El SISTEMA TURBIDITICO DEL MAGDALENA (Mar Caribe)

Procesos geológicos recientes

G. Ercilla, B. Alonso, F. Estrada , J. Baraza, F. L. Chiocci , F. Pérez-Belzuz, M Farrán. El Sistema Turbidítico del Magdalena (Mar Caribe): procesos geológicos recientes. En Valles submarinos y sistemas turbidíticos modernos (Belén Alonso y Gemma Ercilla, eds.), CSIC, Barcelona, 2000, p.

Gemma Ercilla, Belén Alonso, Ferran Estrada, Francesco L. Chiocci, Jesús Baraza, Marcel.lí Farran. (2002). The Magdalena Turbidite System (Caribbean Sea): present-day morphology and architecture model. *Marine Geology* 185, 303-318.

Palabras Clave: Magdalena; Colombia; Caribe; crestas morfológicas; flujos en masa; canal-dique; flujos turbidíticos; ondas de sedimento; corrientes de fondo

El sector Oeste del Sistema Turbidítico del Magdalena (Mar Caribe) ha sido estudiado en detalle con técnicas acústicas que comprenden la sonda multi-haz EM-12, la sonda paramétrica de muy alta resolución TOPAS y el sistema acústico de alta resolución cañones de aire. Los datos obtenidos revelan que los elementos morfoestructurales y morfosedimentarios que conforman la arquitectura estratigráfica reciente de este sistema turbidítico son los siguientes: crestas morfológicas, depósitos de flujos en masa, complejos de canal-dique y ondas de sedimento. Los procesos geológicos activos hoy en día son los procesos tectónicos, los procesos gravitativos y los procesos asociados a corrientes de fondo. Los procesos tectónicos son responsables de la formación de crestas morfológicas en el sector Oeste, que representan el frente de deformación asociado con la interacción de las placas del Caribe y de Sudamérica. Los procesos gravitativos, que actúan en toda la zona de estudio, ocurren en el frente de deformación en forma de deslizamientos, flujos en masa y flujos turbidíticos. Asimismo, la actuación de flujos en masa ha dado lugar a la formación de tres grandes áreas con depósitos de flujos en masa que se extienden desde el talud continental superior hasta el talud continental inferior, mostrando una distribución radial. Las corrientes de fondo son responsables de la formación de un campo de ondas de sedimento en la parte distal del talud continental superior y en el talud continental inferior.

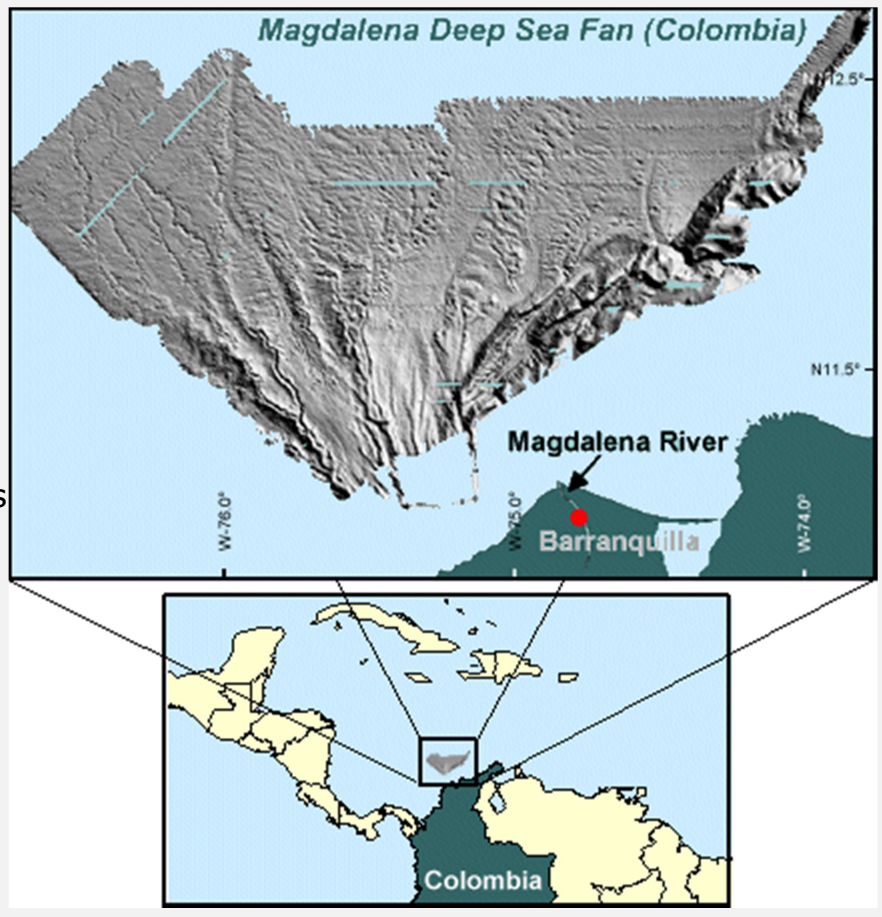


Fig 1. Mapa batimétrico sombreado de profundidades medias del Sistema Turbidítico del Magdalena obtenido con la sonda multi-haz EM-12. La líneas amarillas representan intervalos batimétricos cada 500m

En el pasado, además de estos procesos geológicos, los procesos gravitativos en forma fundamentalmente de flujos turbidíticos desarrollaron complejos de canal-dique. El desarrollo de estos complejos estuvo controlado por las áreas fuente y por la tectónica, los cuales gobernaron sus migraciones laterales. Estos complejos han sido destruidos total o parcialmente por los flujos en masa, y retrabajados por las corrientes de fondo que modifican su morfología original. No obstante, los complejos de canal-dique que no han sido totalmente destruidos pueden permanecer localmente activos debido a que los flujos en masa que destruyen sus diques pueden llegar a circular por el fondo del canal a lo largo de un segmento de su trayectoria.

