SOCIEDAD GEOGRÁFICA DE COLOMBIA
ACADEMIA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS
www.sogeocol.edu.co

INTRUSIONES "DIAPIRICAS" EN LOS SEDIMENTOS DEL TALUD DELANTERO DEL DELTA DEL MAGDALENA, COLOMBIA[1]

TRADUCCION DE EDUARDO RICO PULIDO

Por: FRANCIS P. SHEPARD[2]
ROBERT F. DILLS[3]
BRUCE C. HCEAEN[4]
Artículo del Boletín de la
Sociedad Geográfica de Colombia
Número 99, Volumen XXVI
1968

La Jolla, California, San Diego, California, y alisades, New York.

RESUMEN

El Río Magdalena está avanzando su delta rápidamente hacia el talud que deriva al norte dentro de la Cuenca Colombiana del Caribe. Resultados de este avance han llegado al conocimiento de ingenieros colombianos debido a los deslizamientos intermitentes en el talud que producen derrumbes en los extremos de los tajamares y roturas en los cables submarinos mar adentro. Otro posible resultado del avance del delta pudo comprobarse gracias a la labor de una expedición de la Institución Scripps que llevó al descubrimiento de damos de taludes muy

[1] Este trabajo fue sustentado en parte por la Oficina Naval de Investigación bajo contrato Nonr – 2216 (23).

[2] Profesor Emérito del Instituto de Oceanografía de Scripps, Universidad de California, San Diego, California.

[3] Geólogo del Laboratorio Electrónico de la Armada, San Diego, California.

[4] Profesor Asociado del Observatorio de Geologia de Lamont, Palisades, New York.

Nosotros deseamos expresar nuestro agradecimiento por la activa ayuda del Capitán Terry Hansen y de la tripulación del **R/V Thomas Washington**. y por la cooperación y consejo de los científicos participantes durante el viaje que incluyó en adición a los autores: K. E. Chave, J.J.H.C. Houbolt, R. J. G. Lewis, N. F. Marshall, D. A. Muus, W. E. Perkinj, J.E. Ramírez. Eduardo Rico Pulido, Harold Sammuli, Elizabeth B. Shepard, y Fred Vine. Valiosas sugestiones para el manuscrito han sido hechas por J. R. Curroy.

pendientes levantándose hasta 200 metros por encima del lecho del mar y en profundidades de 900 a 1200 metros. Los perfiles del sublecho mostraron que esos domas, con ancho aproximado de un kilómetro, tienen relaciones intrusivas con las capas formadas anteriormente, pudiéndose seguir su trayectoria por lo menos en 700 metros por debajo del lecho del mar. Los perfiles muestran que los domas están generalmente rodeados por depresiones anulares las cuales se destacan por plegamientos hacia abajo, en contraste con las formaciones usuales con plegamientos hacia arriba que rodean los domos de sal. Una explicación para esos diapiros es que ellos son una masa gigantesca de lodo como aquellos que hay al frente de los pasos del Mississippi. Alternativamente, pueden ser volcanes de lodo tal como se encuentra en zonas aledañas.

INTRODUCCIÓN

En Enero, 1966, el *R/V Thomas Washington* de la Institución Scripps empleó diez días investigando al talud frontal del delta al norte de Barranquilla, Colombia (Fig. 1). Aquí, la deposición ha creado un delta a través de la totalidad de la plataforma continental, y este delta está avanzando sobre el talud continental. Originalmente el propósito del trabajo era investigar los valles submarinos de esta área descritos por Heezen (1.956) y Elmendorf y Heezen (1957). Los levantamientos repetidos hechos por E. Rico Pulido, ingeniero Colombiano, habían mostrado que los valles frente a la boca del Río Magdalena eran muy inestables y que cambiaban de posición de vez en cuando. El mar muy grueso que predominó durante nuestro trabajo nos llevó a hacer algunos cambios en los planes operacionales. La torna de muestras del lecho fue virtualmente imposible, en parte debido a los defectos de los equipos recientemente instalados en el buque, y a que era prácticamente imposible la colocación de boyas de demarcación para los levantamientos precisos y detallados. Así que el trabajo se vio limitado a recorrer líneas de sondeo bastante separadas y a tornar una serie de perfiles de reflexión. Esto último mostró ser muy efectivo para la obtención de secciones estructurales del subfondo. Estos fueron especialmente buenos cuando recorríamos líneas en el sentido del viento. Los descubrimientos más significativos provinieron de los perfiles de la sub superficie pero, adicionalmente, nos fue posible reconstruir los contornos del lecho en mar, mostrando un aspecto diferente de aquel que había sido previamente indicado.

