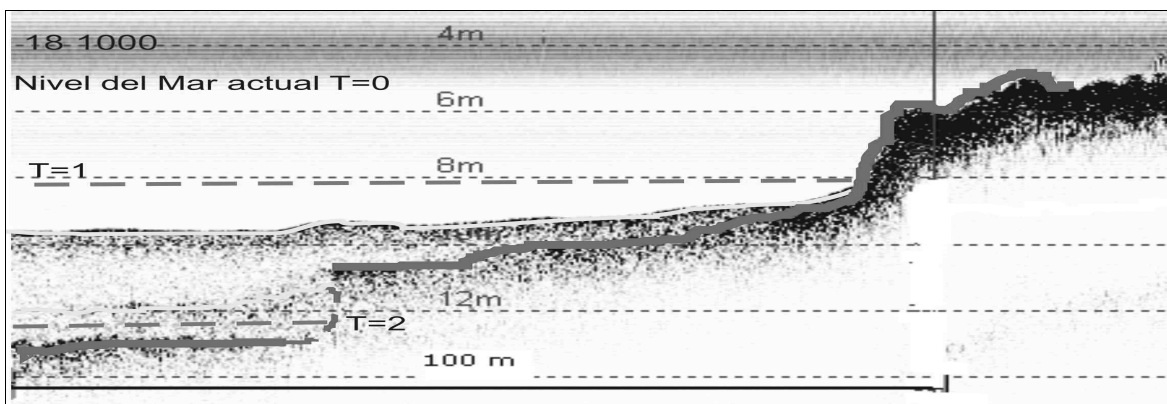
Los escarpes en esta plataforma son casi verticales y se evidencian como saltos de los reflectores, en su mayoría de 2 m (con excepción de algunos de 3 y 4 m). Están restringidos al sector de la plataforma al este de la Bahía Cispatá, cerca del límite departamental entre Córdoba y Sucre (Sector El Porvenir). El único escarpe por fuera de este sector se registra en el ecograma 03\_1218, tomado costa afuera y hace parte de la elevación marina de la isla Tortuguilla. La Figura 3 contiene ejemplos representativos de los escarpes de la PSC.

La primera causa considerada como generadora de escarpes son los cambios de litología en la sucesión estratigráfica (Duque-Caro, 1984). En los ecogramas, el reflector (R1) asociado a los escarpes siempre es un reflector fuerte y bien definido (naturaleza). En algunas ocasiones, la naturaleza del reflector (R1) cambia justo en el escarpe (e.g. ecogramas 18\_0944, 17\_1301 de la Figura 3.) lo cual puede interpretarse una variación litológica de una capa resistente a otra menos resistente a la erosión. Además, algunos escarpes tienen uno o dos reflectores (R2 y R3) subyaciendo a R1, los cuales se pinchan hacia la base del escarpe y sugieren al menos dos eventos de depositación posteriores a la formación del escarpe. (e.g. 18\_1000 y 18\_1039 de la Figura 3). En algunos ecogramas ubicados al este de la Bahía de Cispatá, existen cambios laterales en la naturaleza de los reflectores que también pueden ser debidas a contrastes litológicos y sin embargo no existe el desarrollo de escarpes (Figura 4).



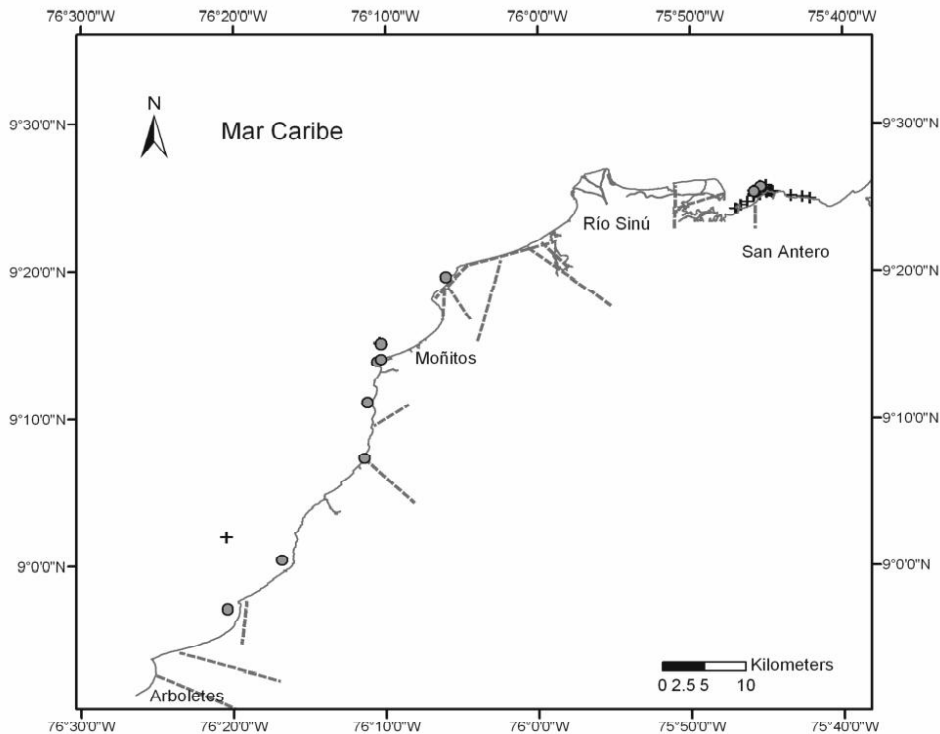
**Figura 4.** Cambio lateral en el carácter del reflector R1, sugiriendo un contraste de litología sin desarrollo de escarpes.

