

**APLICACION DE TECNICAS DE CORRELACION
DE ANOMALIAS GEOFISICAS AL NORESTE DE LA
PENINSULA DE YUCATAN**

T. GONZALEZ-MORAN*

V. SURO PEREZ**

(Recibido: 2 de feb., 1981)

RESUMEN

La correlación de anomalías magnéticas y gravimétricas permite reducir la ambigüedad existente en la interpretación geológica. Estas técnicas se basan en la hipótesis de que variaciones en la litología y propiedades físicas de la corteza cristalina son reflejo de la mineralogía que controla la densidad de las rocas que la forman y por otro lado del contenido de magnetita, causa primaria de las anomalías magnéticas.

En este artículo, se procesa información geofísica marina de la línea 5 y 6 del Proyecto IDOE (International Decade of Ocean Exploration), recolectada en el noreste de la Península de Yucatán en el Mar Caribe, estableciendo una comparación cuantitativa entre la primera derivada vertical de la anomalía gravimétrica y la intensidad magnética total reducida al polo.

Las anomalías, tanto gravimétricas como magnéticas, muestran un patrón paralelo a la costa. Su análisis indica la presencia de una cordillera con orientación NE-SW, resultado de un fallamiento regional que originó una fosa tectónica, cuyas crestas parciales serían la Isla Cozumel y el Banco Arrowsmith.

* Instituto de Geofísica, UNAM, México 20, D.F.

** UACP y P del CCH, UNAM, México 20, D.F.

ABSTRACT

The ambiguity in the geological interpretation of gravity and magnetic anomalies may be reduced by correlation of both signals. These techniques are based upon the assumption that the variations in lithology and physical properties of the crystalline crust are due to variations in the mineralogy of the rocks. Such variations control the density and magnetite content that cause the anomalies.

In the present paper, the results of the processing of the information from lines 5 and 6 of the Project IDOE (International Decade of Ocean Exploration) are shown. The data was collected from the north-eastern region of the Yucatan Peninsula in the Caribbean Sea. A quantitative comparison between the first vertical derivative of the gravity anomaly and the total magnetic intensity reduced to the pole by means of the Poisson Theorem is made.

Both gravity and magnetic anomalies show a pattern parallel to the coast. Furthermore, the analysis shows the presence of a ridge with orientation NE-SW. This could have been caused by regional faulting which produced a graben, whose edges are marked by the Island of Cozumel and the Arrowsmith Bank.

INTRODUCCION

Durante los años de 1970 y 1971, con la participación de la Universidad Nacional Autónoma de México y otras instituciones, se llevaron a cabo programas de investigación geofísica y geológica marina en aguas continentales del Golfo de México y del Caribe, dentro de los Proyectos CICAR (Cooperative Investigations in the Caribbean Sea and Adjacent Regions) e IDOE (International Decade of Ocean Exploration).

En este artículo, se analiza información geofísica del Proyecto IDOE al nordeste de la Península de Yucatán (Figuras 1 y 2) estableciendo una correlación entre anomalías gravimétricas y magnetométricas.

Considerando que el problema principal al aplicar los métodos geofísicos de campos potenciales es determinar la distribución del cuerpo causante de cierta anomalía, y que tales métodos presentan ambigüedad en cuanto a su interpretación, debido a que el efecto magnético o gravimétrico puede ser originado por un número infinito de cuerpos a diferentes profundidades y con formas diferentes (Skeels, 1947), surge como una necesidad real reducir esta incertidumbre mediante el análisis combinado de datos gravimétricos y magnéticos de un área.

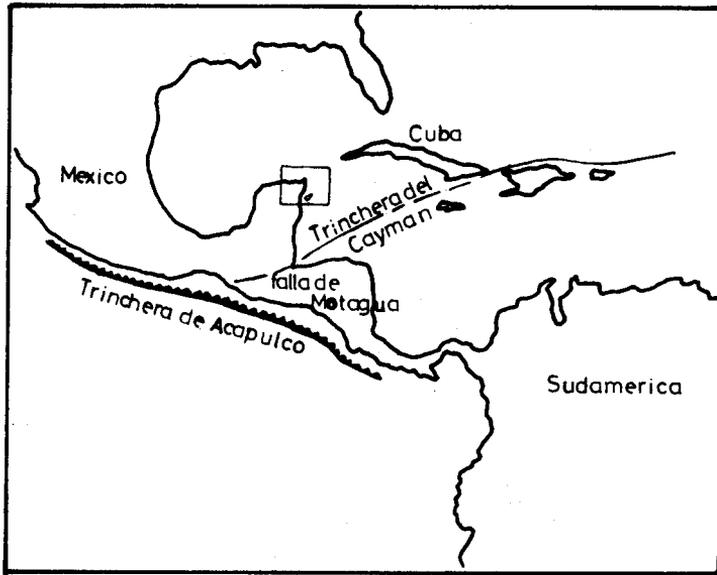


Fig. 1. Mapa tectónico de la región, mostrando el área de estudio.