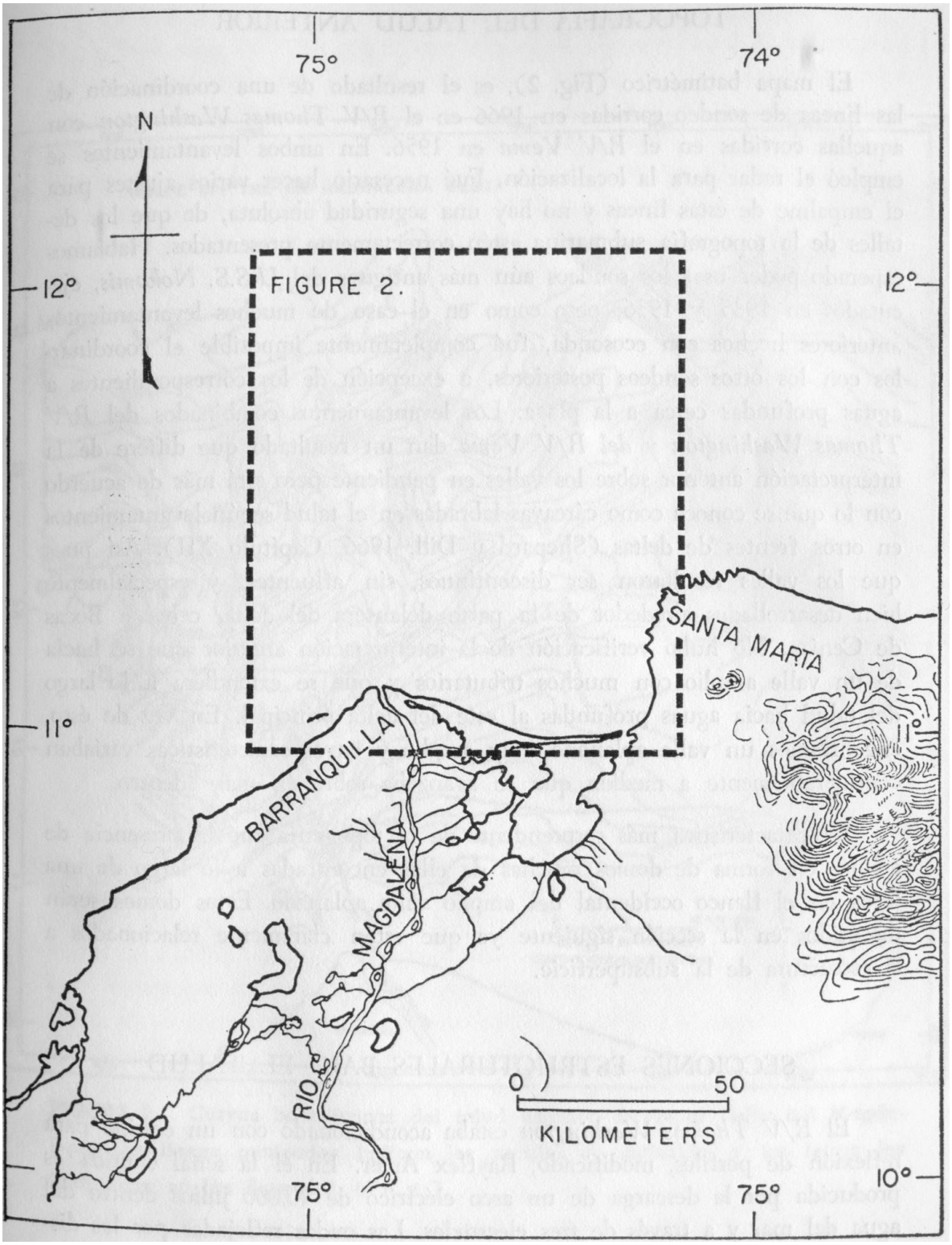

FIGURA 1. Localización del Delta del Magdalena

TOPOGRAFIA DEL TALUD ANTERIOR

El mapa batimétrico (Fig. 2), es el resultado de una coordinación de las líneas de sondeo corridas en 1966 en el *R/V Thomas Washington* con aquellas corridas en el *R/V Vema* en 1956. En ambos levantamientos se empleó el radar para la localización. Fue necesario hacer varios ajustes para el empalme de estas líneas y no hay una seguridad absoluta, de que los detalles de la topografía submarina estén correctamente presentados. Habíamos esperado poder usar los sondeos aún más antiguos del U.S.S. Nokomis, ejecutados en 1935 y 1936, pero como en el caso de muchos levantamientos anteriores hechos con ecosonda, fue completamente imposible el coordinarlos con los otros sondeos posteriores, a excepción de los correspondientes a aguas profundas cerca a la playa. Los levantamientos combinados del *R/V Thomas Washington* y del *R/V Vema* dan un resultado que difiere de la interpretación anterior sobre los valles en pendiente pero está más de acuerdo con lo que se conoce como cárcava s labradas en el talud según levantamientos en otros frentes de deltas (Shepard y Dill, 1966, Capítulo XII). Así pues que los valles resultaron ser discontínuos, sin afluentes, y especialmente bien desarrollados alrededor de la parte delantera del delta, cerca a Bocas de Ceniza. No hubo verificación de la interpretación anterior que se hacía de un valle amplio con muchos tributarios y que se extendiera a lo largo del talud hacia aguas profundas al este del delta principal. En vez de esto, encontramos un valle aplanado muy amplio y cuyas características variaban considerablemente a medida que se avanzaba sobre él, mar adentro.
La característica más sorprendente de la topografía fue la presencia de colinas en forma de domas muchas de ellas encontradas a lo largo de una línea en el flanco occidental del amplio valle aplanado. Estos domas serán discutidos en la sección siguiente ya que están claramente relacionados a la estructura de la subsuperficie.

SECCIONES ESTRUCTURALES BAJO EL TALUD

El *R/V Thomas Washington* estaba acondicionado con un equipo para reflexión de perfiles, modificado, Rayflex Arcer. En él la señal emitida es producida por la descarga de un arco eléctrico de 40.000 julios dentro del agua del mar y a través de tres electrodos. Las ondas reflejadas por las discontinuidades del subfondo son filtradas a una frecuencia de 73 a 120 Herz y registradas gráficamente. Esto proporciona secciones transversales del lecho del mar por sobre el cual el buque está operando.