La segunda interpretación que puede explicar la presencia de escarpes se relaciona con los procesos costeros asociados a los cambios recientes del nivel del mar reportados por Page, (1984), Vernet, (1985) y Javelaud, (1987). En los períodos del pasado geológico en los cuales el nivel del mar estuvo en un nivel inferior al actual, la erosión litoral pudo labrar los escarpes, en cuyo caso éstos representarían las posiciones de antiguas líneas de costa. Los diferentes escalones pueden ser debidos a diferentes estadios de paleo-líneas de costa. La relativa preservación de estos escarpes en la PSC puede indicar que no son muy antiguos ya que la erosión no ha alcanzado a destruirlos totalmente. Esta idea se ilustra en la Figura 5.



**Figura 5.** Los escarpes registrados en esta imagen sugieren al menos dos paleo-líneas de costa, correspondientes a dos paleoniveles del mar inferidos (líneas punteadas — — — .) T=1 y T=2, a -8.1m y -12.2m respectivamente por debajo del nivel del mar actual T=0.

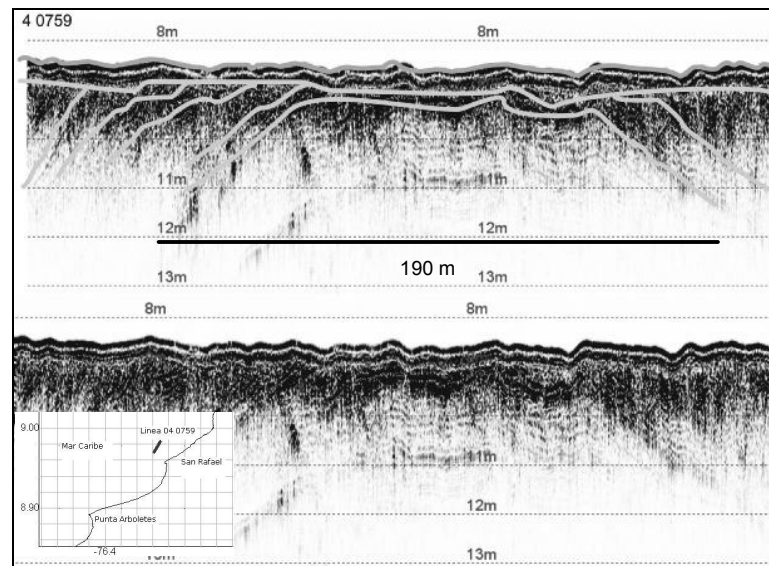
Page (1983) propuso que el Golfo de Morrosquillo se encuentra en la actualidad en una fase subsidente, lo cual favorece la posibilidad de encontrar líneas de costa sumergidas. Sin embargo, la falta de continuidad paleobatimétrica de estos escarpes pone en entredicho su naturaleza de paleolíneas de costa y señala la necesidad de más investigación al respecto. Finalmente, el tercer argumento para intentar explicar el origen de estos escarpes está asociado a procesos tectónicos, tales como fallas o ascensos diapíricos de lodos (Duque-Caro, 1980, Vernet, 1991). En la costa Caribe SO de Colombia muchos autores han hecho mapas con volcanes de lodo tanto en tierra como costa afuera (Vernet, 1983, 1991, Javelaud, 1987, Shepard et al., 1973), pero ninguno de ellos ha hecho énfasis en los escarpes asociados a éstos. Es posible que exista relación entre relieves positivos (descritos en la sección 3.5) y escarpes, puesto que algunos perfiles contienen estas dos características. En cuanto a las fallas, en la zona litoral emergida se han cartografiado fallas cuya prolongación al fondo marino no corresponde necesariamente con un escarpe, como se ve en la Figura 6. Por lo tanto, no se encontró relación espacial entre fallas y escarpes.



**Figura 6.** Localización de fallas (líneas punteadas), escarpes (cruces) y relieves positivos (círculos).

### 3.2. Antiformas

Las antiformas en la PSC son geformas de dimensiones mayores (centenas de metros) a todas las demás discutidas en las secciones anteriores. Una antiforma es un cuerpo geológico en donde es posible definir, por la geometría de sus capas, dos tendencias de buzamientos opuestas para un mismo estrato. Además, esta geometría es tal que el conjunto demarca una concavidad hacia abajo, como en los ejemplos típicos aportados por las estructuras anticlinales. Se registraron dos antiformas, en los ecogramas 4\_0759 y 19\_1636 (Figuras 7 y 8 respectivamente). La primera, está localizada costa afuera de San Rafael a 15 km al norte de Arboletes tiene su eje mayor orientado de manera paralela a la costa, no aflora en el fondo del mar y está suprayacida por un reflector subhorizontal (color amarillo en la Figura 7). Algunos de los reflectores que la configuran (líneas de color verde en la Figura 7) se encuentran cortados por un reflector horizontal (línea amarilla en la Figura 7) que marca una discordancia angular. El reflector amarillo marca una discontinuidad truncacional angular, lo cual puede indicar el cambio de condiciones erosivas a condiciones de sedimentación. El espesor actual de la cobertura sedimentaria es de 1m aproximadamente. Esta antiforma puede explicarse como un anticlinal ocasionado por la deformación tectónica de la zona, la cual también parece haber deformado las rocas expuestas del acantilado costero más próximo, como se corroboró en campo.



**Figura 7.** Antiforma costa afuera en el sector de San Rafael. Extremo inferior izquierdo, localización.

La segunda antiforma es el elemento geológico con los rasgos geométricos más complejos de la zona de estudio, y demuestra la alta resolución de los perfiles obtenidos. Se localiza al norte de la Punta Mestizos, sobre la línea geofísica 19\_1636, paralela a la costa. Su base tiene una amplitud de 774 metros. La Figura 8 ilustra esta geoforma. El reflector más profundo (color amarillo) tiene dos características: está deformado y a la vez interrumpido por fallas normales (en naranja). Suprayaciendo este reflector, están los reflectores que tienen una configuración típica de reflectores progradantes (color aguamarina). Son estratos típicos de un sistema deltaico (acumulación de sedimentos laterales). Como es de esperarse, las variaciones de sus espesores y de su continuidad, en principio, estuvieron condicionadas a las variaciones en las tasas de depositación. Sin embargo, los cambios en el ángulo de inclinación de la cuña progradante ponen de manifiesto un levantamiento de la estructura. La geometría de los reflectores depositados inmediatamente por encima del reflector amarillo indican que éste ya había sido deformado (o fallado) en un primer pulso, antes de ser depositados, por lo tanto, existen al menos dos pulsos de deformación.