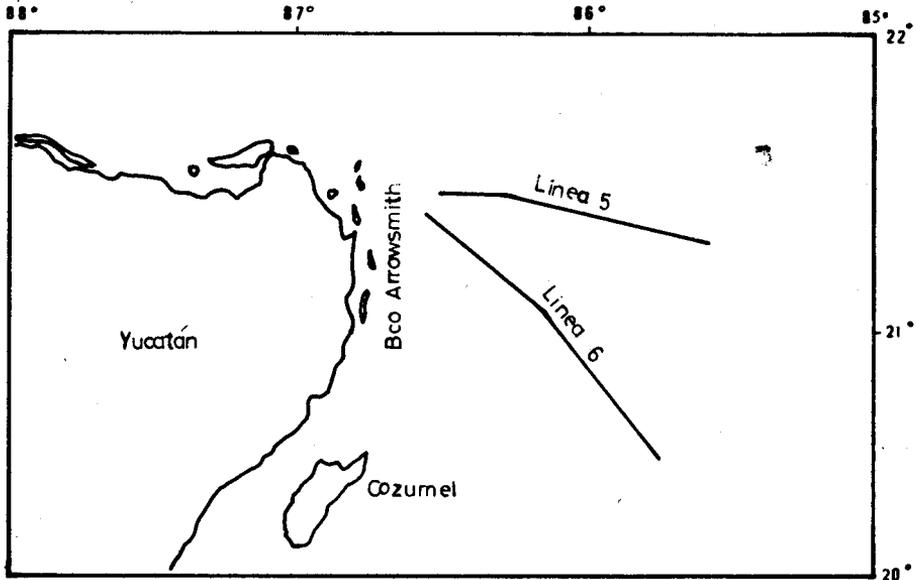


Fig. 2. Área de estudio, mostrando la ubicación de las líneas 5 y 6 del Proyecto IDOL.

Así, en prospección gravimétrica el contraste de densidad es la variable difícil de controlar y que, finalmente, es la que debe ser interpretada. De modo análogo a la densidad, la magnetización de las rocas es la variable que se desea conocer para, posteriormente, efectuar una interpretación geológica.

De ahí, la importancia de no efectuar interpretaciones aisladas, si se tiene información magnética y gravimétrica éstas pueden relacionarse reduciendo la ambigüedad existente.

La técnica de correlación de anomalías gravimétricas y magnetométricas es útil, cuando la fuente causante de la anomalía gravimétrica es la misma que origina la anomalía magnética. Esta condición llega a ser una ayuda importante en la interpretación, a pesar de la complejidad que gobierna las propiedades físicas de las rocas.

METODOLOGIA

El fundamento físico para emplear el método de las técnicas de correlación se basa en postular, que las propiedades físicas de la corteza cristalina son una consecuencia de la distribución de minerales en ella, controlando así la densidad y magnetización de la misma y estableciendo una relación entre anomalías gravimétricas causadas por un contraste de densidad, y anomalías magnéticas, originadas por un contraste de magnetización.

Esta relación es expresada a través del Teorema de Poisson relacionando los potenciales magnético y gravitacionales como sigue:

$$V = \frac{J}{\sigma G} \frac{\partial U}{\partial i} \quad (1)$$

donde V es el potencial magnético, U el potencial gravitacional, J la magnitud de la magnetización del cuerpo, i la dirección de la magnetización, σ la densidad del cuerpo y G la constante de gravitación universal, suponiendo que los contrastes de densidad y magnetización son uniformes.

Considerando una polarización magnética vertical y derivando la expresión (1) con respecto a la dirección z, se tiene:

$$T_z = \frac{J}{\sigma G} \frac{\partial g_z}{\partial z} \quad (2)$$

donde T_z el campo magnético total causado por un cuerpo con polarización magnética vertical y g_z la componente vertical de la intensidad de campo gravimétrico.

Es importante anotar que el significado físico de T_z , consiste en suponer que la intensidad de campo medido sobre un cuerpo magnético es capaz de ser transformado con la finalidad de facilitar la ubicación de éste. Esta transformación implica considerar que la inclinación del campo inductor es 90° mientras la inclinación del vector de magnetización del cuerpo también es 90° , dando como resultado una transformación de la anomalía original en otra distinta, donde ésta ya no es afectada por las inclinaciones mencionadas y muestra de manera explícita la ubicación de la fuente, como si estuviera ubicada en el polo magnético o fuera una anomalía gravimétrica, de ahí los nombres de anomalías pseudogravimétricas (Baranov, 1957) o anomalías reducidas al polo (Baranov y Naudy, 1964).

Sin embargo, para propósitos prácticos la expresión (2) se convierte en:

$$T_z = A + \frac{\Delta J}{\Delta \sigma G} \frac{\partial g_z}{\partial z} \quad (3)$$

donde ΔJ y $\Delta \sigma$ son los contrastes de magnetización y densidad, respectivamente, y A es un término que representa el nivel base constante de la anomalía.

Observando la expresión (3), inmediatamente se advierte que es la ecuación de una recta cuya variable independiente es la derivada vertical de la anomalía gravimétrica y la variable dependiente, el campo magnético de un cuerpo con polarización vertical o señal reducida al polo (Shuey, 1972).