Significado geológico

A pesar de que en la arquitectura sedimentaria reciente del Sistema Turbidítico del Magdalena se identifican cuatro elementos morfoestructurales y morfosedimentarios principales (crestas morfológicas, depósitos de flujos en masa, canales-diques y ondas de sedimento), no todos permanecen activos. La clave para el análisis de la cronología de estos elementos se encuentra en los complejos de canal-dique, y más concretamente en las evidencias que apuntan a la destrucción de las mismas. Las evidencias clave son la rotura total y parcial de los diques por los depósitos de flujos en masa, la presencia de tales depósitos rellenando los canales, las interrupciones en las trayectorias de los canales-diques, y el retrabajamiento de los mismos por las ondas de sedimento. La presencia de estos elementos sugiere que los complejos de canal-dique no se están formando hoy en día sino que representan elementos relictos que están siendo retrabajados. Por el contrario, las crestas morfológicas, los valles submarinos (cañones, cárcavas), los depósitos de flujos en masa y las ondas de sedimento se están desarrollando actualmente.

Procesos geológicos activos

Los procesos geológicos activos hoy en día son:

- *procesos tectónicos,*
- *procesos gravitativos (deslizamientos en masa y flujos gravitativos)*
- *corrientes de fondo*

Los *procesos tectónicos* han dado lugar al levantamiento de las crestas morfológicas identificadas en el sector oriental de la zona de estudio. Estas crestas representarían la expresión superficial del frente de deformación formado como consecuencia de la interacción entre las placas Caribeña y Sudamericana (Figs. 2). La respuesta acústica que caracteriza a estos altos, tanto en los perfiles de sísmica de TOPAS como de cañones de aire, donde en ambos casos la señal acústica no penetra, hace pensar en el carácter subconsolidado o consolidado de los materiales que lo conforman y por lo tanto su reciente levantamiento (Kolla y Buffler, 1985).

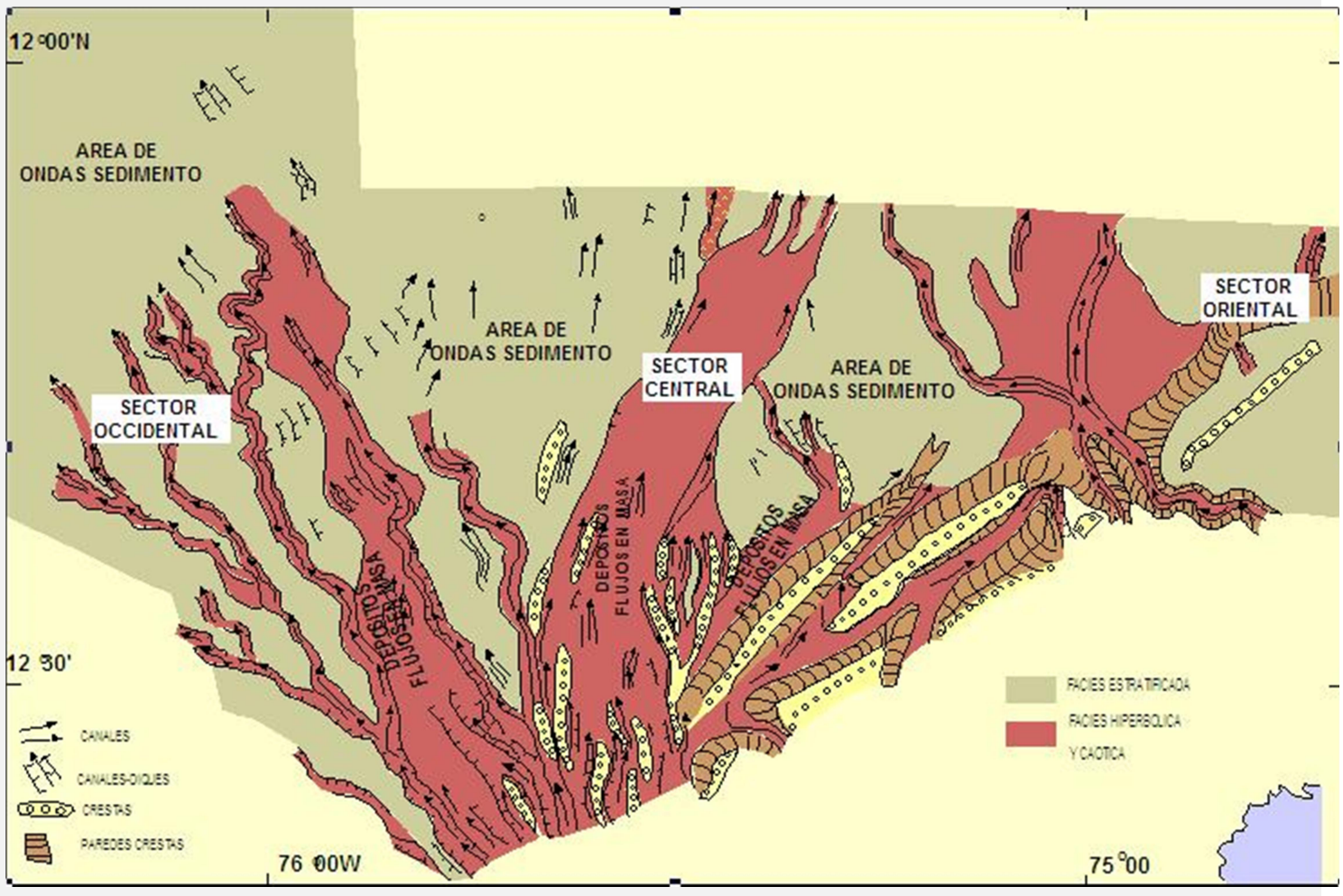


Fig. 2 Mapa de distribución superficial de facies acústicas y de los elementos morfosedimentarios principales que caracterizan al Sistema Turbidítico del Magdalena