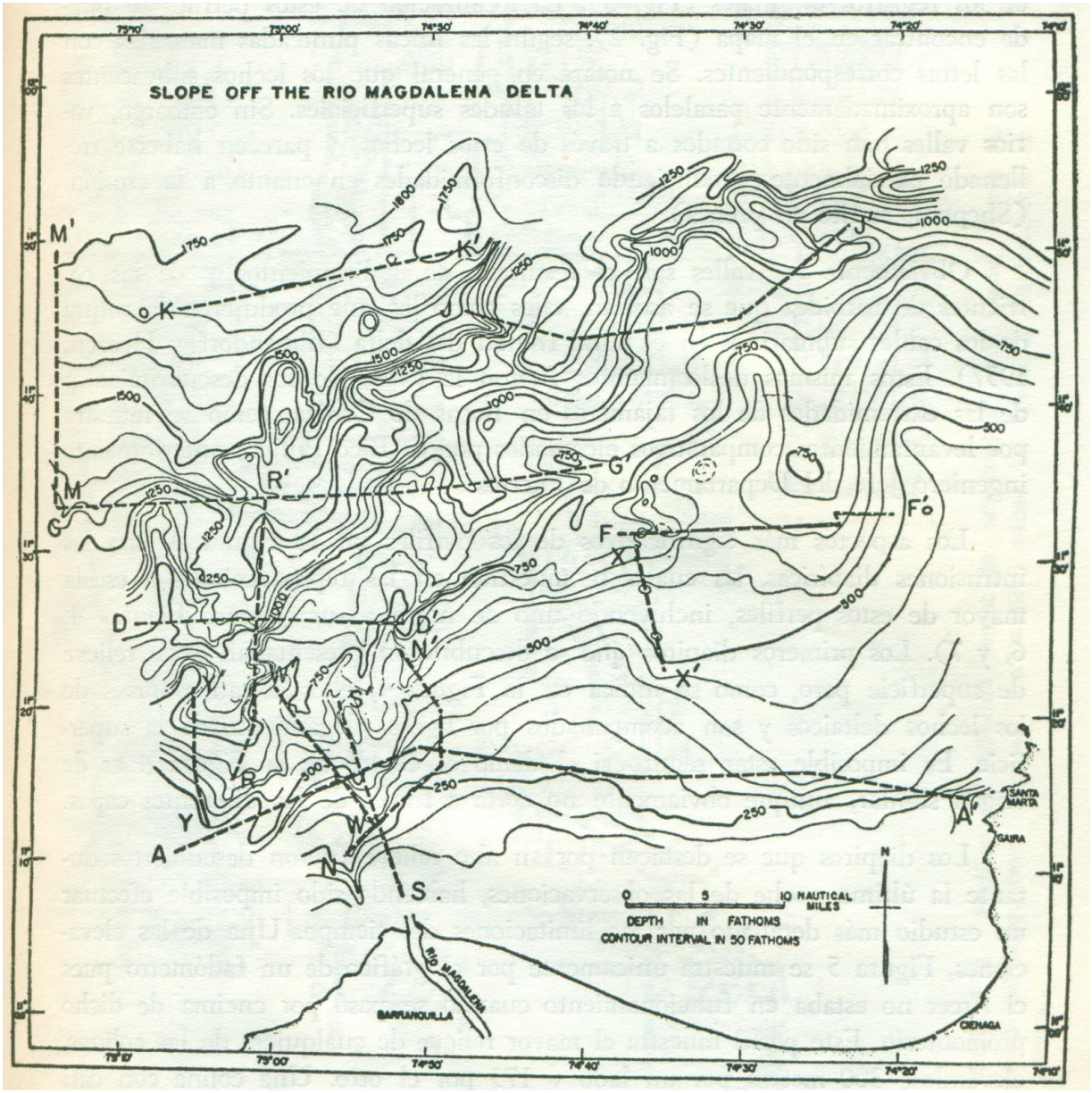

FIGURA 2. Curvas batimétricas del talud ubicado frente al Delta del Magdalena. Las líneas punteadas indican los perfiles de reflexión. Y las letras las identifican en las figuras 3, 4, 6 y 7.

La mayoría de los perfiles de reflexión fueron tomados de este a oeste para evitar la interferencia a los ruidos producidos por la acción de las olas sobre el buque. Los recorridos se muestran en la reproducción fotográfica de los registros originales (Fig. 3). La localización de estos perfiles se puede encontrar en el mapa (Fig. 2), según las líneas punteadas marcadas con las letras correspondientes. Se notará en general que los lechos subyacentes son aproximadamente paralelos a los taludes superficiales. Sin embargo, varios valles han sido cortados a través de estos lechos, y

parecen haberse rellenado parcialmente, produciendo disconformidades en cuanto a la erosión. (Shepard, escrito en prensa).

Obviamente los valles son el resultado de deslizamientos y de las corrientes de turbidez que se asocian, tales como las que produjeron la rotura de los cables submarinos en el talud frontal del delta (Elmendorf y Heezen, 1957). Estos mismos deslizamientos fueron la causa de los descubrimientos de las extremidades de los tajamares en Bocas de Ceniza, cama se muestra por levantamientos comparativos ejecutados por E. Rico Pulido, anteriormente ingeniero Jefe del Departamento de Puertos.

Los aspectos más significativos de los perfiles en la Figura 3, son las intrusiones diapíricas, las cuales se muestran en las reproducciones a escala mayor de estos perfiles, incluyendo uno de norte a sur (véanse Figuras 4, 6, y 7). Los primeros diapiros que se descubrieron presentaban poco relieve de superficie pero, como se indica en la Figura 4, ellos cortan a través de los lechos deltaicos y son acompañados por ligero plegamiento de la superficie. Es imposible estar seguro si el domo al centro de la Figura 4 es de origen similar, aunque obviamente no corta a través de las diferentes capas.

Los diapiros que se destacan por su alto relieve fueron descubiertos durante la última noche de las observaciones, habiendo sido imposible efectuar un estudio más detallado por las limitaciones del tiempo. Una de las elevaciones, Figura 5 se muestra únicamente por el gráfico de un fadómetro pues el Arcer no estaba en funcionamiento cuando se pasó por encima de dicho promontorio. Este perfil muestra el mayor relieve de cualquiera de las colinas, elevándose 300 metros por un lado y 175 por el otro. Una colina con casi tanto relieve se encontró hacia el sur y nos fue posible hacer tres perfiles continuos de reflexión a través de esta, y a lo largo de tres corridas distintas (Fig. 6). Desafortunadamente fue imposible saber si alguna de estas líneas cruzó el vértice, pero parece ser seguro que dos de los perfiles fueron tomados cerca de aquél. Cada uno de éstos sugiere que las depresiones de la superficie son adyacentes al domo y la subsuperficie muestra un doblamiento hacia abajo en esta depresión anular.