### 3.3. Geometrías indicadoras de erosión y sedimentación

La fuerte erosión costera que afecta la costa cordobesa, con tasas de erosión en Arboletes de 3 m/a, de 40 m/a en Punta Rey, y de 5 m/a en Minuto de Dios (Correa & Vernet, 2004) también tiene manifestaciones en la plataforma somera. Además de evidencias erosivas, existen también zonas en las que se están depositando sedimentos finos (resultados de laboratorio). En muchos ecogramas, la geometría de los reflectores se interpreta como (1) superficies de erosión correspondientes a una plataforma de abrasión, (2) discordancias angulares (truncación por erosión) (3) cubetas de sedimentación localizada, y (4) depósitos subhorizontales. La Figura 9 expone algunos ecogramas en donde se ponen en evidencia estos dos procesos. En esta Figura, el ecograma 4\_1129, localizado al sur del delta de Tinajones, tiene reflectores inclinados y paralelos entre sí, truncados por el actual fondo del mar. Si estos reflectores corresponden a los estratos vistos en los acantilados costeros de la misma zona, entonces el fondo del mar es una plataforma de abrasión y ello indicaría un estado erosional activo. En algunos perfiles esta característica se observó a lo largo de toda la línea (e.g. el ecograma 4\_1129 de la Figura 9) y en otros la plataforma de abrasión se restringe a las aguas más someras y sedimentos finos que la recubren a partir de la isóbata de 5. (e.g. ecogramas 4\_1217 y 4\_104 en la Figura 9).

Otros sectores en la plataforma parecen estar bajo condiciones de sedimentación. Los reflectores subhorizontales, algunos con pinchamientos o acuñados lateralmente, indican cubetas de depositación actual. En el sector de San Antero (sector norte de la zona de estudio, Al este de la Bahía de Cispatá) se pudieron coleccionar registros que marcan cubetas poco profundas donde se acumulan sedimentos. (p. ej. ecograma 18\_1134 en Figura 9). En zonas donde la pendiente del fondo es baja y en donde las condiciones de balance de sedimentos son favorables a la acumulación, se depositan sedimentos predominantemente finos con disposición horizontal (e.g. 19\_1636 en Figura 9).