Con respecto a los *procesos gravitativos*, éstos actúan en toda la zona de estudio afectando al talud continental superior e inferior de los tres sectores geográficos definidos. En el sector oriental, (Fig. 1) el sedimento reciente que se deposita en las crestas morfológicas sufre fenómenos de inestabilidad sedimentaria (deslizamientos en masa y flujos

gravitativos), no sólo por las altas pendientes (15º) de las paredes de las crestas, sino también como consecuencia de la actividad sísmica desencadenada por la interacción entre las dos placas tectónicas (Heezen, 1956; Heezen y Muñoz, 1965). Los flujos gravitativos, como flujos en masa y flujos turbidíticos, circulan también a lo largo de las cárvavas submarinas. Estos flujos ocurren en las paredes de las crestas y a lo largo de los cañones submarinos que discurren entre las crestas, erosionándolas. Estos flujos gravitativos alimentan a las subcuencas que se localizan entre las crestas, formando depósitos de flujos en masa que desarrollan cuerpos lenticulares formados por facies transparente, y depósitos turbidíticos definidos por facies estratificada discontínua. La respuesta acústica transparente de los depósitos de flujos en masa estaría relacionada con una textura grosera del sedimento y/o un alto grado de removilización del mismo.

Los procesos gravitativos en forma de flujos en masa son también responsables del desarrollo de las tres áreas cubiertas con depósitos de flujos en masa que se distribuyen de forma radial desde el talud continental superior al inferior de los sectores central y occidental (Figs. 2, 3, 4).

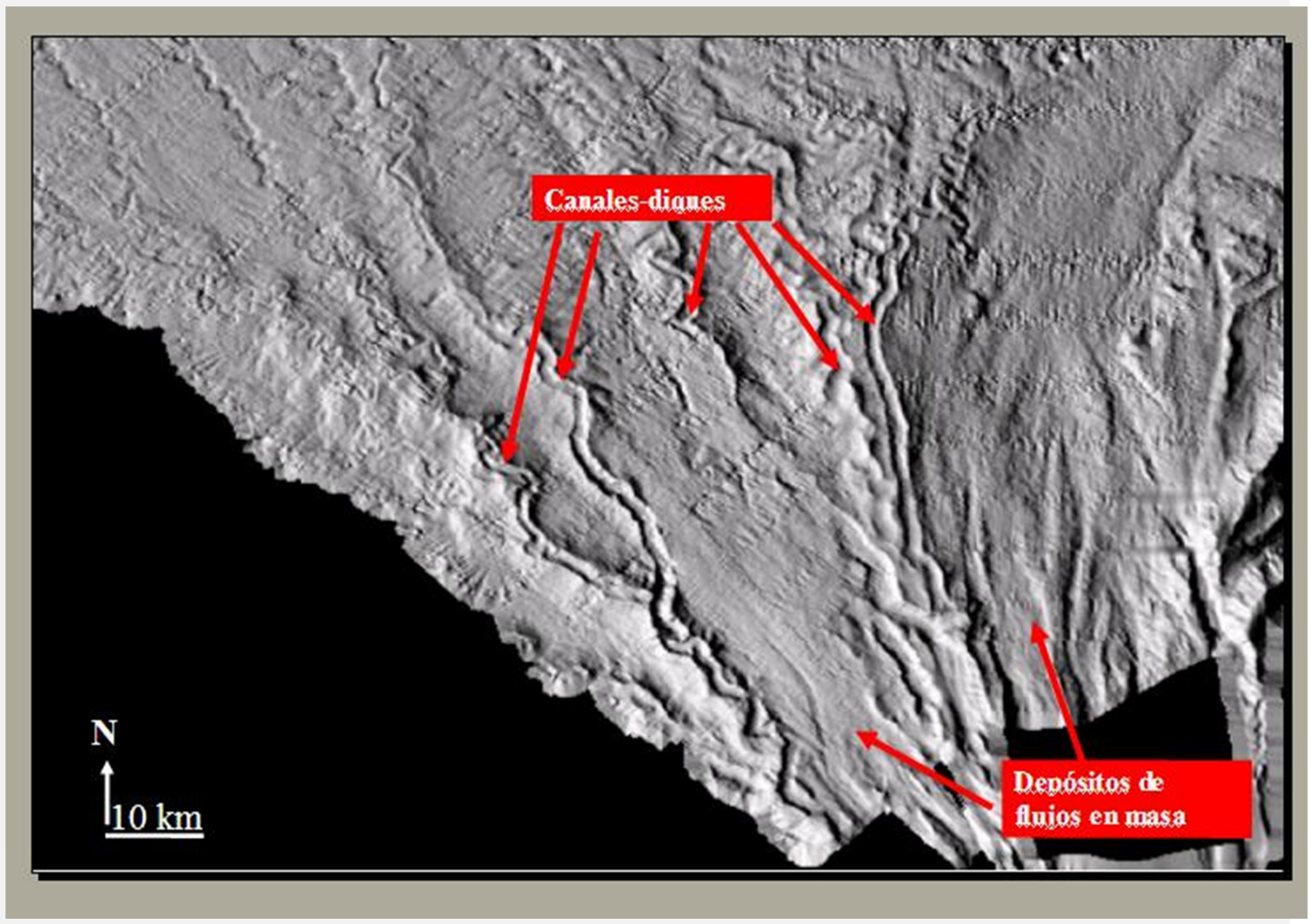


Figura 3. Mapa batimétrico sombreado de profundidades medias mostrando los depósitos de flujos en masa y los canales-diques en el talud continental superior. Los canales-diques situados al Este son más antiguos que aquellos localizados al Oeste.