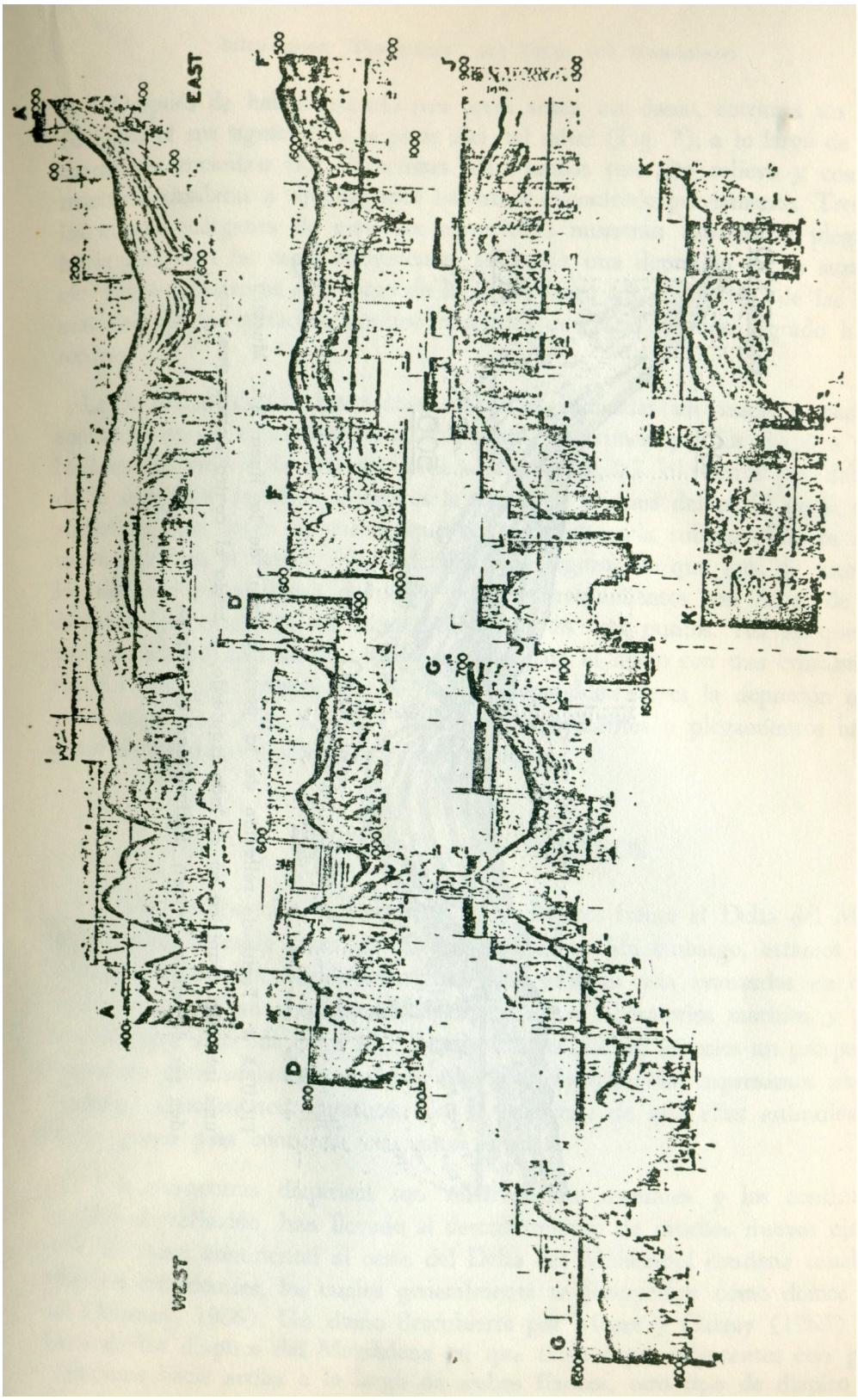

FIGURA 3. Perfiles de reflexión según la orientación, este, oeste, frente al Delta del Magdalena. Para su localización, véase la figura 2. Profundidad en brazas.

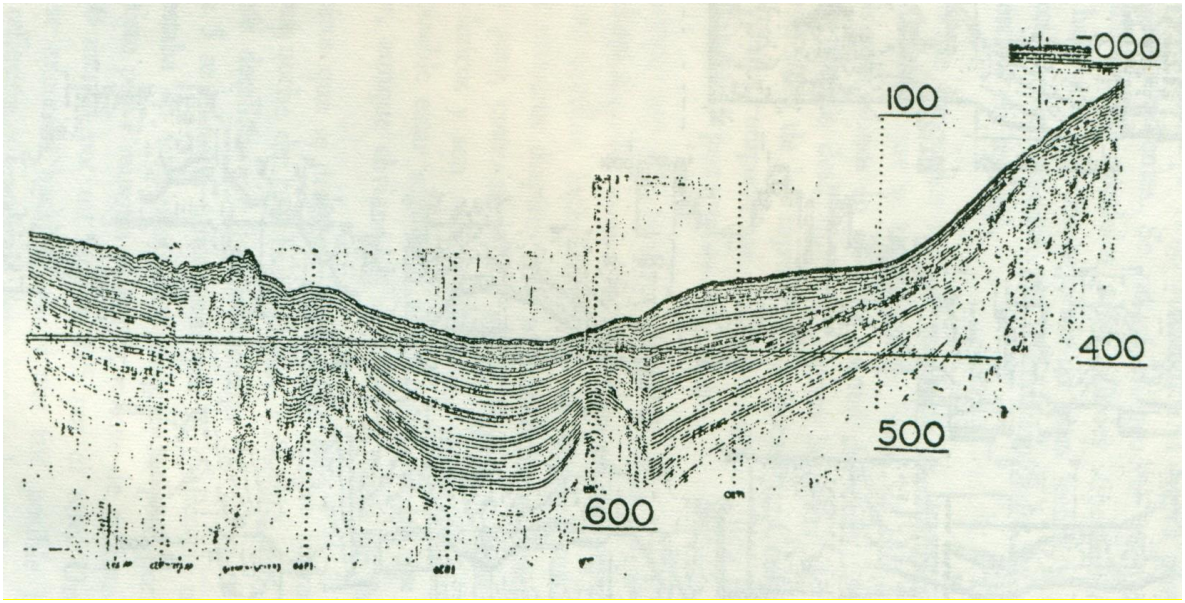

FIGURA 4. Perfil de reflexión de la parte oriental de la línea AA´. Muestra una intrusión diapírica en el lado izquierdo, y hacia el centro domos que pueden ser del mismo origen. Profundidad en brazas.

Después de haber cruzado tres veces sobre un domo, corrimos un perfil hacia el sur siguiendo a la parte alta del talud (Fig. 7), a lo largo de éste acertamos encontrar dos elevaciones más, ambas con alto relieve y con estructuras similares a aquellas que habíamos encontrado previamente. Tres de las cuatro márgenes de esas dos elevaciones muestran estructuras plegadas hacia abajo en las capas subyacentes así como una depresión en la superficie. Otras estructuras a lo largo de la citada línea son indicativas de las mismas fuerzas en operación aunque muestran que éstas no han logrado hacer roturas.

La totalidad de las intrusiones diapíricas indicadas en nuestros perfiles son carentes de capas inferiores. Por tanto, sugerimos que los diapiros probablemente vienen de una profundidad mayor de 0.7 kilómetros por debajo de la superficie puesto que ésta es la extensión mínima del perfil de la subsuperficie (sin tener en cuenta que la velocidad en la subsuperficie es algo mayor que en el agua). No podemos estar seguros de que más de uno de los diapiros tenga forma de domo pero los cruzamientos con Arcer de las divisorias no muestran intrusiones diapíricas en esos puntos. Así es que se está en la seguridad de una forma circular para el domo con tres cruzamientos. La otra característica que se muestra repetidamente es la depresión marginal adyacente a los domas y sínclinales subyacentes o plegamientos hacia abajo de los estratos próximos a las intrusiones .