La pendiente de esta recta es de gran importancia, puesto que es la relación existente en un cuerpo del contraste de magnetización y densidad, y, por tanto, el objetivo a conocer.

Si para anomalías gravimétricas y magnetométricas a lo largo de un perfil, son obtenidas tanto la primera derivada como la señal magnética reducida al polo, graficando estos resultados y eligiendo las variables como anteriormente se mencionó, se estará aplicando la expresión (3), y la pendiente de esta recta establecerá la relación antes mencionada.

Una vez obtenidas la primera derivada y la señal magnética reducida al polo, el procedimiento a seguir en este caso consistió en elegir una ventana de aproximadamente 10 km y graficar, de acuerdo al convenio de variables mencionado, sólo aquellos datos contenidos en la misma. De esta forma, se efectúa una regresión lineal con estos datos, obteniéndose como resultado la pendiente de la recta, el término independiente y el coeficiente de correlación, asignando estos valores a la parte central de la ventana.

Estas gráficas fueron analizadas, tomándose como criterio selectivo sólo aquélla parte de la gráfica donde el coeficiente de correlación en valor absoluto era cercano o igual a 1, ya que esto garantiza el comportamiento de los datos como una recta y satisface el teorema de Poisson (Chadler *et al.*, 1977).

EVOLUCION TECTONICA

La complejidad que presenta el Mar Caribe se contempla en la numerosa literatura escrita sobre esta región.

Existen varias hipótesis para explicar la evolución tectónica del Caribe que relatan pasadas uniones de las placas Norteamericana, Sudamericana y Africa y los movimientos de compresión, extensión y ruptura de los continentes.

Algunas de ellas establecen que esta región se formó en gran parte como consecuencia de extensión del piso oceánico durante la apertura del Océano Atlántico, por medio de la cual Norteamérica se separó de Africa y Sudamérica (Moore y Del Castillo, 1974; Freeland y Dietz, 1971).

Otros autores consideran, con diversas variaciones, que la corteza del Mar Caribe era parte de la Placa del Pacífico. Durante el tiempo que las Placas Norte y Sudamericana permanecen separadas, una zona de casi ininterrumpida corteza oceánica moviéndose del Pacífico al Atlántico, causa la línea de convergencia entre el Pacífico y las placas americanas. La corteza del Mar Caribe fue posteriormente separada de la corteza del Océano Pacífico por la formación de la parte meridional de América Central (Malfait y Dinkelman, 1972).

Recientemente, contrastando con estos modelos, Walper (1980) sostiene que con el crecimiento de una nueva corteza oceánica dentro del Caribe, también empezó la subducción bajo los márgenes divergentes de Norte y Sudamérica, produciéndose arcos volcánicos, uno de los cuales llegó a crear las Antillas Mayores.

En otro interesante artículo, Nemeč (1980) propone un modelo tectónico para la evolución del Caribe en dos fases. La primera implica la existencia de un hipotético centro de dispersión en dirección E-W a través de la parte oriental del Caribe, que estuvo activo del Jurásico Tardío al Cretácico Medio Superior. Este período de extensión N-S dió como resultado una zona de subducción a través de las Grandes Antillas, originando una fase de compresión E-W durante el Terciario. Esta última fase es aún evidente en la actualidad por los movimientos de desplazamiento de los bordes de la Placa del Caribe y la presencia de las Antillas Menores.

DISCUSION

La anomalía magnética de la línea 5 (Figura 3) del Proyecto IDOE presenta características dipolares marcadas, probablemente asociadas a estructuras regionales que presentan fuertes variaciones laterales de magnetización y/o a áreas de levantamiento y hundimiento del basamento provocados por fenómenos tectónicos en el área.