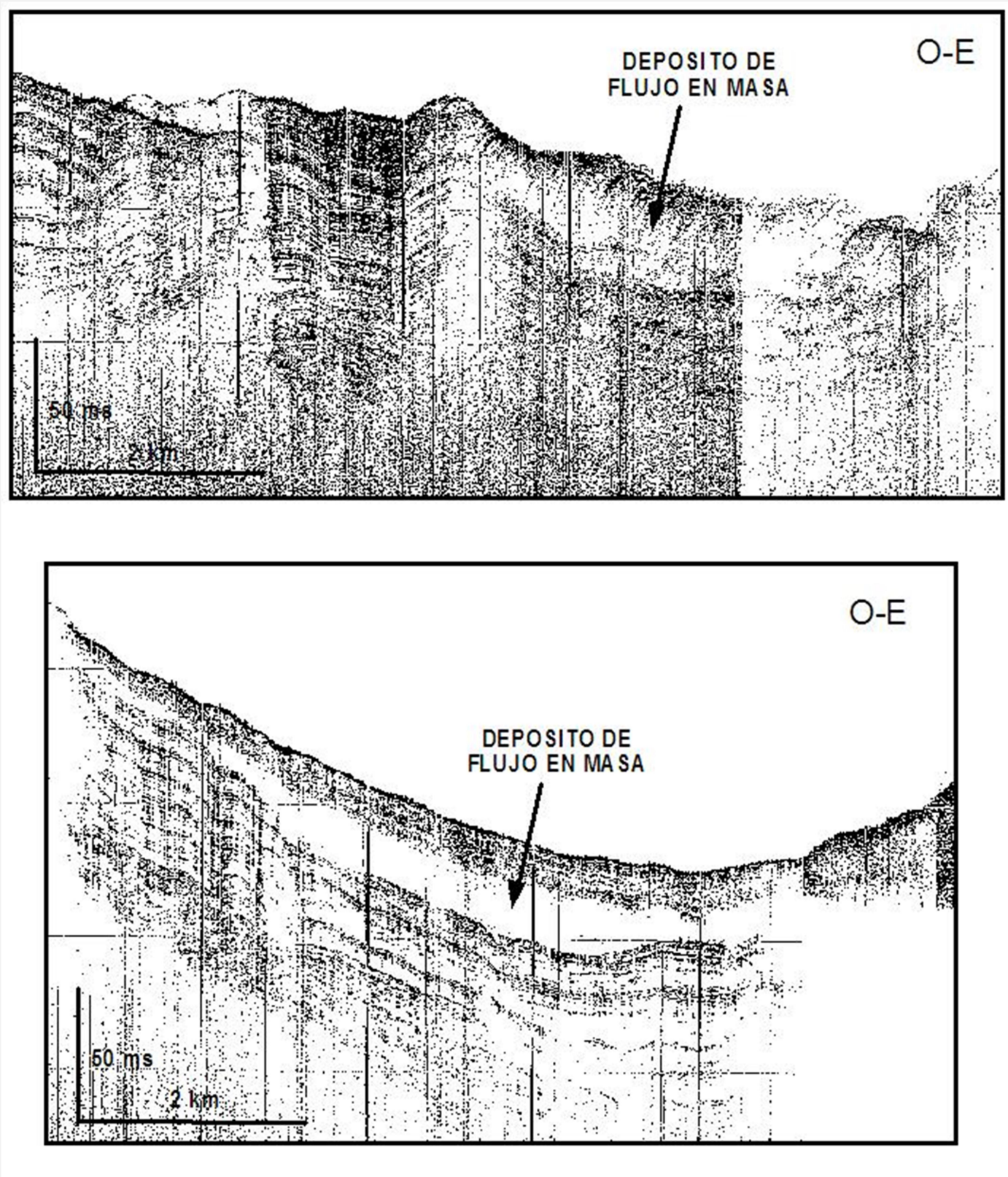


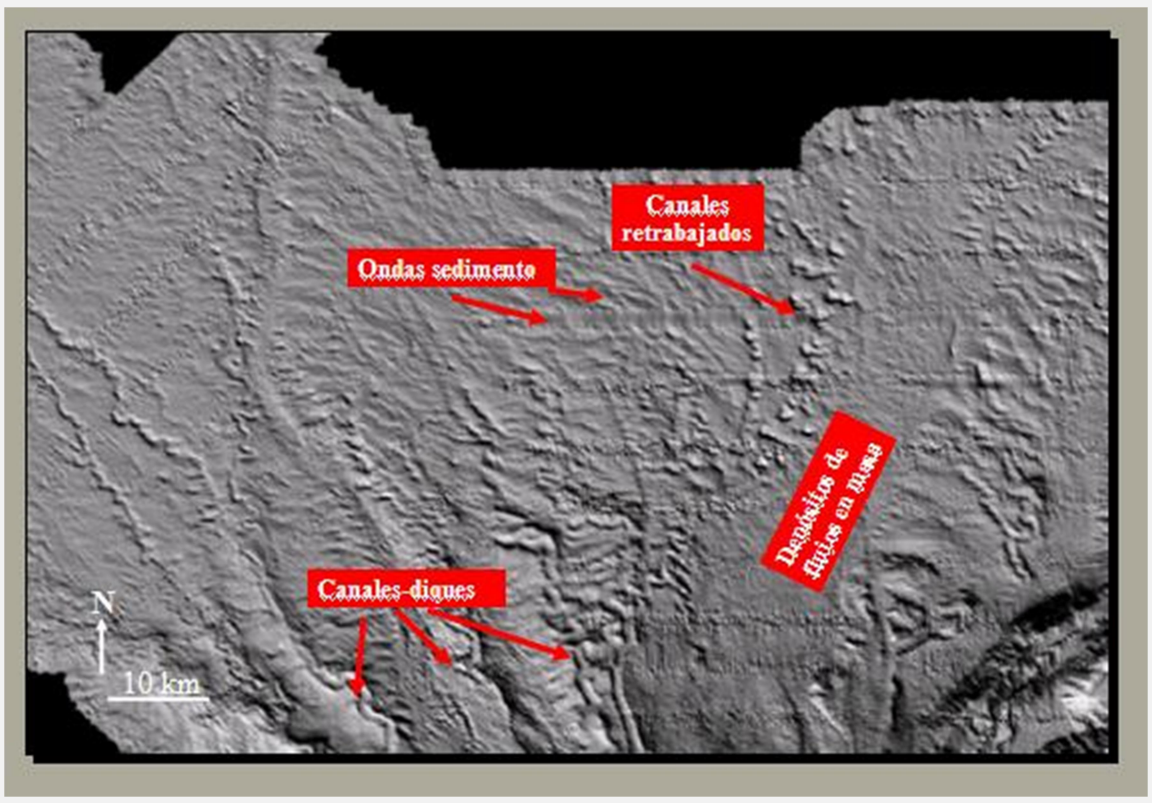
Figura 4. Perfiles sísmicos TOPAS mostrando terminaciones laterales de los depósitos de flujos en masa. Nótese las formas en cuña que definen tales depósitos y que están internamente compuestos por facies transparente e hiperbólica. Legenda: mseg, milisegundos en tiempo doble.

El desencadenamiento de tales flujos en masa estaría asociado a la acción conjunta de las altas pendientes del talud continental superior (3,14º), el importante volumen de sedimento aportado por el Río Magdalena (Pujos y Javelaud, 1991) y a la importante actividad sísmica que caracteriza a la zona. La acción de estos procesos de flujos en masa son probablemente los responsables de las numerosas roturas de cables submarinos que se vienen detectando en el talud continental superior al menos desde los años 50 (Heezen, 1956; Heezen y Muñoz, 1965), y que vienen a confirmar que el Sistema Turbidítico del Magdalena es activo hoy en día. Estos flujos en masa, son los que su vez destruyen total y parcialmente a los sistemas de canal-dique. Aquellos casos en los que su destrucción es parcial, los flujos en masa se confinan en los canales y circulan a lo largo de ellos ayudándoles a mantenerse activos durante algunos segmentos de su trayectoria.

Finalmente, los *procesos asociados a corrientes de fondo* han condicionado la formación del campo de ondas de sedimento que caracteriza al talud continental superior e inferior en los sectores central y occidental (Fig. 5). Los estudios oceanográficos en el Mar Caribe indican la existencia de una corriente de fondo que en la zona de estudio se dirige hacia el