

INTEGRACIÓN DE METODOS GRAVIMÉTRICOS Y MAGNÉTICOS EN LA IDENTIFICACION DE FALLAS AL SURESTE DEL GRABEN DE ESPINO.

Noel A, Crasto Y¹

¹ *Departamento de Geofísica, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela (noelcrasto8@gmail.com)*

[*noelcrasto8@gmail.com](mailto:noelcrasto8@gmail.com)

RESUMEN

Se realizó un estudio gravimétrico y magnético con datos terrestres en una zona de la Faja Petrolífera del Orinoco, al sureste del estado Guárico, la finalidad del mismo consistió en identificar la estructuras relacionadas al Graben de Espino en su extremo sureste. El cálculo de la anomalía de Bouguer fue realizado bajo reducciones de segundo orden y la anomalía magnética según el modelo IGRF del año 2005. La orientación del graben pudo ser identificada tanto en el mapa residual de la anomalía de Bouguer, cómo en la derivada horizontal total, además las soluciones de Euler de la anomalía de Bouguer permitieron delimitar las zonas correspondientes a las fallas más representativas de la zona, del mismo modo, la señal analítica de la anomalía magnética facilitó resaltar el alto estructural Iguana. Finalmente se interpretó la presencia de posibles “fallas de relevo” que poseen características de un arrastre inverso, posiblemente asociado a un rebote elástico durante su proceso de formación, asimismo se recomienda integrar este estudio con información sísmica y petrofísica para definir la posible presencia de hidrocarburos atrapados en las estructuras identificadas.

Palabras Clave: Graben de Espino, Anomalía de Bouguer, Anomalía magnética, Fallas de relevo, rebote elástico.

ABSTRACT

A gravimetric and magnetic study was carried out with terrestrial data in an area of the Orinoco Oil Belt, southeast of the Guárico state. The objective of this work was identify the structures related to the Espino Graben in its southeast side. The calculation of the Bouguer anomaly was carried out using second order reductions and the magnetic anomaly according to the IGRF model of the year 2005. The orientation of the graben could be identified in the residual map of the Bouguer anomaly and in the total horizontal derivative, In addition, the Euler solutions of the Bouguer anomaly allowed to delimit the zones corresponding to the most representative faults of the zone, in the same way, the analytical signal of the magnetic anomaly facilitated identify a positive structure called Iguana. Finally, it was interpreted the presence of possible "relay faults" that have the characteristics of an inverse drag, possibly associated with an elastic rebound during its formation process. It is also recommended to integrate this study with seismic and petrophysical information to define the possible presence of hydrocarbons trapped in the structures identified.

Palabras Clave: Espino Graben, Bouguer anomaly, Magnetic anomaly, Relay Faults, elastic rebound.

INTRODUCCIÓN

Un graben se refiere a un bloque deprimido limitado por fallas normales que define generalmente un valle alargado [20] así pues, el gran potencial petrolero que poseen estas estructuras alrededor del mundo [14] ha contribuido a incrementar el interés en este tipo de cuencas. En el caso de Venezuela se tiene un importante graben, producto de un aulacógeno con origen en la apertura del Océano Atlántico, conocido como el Graben de Espino, este graben ha sido estudiado a partir de la segunda mitad del siglo XX [2,3] con la intención de conocer su geometría y espesor sedimentario, asimismo la ubicación de campos petroleros cerca de sus fallas principales, y las altas concentraciones del biomarcador geoquímico diamondoide han hecho sospechar la presencia de un sistema petrolífero en el área [19].

Salazar (2006) plantea que el Graben de Espino representa un “rift” medianamente asimétrico, con presencia de altos intracuencas que pueden indicar la presencia de trampas de origen Jurásico, sin embargo este estudio no abarcó el sur del estado Guárico, en donde se conoce que posee un importante potencial gasífero, por lo tanto el presente estudio posee como objetivo identificar las estructuras geológicas relacionadas al Graben de Espino en una zona ubicada al sureste del estado Guárico a partir de métodos potenciales (Gravimétricos y Magnéticos), lo que permitirá plantear un modelo geológico del subsuelo que represente las estructuras más importantes de la zona.