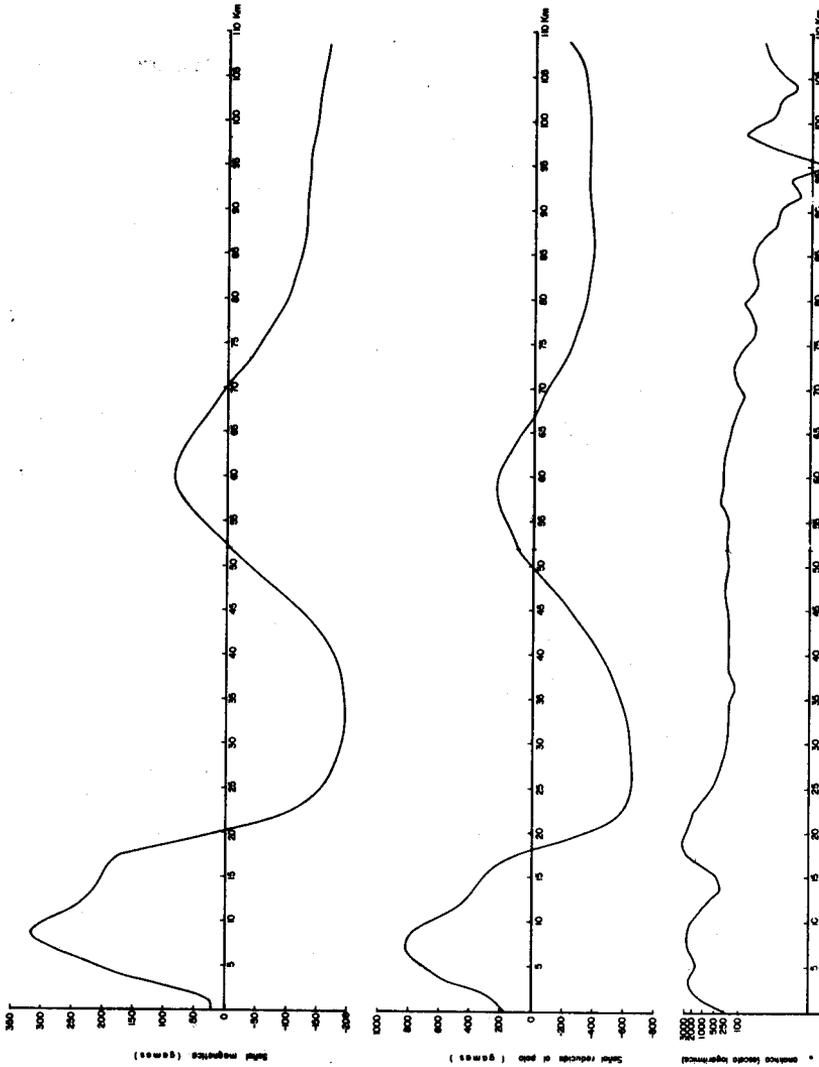


Fig. 3. Señal magnética, señal reducida al polo y señal analítica, línea 5 IDOE.

A partir de esta señal, la señal magnética reducida al polo (Figura 3) conserva las mismas características que la señal original, salvo un pequeño corrimiento hacia la costa, causado por la suposición de la polarización vertical.

El primer alto magnético representa una estructura más superficial, producida quizás por diversas estructuras a diferentes profundidades, a diferencia del segundo alto magnético que representa una estructura más profunda con relación a la primera.

La gráfica de la señal analítica (Figura 3) muestra de manera clara que el primer alto magnético es atribuible a una estructura en forma de bloque, con bordes exteriores colocados entre los 8 y 20 km y, probablemente, a no más de 3.0 km de profundidad, interpretación realizada con base en el método descrito por Nabighian (1972). La anomalía gravimétrica (Figura 4) muestra estos mismos eventos, apreciándose un bajo gravimétrico atribuible a una zona hundida, rellena de sedimentos, circundada por dos estructuras.

La coincidencia en la localización de un mínimo gravimétrico y de un alto magnético se debe, probablemente, a que mientras hacia la costa se propone la existencia de un bloque, hacia mar abierto se encuentra un grueso paquete sedimentario cubriendo un cuerpo de alta magnetización causante junto con la parte elevada de otra estructura de este alto magnético.

En conclusión, tanto las anomalías gravimétricas como las magnéticas, indican la presencia de una fosa tectónica donde se han depositado gran cantidad de sedimentos que cubren un cuerpo anómalo.

Una vez aplicadas las técnicas de correlación, se puede concluir que en el área en que existe este cuerpo anómalo, el coeficiente de correlación se acerca a uno y la relación $\frac{\Delta J}{\Delta \sigma}$ es 0.25 gamas/gr/cm³ (Figura 5).

La señal magnética de la línea 6 presenta los mismos rasgos que la línea 5 (Figura 3), salvo que el segundo alto magnético se encuentra más suavizado. En la señal magnética reducida al polo, el desplazamiento de las anomalías es mayor, suavizándose aún más el segundo alto por suponerse una polarización vertical.

En esta línea los efectos del cuerpo indicado en la línea 5 apenas son apreciables, notándose un pequeño máximo hacia el km 47 en la señal magnética (Figura 6).

La línea 6 muestra el efecto de una fosa tectónica en su totalidad, donde el mínimo gravimétrico está estrechamente relacionado con el pequeño máximo antes mencionado. La gráfica de la señal analítica (Figura 6) no es tan clara como la de