ORIGEN DE LOS DIAPIROS

Mayor información concerniente a los diapiros frente al Delta del Magdalena sería deseable antes de discutir su origen. Sin embargo, estamos enfrentados a las dificultades inherentes para estudios más avanzados en esta área a causa de su considerable distancia a los laboratorios marinos y por estar siempre sometida a un mar grueso. Puesto que no tenemos un prospecto inmediato para adelantar una más completa investigación, expresamos ahora nuestras conclusiones tentativas con la esperanza de que ellas estimulen a algún grupo para continuar con estos estudios.

Las estructuras diapíricas son relativamente comunes y los continuos perfiles de reflexión, han llevado al descubrimiento de muchos nuevos ejemplos. El talud continental al oeste del Delta del Mississippi contiene muchos diapiros interesantes, los cuales generalmente se interpretan como domas de sal (Murray, 1966). Un domo descubierto por Moore y Curray (1963) difiere de los diapiros del Magdalena. en que tiene capas adyacentes con plegamientos hacia arriba a lo largo de ambos flancos, otro tipo de diapiro se encuentra directamente al frente de los pasos del Delta del Míssissippi que avanzan activamente. A estos se les da el nombre de *masa de lodo* (Morgan, 1952). Una secci6n transversal interpretativa (Fig. 9), sugiere que estos, básicamente, son plegamientos cortados por pequeñas fallas originadas por empuje (Morgan *et al*, 1963). Estas estructuras tampoco tienen mucho en común con los domas del Magdalena. Las colinas diapíricas que se encuentran en la planicie abisal del Golfo de Méjico se pueden parecer más a aquellas que se encuentran frente al Delta del Magdalena, puesto que algunos están rodeados por estratos plegados hacia abajo (Ewing *et al*, 1962). Sin embargo, la copia fotográfica de los perfiles que cruzan los diapiros, los cuales se muestran en la Figura 10, solo indica capas plegadas hacia arriba cerca a los diapiros.

Sólo hay una posibilidad de que las colinas en forma ovalada frente de los Deltas del Orinoco y del Niger tengan corazones diapíricos. Ellos están descritos como arrecifes coralíferos sumergidos (nota, 1958, y Allen, 1964). Sin embargo, es de notar que algunos de los perfiles hechos a través de esas colinas muestran depresiones adyacentes a ellas. Similannente, las depresiones bordean algunas de las colinas definitivamente diapíricas frente de la costa occidental de Louisiana y de la costa adyacente de Texas (Parker y Curra y, 1956). Las depresiones en cada uno de estos casos muy probablemente representan socavaciones alrededor de las colinas en la plataforma donde se han reportado corrientes de consideración.

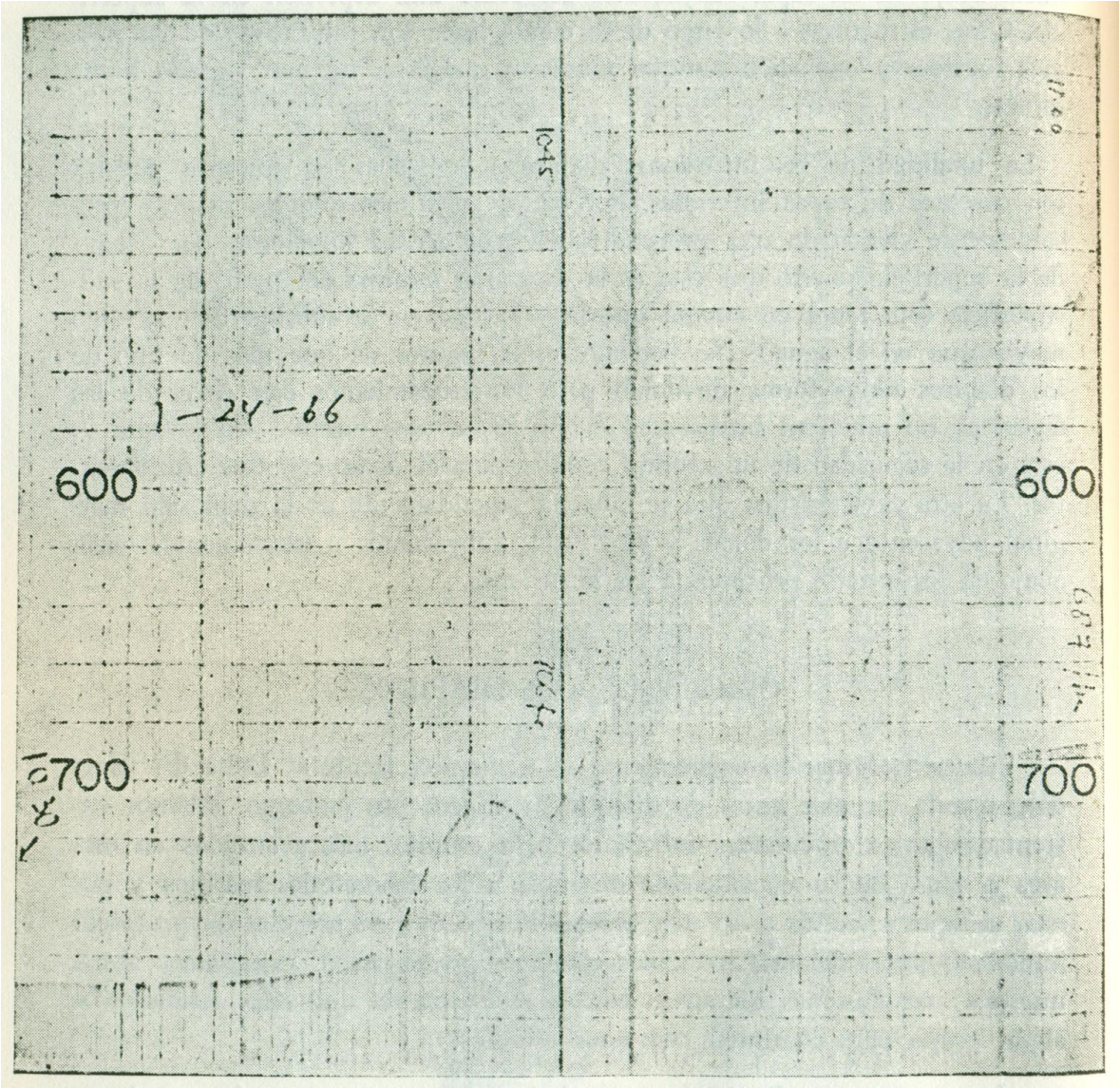

FIGURA 5. Perfil con ecosonda a través de un domo al noreste del punto F en la figura 2. Este domo es, sin lugar a duda, del mismo origen que el de aquellos de las figuras 4, 6 y 7. Profundidad en brazas.