Oeste (Wüst, 1964). Esta corriente de fondo es la que a su vez ha originado el retrabajamiento local de las morfologías canal-dique en el talud continental inferior así como su retrabajamiento parcial transformándolas en formas circulares y elongadas (Fig.5).

Figura 5. Mapa batimétrico sombreado obtenido a partir de profundidades medias, de la parte distal del Sistema Turbidítico del Magdalena. Este mapa muestra la presencia de canales-diques, canales retrabajados, depósitos

de flujos en masa y un campo de ondas de sedimento.



Procesos geológicos inactivos

Los procesos geológicos inactivos hoy en día estarían representados por aquellos procesos gravitativos, fundamentalmente en forma de flujos gravitativos (flujos turbidíticos), que han sido responsables de la formación de los complejos de canal-dique (Figs. 4, 8 y 12). El desarrollo de estos complejos está relacionado con un área fuente de carácter puntual, probablemente un cañón submarino incidido en el talud continental superior y en la plataforma continental. La respuesta acústica que presentan los complejos de canal-dique así como el buen desarrollo que tienen los diques (350 y 650 mseg de potencia) (Fig. 14) indican que los flujos turbidíticos que circulaban en el pasado a lo largo de estos canales eran volumétricamente importantes y principalmente de carga fangosa (Reading y Richards, 1994). La formación de numerosas bifurcaciones estaría relacionada con el acontecimiento de numerosos procesos de avulsión ocasionados por roturas de dique en épocas de flujos de alta energía y carga que rompen el equilibrio dinámico del sistema canal-dique, por abandono de meandros, etc. (Figs. 3 y 5).