METODOLOGÍA

El procesamiento de los datos gravimétricos se basó primeramente en el cálculo de correcciones de aire libre y Bouguer de segundo orden a partir de las ecuaciones propuestas por LaFehr (1991), del mismo modo, se calculó el valor teórico de la gravedad según Hinze et al. (2005). La anomalía de Bouguer se obtuvo, considerando un nivel de referencia de 53,34 msnm y una densidad de 2,3 g/cm³.

La separación regional y residual de la anomalía de Bouguer se realizó mediante un filtro Butterworth de orden 30 con un número de onda de 0,186 Radianes/km para el mapa regional y 0,06 Radianes/km para el mapa residual. Además se obtuvieron las derivadas en la dirección x e y, suavizadas a partir de una continuación analítica de 200 m hacia arriba, para finalmente calcular la derivada horizontal total (DHT) mediante la ecuación [1]:

$$DHT = \sqrt{\left(\frac{dG}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dG}{dy}\right)^2} \quad (1)$$

Donde G es el campo potencial gravitatorio.

De igual manera se utilizó un filtro Butterworth para la separación regional y residual de la anomalía magnética, siendo este de orden 30 y número de onda 0,12 radianes/km. Del mismo modo se realizó la reducción al Ecuador con su respectiva separación regional y residual mediante un filtro Butterworth utilizando los mismos parámetros mencionados para la anomalía magnética;

asimismo se utilizó el método de la señal analítica propuesto por Nabighian (1972) basado en la ecuación:

$$SA = \sqrt{\left(\frac{dT}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dT}{dy}\right)^2 + \left(\frac{dT}{dz}\right)^2} \quad (2)$$

Donde T es el campo magnético.

Posteriormente se aplicó la deconvolución de Euler a través del programa Oasis Montaj [4], en donde se utilizó una ventana de 5 y un índice estructural de 0 para la anomalía de Bouguer, mientras que para la anomalía magnética se utilizó una ventana de 3 y un índice estructural de 1. Este índice estructural corresponde a fallas, según Reid (2003).

Finalmente se elaboró un modelo geológico del subsuelo, integrando la información gravimétrica y magnética de los mapas de anomalías residuales, llevado a cabo con el módulo GM-SYS [4], partiendo de la profundidad de basamento establecida por Rodríguez (1978), y los espesores sedimentarios obtenidos de los pozos Iguana-1 y 2, y NZZ-45 [3].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mapa residual de la anomalía de Bouguer presenta valores entre -2 mGal y 4.4 mGal, con una orientación aproximada de los contornos N55°E, en donde los valores más reducidos se ubican en la región central del área de estudio, manteniendo la orientación mencionada, dando lugar al incremento en los valores de anomalías hacia los extremos noroeste y sureste, de tal manera que mediante una visualización tridimensional de esta superficie (ver Figura 1.a) se puede observar una depresión en la orientación del Graben de Espino.

La derivada horizontal total de la anomalía de Bouguer (ver Figura 1.b) mantiene una orientación de N55°E en la mayoría de sus contornos, siendo la zona central la de mayor expresión, en donde además se ubican los valores más bajos, asimismo, se resalta la presencia del máximo observado en el mapa residual.