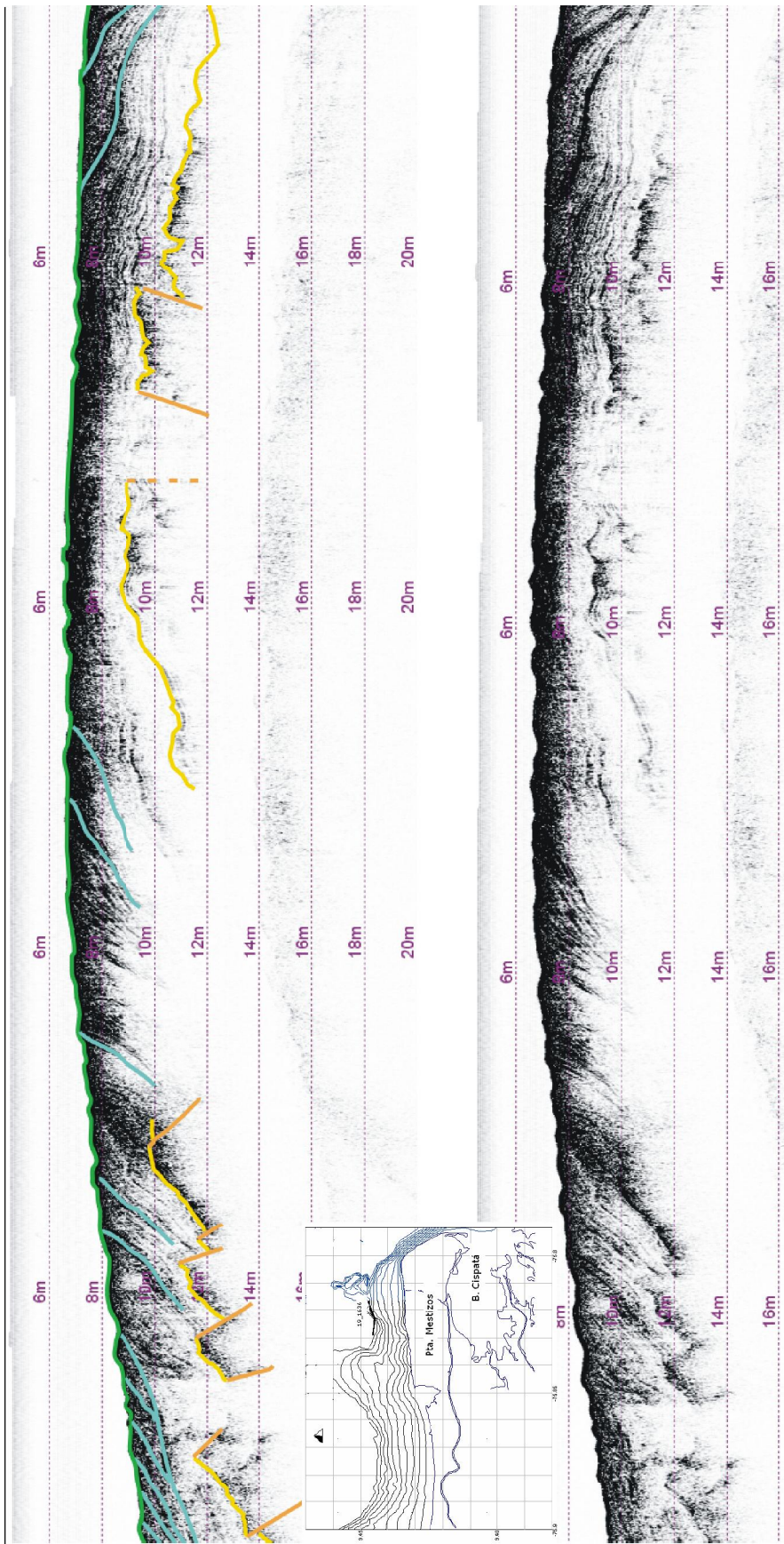
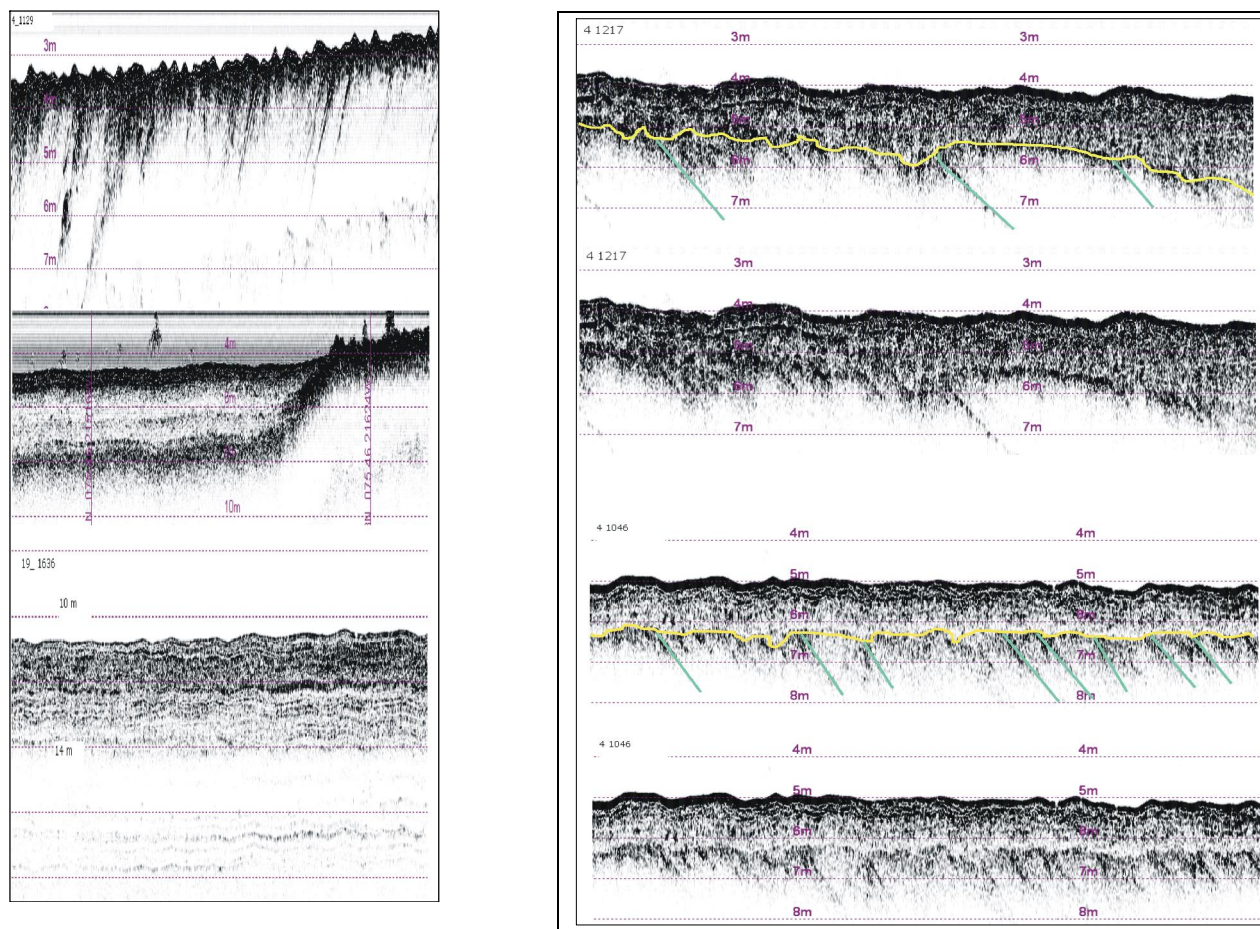


Figura 8. Antiforma costa afuera de la Punta Mestizos



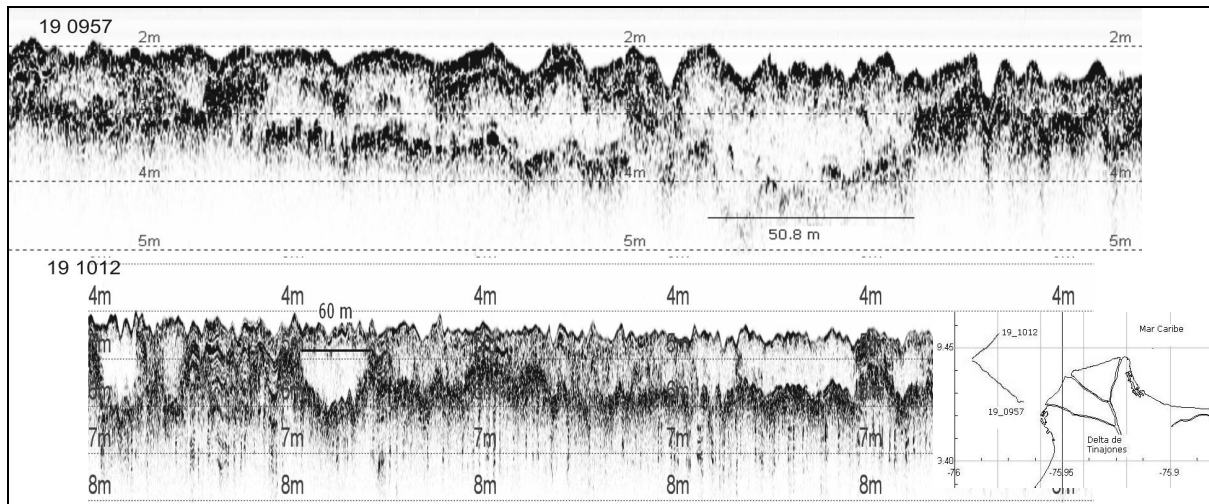


**Figura 9.** A. De arriba hacia abajo, Plataforma de abrasión expuesta (4\_1129), cubeta de sedimentos (18\_1134, ubicación Figura 2) y sedimentos subhorizontales (19\_1036, ubicación Figura 8) B. Superficie de erosión (amarillo) suprayacida por sedimentos finos.