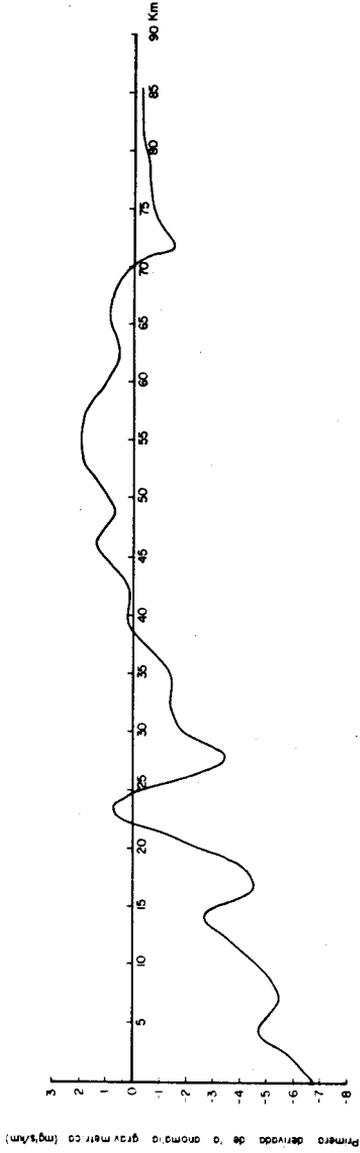
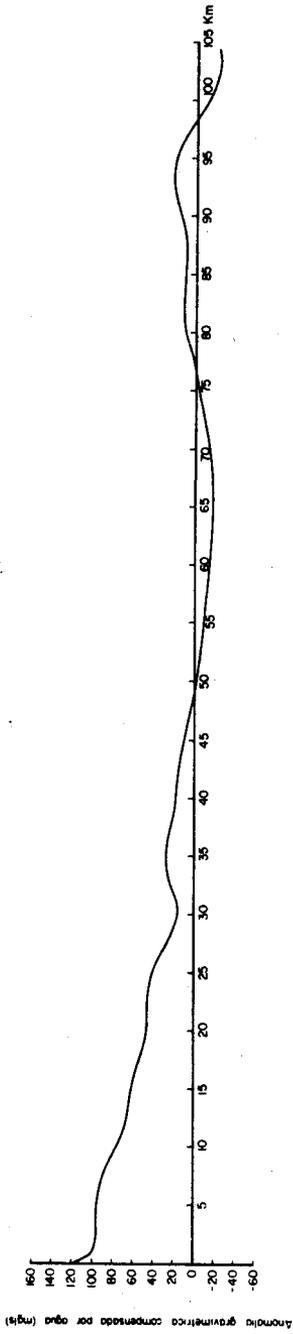


Fig. 4. Anomalía gravimétrica y primera derivada, línea 5 IDOE.

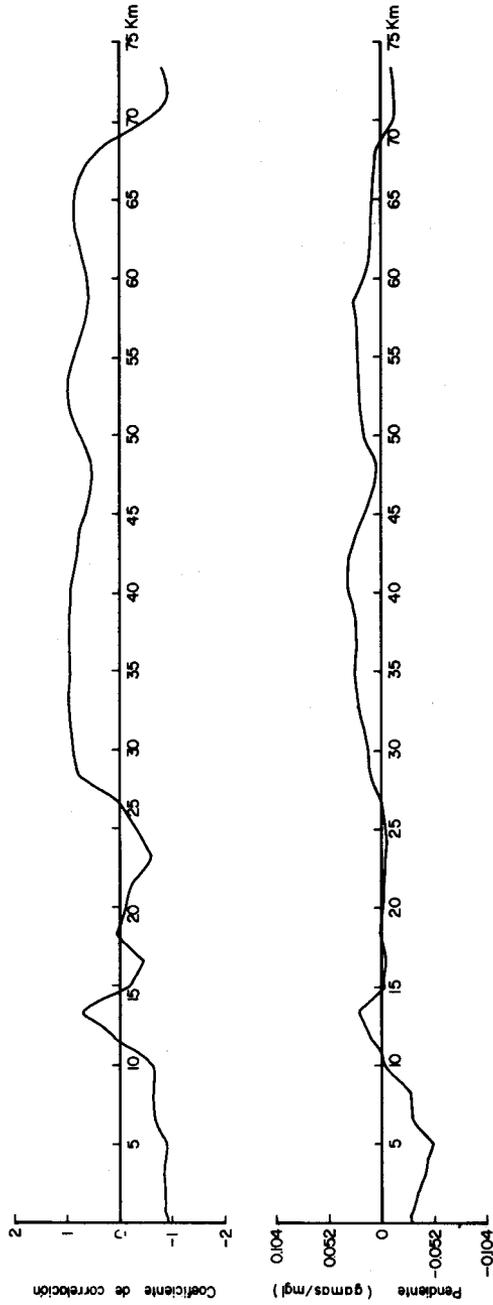


Fig. 5. Coeficiente de correlación y pendiente, línea 5 IDOE.