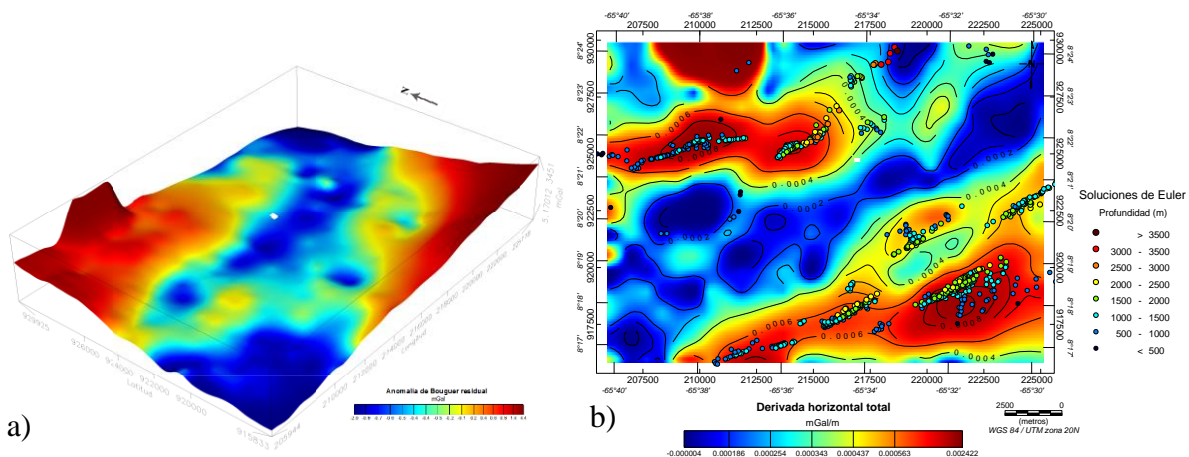


Figura 1. a) Representación 3D de la anomalía de Bouguer residual. b) Derivada horizontal total

Las soluciones de Euler se alinean en una dirección similar a la de los contornos, de igual manera estas se ubican en su mayoría sobre los contornos de valores más elevados, en donde alcanzan profundidades máximas de 3500 m.

La ubicación tridimensional de las soluciones de Euler (ver Figura 2), indica fuentes de anomalías desde 500 m hasta 3500 m, las cuales se relacionan directamente con la presencia de fallas, considerando el índice estructural utilizado para su cálculo. Las soluciones adquieren una geometría regular, delimitando planos de fallas, a medida que se profundiza la fuente, estas se encuentran ubicadas en su totalidad a los extremos noroeste y sureste, zona donde predominan los valores más elevados de anomalías y los mayores gradientes en los mapas residuales.

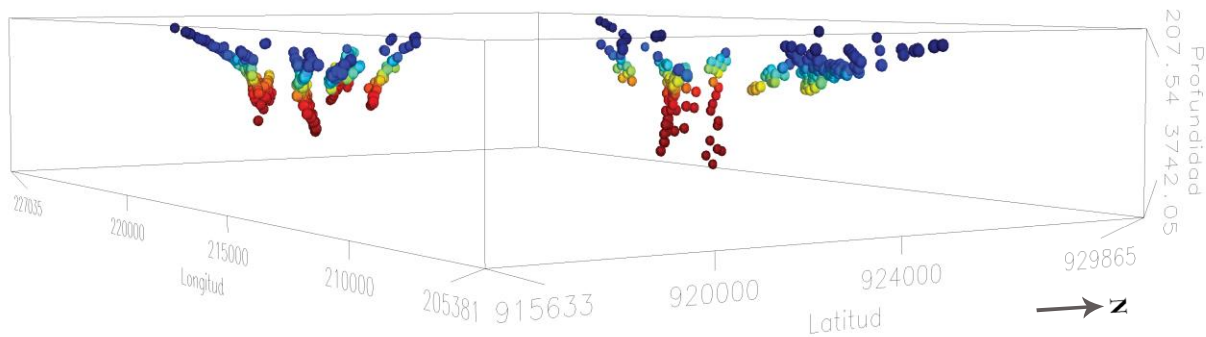


Figura 2. Representación 3D de las soluciones de Euler de la anomalía de Bouguer.