Otro posible origen de las colinas diapíricas es que ellas representan grandes masas de rocas ígneas que han sido parcialmente cubiertas por los depósitos del delta que va avanzando comúnmente. La deposición en los flancos de las colinas más antiguas muestran un buzamiento inicial hacia afuera de la colina pero posiblemente las depresiones anulares pudieron haber sido mantenidas por socavación marginal durante la deposición, hasta donde sabemos. Las áreas adyacentes no muestran ninguna existencia de este tipo, aunque ramificaciones de los Andes con sus rocas ígneas se encuentran bastante cerca (Fig. 1).

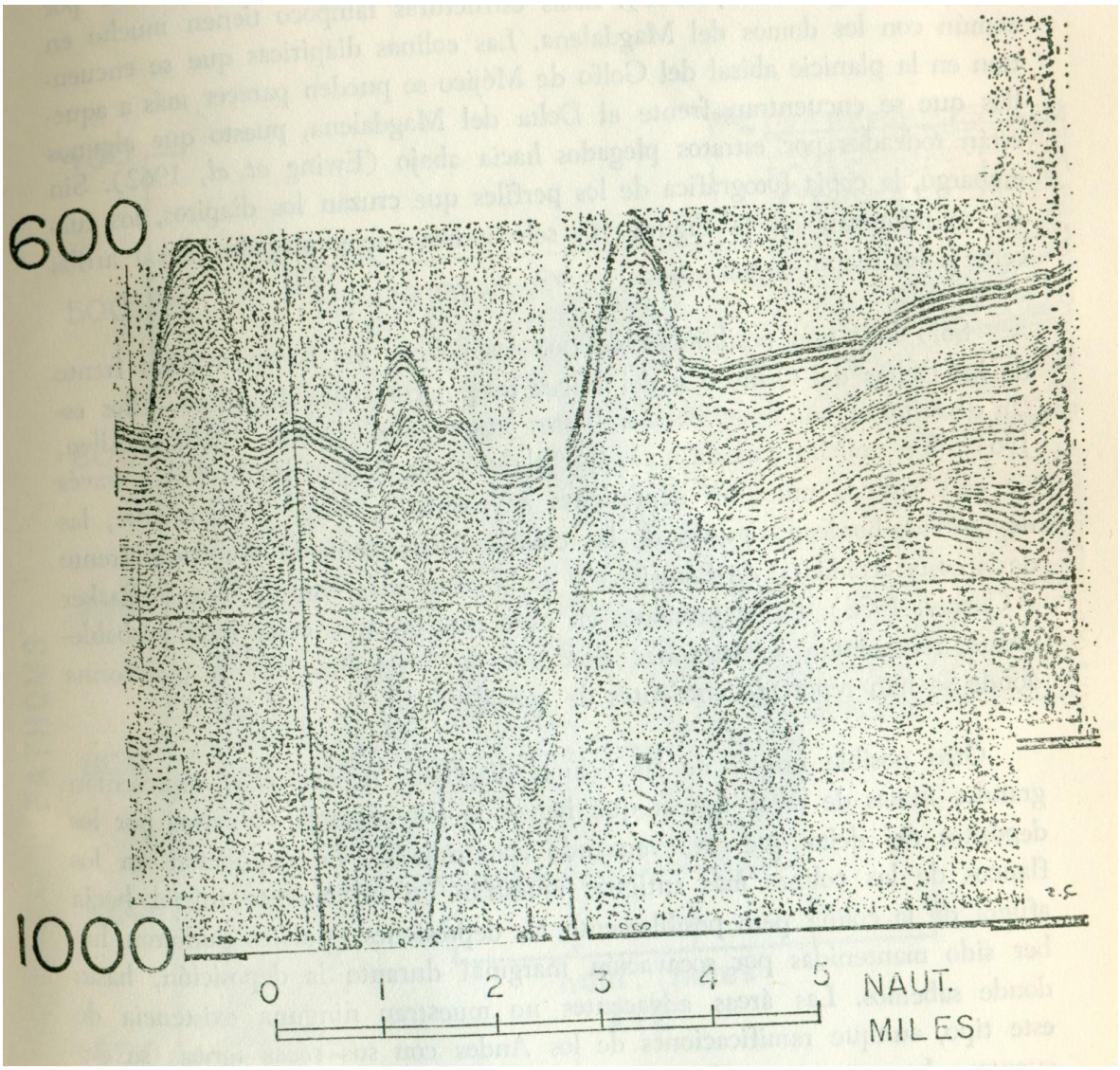

FIGURA 6. Tres perfiles de reflexión a través del domo cerca al punto Fde la figura2, nótese las depresiones y los plegamientos hacia debajo de los estratos a lo largo del margen de la instrucción diapírica. Profundidad en brazas.

Los volcanes de lodo pueden desarrollarse bajo el agua y ser tomados como diapiros. La costa norte de Sur América presenta gran cantidad de estos pequeños volcanes, no se sabe si los límites de estos volcanes de lodo estén construídos por depresiones anulares aunque sí parece ser posible. Se sabe que hay volcanes de lodo en actividad frente a la costa sur de Trinidad Chiggins y Saunders, 1967).