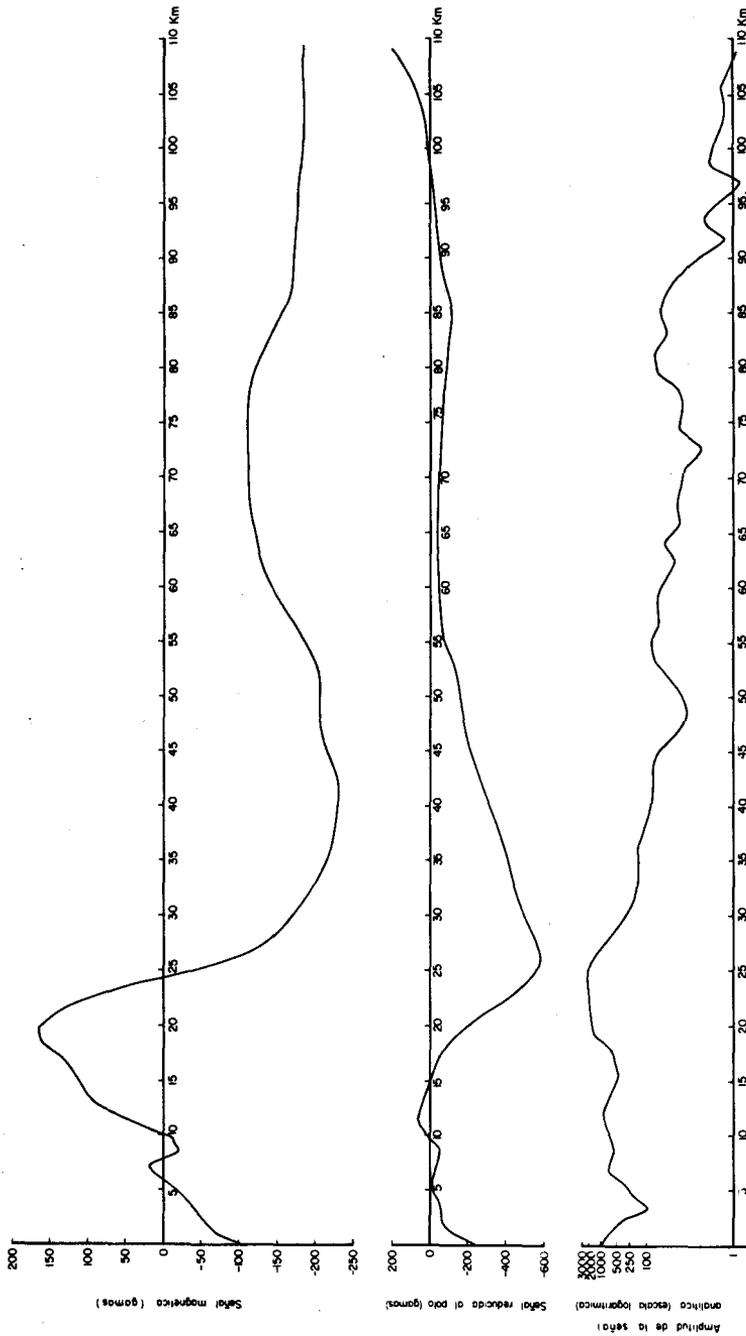


Fig. 6. Señal magnética, señal reducida al polo y señal analítica, línea 6 IDOE.

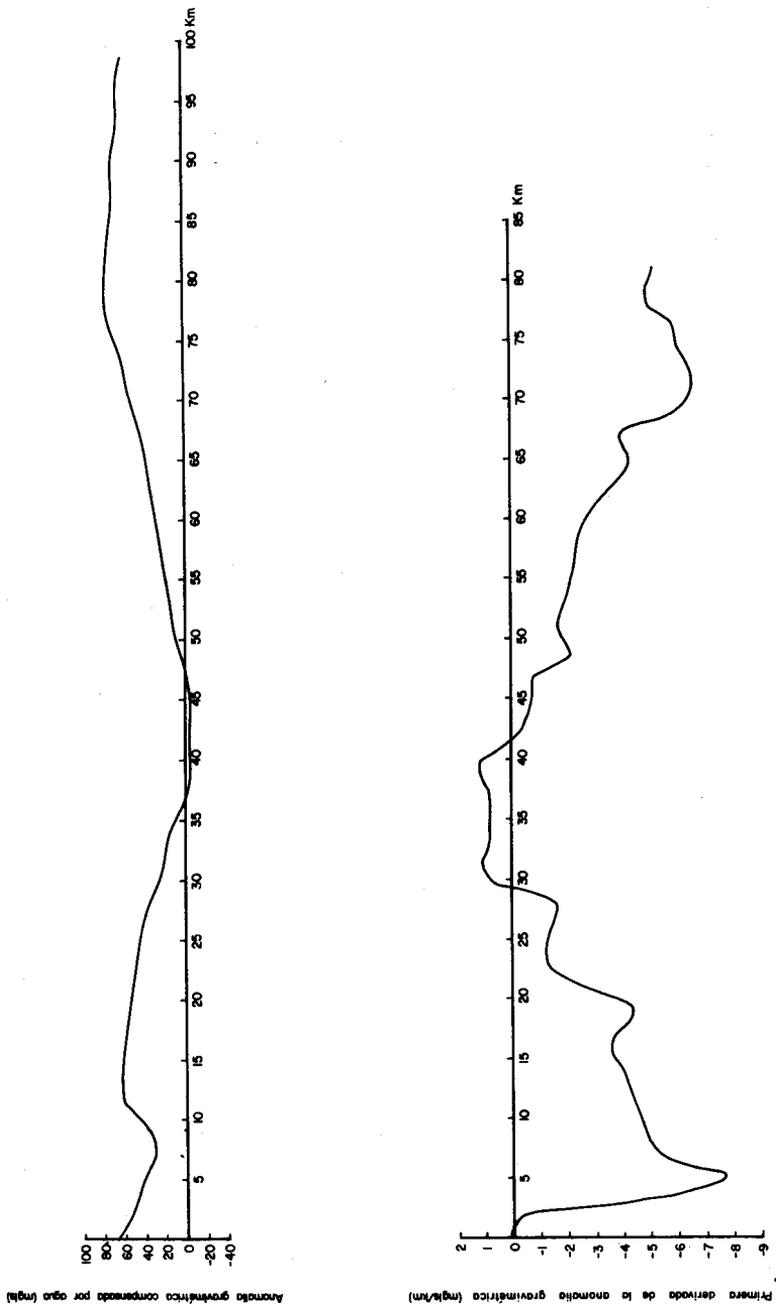


Fig. 7. Anomalia gravimétrica y primera derivada, línea 6 IDOE.