El mapa de anomalía magnética residual reducido al Ecuador (ver Figura 3.a) indica mayores variaciones en cuanto a los valores de anomalías, cuyos contornos poseen una orientación semejante a los mapas de anomalías de Bouguer, los valores mínimos ubicados al sureste y máximos al noroeste responden al comportamiento regional de la anomalía magnética, lo cual se asocia a un mayor contraste de susceptibilidades magnéticas hacia el sur.

El mapa de la señal analítica (ver Figura 3.b) presenta los valores más altos en la zona sur, respondiendo a la presencia de cuerpos de mayor susceptibilidad en dicha zona, estos valores poseen una tendencia a disminuir hacia el norte, con pequeños contornos orientados en distintas direcciones, sin embargo manteniendo un comportamiento general hacia el N-E. Es relevante el contorno de 0,004 nT/m ubicado al noroeste, ya que coincide con el máximo absoluto del mapa residual de la anomalía de Bouguer y la derivada horizontal total.

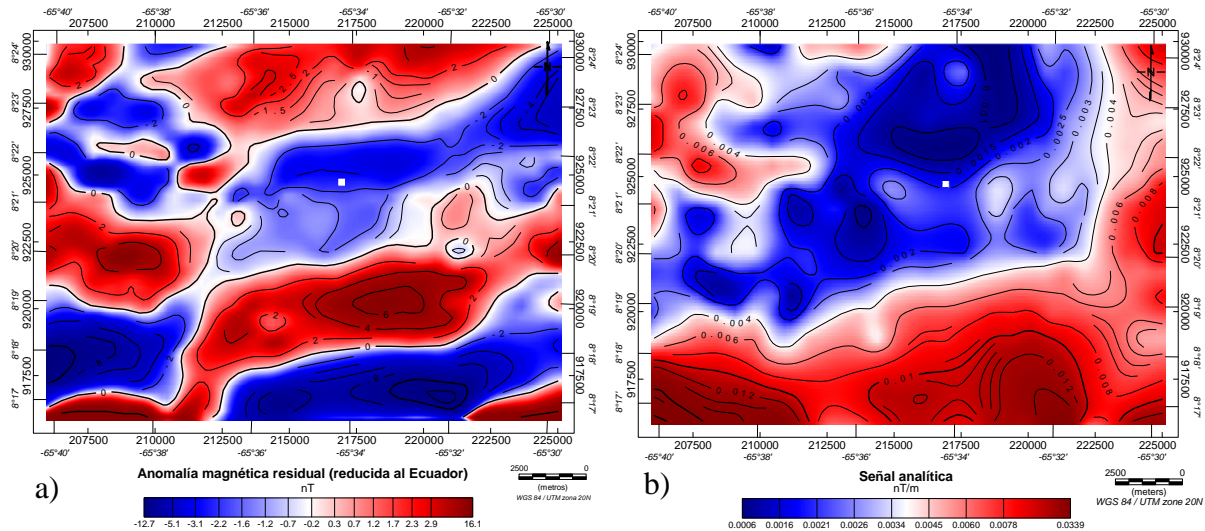
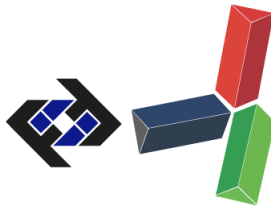


Figura 3. a) Anomalia magnética residual reducida al Ecuador. b) Señal analítica.

El modelo gravimétrico-magnético del perfil A-A' (ver Figura 4), de rumbo N45°E, comprende una extensión de 20 km, en donde se plantea la presencia de tres fallas normales que alcanzan la profundidad del basamento, al cual suprayacen cuatro capa de sedimentos de distintos periodos geológicos; dos de las fallas ubicadas hacia el sureste delimitan a un bloque deprimido de aproximadamente 3 km, y un salto de falla entre 57 m y 100 m, del mismo modo, la falla ubicada hacia el noroeste posee un salto de falla de aproximadamente 300 m, permitiendo un mayor hundimiento del bloque ubicado al sureste. Los kilómetros finales se encuentran caracterizados por un descenso en la profundidad del basamento, así como una reducción de los espesores sedimentarios correspondientes a la era paleozoica y el período cretácico.