Las migraciones de los canales-diques habrían estado controladas por procesos sedimentarios y tectónicos. En este sentido, cabe resaltar los sentidos contrarios de migración que se observan: los complejos de canal-dique migran hacia el Oeste, mientras que los sistemas de canal-dique de cada complejo migran hacia el Este. La migración hacia el Oeste podría estar asociada con una migración de las áreas fuente proximales (cañones submarinos) ligadas a la desembocadura del Río Magdalena. La migración hacia el Este de los sistemas de canal-dique dentro de cada complejo se asociaría más bien a un proceso de carácter tectónico que de tipo sedimentario. Esta última migración de sentido constante en los tres complejos de canal-dique, podría explicarse mediante la formación de un gradiente regional hacia el Este como consecuencia del levantamiento del frente de deformación, es decir de las crestas morfológicas.

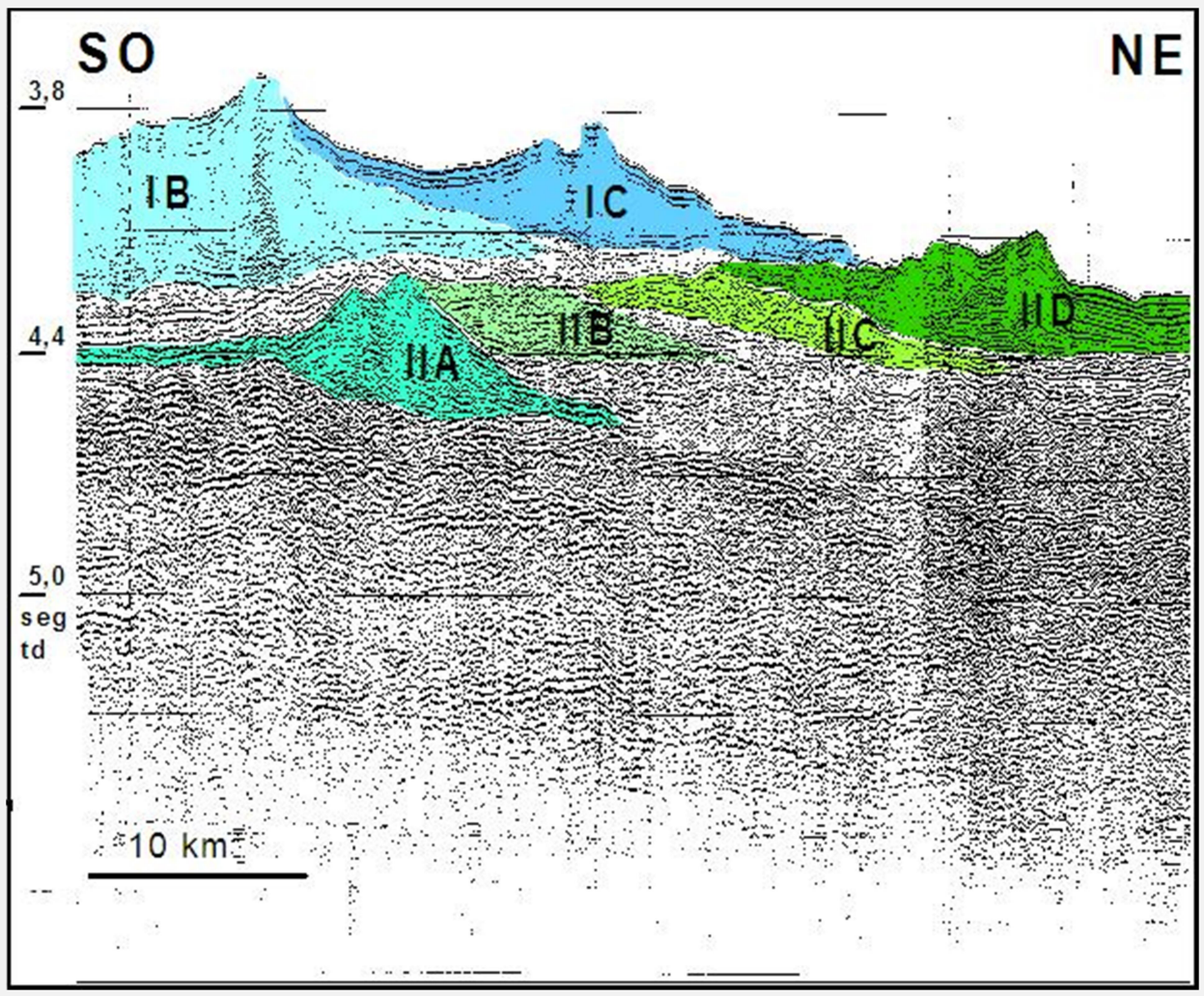
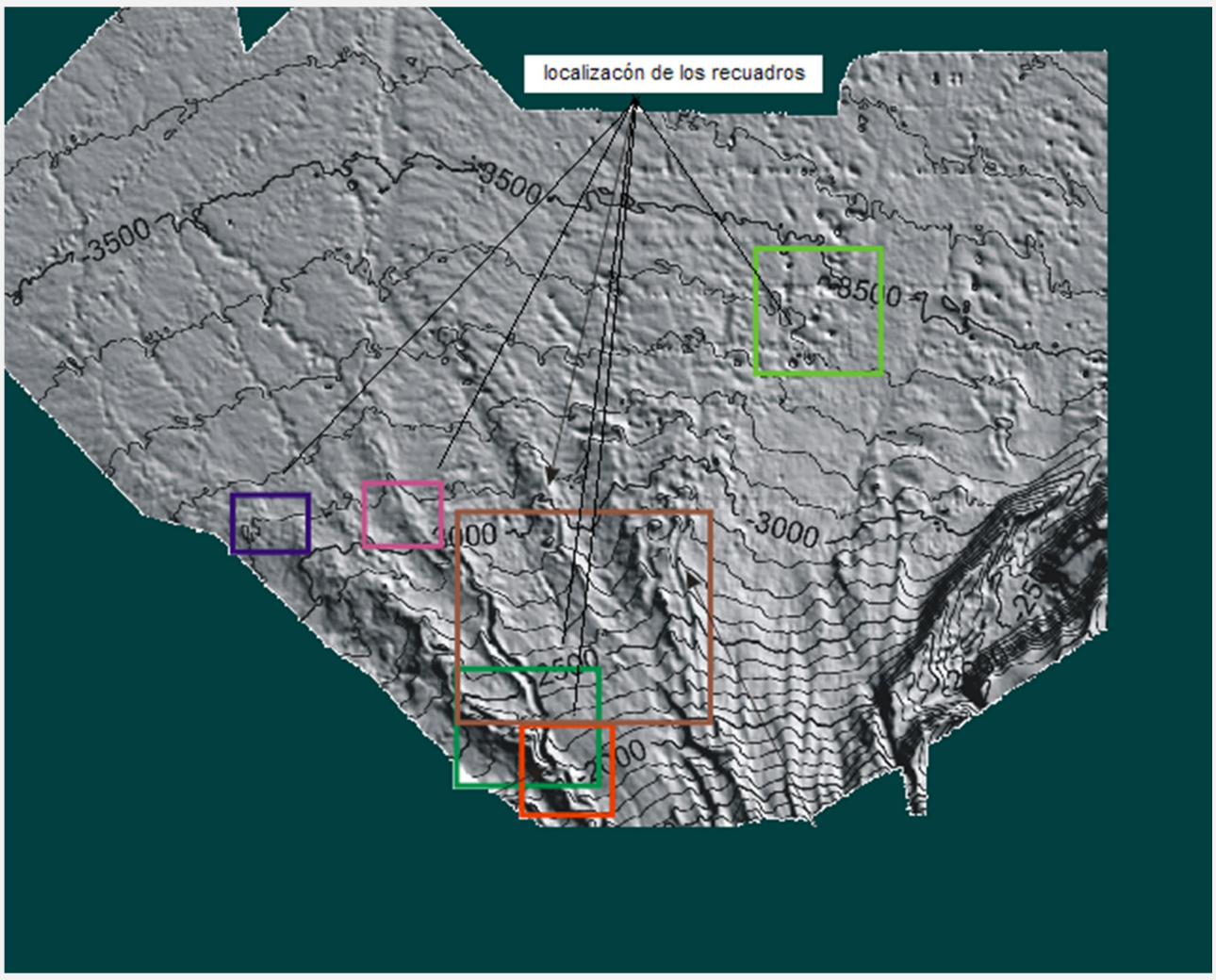