En la Figura 9, la línea amarilla representa el reflector a lo largo del cual parece haber una discordancia angular por truncación erosional. Las líneas verdes marcan los reflectores inclinados que representan la estratificación de rocas del Terciario. Las dos imágenes superiores corresponden al ecograma 4\_1217 y las dos inferiores al 4\_1046. En síntesis, la PSC tiene una zonificación dada por los procesos sedimentarios/erosivos actuales. El delta de Cispatá es el límite de dos ambientes muy diferentes. Hacia el este se acumulan sedimentos en cubetas de amplia extensión pero poco profundas. En el delta mismo, hay acumulación de sedimentos finos incluso en aguas someras. Finalmente, del delta hacia el sur no hay cubetas, los sedimentos se depositan sobre una superficie truncada por erosión, y lo hacen preferiblemente hacia las aguas por debajo de -4m. En general, en las zonas someras la erosión sobre la plataforma terciaria es el proceso dominante.

### 3.4 . Geometría de canales enterrados

En el delta de Tinajones se encontraron reflectores con geometrías propias de canales distributarios, tales como geoformas en “U” y cuñas de relleno. Los ecogramas 19\_1012 y 19\_0957 (Figura 10) presentan estas características, sobre las cuales es lógico pensar que fueron originalmente excavados por la corriente del Río Sinú. Su colmatación posterior por sedimentos con propiedades de impedancia acústica contrastante también es propio de ambientes deltaicos. El ancho de estos canales es variable, del orden de decenas de metros, y se encuentran entre -2 y -7 metros de profundidad. Su presencia bajo el reciente delta de Tinajones (con 60 años de edad según Robertson y Chaparro, 1998) es reflejo de la fuerte dinámica fluvio-marina en el área.