Las densidad utilizada para el basamento Pre-cámbrico fue de 2,7 g/cm³, mientras que para los sedimentos del Paleozoico Superior fue entre 2,64 g/cm³ y 2,56 g/cm³, en el caso de la capa del Cretácico, se usaron densidades entre 2,52 g/cm³ y 2,45 g/cm³, 2,3 g/cm³ para el Paleógeno y 2,2 para el Neógeno; en cuanto a las susceptibilidades magnéticas, se utilizó un rango entre 0,0001 y 0,0009 (cgs) para el bloque del basamento. El error de ajuste de la anomalía magnética fue de 5% y para la anomalía de Bouguer fue de 2%.

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

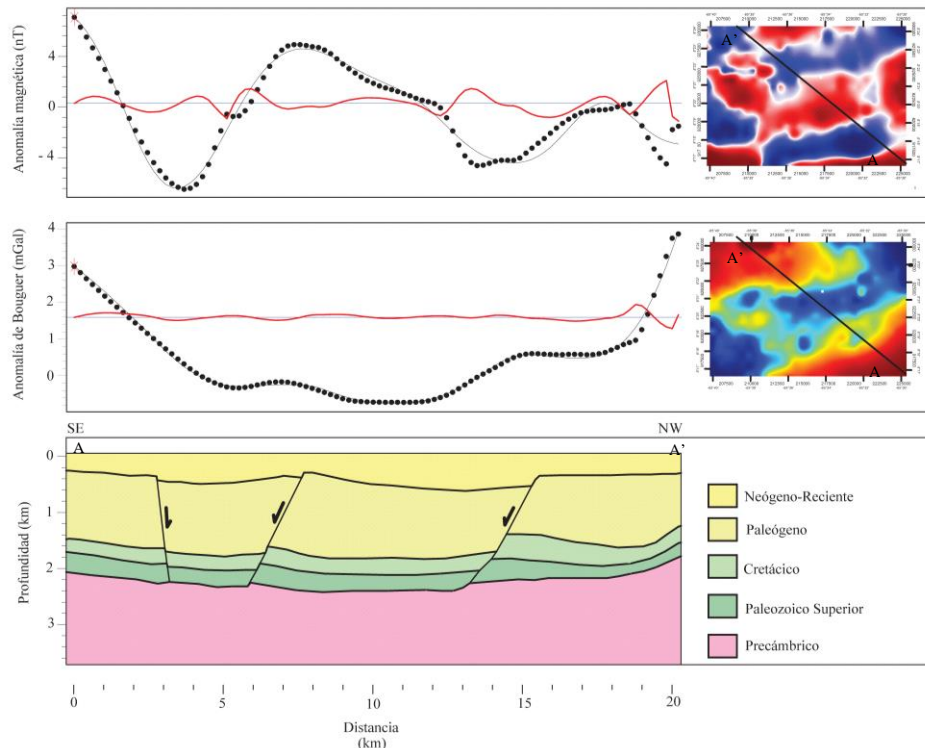


Figura 4. Modelo gravimétrico-magnético del perfil A-A’.

En líneas generales, se puede mencionar que el caso de la anomalía residual, se presentan zonas de alto gradiente y contraste de densidad, adyacentes a los contornos que correspondientes a los valores de anomalías más bajos, lo que se considera como una respuesta típica asociada a la profundización de la fuente de la anomalía, que para efectos del presente estudio corresponde principalmente, a el basamento cristalino; del mismo modo, la respuesta magnética también se asocia a un basamento más profundo en la zona central, tal y como lo indican las figuras 3a y 3b. Más aún, se pudo observar un importante máximo a noroeste del mapa de la anomalía de Bouguer residual, con un elevado gradiente, el cual se asocia a un alto de basamento, identificado por el pozo exploratorio NZZ-45 [3] ubicado a 2 km al norte de la zona de estudio, e indicado en los mapas de basamento elaborados por Gutiérrez et al (1977) y Rodríguez (1978), en donde se refieren al mismo como Alto Iguana, dicha estructura también es identificada mediante la derivada horizontal total y la señal analítica, no obstante, cabe señalar que el mapa de la señal analítica muestra una respuesta significativa asociada al alto de basamento, que no coincide con la respuesta de los mapas filtrados de la anomalía de Bouguer, lo que podría indicar que la ubicación en el subsuelo de esta estructura no coincide con la respuesta observada en las figuras 1a y 1b.