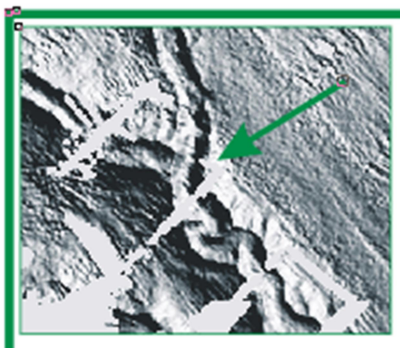
Figura 6. Perfil sísmico de cañones de aire localizado en el talud continental superior que muestra dos complejos de canal-dique (I-más moderno- y II-más antiguo-). Nótese como el conjunto de los dos complejos migra hacia el Oeste, mientras que los sistemas de canal-dique de cada complejo migran hacia el Este. Las letras de la A a la de D indican de más antiguo a más moderno.

Se han identificado 6 tipos de procesos sedimentarios:

1) bifurcación,
2) abandono de meandros (formación de "oxbows"),
3) rotura de diques,
4) “crevasse splays",
5) retrabajamiento de los sistemas de canal-dique, y
6) perdida de continuidad de los canales-diques.

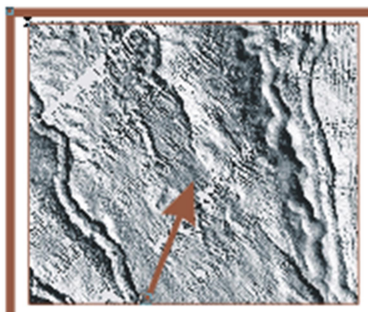


BIFURCACIÓN



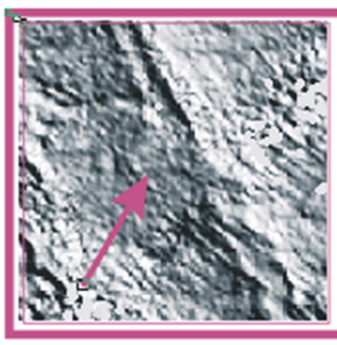
El proceso de bifurcación (1) se ha identificado en los tres complejos de canal-dique (I, II y III). Este proceso, que acontece a través de la avulsión, sugiere que la pared del dique de un canal activo ha sufrido una rotura debido a la acción de los flujos gravitativos que circulan a lo largo del mismo. Esta rotura genera la formación de un nuevo sistema de canal-dique activo. Este hecho viene sugerido porque el nuevo sistema de canal-dique tiene la expresión batimétrica mejor definida, un relieve menor con respecto al canal abandonado, y porque el canal nuevo corta al antiguo creando un desnivel de varios metros.