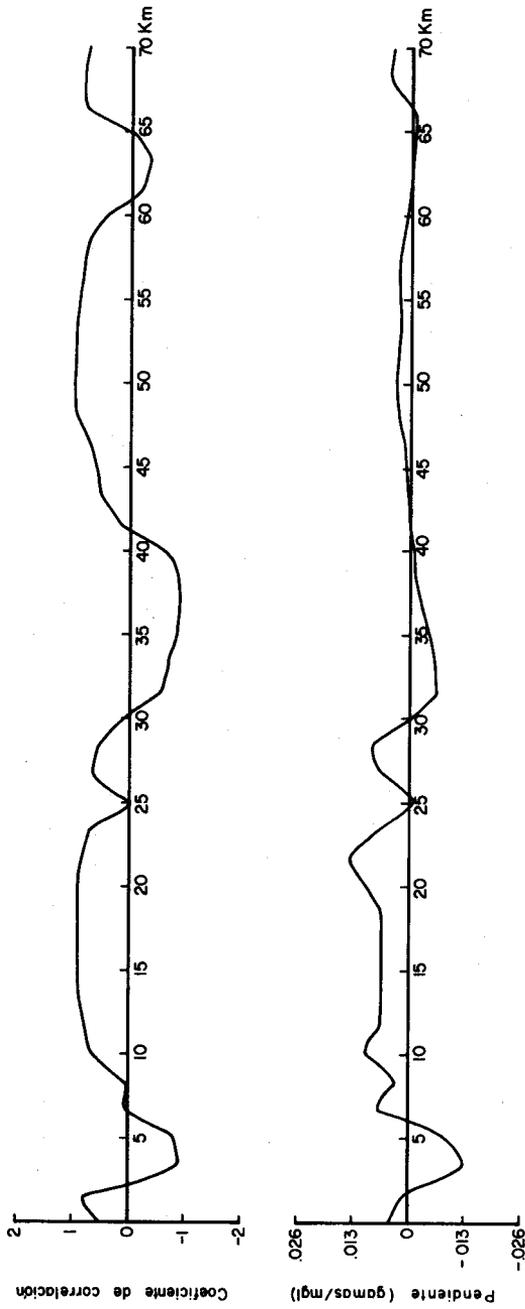


Fig. 8. Coeficiente de correlación y pendiente, línea 6 IDOE.

la línea anterior, sin embargo, indica que el primer bloque se encuentra fallado, como se puede inferir de la anomalía gravimétrica. Los bordes de este bloque se han interpretado entre el km 6 y km 25, con una profundidad mayor que en la línea 5. También, al extremo de esta anomalía se observa la presencia del segundo bloque que completaría la fosa tectónica, cuya ubicación estaría entre el km 65 y km 82, más profundo en relación al primer bloque.

La anomalía gravimétrica (Figura 7) confirma la existencia de esta fosa tectónica de forma más clara que la línea anterior. Presenta un mínimo, interpretado como la base de la fosa rodeada por las dos estructuras a profundidades diferentes.

Para el segundo bloque, el coeficiente de correlación se aproxima a uno y la relación $\frac{\Delta J}{\Delta \sigma}$ (Figura 8) tiene un valor medio aproximado de .005 gamas/gr/cm³.

Es de notar, que para rocas cristalinas los rangos de variación de densidad, en general, son del orden de 0.3 gr/cm³. Fijando la variable del contraste de densidad, el contraste de susceptibilidad magnética puede variar en forma más apreciable que la densidad, ocasionando que ΔJ en la parte inferior de la fosa sea mucho mayor que hacia sus lados, confirmando variaciones laterales de susceptibilidad. Así, conforme nos dirigimos hacia el sur, de la línea 5 a la línea 6, la magnetización de las rocas disminuye y, por tanto, las rocas del basamento se van haciendo más ácidas. Este hecho deberá verificarse con nuevas investigaciones.

CONCLUSIONES

Los eventos tectónicos que ocurren hacia la parte oriental de la Península de Yucatán, están asociados en términos generales a un patrón paralelo a la costa (Dengo y Bohnenberger, 1969), el cual ha sido confirmado al analizar las anomalías gravimétricas y magnetométricas que muestran un carácter bidimensional y semejante para ambas líneas.

La presencia de la Isla Cozumel y el Banco Arrowsmith, confirman la suposición de una estructura regional elevada, como se postula en los resultados mostrados. Este levantamiento corresponde a la existencia de una cordillera con orientación NE-SW, cuyas crestas serían la Isla Cozumel y el Banco Arrowsmith (Baie, 1970). La respuesta magnética y gravimétrica de esta cordillera, la hace aparecer como un bloque fallado limitando un hundimiento, interpretado como consecuencia del mínimo gravimétrico que aparece en ambas líneas.

El segundo bloque interpretado corresponde también a una estructura regional elevada, pero más profunda que la primera, con un origen tectónico similar.