Las soluciones de Euler indican claramente la presencia de fallas en la zona de estudio, las cuales son de tipo normal respondiendo a los eventos y cambios geológicos y estructurales que originaron el Graben de Espino; la falla de mayor importancia ubicada cerca del área de estudio es, la falla de Altamira, esta falla alcanza a generar ruptura en el basamento [2] y es parte de una sistema de fallas “en echelon”, por lo que se puede considerar que las fallas identificadas podrían corresponder a

este sistema, siendo de así, denominadas como “fallas de relevo” cumpliendo con los modelos estructurales propuestos por Rosendahl (1987) y Morley et al. (1990), estas fallas podrían relacionarse a los distintos eventos tectónicos que reactivaron el sistema en distintas ocasiones [15], sin embargo la ausencia de suficiente información sísmica impide realizar una mejor interpretación de las mismas.

El modelo gravimétrico-magnético A-A' plantea la presencia de tres fallas interpretadas a partir de las soluciones de Euler de la anomalía de Bouguer, estas llegan a alcanzar el basamento y desplazar los bloques correspondientes al Paleozoico, Cretácico, y Paleógeno, respondiendo a distintos eventos de reactivación tectónica, coincidiendo con el planteamiento de Salazar (2006). Los espesores de los sedimentos que suprayacen al basamento se ajustan a los planteados por Rodríguez (1978) según la información de registros eléctricos de los pozos Iguana-1 e Iguana-2, además, cabe señalar que estos no son constantes a lo largo del perfil, ya que corresponden a un acuñaamiento de las capas hacia el sur, debido a la cercanía con el Escudo de Guayana, y al norte, causado por la presencia del alto de basamento.

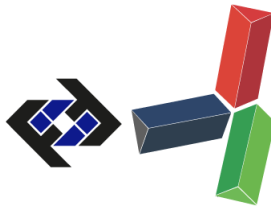
La forma ascendente de las capas correspondientes al Paleozoico superior y Cretácico, en las fallas ubicadas a 6 km y 15 km del extremo A, se asocian a una respuesta geológica conocida como falla de arrastre, este proceso es descrito por Kearey (1993) como la deflexión de los marcadores curvos adyacente a una falla, en el caso de las fallas normales del modelo planetado, ocurre un arrastre inverso, el cual consiste en capas dobladas con contactos curvos cóncavos en la dirección del movimiento del bloque [7], en este sentido Grasemann et al (2005) plantea el rebote elástico, como una posible causa de este proceso, el cual, además actúa como un factor importante en el arrastre inverso de estas fallas. En el mismo orden de ideas Hamblin (1965) sugiere que este modelo de fallas normales puede resultar en la formación de anticlinales Rollover, dichas estructuras son de gran interés para los geólogos petroleros debido al potencial de un anticlinal para crear una trampa de hidrocarburos [21].

CONCLUSIONES

En conclusión, se pudo evidenciar la presencia de posibles fallas de relevo, orientadas en la dirección del Graben de Espino y cuya profundidad alcanza el basamento. Además la anomalía de Bouguer residual y la señal analítica permitieron identificar un alto de basamento, el cual ha sido mencionado por distintos autores como Alto Iguana. De igual manera, las fallas identificadas se plantean como “fallas de relevo”, asimismo, la geometría de las capas planteadas en el modelo gravimétrico-magnético, está relacionado, con el rebote elástico, proceso que esta relacionado con fallas de arrastre inverso, y finalmente se considera que la integración del presente estudio con información sísmica y petrofísica podría ayudar a precisar el potencial de las estructuras identificadas para la favorecer la presencia de hidrocarburos.