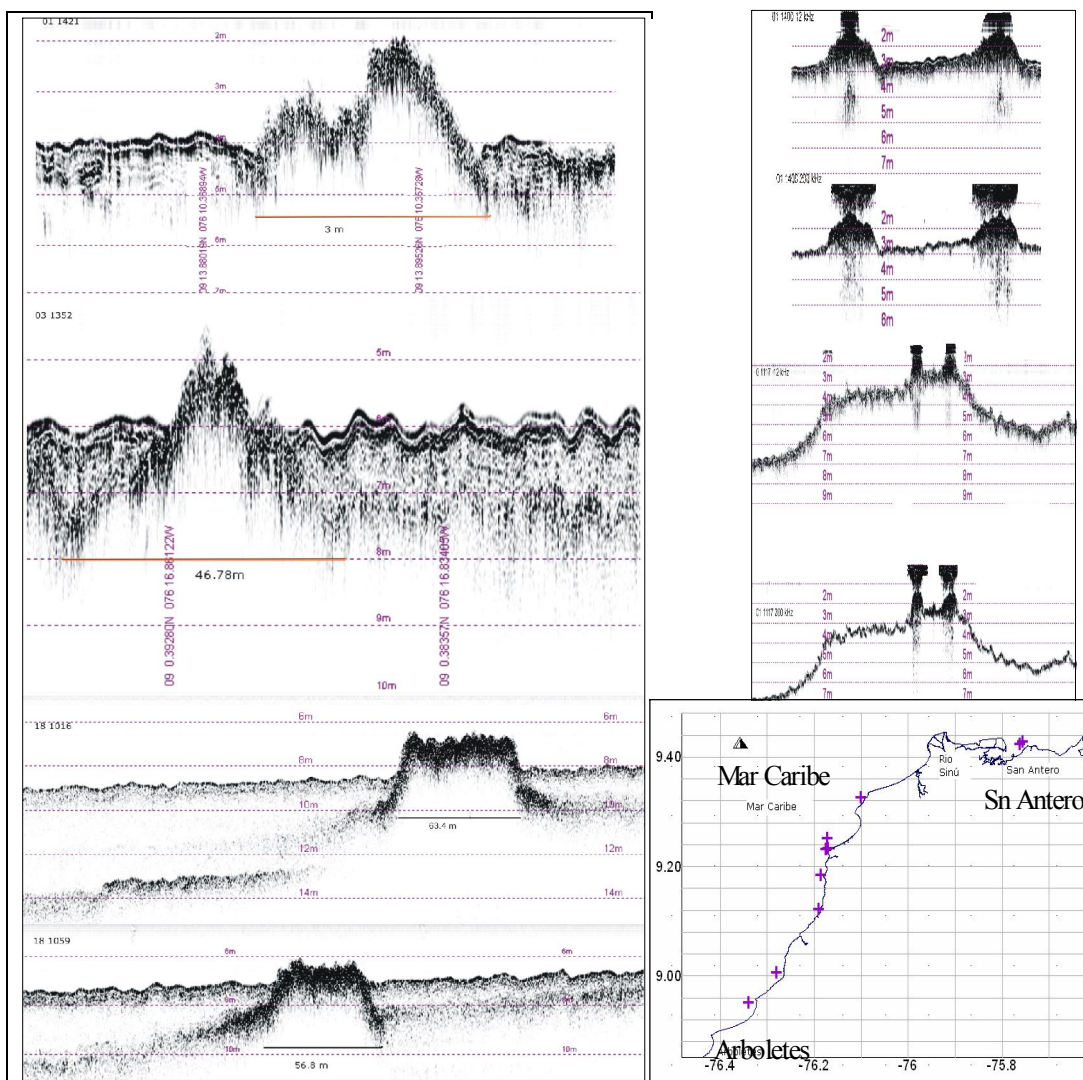


**Figura 10.** Canales enterrados de sedimentos del Río Sinú en el sector del delta actual de Tinajones.

### 3.5. Relieves positivos

Los relieves positivos son geofomas en el fondo del mar, normalmente del orden de decenas de metros en su dimensión horizontal. Se encontraron topes planos, agudos o irregulares. Relieves de topes planos se distribuyen espacialmente al este de punta Mestizos (Figura 11), algunos de ellos asociados a líneas geofísicas que muestran también escarpes. Las líneas geofísicas que los contienen muestran reflectores fuertes que se confirmaron de composición arrecifal (areniscas arrecifales), algunos con corales vivos (muestra de fondo colectada M16). Los arrecifes presentan acumulación de sedimentos en ambos lados de sus bases, tal como lo ilustran los ecogramas 18\_1016 y 18\_1059 de la Figura 11. Es probable que la génesis del relieve positivo sea de tipo diapírico (diapiros arrecifales) y que existieran condiciones bioquímicas que favorecieron el desarrollo de corales sobre ellos, responsables de los topes planos. En la PSC el desarrollo arrecifal no parece estar restringido a relieves positivos. De hecho, la mayor expresión de arrecifes está en aguas muy someras (<2 m) sobre la plataforma misma, donde los edificios coralinos se desarrollan poco en la dirección vertical. (en Córdoba, están restringidos espacialmente al este de la Bahía de Cispatá).

Los relieves de topes agudos e irregulares se distribuyen al sur del delta de Tinajones y son cuerpos pequeños (de metros a decenas de metros) que se encuentran a profundidades someras. El tipo de señal del reflector en el registro geofísico, contrasta con los reflectores interpretados como diapiros arrecifales. Tienen señal fuerte pero más rugosa (menor homogeneidad) que los arrecifes. (e.g. Ecogramas 01\_1421 y 03\_1352 de la Figura 11). Su relación estratigráfica con los reflectores (capas) adyacentes es de naturaleza cortante-penetrativa, lo cual sugiere que en su mayoría son intrusivos. La distribución espacial de éstos no está restringida a las fallas que intersectan la costa (ver Figura 6).



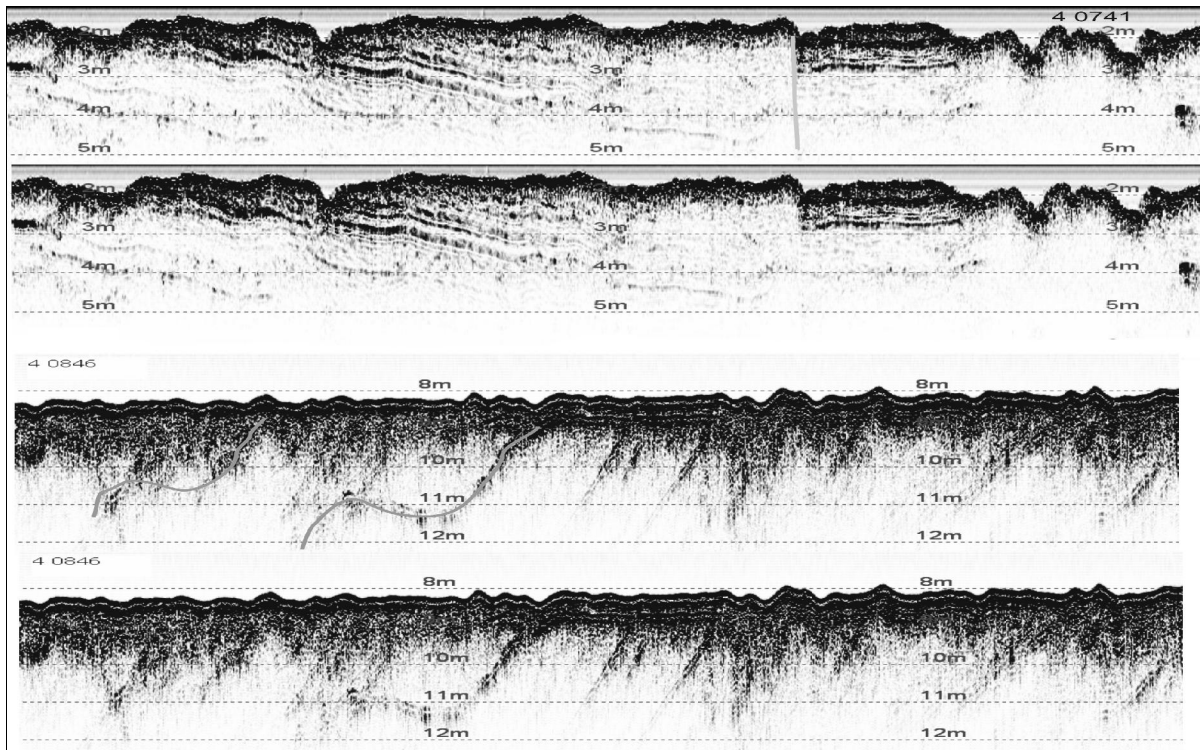
**Figura 11.** (Izq). Ejemplos de ecogramas con relieves positivos de la PSC. (Der). Relieves positivos con aparente emanación de gas. Localización de los relieves positivos, en el extremo inferior derecho.