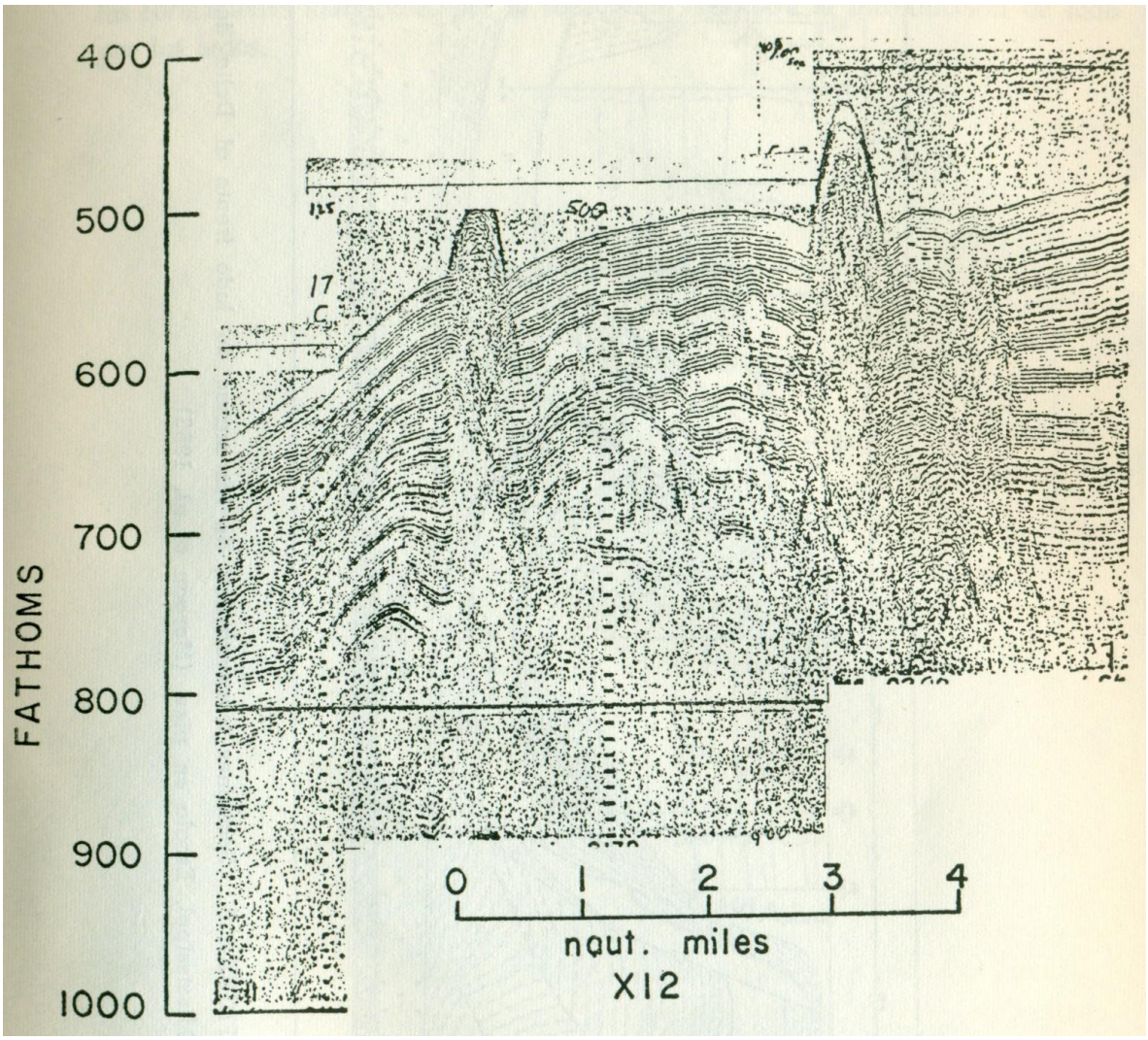

FIGURA 7. Perfil de reflexión a lo largo de la línea X-X, el cual muestra dos intrusiones deapíricas hacia el sur de la mostrada en la figura 6. Profundidad en brazas.

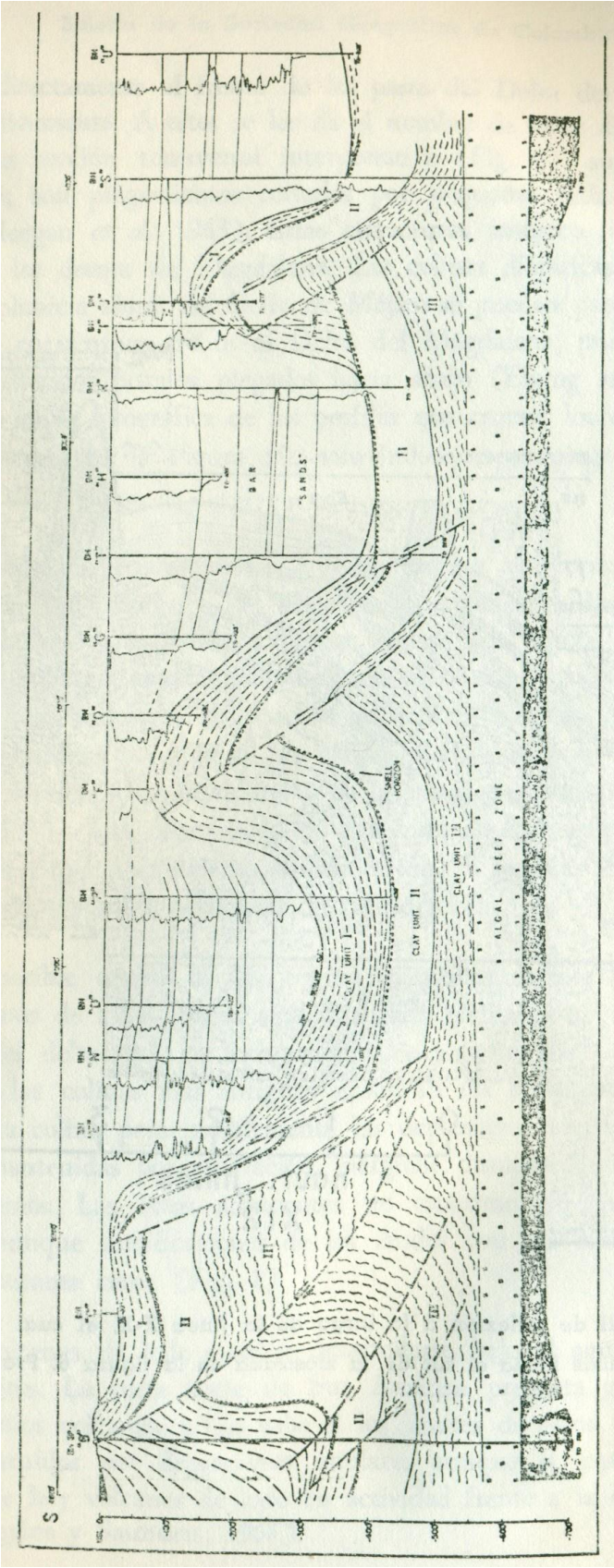

FIGURA 9. Secciones transversales, de las masas de lodo frente al Delta del Mississippi. Escala en pies. (Morgan **et al**, 1963)

Según información disponible, se puede colegir que los diapiros sobre el talud continental en aguas profundas frente al Delta de Magdalena representan algún tipo de intrusión de lodo y no de domos salinos. De estos últimos no se conocen datos relativos a la existencia a lo largo de la costa norte de Sur América.

Las intrusiones de lodo podrían explicar el plegamiento hacia abajo de las formaciones marginales por la socavación debida a la introducción de lodo por los lados.