REFERENCIAS

- [1] Cooper, G.R.J. y D.R. Cowan. (2008). Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics. *Geophysics* 73(3):H1-H4.
- [2] Choppin H., Gonzalez A., Rodriuez, H., Roux, E. y Uzcategui M. (1989). Síntesis estratigráfica



- y tectónica de Anzoátegui y Guarico Este (SETAGE). Tomo II. Geofísica. Informe interno Corpoven.
- [3] Feo-Codecido, G., Smith, F., Aboud, N y Di Giacomo, E. (1984) Basement and Paleozoic rocks of the Venezuelan Llanos Basin. Geological Society of America. 162 pp.
 - [4] Geosoft Inc, 2007. Oasis Montaj [on-line] available at: <http://www.geosoft.com/products/oasis-montaj>.
 - [5] González de Juana, C., Arozena, J. y Picard X. (1980) Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Caracas: Ediciones Foninves, 1030 pp.
 - [6] Grasemann, B., Stuwe, K., Vannay, J.-C. (2005). Reverse and normal drag along a fault. *Journal of Structural Geology* 25, 19–34 pp.
 - [7] Hamblin, W.K. (1965). Origin of ‘reverse drag’ on the down-thrown side of normal faults. *Geological Society of America Bulletin* 76, 1145–1164 pp.
 - [8] Hinze, W. J., Aiken, C., Brozena, J., Coakley, B., Dater, D., Flanagan, G., Winéster, D. (2005). New standards for reducing gravity data: The North American gravity database. *Geophysics*, 70(4), J25-J32.
 - [9] Kearey, P. (1993). *The Encyclopedia of the Solid Earth Sciences*. Blackwell Science, Oxford.
 - [10] Meneven 1983, Company Reports for CORPOVEN: Aeromagnetic Survey 1981–1982, Contract CAR– 62. Ottawa– Canadá: GEOTERREX LTD, 120 p.
 - [11] LaFehr T (1991). An exact solution for the gravity curvature (Bullard B) correction. *Geophysics* 56: 1179-1184 pp.
 - [12] Morley, C., Nelson, R., Patton, T. y Munn, S. (1990) Transfer Zones in the East African Rift System and their Relevance to Hydrocarbon Exploration in Rifts. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 74, N° 8, 1234 pp.
 - [13] Nabighian, M. N. (1972) The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation: *Geophysics*, 37, 507-517 pp.
 - [14] North, F., 1985, *Petroleum geology*. Boston: Unwin Hyman Inc., 631 pp.
 - [15] Portilla, A. (1993) Interpretación Sísmica del Área de Machete, Faja Petrolífera, Estado Guárico. Tesis de Convalidación. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 70 pp.
 - [16] Rodríguez, I. (1978). Proyecto Investigación de la Faja Petrolífera del Orinoco por Métodos Geofísicos no Convencionales. Instituto Tecnológico FONINVES. Caracas.
 - [17] Reid, A.B., 2003. Short note: Euler magnetic structural index of a thin bed fault. *Geophysics*, Published electronically, May 2003.
 - [18] Rosendahl, B. (1987) Architecture of continental rifts with special reference to East Africa. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, V. 86. 961 pp.
 - [19] Salazar, B.A. (2006). Evolución estructural e implicaciones tectónicas del graben de Espino. Tesis de maestría, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela. 197 pp.
 - [20] Tarbuck, E., Lutgens, F y Tasa, D. (2005) *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física*. Pearson Educación S.A., Madrid. España.
 - [21] Tearpock, D.J., Bischke, R.E. (2003). *Applied Subsurface Geological Mapping*. Prentice Hall, New Jersey.