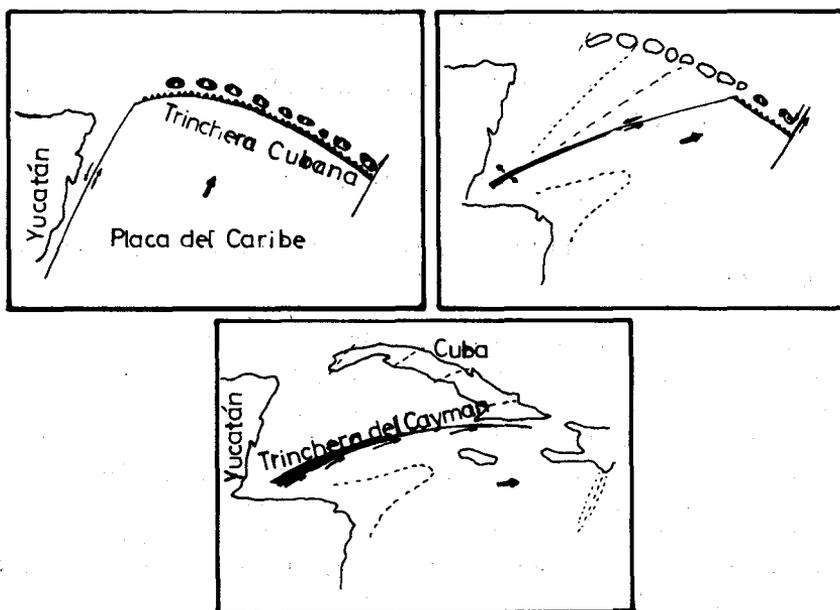


Fig. 9. Desarrollo y evolución de la Trinchera del Caymán desde el Cretácico Tardío hasta el presente (obtenido de Malfait y Dinkelman, 1972).

Estos levantamientos sugieren que su presencia es resultado de un fallamiento regional acompañado de intrusiones magmáticas, confirmado por la existencia de un cuerpo de alta magnetización bajo una cubierta de sedimentos, como se mencionó anteriormente.

En realidad, las implicaciones tectónicas de una serie de bloques fallados se reduce en determinar sus causas y probablemente una de las posibles explicaciones, esté relacionada con la migración de fallas transformantes de W a E que dieron lugar al desarrollo y evolución de la Trinchera del Caymán: el rasgo más joven de la migración de estas fallas (Malfait y Dinkelman, 1972), como se aprecia en la Figura 9. De ser así, los levantamientos interpretados corresponden a remanentes de antiguas fallas transformantes.

La interpretación detallada de otras líneas del proyecto IDOE hacia el sur, proporcionarán más información para ampliar los resultados aquí presentados.

AGRADECIMIENTOS

Se agradecen los valiosos comentarios y sugerencias de Servando De la Cruz, durante la preparación de este artículo.

BIBLIOGRAFIA

- BAIE, L., 1970. Possible structural link between Yucatan and Cuba: *Am. Assoc. Petroleum Geologist Bull.*, v. 54, pp. 2204-2207.
- BARANOV, V., 1957. A new method for interpretation of aeromagnetic maps; pseudogravimetric anomalies: *Geophysics*, v. 22, pp. 359-383.
- BARANOV, V., y H. NAUDY, 1964. Numerical calculation of the formula of reduction to the magnetic pole: *Geophysics*, v. 29, pp. 67-79.
- CHADLER, V. W., J. S. KOSKI, L. W. BRAILE and W. J. HINZE, 1977. Utility of correlation techniques in gravity and magnetic interpretation: *Goddard Space Flight Center. Final Report of NASA Contract No. NAS5-22816*.
- DENGO, G. y O. BOHNENBERGER, 1969. Structural development of northern Central America and western Caribbean: *Am. Assoc. Petroleum Geologists, Mem. 11*, pp. 203-220.
- FREELAND, G. L. y R. S. DIETZ, 1971. Plate tectonic evolution of Caribbean Gulf of Mexico region: *Nature*, v. 232, pp. 20-23.
- MALFAIT, B. T. y M. DINKELMAN, 1972. Circum-Caribbean tectonic and igneous activity and the evolution of Caribbean Plate: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 83, pp. 251-272.
- MOORE, W. G. y L. DEL CASTILLO, 1974. Tectonic evolution of the southern of the Gulf of Mexico: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 85, pp. 607-618.
- NABIGHIAN, M. N., 1972. The analytical signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section; its properties and use for automatic anomaly interpretation: *Geophysics*, v. 37, pp. 507-517.
- NEMEC, C. M., 1980. A two-phase model for the tectonic evolution of the Caribbean: 9a. Conf. Geol. del Caribe. República Dominicana. Abstract pp. 54.
- SHUEY, R. T., 1972. Application of Hilbert transform to magnetic profiles: *Geophysics*, v. 37, pp. 1043-1045.
- SKEELS, D. C., 1947. Ambiguity in gravity interpretations: *Geophysics*, v. 12, pp. 43-56.
- WALPER, L. J., 1980. Geological evolution of the Greater Antilles, 9a. Conf. Geol. del Caribe. República Dominicana. Abstract. pp. 77.