### 3.6. Evidencias de emanación de fluidos

En ecogramas colectados sobre algunos relieves positivos, fueron observadas reflexiones en forma de nubes de puntos que saturan toda la columna de agua (Figura 11). Esta señal se registró tanto en la frecuencia de 12 como en la de 200 kHz. La interpretación de estas nubes de puntos es que son debidas a burbujas de emanaciones de gas en diapiros de lodo. Dado que estas observaciones se hicieron *a posteriori*, en campo no se verificó el burbujeo superficial. Sin embargo, se sabe que la mayoría de volcanes activos en la cúspide de diapiros de lodo, observados en el Departamento de Córdoba, emanan lodo, gas, agua y a veces petróleo crudo (Duque – Caro 1984).

### 3.7. Zonas afectadas tectónicamente

En la PSC se han encontrado evidencias de actividad tectónica reciente. Reflectores paralelos, casi verticales, algunas veces plegados son indicadores de deformación reciente (ecograma 4\_0846 en Figura 12). Tal es el caso de los reflectores interrumpidos y desplazados que reflejan la presencia de una falla, como en el ecograma 4\_0742 (Figura 12). Este



**Figura 12.** Manifestaciones de deformación reciente en la PSC, Sector Punta Arboletes.

Como se dijo en la sección de rasgos de erosión y depositación, la Punta Arboletes es la zona que mayores tasas de erosión muestra en toda la costa estudiada (Correa et al., en preparación). Por otro lado, la falla no está fosilizada en el registro geofísico, lo cual indica que puede tener actividad reciente y su presencia en este sitio puede estar relacionada con la marcada erosión, ya que su actividad debilita a las rocas allí existentes.

La mayoría de las fallas cartografiadas en la costa (Figura 6, líneas punteadas) no tienen registro en los ecogramas. Es posible que estas fallas no hayan tenido actividad reciente y por lo tanto los ecogramas no alcanzan a mostrar los reflectores más profundos que eventualmente sí pueden estar afectados. Otra posible explicación es que las fallas efectivamente sí estén en la plataforma, pero que la ecosonda no registró su manifestación.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La plataforma somera está cubierta por un prisma sedimentario de materiales finos que, en el sector sur del área de estudio, reposa en discordancia sobre una superficie de erosión, circunstancia similar a la reportada por Javelaud (1987) para la plataforma externa. En función de sus características geomorfológicas, la PCS de Córdoba puede subdividirse en tres sectores. Un sector al este del Delta de Tinajones, donde se destacan los escarpes, relieves positivos de topos planos y cubetas de sedimentos finos. Un segundo sector, Delta de Tinajones, el cual muestra canales distributarios colmatados, resultado de una morfodinámica alta al sur del Delta. El tercer sector está representado por una plataforma de abrasión, ubicada en aguas actualmente someras y recubierta por sedimentos finos en las aguas de profundidades mayores a los cinco metros.

En ausencia de dataciones de reflectores marcadores, se propone a continuación una posible historia de eventos geológicos (edades relativas) que han actuado y están actuando en la zona de estudio (esquema de la Figura 13).

Las rocas del Mioceno Superior sufren deformaciones intensas pre-cuaternarias, manifestadas principalmente por pliegues y antiformas (Duque Caro, 1980). Estas rocas estuvieron expuestas en el fondo marino, sufrieron erosión y fueron cubiertas posteriormente por un prisma de sedimentos. En el territorio emergido adyacente a la plataforma, se levantó hace unos 11.000 años una terraza marina, datada por Page (1983) con base en corales en posición de vida. Un poco antes de la estabilización del nivel del mar hace 5000 años (Milne et al., 2004) dos niveles relativos del nivel del mar (a -12m y -8m) labraron los escarpes actuales en la plataforma. Las intrusiones diapíricas, con edades máximas de 5000 años y algunos de ellas con manifestaciones actuales de emanación de gases, marcan la actividad reciente del fenómeno en la zona.

El evento más reciente de dinámica geológica intensa sobre la plataforma somera es la migración del Delta del Río Sinú. El estudio de Robertson y Chaparro (1998) presentó la evolución histórica de este sector, donde se reconocen diferentes posiciones geográficas históricas del Delta. Según ese estudio, existió un Delta de Mestizos entre 1762 y 1849 (que coincide con el lugar en donde se encontró la antiforma descrita anteriormente e ilustrada en la Figura 8). En 1849, el Delta migró hacia la Bahía de Cispatá, probablemente por procesos avulsivos (migración lateral del canal por colmatación de sedimentos). En este lugar estuvo hasta 1938 cuando, por avulsión también, migró hacia el oeste para dar inicio al delta actual en Tinajones (Robertson y Chaparro, 1998). Serrano (2004) ofrece otra interpretación para la migración del Delta y postula que su migración, desde Cispatá hacia Tinajones, se debió a acciones antrópicas. La información adquirida en este trabajo ofrece una nueva posibilidad y se relaciona con el hallazgo de la antiforma de la línea 19\_1636 (Figura 8). Esta antiforma se ubica en la posición exacta del antiguo delta de Mestizos, y probablemente fue originada por el ascenso reciente de un diapiro; el buzamiento aparente de los estratos parece estar afectado por empuje vertical (Figura 8) lo cual pudo haber forzado al Delta de Mestizos a migrar lateralmente hacia la Bahía de Cispatá.

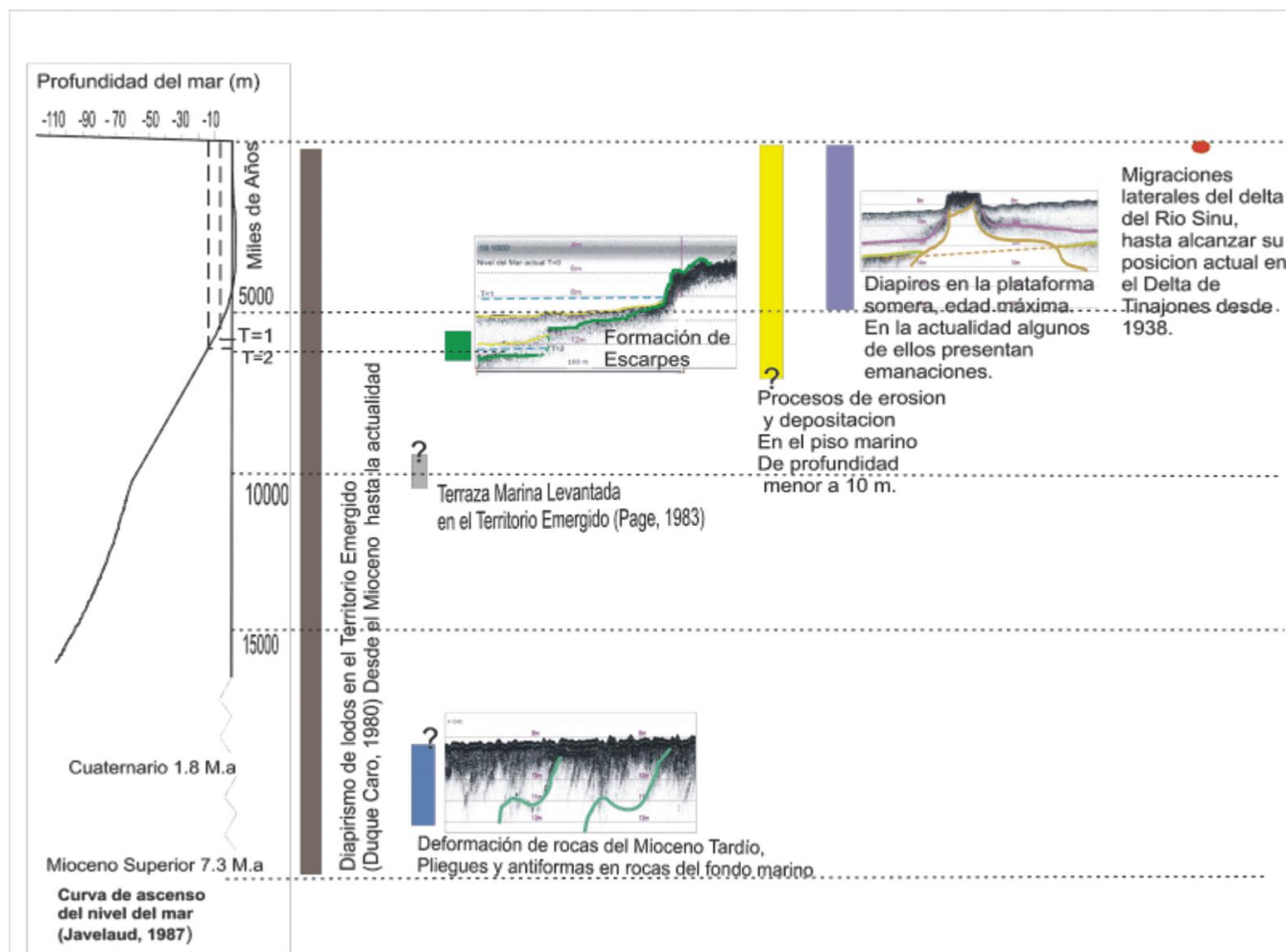


Figura 13. Secuencia relativa de eventos geológicos asociados a la plataforma somera de Córdoba. Las barras de colores indican el

## 5. 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, 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. El soporte económico de La Fundación del Banco de la República fue fundamental también para la realización de este estudio y el Instituto Colombiano del Petróleo ICP permitió la participación del Dr Germán Ojeda en todos los aspectos investigativos y académicos relacionados.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Correa, I.D., Vernet, G. 2004. Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (sector Turbo-Arboletes) costa Caribe colombiana. Boletín de investigaciones marinas y costeras. V. 33 pp. 5-26.
- Correa et al., En prensa. Erosión litoral entre Arboletes y la Punta San Bernardo, Litoral Caribe colombiano.
- DIMAR, 1998. Cartas de navegación marítima, #S 410 y 411,.
- Duque-Caro, H. 1980, Geotectónica y evolución de la región Noroccidental Colombiana. Bol. Geol. Ingeominas.
- Duque-Caro, H. 1984. Major structural style, diapirism, and accretionary episodes of the Sinú –San Jacinto terrane, southwestern Caribbean Borderland. Geological Society of América Memoir #162.
- Ingeominas, 2003. Mapa geológico del Departamento de Córdoba, escala 1:100.000.
- Javelaud, O. 1987. La sedimentation du plateau continental de la Colombia Caraibe au tours du quaternaire Terminal. Tesis de Doctorado Universidad de Bordeaux.
- Milne, G., Long, A.J., Bassett, S. E. 2005. Modelling Holocene relative sea-level observations from the Caribbean and South América. Quaternary Science Review #24.
- Page, W.D. 1983. Holocene deformation of the Caribbean Coast. NW. Colombian tenth Caribbean geological conference, Cartagena.
- Pujos, M., Javelaud, O. 1991. Depositional facies of a mud shelf between the Sinú river and the Darien Gulf (Caribbean coast of Colombia): Environmental factors that control its sedimentation and origin of deposits. Continental shelf Res. Vol 11, #7,
- Robertson K., Chaparro, J. 1998. Evolución histórica del Delta del Rio Sinú. Cuadernos de Geografía, vol. 7.
- Serrano, B.E., 2004. The Sinú river delta on the northwestern Caribbean coast of Colombia: Bay infilling associated with delta development. Journal of South American Earth Sciences #16.
- Shepard F.P, 1973. Sea floor off Magdalena Delta and Santa Marta area, Colombia. Geological Society of America Bulletin. vol. 84. pp.1955-1972.
- Vernet, G., 1985. La plateforme continentale caraibe de Colombie (du debouche du Magdalena au Golfe de Morrosquillo) Importance du diapirisme argileux sur la morphologie et la sedimentation. Tesis de Doctorado.
- Vernet, G., et al., 1991. Mud diapirism, fan sedimentation and strike-slip faulting, Caribbean Colombian Margin. Tectonophysics # 202.