PÉRDIDA DE CONTINUIDAD DE LOS CANALES



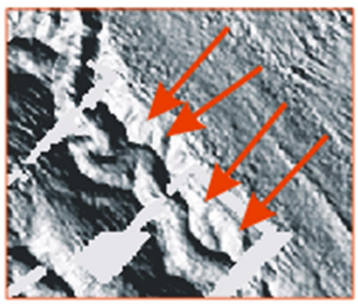
La pérdida de continuidad de los canales (2) es uno de los procesos que más acontece en los tres complejos de canal-dique y se caracterizan porque los sistemas pierden su expresión morfológica a lo largo de longitudes variables (1 a 24 km). Esta pérdida está asociada a la existencia de zonas con batimetría suavizada y/o retrabajada de canales antiguos y abandonados, y con la presencia de escarpes que cortan e interrumpen la continuidad de los sistemas de canal-dique.

ROTURA DE DIQUES



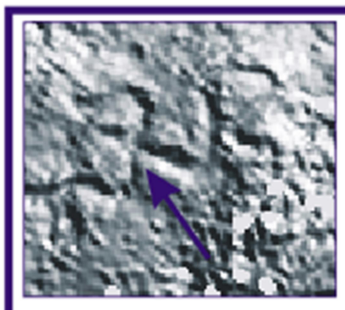
La rotura de diques (3) acontece en los tres complejos de canal-dique, en el talud continental superior. Este proceso es total o parcial y afecta a uno o a los dos diques del canal a lo largo de longitudes de entre 10 y 2 km, y se observa que muchas veces está asociado a flujos de derrubios sin canalizar.

CREVASSE SPLAY



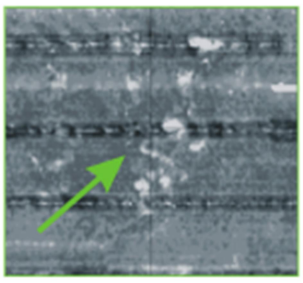
El proceso de "crevasse splay" (4) ocurre fundamentalmente en los sistemas de canal-dique del complejo I. Este proceso se ha identificado en base a datos morfológicos y a datos de reflectividades del fondo que permiten delimitar áreas irregulares de alta reflectividad adyacente a los cursos de los canales, que asemejan escapes de los flujos gravitativos de sedimento que circulan por el canal a partir de roturas puntuales en uno de los diques.

ABANDONO DE MEANDROS

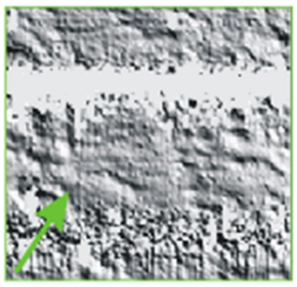


El abandono de meandros (5) por estrangulamiento del canal da lugar a la formación de meandros abandonados o "oxbows". Este proceso acontece en los sistemas de canal dique que se desarrollan fundamentalmente en el talud continental inferior, es decir allí donde los canales-diques tienen trayectorias meandriformes y menores dimensiones. Los meandros abandonados, que son especialmente identificados en base a las reflectividades del fondo del mar, se caracterizan por presentar una reflectividad menor que la del canal activo del cual se ha desprendido. Esta menor reflectividad se asocia a la existencia de un recubrimiento sedimentario y/o a un retrabajamiento de su morfología.

RETRABAJAMIENTO DE LOS SISTEMAS CANAL-DIQUE



El retrabajamiento de los sistemas de canal-dique (6) afecta a aquellos que se localizan en el talud continental inferior y se asocia a la acción de corrientes de fondo, las cuales son también responsables de la formación de un campo de ondas de sedimento. Este retrabajamiento afecta a la forma original de los meandros dando lugar a morfologías circulares-semicirculares de 7 km de diámetro y elongadas de hasta de 16 km de longitud. La imagen de la izquierda está hecha a partir de la respuesta acústica del fondo marino (backscatter).



Referencias

Dybedal, J., Boe, R., 1994. Ultra high resolution sub-bottom profiling for detection of thin layers and objects. Oceans' 94/ Osates, Brest, France.

Flood, R. D., Manley, P.L., Kowsmann, R.O., Appi, C.J., Pirmez, C., 1991. Seismic facies and late Quaternary growth of Amazon Submarine Fan. En: Weimer, P., Link, M.H. (Eds.), Seismic Facies And Sedimentary Processes Of Modern And Ancient Submarine Fans. New York, Springer, pp. 415-433.

Heezen, B.C., 1956. Corrientes de turbidez del Río Magdalena. Bol. Soc. Geogr. Colombia 51-52, 135-143.

Heezen, B.C., Muñoz, J., 1968. Magdalena turbidites in deep-sea sediments. Proceedings 4th Caribbean Geological Conference, Trinidad, pp. 317-324.

Kolla, V., Buffler, R.T., 1985. Morphologic, acoustic, and sedimentologic characteristics of the Magdalena Fan. Geo-Mar. Let. 3, 85-91.

Kolla, V., Buffler, R.T., Ladd, J.W.. 1984. Seismic stratigraphy and sedimentation of Magdalena Fan, Southern Colombian Basin, Caribbean Sea. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull. 68, 3, 316-332.

Pujos, M., Javelaus, O., 1991. Depositional facies of a mud shelf between the Sinu river and the Darien Gulf (caribbean coast of Colombia): Environmental factors that control its sedimentation and origin of deposits. Cont. Shelf Res. 11(7), 601-623.

Reading, H.G., Richards, M., 1994. Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system. Am. Assoc. Pet. Geol. Bul. 78, 792-822.

Wetzel, A., 1993. The transfer of river load to deep-sea fans: A quantitative approach. Am. Assoc. Pet. Geol. Bul. 77, 1679-1692.

Wüst, G., 1964. Stratification And Circulation In The Antillean-Caribbean Basins. Columbia University Press, New York, 64 pp