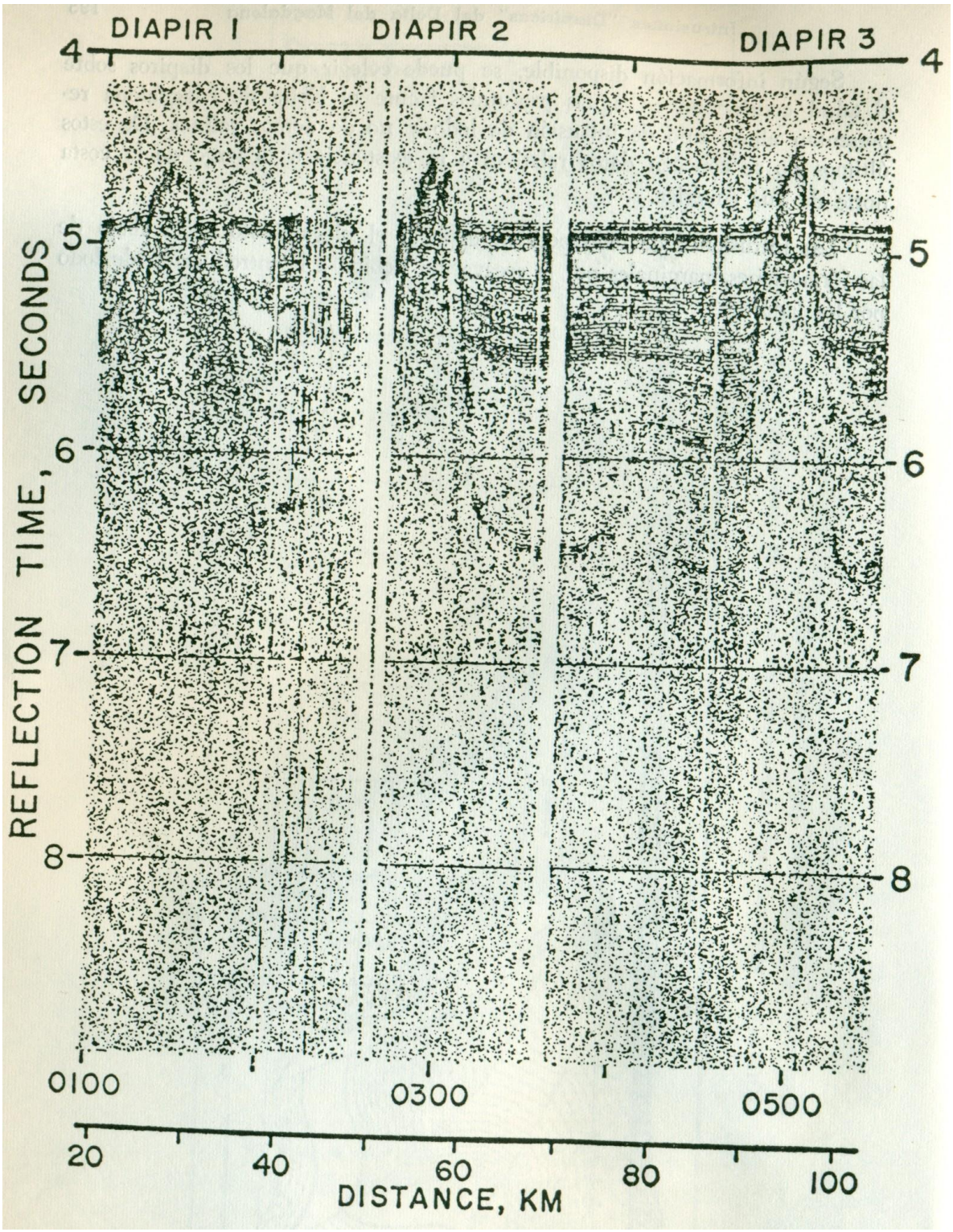

FIGURA 10. Introducciones diapíricas en el Sigsbee Deep en el Golfo de México. (Talwani y Ewing, 1966)

REFERENCIAS CITADAS

Allen, J. R. L. 1964. The Nigerian continental margin: bottom sediments, submarine morphology. and geological evolution: Mar. Geol., v. I. p. 289-332

Elmendorf. C. H., and B. C. Heezen, 1957. Oceanographic information for engineering submarine cable syslems: Bell Syslem Tech. Jour., v, 36, N° 5, p. 1047-1093 .

Ewing. J. I. J. L. Worzel. and M. Ewing, 1962, Sediments and oceanic structural history of the Gulf of Mexico: Jour. Geophys. Res., v . 67, p: 2509-2527.

Heezen, B. C., 1956, Corrientes de turbidez del Rio Magdalena: Bol. Soc. Geográfica Colombia. Bogotá. nos. 51. 52. p. 135-143.

Higgins, G. E., and L. B. Saunders, 1967, Report on 1964 Chatham Mud Island, Erin Bay. Trinidad, West Indies: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bul., v: 51, p. 55-64.

Morgan, J. P. 1952, Mudlumps at the mouths of the Mississippi River: Coastal Engr. Proc. snd Conf., p. 130-144.

Morgan, J. P., J. M. Coleman and S. M. Gagliano 1963, Mudlumps at the mouth of south pass, Mississippi River; sedimenlology, paleonlology, structure, origen and relation to deltaic processes: La state univ studies. Coastal ser; v. 10,143 pp.

Moore, David G., and Joseph R. Curray, 1963, Sedimentary Framework of continental terrace of Norfolk, Virginia, and Newport, Rhode Island: Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., v. 47, p. 2051-2054.

Murray, G. E., 1966. Salt structures of Gulf or Mexico Basin a review: Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., v. 50, p. 439-478.

Nota. D. J. G . 1958. Sediments of the western Guiana shell. Reports of the Orinoco Shelf Expedition: v. II. H. Veenman & Zonen, Wageningen, pp. 98.

Parker. R. H., and J. R. Curroy, 1956, Fauna and bathymetry of banks on continental shelf, northwest Gulf of Mexico: Bull. Amer. Assoc. Petrol: Geol., v. 40. p. 2428-2439.

Shepard, F. P., in press, Contemporary structures in rapidly prograding deltas: Proc. 7th Intl. Congr. Sedimentol.

Shepard. F. P., and R. F. Dill, 1966, Submarine Canyons and Othee Sea Valleys, Rand McNally & Co., Chicago. pp. 381.

Talwani, Manik, and Maurice Ewing, 1966. A continuous gravity profile over the Sigsbee Knolls: Jour, Geophys. Res., v. 71, p. 4434.4438: