

# Inversión Gravimétrica 3D de la Subcuenca de Maturín

W. J. GONCALVES, M.I. JÁCOME & C. IZARRA

*Departamento de Ciencias de la Tierra, Edificio de Física y Electrónica II, Universidad Simón Bolívar, Valle de Sartenejas, Baruta, Caracas, Venezuela, CP 89000, [willygeofisico@hotmail.com](mailto:willygeofisico@hotmail.com) / [willyjorge@latinmail.com](mailto:willyjorge@latinmail.com)*

## RESUMEN

La inversión gravimétrica 3D de la Subcuenca de Maturín se realizó para obtener un modelo cortical que refleje la variación regional de la profundidad de Moho y de los sedimentos en la cuenca. Para esto, se realizó un mapa gravimétrico y topográfico del área, y se dispuso de información geológica y de sísmica somera y profunda procedentes de estudios previos.

Se procesaron los datos gravimétricos con el fin de obtener el mejor mapa regional y residual que se adecuara a las fuentes anómalas propias de la cuenca, para luego ser invertidos. Los mapas regionales se invirtieron con el algoritmo 3DINVER.M, para obtener la variación de la profundidad de moho. El mapa residual isostático se empleo en el algoritmo GR3DSTR.FOR, para obtener el espesor sedimentario (contrastes de densidad entre sedimentos y basamento varió desde -0.3 g/cc a -0.5 g/cc). Con el software GRAV3D se obtuvo un modelo de densidad cortical del área de estudio.

La inversión de la profundidad de Moho refleja: 1) los máximos espesores corticales se encuentran bajo el Escudo de Guyana (48km a 54km); 2) en el área costa afuera del Mar Caribe se presentan los menores espesores corticales que van disminuyendo en dirección norte (de 38km a 12km); 3) en la Serranía del Interior se muestra una profundización de Moho con respecto a las zonas adyacentes y en la Subcuenca de Maturín varían en promedio desde 40km a 45km. El espesor sedimentario fue 11,8 km para un contraste de densidad  $\Delta\rho=-0.5$  g/cc y 15,3km para  $\Delta\rho=-0.4$  g/cc.

## INTRODUCCIÓN

La inversión gravimétrica presenta dos problemas, el primero la no-unicidad de la solución y el segundo corresponde a las incertidumbres asociadas a ella. Para eliminar estas incertidumbres es necesario plantear un proceso de inversión en base a información adicional que se tenga del área de estudio, con el fin de restringir los resultados a soluciones más reales.

En el presente trabajo se demuestra que la inversión gravimétrica 3D es un método, que empleando información previa del área de estudio, puede ser considerado una buena herramienta para la generación de modelos regionales corticales para una área o para una cuenca, obteniendo información sobre la variación regional del espesor cortical en una zona determinada o la

variación de espesor sedimentario dentro de una cuenca.

En la actualidad es muy importante disponer de una imagen o representación 3D de discontinuidades a gran escala en el subsuelo con el objetivo de obtener más información sobre los límites que ocupan cuencas o estructuras de gran interés. Además, determinando en forma detallada la geometría y composición de la corteza y el manto superior en el norte del país, se pueden aportar datos que podrían esclarecer los procesos tectónicos que dominan la zona de convergencia entre las placas Caribe y Suramérica.

El alcance principal de este trabajo es proponer y demostrar que la inversión gravimétrica 3D es un método factible y económico que puede ser empleado exitosamente para obtener una representación 3D de discontinuidades a gran escala en el subsuelo, considerando que las incertidumbres que lleva implícito el proceso de inversión son disminuidas mediante el uso de información geológica y geofísica previa del área.

## ÁREA DE ESTUDIO

La Cuenca Oriental se encuentra localizada al noreste de Venezuela en la región centro oriental, entre los 8° y 11° de latitud Norte y los 61° y 66° de longitud Oeste. Comprende un área aproximada de 165.000 Km<sup>2</sup> que se extiende a través de los estados Guárico, Monagas, Delta Amacuro, parte de Sucre y se prolonga por el Golfo de Paria hasta Trinidad. Sus límites son: Al norte, la Cordillera de la Costa/Villa de Cura y los cinturones ígneos y metamórficos de Araya-Paria; Al sur, el Escudo de Guayana que está compuesto por diferentes litologías de rocas de edad Pre-cámbrica (Lilliu, 1990). Al este, el límite no está bien definido, se considera como este límite la corteza oceánica del Atlántico Ecuatorial, y al oeste, limita con el Arco de El Baúl, compuesto de rocas ígneas y metamórficas de edad Paleozoico (Erlich y Barrett, 1992).

La Cuenca Oriental se subdivide en dos subcuencas: la Subcuenca de Guárico al oeste, y la Subcuenca de Maturín al este (Figura 1). El límite entre las dos subcuencas es definido por el

sistema de Fallas del Arco de Úrica, el cual estuvo activo desde el Mioceno al Holoceno.

La Cuenca Antepaís de Maturín está rellena con depósitos sin-orogénesis de edad Mioceno Medio a Pleistoceno, que corresponden a sedimentos marinos profundos en el Mioceno Temprano a Medio y a sedimentos de facies costeras a continentales en el Mioceno Superior a Plio-Pleistoceno (Di Croce, 1995; Jácome *et al.*, 2003). Al norte del frente de deformación, la cuenca de Maturín presenta los máximos espesores de sedimentos, cuya unidad más espesa es de edad Mioceno Medio. Los espesores de los sedimentos incrementan de Oeste (6 - 8 km) a Este (~10 km). Desde el Mioceno Medio hasta el presente los depocentros han migrado

desde el noroeste al sureste y más recientemente hacia el este. Esto puede relacionarse a la migración de la deformación desde el noroeste al sureste (Jácome *et al.*, 2003).

El Escudo de Guayana (Figura 2) ha sido la mayor fuente de sedimentos durante la historia geológica de la cuenca, sostiene a una fosa rellena de sedimentos como lo es la Subcuenca de Maturín (Subieta, 1988). Por su parte, la Serranía del Interior se encuentra al norte de la subcuenca y esta caracterizada por ser una cuña de sedimentos no metamorizados que se depositaron sobre un margen pasivo continental durante el Cretácico al Terciario temprano (Daza, 1990; Lilliu, 1990).

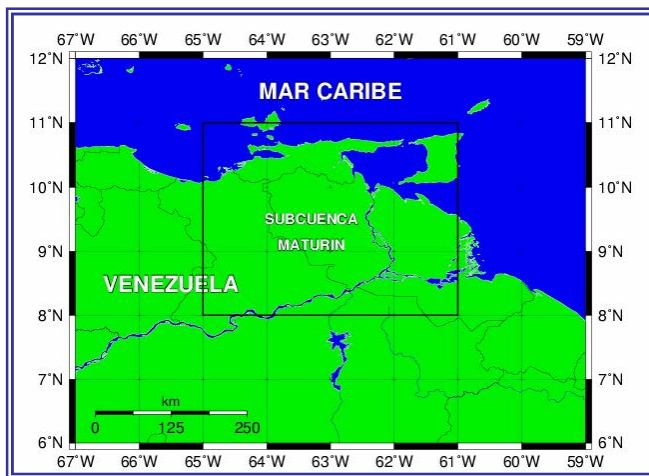


Figura 1. Ubicación de la Subcuenca de Maturín.

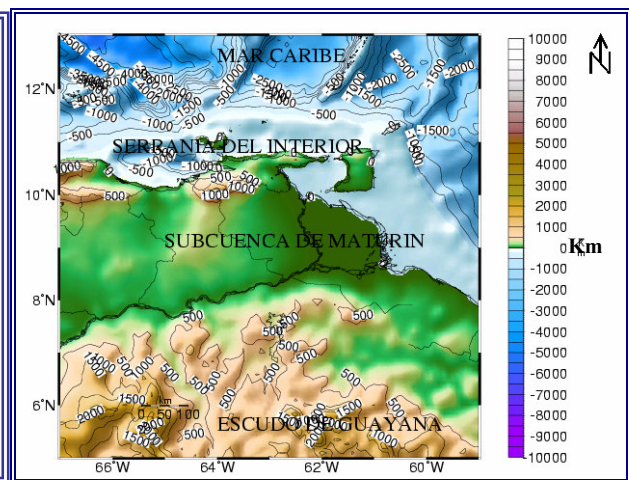


Figura 2. Mapa Topográfico y Batimétrico del Área de Estudio.

## MARCO GEOLÓGICO

La evolución tectónica de la Subcuenca de Maturín puede dividirse en cuatro eventos principales: una **Fase de Pre-Ruptura** en el Paleozoico, una **Fase de Ruptura y Deriva** en el Jurásico y Cretácico Temprano, caracterizada por la generación de grábenes; una **Fase de Margen Pasivo** en el Cretácico y Paleógeno, caracterizada por la depositación de sedimentos sobre un margen pasivo, y finalmente una **Fase de colisión** oblicua Neógena entre la Placa del Caribe y la Placa Suramericana, durante el Paleógeno Tardío hasta el presente (Erlich y Barrett, 1992; Jácome *et al.*, 2003).

El área donde se formó la Cuenca Oriental era parte del supercontinente Pangea, y en base a los ambientes y a las tasas de sedimentación de las rocas que se depositaron, se ha sugerido que esta área fue un escenario paleozoico continental a marino marginal antes de la fase de ruptura;

correspondiendo a una megasecuencia de edad Paleozoico (González de Juana *et al.*, 1980). Feo Codecido *et al.*, (1984) concluye que en esta área no existe clara evidencia de basamento Precámbrico debajo de los sedimentos Mesozoicos-Terciarios.

En la fase de deriva, se produce el levantamiento del Cratón de Guayana y la erosión de gran parte de los sedimentos triásicos-jurásicos. Encima de la placa continental, adelgazada y afectada por la erosión, se hace dominante un sistema de margen pasivo (Daza, 1990). Este sistema está comprendido desde el final de la fase de ruptura en el Jurásico Tardío o en el Cretácico Temprano hasta el inicio de la tectónica activa en el Eoceno, y está caracterizada por un episodio pasivo durante el cual el borde norte de América del Sur proporcionó una plataforma relativamente estable donde se produjo una sedimentación ininterrumpida. Se produjo subsidencia en este margen, que permitió la

acumulación de 3 a 4 km de rocas marino-clásticas, y en la sección del Cretácico Temprano se presentan varias unidades carbonáticas (Erlich y Barrett, 1992).

El ambiente tectónico pasivo del Terciario Temprano es interrumpido en el Oligoceno debido a la colisión con la Placa Caribe que produjo el levantamiento de la Serranía del Interior en el margen activo y la subsidencia de tipo flexural hacia el sur que marca el comienzo de la formación de la Subcuenca de Maturín. Se producen los primeros aportes provenientes del norte, mostrando que la Serranía del Interior ha estado sujeta a erosión a partir de esta época. De esta forma la evolución de la Subcuenca de Maturín se puede seguir a través de los depósitos terciarios. A partir de esta colisión, la Cuenca Oriental de Venezuela pasa a ser de una cuenca de margen pasivo a una cuenca antepaís, definiéndose así su configuración final (Daza, 1990; Jácome *et al.*, 2003).

Por su parte la Subcuenca de Maturín desarrolla una tendencia hacia el este y una forma de "U", que produjo que se hiciera más somera al oeste-noroeste y se profundizará al este en el Océano Atlántico. El levantamiento de la Serranía del Interior y la carga resultó en una flexura y deformación de la corteza de la cuenca, creando un espacio de acomodación para los primeros depósitos sin-orogénesis (Jácome *et al.*, 2003).

En el Plioceno–Pleistoceno (< 5m.a.) el mar se retira de la cuenca hacia el este. El crecimiento del régimen fluvial Proto-Orinoco contribuye en gran parte al relleno de la cuenca y da como resultado la formación de ambientes progresivamente más continentales. El régimen de colisión parece haberse desplazado hacia el este a las áreas de Trinidad e islas de las Antillas Menores (Subieta, 1988).

## **GENERALIDADES SOBRE INVERSIÓN GRAVIMÉTRICA**

La inversión puede definirse como un procedimiento para obtener modelos del subsuelo que pueden describir adecuadamente un conjunto de datos observados. Intenta reconstruir los rasgos del subsuelo de un conjunto de medidas geofísicas, y de esta forma obtener un modelo que responda a dichas observaciones, considerando los errores asociados.

Se puede reprimir las infinitas soluciones del proceso de inversión gracias a un conocimiento previo sobre los parámetros del subsuelo en la

zona de estudio. Estos parámetros pueden ser "rígidos" (como el caso de contrastes de densidad y de velocidades positivas entre capas) o pueden ser "flexibles" y expresarse como funciones probabilísticas de densidad.

Para el proceso de inversión se emplearon en este trabajo dos algoritmos y un software. Los algoritmos fueron 3DINVER.M y GR3DSTR.FOR y el software se denomina GRAV3D.

3DINVER.M es un código creado en MATLAB por David Gómez Ortiz y por Bhrigu N.P Agarwal en el año 2004, que permite calcular la geometría 3D de una interfaz desde un mapa de anomalía de gravedad, empleando el método iterativo de Parker-Oldenburg. Este método está basado en una relación entre la transformada de Fourier de la anomalía de gravedad y la suma de la transformada de Fourier de la superficie de la interfaz.

GR3DSTR es un algoritmo creado por D. Bhaskara Rao y N. Ramesh Babu en el año de 1991, bajo el lenguaje de programación Fortran 77. Tiene como objetivo calcular la topografía del tope del basamento de una cuenca sedimentaria usando una función cuadrática de contrastes de densidad para responder a la variación de la densidad con la profundidad.

GRAV3D es un software que tiene como propósito realizar modelado gravimétrico e inversión gravimétrica 3D, y cuya licencia le pertenece a la *University of British Columbia*. El volumen 3D del subsuelo es modelado como un juego de celdas rectangulares cada uno con un contraste de densidad constante. El resultado del proceso de inversión arrojará un modelo 3D con los valores estimados de los contrastes de densidad que corresponderán al mapa gravimétrico predictivo más ajustado al mapa gravimétrico original que fue introducido como archivo de entrada.

## **INVERSIÓN GRAVIMÉTRICA DE LA SUBCUENCA DE MATURÍN**

### **Procesamiento de los Datos**

El conjunto de datos utilizados para la inversión 3D de la Subcuenca de Maturín pertenecen a la base de datos gravimétrica de la Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.

El mapa de anomalía de gravedad (Figura 3) refleja la anomalía de Bouguer en Tierra y la anomalía de Aire Libre en Mar. Se observan: anomalías de -100 mGal entre las latitudes 12° N y

13° N, anomalías altas de 80 mGal entre las latitudes 11° N y 12° N que coinciden con la topografía del suelo oceánico e indican claramente la ubicación de las islas, una anomalía negativa concéntrica localizada sobre la Fosa de Cariaco, lo que es típico de una cuenca sedimentaria. En tierra se presenta en el este del mapa, una anomalía negativa prominente que llega a valores de -200 mGal asociada con la Subcuenca de Maturín, la cual es una cuenca antepaís muy profunda que presenta espesores sedimentarios del orden de 10 km en el oeste a 15 km en el este. La grilla de datos con la cual se construyó este mapa está muestreada 3x3 minutos.

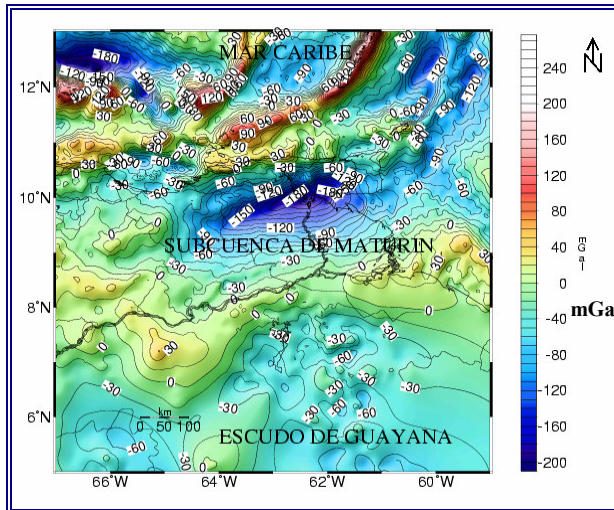
Se procedió a realizar la corrección de Bouguer en Mar, ya que los datos no la poseían y esta corrección permite eliminar el efecto gravimétrico de las masas que se encuentran entre el nivel de la estación y el plano de referencia, además se obtiene un mapa de

anomalía de Bouguer para todo el área que considera la densidad de los cuerpos, y ello es fundamental para la realización de la inversión gravimétrica. Para realizar la corrección de Bouguer en Mar se empleó la siguiente ecuación:

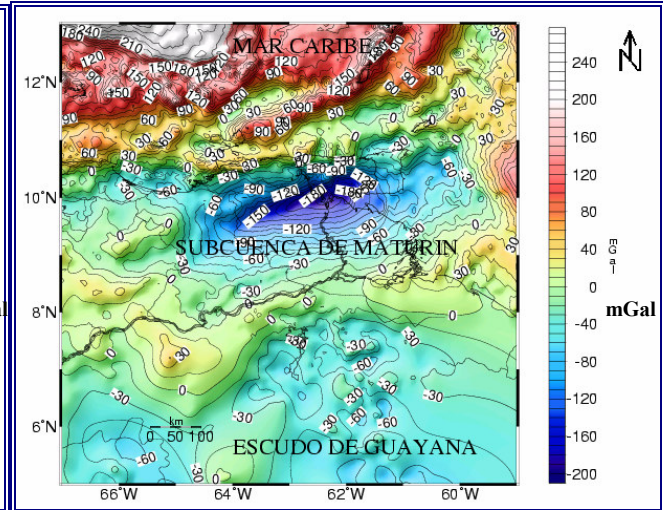
$$\Delta g_{\text{BouguerenMar}} = \Delta g_{\text{AireLibre}} - 2\pi G(\rho_{\text{agua}} - \rho_{\text{corteza}})\Delta h \quad (1)$$

$$\Delta g_{\text{BouguerenMar}} = \Delta g_{\text{AireLibre}} - 0,04191(\rho_{\text{agua}} - \rho_{\text{corteza}})\Delta h(\text{mGal}) \quad (2)$$

Se consideró que la densidad de la corteza es 2,67 g/cc y la densidad del agua 1,03 g/cc. Siendo  $\Delta h$  la profundidad batimétrica. Los datos batimétricos y topográficos del área de estudio fueron extraídos de la base de datos del Centro Nacional de Datos Geofísicos (NGDC). De este procedimiento se obtuvo el mapa de Anomalía de Bouguer en Mar y Tierra de la Subcuenca de Maturín (Figura 4).



**Figura 3.** Mapa de Anomalía de Bouguer en Tierra y Aire Libre en Mar de la Subcuenca de Maturín.

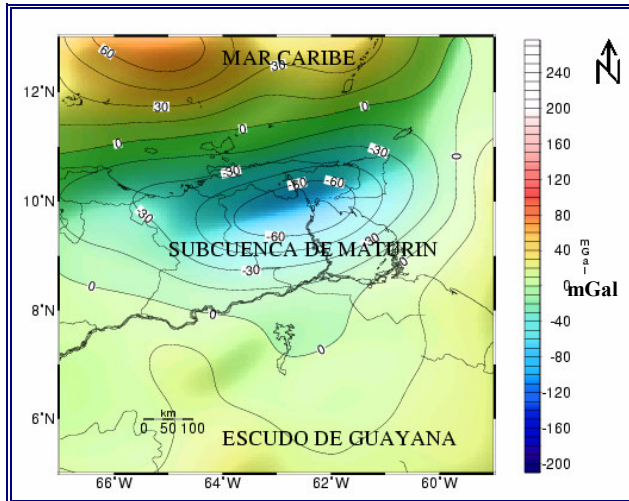


**Figura 4.** Mapa de Anomalía de Bouguer en Mar y Tierra de la Subcuenca de Maturín.

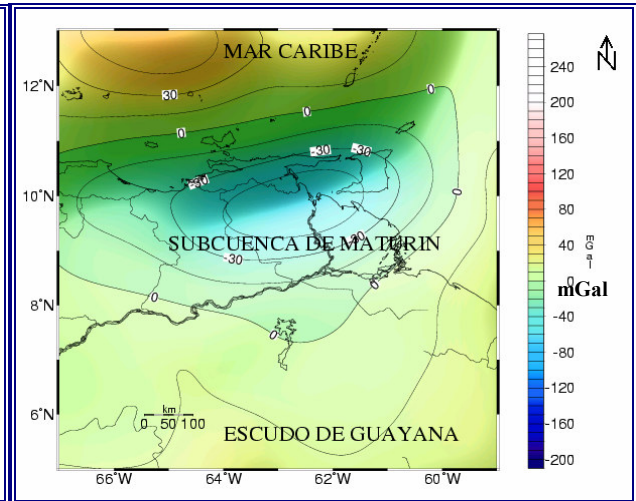
### Mapa Regional

Teniendo como base el mapa de Bouguer en Mar y Tierra se realizaron continuaciones de campo hacia arriba con el objetivo de obtener un mapa regional de la zona de estudio, ya que mediante este método obtenemos un mapa de anomalía más suavizado que se debe a las longitudes de ondas más largas debidas a cuerpos anómalos profundos, reflejando la tendencia regional de la anomalía en el área de estudio. Este procedimiento se realizó mediante el software GMT, luego se emplearon métodos de análisis para la elección del mejor mapa regional del área de estudio.

Los mejores mapas regionales del área se lograron con continuaciones de campo de 70 km, 80 km, 90 km y 100 km. En general los cuatro mapas muestran las mismas tendencias y a medida que aumenta la continuación de campo los mapas se suavizan más, que es lo esperado. A continuación se presentan los mapas correspondientes a la continuación de campo de 70 km (Figura 5) y a la continuación de campo de 90 km (Figura 6).



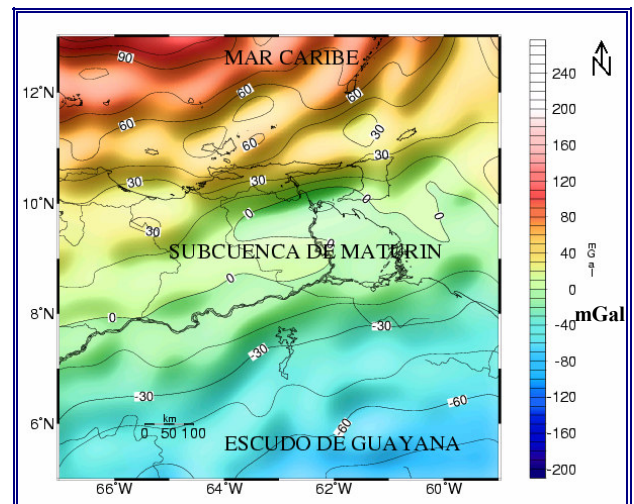
**Figura 5.** Mapa Regional debido a la Continuación de Campo a 70 km.



**Figura 6.** Mapa Regional debido a la Continuación de Campo a 90 km.

De estos mapas se puede derivar las siguientes tendencias: las mayores anomalías positivas se ubican en el Mar Caribe llegando a valores de 60 mGal, esta tendencia va disminuyendo a 0 mGal al acercarse a la costa de Venezuela, luego este comportamiento cambia a valores máximos de -60 mGal en el área de la Subcuenca de Maturín, y finalmente disminuyen a casi cero en el Escudo de Guayana.

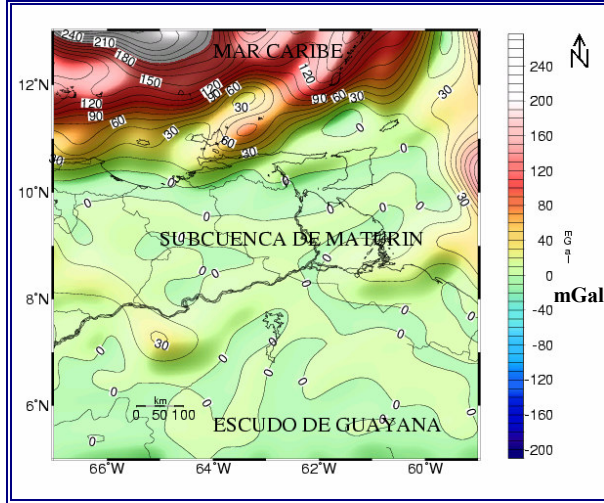
El mapa original de Bouguer se le sustrajo cada una de las continuaciones de campo realizadas desde 2 km hasta 120 km, obteniéndose mapas con mucho ruido que reflejaban la diferencia del efecto gravitatorio entre el mapa regional y el mapa continuado. Los mapas desde 2 km hasta 32 km reflejaban una posible tendencia regional de los datos pero debido al ruido no se presentaban suavizados, entonces se procedió a filtrarlos mediante la aplicación de un filtro paso bajo que dejaba pasar las longitudes de onda mayores a 150 km, y rechazaba las longitudes de onda menores a 80 km. Analizando todos estos mapas filtrados se observó que una tendencia regional del mapa de Bouguer para el área de estudio puede estar representada por el mapa filtrado obtenido de la sustracción del mapa original menos la continuación de campo a 10 km (Figura 7). Este mapa regional se asemeja a los cuatro mapas anteriores pero en este mapa se muestran tendencias regionales más fuertes: las anomalías positivas alcanza valores de 90 mGal en el Mar Caribe y van disminuyendo a 30 mGal al acercarse a la costa de Venezuela. En el área de la Subcuenca de Maturín se presentan valores de 0 mGal y este valor va disminuyendo a valores de -60 mGal en la zona del Escudo de Guayana.



**Figura 7.** Mapa de la resta del original menos el mapa continuado a 10 km, con un filtro paso bajo y dejando el plano de tendencia.

Por ultimo, se obtuvo un mapa regional mediante el algoritmo GR3DSTR.FOR, este algoritmo calcula la profundidad de los sedimentos en la cuenca y su respectivo efecto gravitatorio. Al mapa original de Bouguer se le sustrajo el efecto gravitatorio de los sedimentos para obtener el mapa regional. Esta consideración se asume debido a que el mapa regional en el área de la subcuenca se ve oscurecido por el efecto gravimétrico de ella, entonces se supone que toda la anomalía de Bouguer en la cuenca se debe presentar en el mapa residual, quedando sólo la tendencia de los cuerpos profundos que se encuentran debajo de la cuenca en el mapa regional.

El mapa regional (Figura 8) se asemeja al mapa del caso anterior (Figura 7), y refleja las siguientes tendencias: las anomalías positivas alcanza valores de 240 mGal en el Mar Caribe y van disminuyendo a 30 mGal al acercarse a la costa de Venezuela; en el área de la Subcuenca de Maturín se presentan valores cercanos a los 0 mGal, y este valor varía entre 0 mGal y 10 mGal en la zona del Escudo de Guayana. En este trabajo los mejores mapas regionales obtenidos corresponden a la figura 7 y a la figura 8, y con ellos se obtuvieron los mejores resultados.



**Figura 8.** Mapa Regional filtrado producto de la resta del Mapa de Bouguer original menos el mapa de anomalía calculado.

### Mapa Residual Isostático

El mapa residual isostático se obtiene cuando extraemos el efecto gravitatorio de la raíz cortical del mapa de bouguer original.

A partir del principio de equilibrio hidrostático, el espesor de la compensación de la raíz  $w(x, y)$  de Airy en la interfaz corteza-manto está dada por (Ussami *et al.*, 1993):

$$w(x, y) = \rho^* h(x, y) \quad (3)$$

$$\rho^* = \begin{cases} \frac{\rho_0}{\rho_M - \rho_C} & (3.1) \\ \frac{\rho_C - \rho_W}{\rho_M - \rho_C} & (3.2) \end{cases}$$

La ecuación (3.1) es empleada en los continentes, y la ecuación (3.2) es usada en los océanos. Donde  $h(x, y)$  es la topografía o batimetría, y  $\rho_0$ ,  $\rho_C$ ,  $\rho_M$  y  $\rho_W$  son las densidades, cuyos valores estándares se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Valores estándares de Densidad y otros parámetros.

Parámetro	Definición	Valor
$\rho_w$	Densidad del Agua	1.03 g/cc
$P_0$	Densidad de la Topografía	2.7 g/cc
$\rho_C$	Densidad de la Corteza	2.8 g/cc
$\rho_M$	Densidad del Manto	3.3 g/cc
$Z_m$	Profundidad de Moho	35 Km
M	Expansión en la ecuación 3.13	5

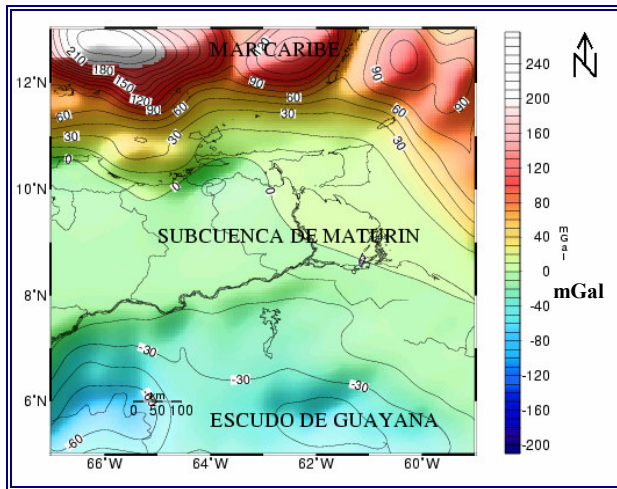
El campo regional gravitatorio ( $\Delta g_r$ ) debido a la raíz cortical es calculado usando el algoritmo de Parker (1973):

$$\Delta g_r = F^{-1} [B(k_x, k_y)] \quad (4)$$

$$B(k_x, k_y) = -2\pi G (\rho_m - \rho_c) \sum_{n=1}^M \frac{k^{n-1}}{n!} F [w^n(x, y)] \exp(-k|z_m|) \quad (5)$$

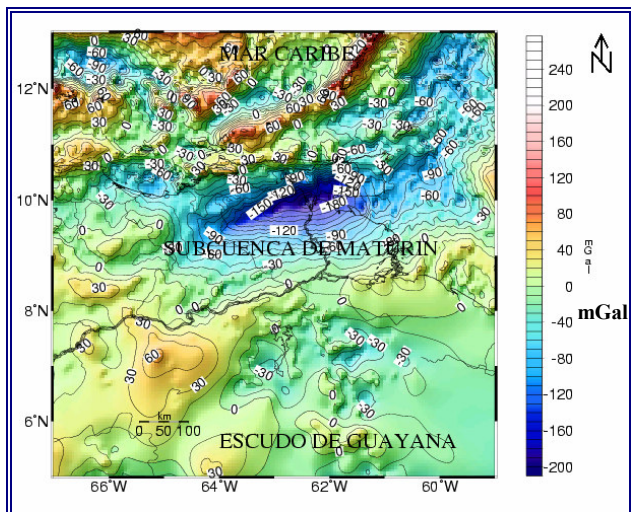
Donde F es la transformada de Fourier directa y la  $F^{-1}$  es la transformada inversa. G es la constante de gravitación universal,  $z_m$  es la profundidad de la interfaz de compensación (límite corteza-manto), M es el orden máximo de la expansión de la serie y k es el número de onda, definido por  $k^2 = k_x^2 + k_y^2$ , donde  $k_y$  es el número de onda en dirección norte y  $k_x$  es el número de onda en dirección este (Ussami *et al.*, 1993).

El mapa del efecto gravitatorio de la raíz (Figura 9) refleja la contribución gravimétrica de las espesas raíces montañosas del Escudo de Guayana, mientras que en el área de la Subcuenca de Maturín existe una escasa contribución gravimétrica debido a su topografía plana. En la zona de la Serranía del Interior se presentan pequeños valores de efecto gravimétrico lo cual indica que la raíz cortical en esta área no posee un gran espesor como es el caso del Escudo de Guayana.



**Figura 9.** Mapa del efecto gravitatorio de la raíz cortical.

El mapa residual isostático (Figura 10) refleja el efecto gravitatorio debido al espesor sedimentario de la Subcuenca.



**Figura 10.** Mapa residual isostático.

### Planteamiento del Proceso de inversión

Mediante el procesamiento de los datos se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Varios mapas regionales.
2. Un mapa residual isostático producto de la eliminación del efecto gravitatorio de la raíz cortical.

Los mapas regionales son utilizados para determinar la superficie de Moho en el área de estudio, mientras que el mapa residual isostático es utilizado para determinar la profundidad de sedimentos presentes en la Subcuenca de Maturín, ya que en este mapa se eliminan los efectos gravitatorios de las raíces corticales y ello

es indispensable para obtener una buena profundidad de sedimentos.

Cabe resaltar que se considera que el mapa de anomalía regional se debe a efectos de cuerpos profundos, que de acuerdo al interés de este trabajo se busca el efecto gravitatorio correspondiente a la discontinuidad de Moho. Mientras que el mapa de anomalía residual se debe al efecto gravitatorio de cuerpos someros, que en este caso corresponde al efecto gravitatorio de la cuenca sedimentaria.

El proceso de inversión se dividió en tres etapas:

1. La primera etapa consiste en determinar la variación de la profundidad de Moho en el área de estudio mediante el algoritmo 3DINVER.M.
2. La segunda etapa consiste en emplear el mapa residual isostático para determinar la profundidad de sedimentos de la cuenca mediante el uso del algoritmo GR3DSTR.FOR. Posteriormente, a partir del mapa gravimétrico calculado por este algoritmo se procedió a determinar un mapa regional que finalmente se empleará para determinar la superficie de Moho mediante la ejecución del algoritmo 3DINVER.M.
3. La tercera etapa consiste en ejecutar el software GRAV3D con el mapa de Bouguer en Mar y en Tierra, para obtener un modelo 3D de densidad cortical en la cuenca.

### Profundidad de Moho

Para la determinación de la profundidad de Moho se plantearon varios casos y los resultados de los mismos se presentan en la tabla 2, los casos que se encuentran sombreados representan los mejores resultados obtenidos. Para la ejecución de 3DINVER se requiere la escogencia de un valor promedio de la profundidad de Moho, este valor se asumió a partir de los valores estándares empleados en los procesos de inversión, ya que este valor representará la superficie cero en la cual las profundidades calculadas oscilarán.

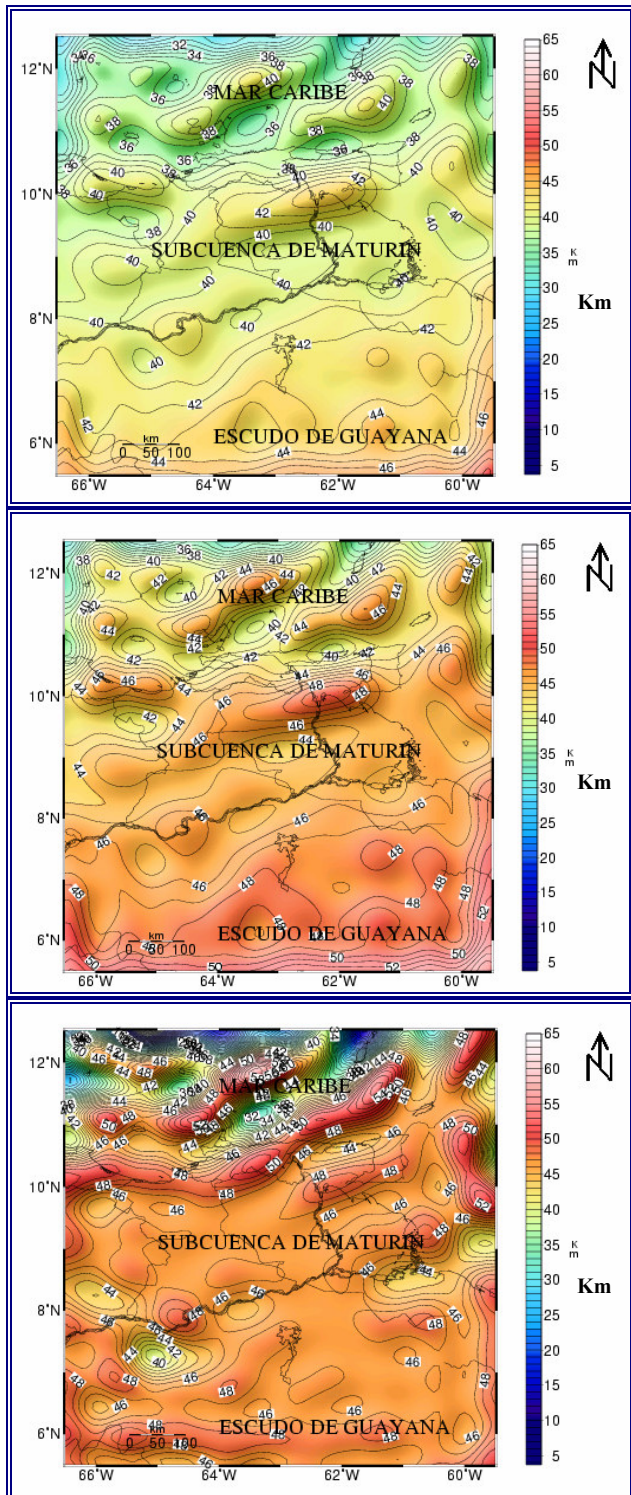
Los resultados de la profundidad de Moho obtenidos mediante la aplicación del algoritmo 3DINVER.M presentan varios problemas asociados al algoritmo, ya que este sólo permite variar la superficie de moho promedio que el usuario le introduce como dato, limitando e impidiendo el establecimiento de puntos fijos de control donde se conoce profundidades de Moho.

**Tabla 2. Resultados de la Profundidad de Moho para los diferentes Mapas Regionales**

<b>Caso</b>	<b>Continuación de Campo</b>	<b>Prof. Máxima y Mínima de Moho obtenida</b>	<b>Parámetros Iteración final y error RMS</b>	<b>Resultados y Observaciones</b>
1	70 km	Mínima 32 km Máxima 40,33 km	Prof. media de Moho: 35 km. Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 3 iteraciones. RMS: 0,00945.	Refleja que las profundidades de Moho mayores se encuentran en el área de la Subcuenca de Maturín, alcanzando valores de 40 km. El área del Mar Caribe refleja profundidades mínimas de moho de 32 km y en el Cratón de Guayana se presentan mínimas de 34 km.
2	70 km	Mínima 37 km Máxima 45,98 km	Prof. media de Moho: 40 km. Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 3 iteraciones. RMS: 0,00521.	Refleja que las profundidades de Moho mayores se encuentran en el área de la Subcuenca de Maturín, alcanzando valores de 45 km. El área del Mar Caribe refleja profundidades mínimas de moho de 37 km y en el Cratón de Guayana se presentan mínimas de 38 km.
3	80 km	Mínima 37 km Máxima 45,46 km	Prof. media de Moho: 40 km. Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 3 iteraciones. RMS: 0,00684.	Refleja que las profundidades de Moho mayores se encuentran en el área de la Subcuenca de Maturín, alcanzando valores de 44 km. El área del Mar Caribe refleja profundidades mínimas de moho de 37 km y en el Cratón de Guayana se presentan mínimas de 38 km.
4	90 km	Mínima 38 km Máxima 45,00 km	Prof. media de Moho: 40 km. Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 3 iteraciones. RMS: 0,00505.	Refleja que las profundidades de Moho mayores se encuentran en el área de la Subcuenca de Maturín, alcanzando valores de 44 km. El área del Mar Caribe refleja profundidades mínimas de moho de 38 km y en el Cratón de Guayana se presentan mínimas de 38 km.
5	100 km	Mínima 38 km Máxima 44,59 km	Prof. media de Moho: 40 Km. Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 3 iteraciones. RMS: 0,00378.	Refleja que las profundidades de Moho mayores se encuentran en el área de la Subcuenca de Maturín, alcanzando valores de 43 km. El área del Mar Caribe refleja profundidades mínimas de moho de 38 km y en el Cratón de Guayana se presentan mínimas de 39 km.
6	Original menos Continuación de campo 10 Km (Filtrado) (Figura 11)	Mínima 35 km Máxima 44 km	Prof. media de Moho: 40 km. Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 6 iteraciones. RMS: 0,01394.	Las profundidades de Moho en el área de la Subcuenca de Maturín alcanzan los 43 km. El área del Mar Caribe tiene mínimas de 35 km y máximas de 41 km en los arcos de islas; y en el Escudo de Guayana las profundidades van desde 40 km en el norte y mayores hacia el sur.
7	Original menos Continuación de campo 10 km (Filtrado) (Figura 12)	Mínima 40 km Máxima 49 km	Prof. Media de Moho: 45 km. Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 5 iteraciones. RMS: 0,00849.	Las profundidades de Moho en el área de la Subcuenca de Maturín alcanzan los 49 km. El área del Mar Caribe tiene mínimas 40 km y máximas de 46 km; y en el Escudo de Guayana las profundidades van desde 46 km en el norte y mayores hacia el sur.
8	Mapa Regional obtenido de la aplicación de GR3DSTR.FOR	Mínima 28 km Máxima 48 km	Prof. media de Moho: 40 km. Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 10 iteraciones. RMS: 0,01869.	Las profundidades de Moho en el área de la Subcuenca de Maturín alcanzan los 43 km. El área del Mar Caribe tiene mínimas de 28 km y máximas de 48 km en el área de las antillas menores; y en el Escudo de Guayana las profundidades van desde 42 km en el norte y mayores hacia el sur.
	Mapa Regional		Prof. media de Moho: 45 km.	Las profundidades de Moho en el área de la Subcuenca de Maturín alcanzan los 49



9	obtenido de la aplicación de GR3DSTR.FOR (Figura 13)	Mínima 32 km Máxima 54 km	Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 10 iteraciones. RMS: 0,25417.	km. El área del Mar Caribe tiene mínimas de 32 km y máximas de 54 km en el área de las antillas menores; y en el Escudo de Guayana las profundidades van desde 46 km en el norte y mayores hacia el sur.
---	--	------------------------------	--	--



**Figura 11.** Mapa de Moho con el caso 6.  
**Figura 12.** Mapa de Moho con el caso 7.  
**Figura 13.** Mapa de Moho con una profundidad de Moho promedio de 45 km (Caso 9).

Los mapas regionales obtenidos mediante la continuación de campo reflejan anomalías que van desde -60 mgal a -30 mgal en el área de la cuenca, debido a que en estos mapas no se ha logrado eliminar todo el efecto de la cuenca. Por ello cuando se emplea el algoritmo 3DINVER.M para obtener la profundidad de Moho, se obtuvo que la zona correspondiente a la Subcuenca de Maturín presenta una profundidad de Moho mayor que en el caso de la zona del Cratón de Guayana, lo cual no es cierto, ya que la zona correspondiente al Cratón de Guayana debe presentar una profundidad de Moho mayor que el área de la cuenca debido a la raíz cortical, y esta profundidad debe disminuir a medida que se acerca al Mar Caribe ya que la corteza oceánica es menos espesa que la corteza continental.

Por su parte, el mapa regional (Figura 7) obtenido del filtrado de la sustracción del mapa original menos la continuación de campo a 10 km y el mapa regional obtenido de la aplicación del algoritmo GR3DSTR.FOR, reflejan una buena tendencia regional de los datos pero no logran remover toda la influencia de la cuenca, ya que en dicha área se presentan valores que van desde 0 mgal a -30 mgal. El moho obtenido con estos mapas reflejaba en el área de la cuenca una profundidad mayor por 2 km a la profundidad de toda la zona. Este valor de Moho debe ser igual en toda la zona ya que no se considera que debido a la existencia de la Subcuenca de Maturín está área refleje una profundidad de Moho mayor que en las zonas adyacentes, ya que el efecto gravitatorio de la cuenca debe presentarse sólo en el mapa residual. Por ello un buen mapa regional se obtiene buscando remover todo el efecto gravimétrico de la cuenca (que alcanza unos 13 km de espesor sedimentario) para poder observar la variación en el comportamiento de las anomalías gravimétricas profundas, que se encuentran oscurecidas por la cuenca.

En general estos mapas reflejan los mayores espesores corticales bajo el Cratón de Guayana, con un valor de 42 km para una profundidad de Moho promedio de 40 km, y un valor de 48 km para el caso donde se consideró que la profundidad de Moho promedio es de 45 km. Además, reflejan una profundización de la superficie de Moho en el área de la Serranía del

Interior y su continuación por toda la Cordillera de la costa, lo cual es esperado ya que la corteza en las cordilleras montañosas es más espesa y debe reflejarse con un aumento de la profundidad de Moho. La profundización de Moho en la Serranía podría tener una continuidad costa afuera a lo largo del arco de las Antillas Menores, lo cual se observa claramente en la mayoría de los mapas de Moho invertidos (Figuras 12 y 13). En este sentido, se observa que el Arco de Islas fósiles de las Aves podría continuarse hasta las Antillas Holandesas ya que la tendencia de la profundidad de Moho se presenta en esa dirección, pero no se puede ver en su totalidad ya que las Antillas Holandesas no se encuentran dentro del área de estudio.

### Profundidad de los Sedimentos

De los trabajos de refracción sísmica profunda de Ávila (2005), Jiménez (2002) y Schmitz et al. (2005) se emplearon las siguientes densidades: sedimentos de 2,3 a 2,4 g/cc, la corteza de 2,7 a 2,8 g/cc, y para el manto una densidad de 3,30 g/cc; por ello se asumió que la variación del contraste de densidad entre los sedimentos y el tope del basamento debe estar en un rango de -0,30 g/cc y -0,50 g/cc.

La inversión del tope del basamento se realizó mediante el algoritmo GR3DSTR.FOR. Se

plantearon varios casos dependiendo del contraste de densidad utilizado, se varió desde un contraste de -0,30 g/cc hasta -0,50 g/cc en intervalos de -0,05 g/cc. En el último caso se utilizó una ecuación de 2do grado que refleja el decrecimiento del contraste de densidad con la profundidad dentro de la cuenca.

Luego de la obtención de la profundidad de sedimentos y su respectivo mapa de anomalía calculada, se procedió a restar el mapa de anomalía de Bouguer original menos el mapa de anomalía calculada debido a la cuenca y se obtuvieron los mapas regionales para cada uno de los casos. Estos mapas regionales fueron introducidos en el algoritmo 3DINVER.M para obtener la superficie de Moho. Se emplearon profundidades promedio de Moho de 40 km y un contraste de densidad entre la interfase manto-corteza de 0,5 g/cc.

En la tabla 3 se resumen los resultados obtenidos para cada uno de los casos que se plantearon, los casos que se encuentran sombreados representan los mejores resultados obtenidos. En la tabla 4 se presentan los resultados de la inversión de la profundidad de Moho.

**Tabla 3. Resultados de la Profundidad de Sedimentos**

<b>Caso</b>	<b>Contraste de Densidad</b>	<b>Profundidad Máxima de Sedimentos</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Resultados y Observaciones</b>
1	-0,30 g/cc.	21,6 km.	Total de iteraciones 2. Iteraciones en el eje x: 2. Iteraciones en el eje y: 2. LT1 = 2, 3, 5.	Espesor sedimentario: la Faja de deformación de 14 km, en la Fosa de Cariaco de 6 km, en la Cuenca de Blanquilla de 4 km y en la Cuenca de Grenada de 10 km. El espesor aumenta de oeste a este.
2	-0,35 g/cc	17,9 km.	Total de iteraciones 2. Iteraciones en el eje x: 2. Iteraciones en el eje y: 2. LT1 = 2, 3, 5.	Espesor sedimentario: la Faja de deformación de 12 km, en la Fosa de Cariaco de 4 km, en la Cuenca de Blanquilla de 4 km y en la Cuenca de Grenada de 8 km. El espesor aumenta de oeste a este.
3	-0,40 g/cc	15,3 km.	Total de iteraciones 2. Iteraciones en el eje x: 2. Iteraciones en el eje y: 2. LT1 = 2, 3, 5.	Espesor sedimentario: la Faja de deformación de 12 km, en la Fosa de Cariaco de 4 km, en la Cuenca de Blanquilla de 4 km y en la Cuenca de Grenada de 6 km. El espesor aumenta de oeste a este.
4	-0,45 g/cc (Figuras 14 y 16)	13,3 km.	Total de iteraciones 2. Iteraciones en el eje x: 2. Iteraciones en el eje y: 2. LT1 = 2, 3, 5.	Espesor sedimentario: la Faja de deformación de 10 km, en la Fosa de Cariaco de 4 km, en la Cuenca de Blanquilla de 4 km y en la Cuenca de Grenada de 6 km. El espesor aumenta de oeste a este.

5	-0,50 g/cc (Figura 15)	11,8 km.	Total de iteraciones 2. Iteraciones en el eje x: 2. Iteraciones en el eje y: 2. LT1 = 2, 3,5.	Espesor sedimentario: la Faja de deformación de 10 km, en la Fosa de Cariaco de 4 km, en la Cuenca de Blanquilla de 4 km y en la Cuenca de Grenada de 6 km. El espesor aumenta de oeste a este.
6	(-0,3916 +0,0031z - 0,000002z <sup>2</sup> ) g/cc	16,8 km.	Total de iteraciones 2. Iteraciones en el eje x: 2. Iteraciones en el eje y: 2. LT1 = 2, 3,5.	Espesor sedimentario: la Faja de deformación de 12 km, en la Fosa de Cariaco de 4 km, en la Cuenca de Blanquilla de 4 km y en la Cuenca de Grenada de 8 km. El espesor aumenta de oeste a este.

**Tabla 4.** Resultados de la Profundidad de Moho de los Mapas Regionales obtenidos en los casos anteriores

<b>Caso</b>	<b>Datos</b>	<b>Profundidad Máxima y Mínima de Moho obtenida</b>	<b>Parámetros Iteración final y error RMS</b>	<b>Resultados y Observaciones</b>
1	Mapa regional para un contraste de densidad en la cuenca de -0,30 g/cc.	Mínima 28 km Máxima 39 km	Prof. media de Moho: 40 km. Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 10 iteraciones. RMS: 0,05289.	Moho en la Subcuenca de Maturín alcanzan los 38 km y se une a la Serranía que alcanza máximas de 40 km. El área del Mar Caribe tiene mínimas de 28 km y máximas de 38 km en el área de las Antillas Menores; y en el Escudo de Guayana las profundidades van desde 36 km en el N y mayores hacia el S.
2	Mapa regional para un contraste de densidad en la cuenca de -0,35 g/cc.	Mínima 28 km Máxima 39 km	Prof. media de Moho: 40 km. Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 10 iteraciones. RMS: 0,05367.	Moho en el área de la Subcuenca de Maturín alcanzan los 36 km y se une a la Serranía que alcanza máximas de 40 km. El área del Mar Caribe tiene mínimas de 28 km y máximas de 38 km en el área de las Antillas Menores; y en el Escudo de Guayana las profundidades van desde 36 km en el norte y mayores hacia el sur.
3	Mapa regional para un contraste de densidad en la cuenca de -0,40 g/cc.	Mínima 28 km Máxima 39 km	Prof. media de Moho: 40 km. Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 10 iteraciones. RMS: 0,05432.	Moho en el área de la Subcuenca de Maturín alcanzan los 36 km y se une a la Serranía que alcanza máximas de 40 km. El área del Mar Caribe tiene mínimas de 28 km y máximas de 38 km en el área de las antillas menores; y en el Escudo de Guayana las profundidades van desde 36 km en el norte y mayores hacia el sur.
4	Mapa regional para un contraste de densidad en la cuenca de -0,45 g/cc.	Mínima 28 km Máxima 39 km	Prof. media de Moho: 40 km. Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 10 iteraciones. RMS: 0,05487.	Moho en el área de la Subcuenca de Maturín alcanzan los 36 km, la Serranía alcanza máximas de 40 km. El área del Mar Caribe tiene mínimas de 28 km y máximas de 38 km en el área de las Antillas Menores; y en el Escudo de Guayana las profundidades van desde 36 km en el N y mayores hacia el S.
5	Mapa regional para un contraste de densidad en la cuenca de -0,50 g/cc.	Mínima 28 km Máxima 39 km	Prof. Media de Moho: 40 km. Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 10 iteraciones. RMS: 0,05535.	Moho en el área de la Subcuenca de Maturín alcanzan los 34 km, la Serranía alcanza máximas de 40 km. El área del Mar Caribe tiene mínimas de 28 km y máximas de 38 km en el área de las Antillas Menores; y en el Escudo de Guayana las profundidades van desde 36 km en el N y mayores hacia el S.
6	Mapa regional para un contraste de densidad en la cuenca de (-0,3916 +0,0031z - 0,000002z <sup>2</sup> ) g/cc.	Mínima 28 km Máxima 39 km	Prof. media de Moho: 40 km. Contraste de Densidad Manto-Corteza: 0,5 g/cc. 10 iteraciones. RMS: 0,05239.	Moho en el área de la Subcuenca de Maturín alcanzan los 38 km y se une a la Serranía que alcanza máximas de 40 km. El área del Mar Caribe tiene mínimas de 28 km y máximas de 38 km en el área de las Antillas Menores; y en el Escudo de Guayana las profundidades van desde 36 km en el norte y mayores hacia el sur.

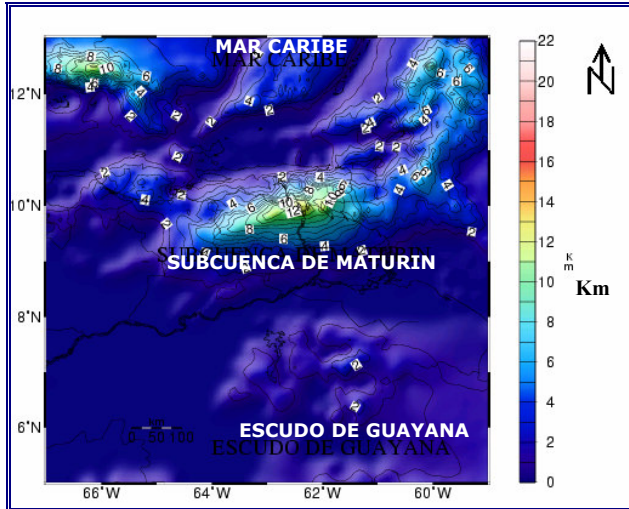


Figura 14. Espesor sedimentario para el caso 4.

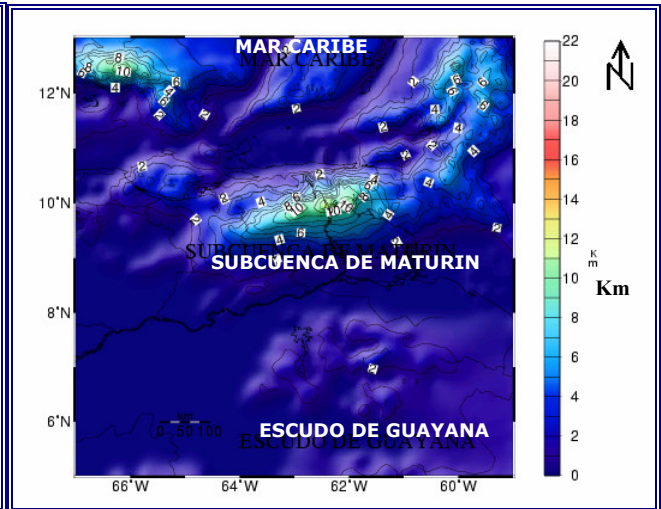


Figura 15. Espesor sedimentario para el caso 5.

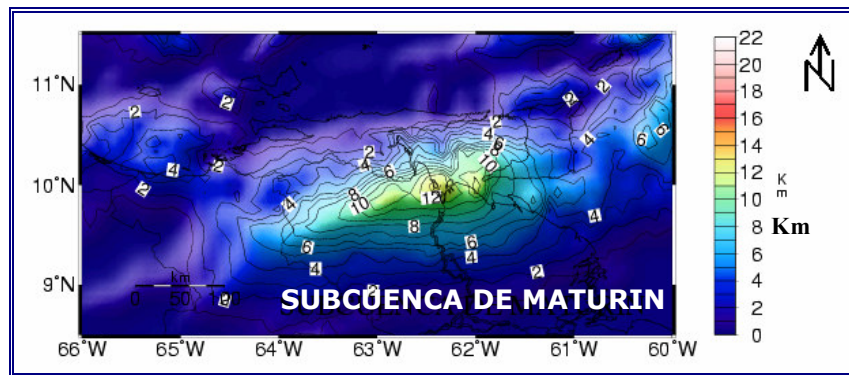


Figura 16. Mapa más detallado para el caso 4.

Según estudios realizados, la profundidad total de los sedimentos en la Cuenca Oriental llega aproximadamente a 13 km hacia el Este (Figura 17), presentándose los menores espesores de 6 a 8 km en el Oeste (Jácome, 2001).

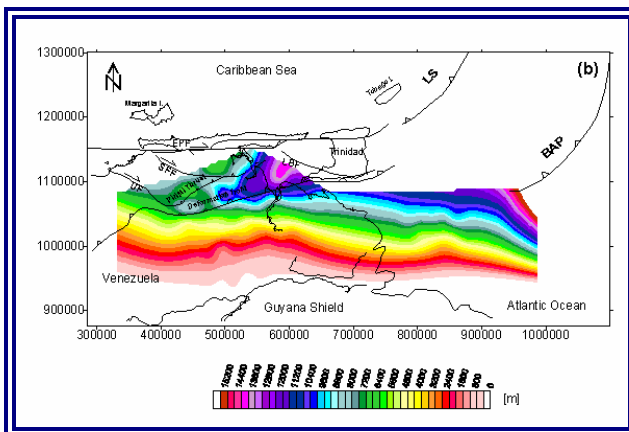


Figura 17. Mapa de la Profundidad del Tope de Pre-Cretácico (Tomado de Jácome, 2001).

De acuerdo a lo anterior el resultado más cercano que se obtuvo en este trabajo es para el caso de  $-0,45 \text{ g/cc}$  (Figura 14), aunque el contraste de densidad de  $-0,40 \text{ g/cc}$  y de  $-0,50 \text{ g/cc}$  (Figura 15) también proporcionan un buen espesor sedimentario. Por ello, se propone un rango de densidad para la Subcuenca de Maturín que es  $\Delta\rho = [-0,50 : -0,40] \text{ g/cc}$  que corresponden a un rango de profundidad de  $z = [11,8 : 15,3] \text{ Km}$ .

La forma que tiene la cuenca en los resultados obtenidos (Figura 14, 15 y 16) se corresponde a la forma esperada, es una cuenca asimétrica alargada en dirección Este – Oeste. Los espesores de las secuencias en esta cuenca varían de Norte a Sur, hacia el norte se presentan las mayores profundidades y esto se debe al emplazamiento de la Serranía del Interior y a la subducción continental de la placa suramericana bajo la del Caribe; y los espesores de los sedimentos incrementan de Oeste (4 - 9 km) a Este ( $\sim 14$  km) debido a que desde el Mioceno Medio hasta el presente los depocentros han migrado desde el noroeste al sureste y más recientemente hacia el este, lo cual esta

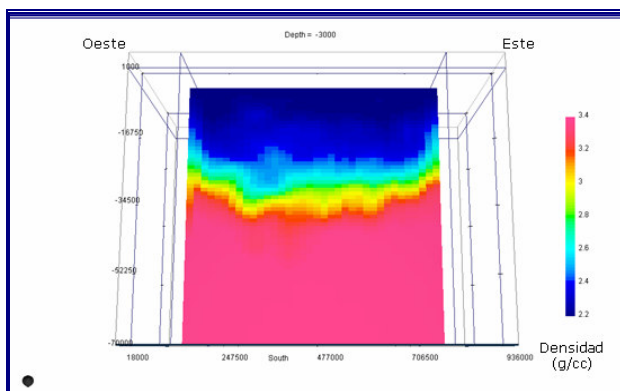
relacionado a la migración de la deformación desde el noroeste al sureste.

Es importante destacar que en estos mapas de profundidad de sedimentos se ven reflejadas: la Cuenca de Cariaco con un espesor sedimentario de 4 km, la Faja de Deformación Caribeña (12° y 13° de latitud Norte y de 65° a 67° de longitud Oeste) con un espesor aproximado de 4 km; la cuenca de La Blanquilla (11,5° y 12,5° de latitud Norte y 64° y 63° de longitud Oeste) que presenta una profundidad máxima de sedimentos de 4 km; y la Cuenca de Granada (13° de latitud y de 63° a 62° de longitud Oeste) reflejando una profundidad máxima de sedimentos de 10 km.

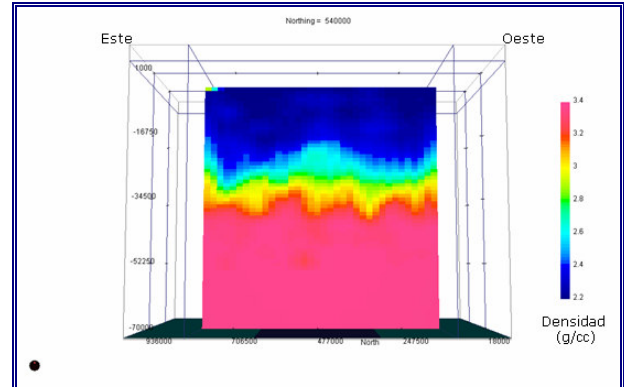
### Modelo de Densidad

En el software GRAV3D primero se construyó el archivo de gravedad y el mallado del cubo, con una profundidad máxima de 70 km. El área se ubica entre los 8° y 11,5° de latitud Norte y los 59° y 65,5° de longitud Oeste, considerando que el objetivo de este proceso es determinar un modelo de contrastes de densidad sólo para el área de la Subcuenca de Maturín.

El modelo de densidad obtenido refleja los valores de densidad de 2,0 g/cc a 2,4 g/cc en la zona de la Subcuenca de Maturín, hasta una profundidad promedio aproximadamente 16 km, estas densidades corresponden al paquete sedimentario de la cuenca y la profundidad en la cual desaparecen corresponde al espesor sedimentario. Las densidades a partir de 2,4 g/cc van aumentando en profundidad hasta valores de 3,4 g/cc en todo el modelo (Figura 20 y 21). El contacto entre la corteza (2,8 g/cc) y el manto (3,3 g/cc) se encuentra aproximadamente alrededor de los 40 km, esta profundidad varía en el modelo, presentándose en algunas zonas profundidades de moho mayores y en otras valores menores.



**Figura 18.** Modelo de Densidad para una sección Oeste –Este.



**Figura 19.** Modelo de Densidad para una sección Este –Oeste.

### CONCLUSIONES

La inversión gravimétrica es un método que presenta ventajas y desventajas, entre las ventajas se encuentran poder obtener mapas con la distribución regional 3D de las interfases como la profundidad del tope del basamento y la profundidad de Moho. Entre las desventajas se encuentran la no-unicidad de los resultados ya que ellos dependerán de los datos introducidos (mapa de anomalía regional y residual) o de los parámetros variables como los contrastes de densidad y la profundidad promedio de Moho.

Las interpretaciones principales de los resultados de la variación de la profundidad de Moho se proponen a partir de los mejores mapas obtenidos (Figura 12 y 13), aunque estos mapas no reflejan profundidades correctas en toda el área invertida debido a las limitaciones del algoritmo. Las principales tendencias obtenidas fueron:

1. Bajo el Cratón de Guayana se presentan los mayores espesores corticales del área de estudio, con valores máximos de 46 km que van aumentando hacia el sur.
2. En el área de la Subcuenca de Maturín se observan espesores corticales que varían desde los 34 km hasta los 38 km para los mapas obtenidos mediante el cálculo del efecto gravitatorio de la cuenca sedimentaria, mientras que en los otros casos tenemos profundidades de 43 km y de 49 km.
3. En el área del Mar Caribe se presentan los menores espesores corticales, que varían desde los 28 km hasta los 38 km para los mapas obtenidos mediante el cálculo del efecto gravitatorio de la cuenca sedimentaria, mientras que en los otros casos tenemos profundidades que van desde 28 km como mínimas a 46 km como máximas. Cabe destacar que en el área del Mar Caribe la variación de la profundidad de Moho presentada en nuestros mapas

representan los altos topográficos que se presentan en el Mar Caribe como es el caso de las Antillas Menores y el Arco de Islas fósiles de Aves, esto se debe a que estos arcos de islas presentan raíces corticales que hacen que el espesor cortical sea mayor.

Se propone un rango de espesor sedimentario para la Subcuenca de Maturín que va desde  $z=[11,8 \text{ km} : 15,3 \text{ km}]$  para un rango de contrastes de densidad de  $\Delta\rho=[-0,50 \text{ g/cc} : -0,40 \text{ g/cc}]$ , donde se observa claramente la relación inversa que existe entre el contraste de densidad y la profundidad. Este rango se encuentra dentro de los resultados obtenidos por Jácome *et al.* (2003). Además de obtenerse el espesor sedimentario de la Cuenca de Cariaco (4 km), la Faja de Deformación sur Caribeña (12 km), Cuenca de La Blanquilla (4 km) y la Cuenca de Grenada (10 km).

El modelo de densidad obtenido a partir del modelo de contrastes densidad, mediante la ejecución del software GRAV3D, refleja valores de densidad de 2,0 g/cc a 2,4 g/cc en la zona de la Subcuenca de Maturín como era lo esperado.

## RECOMENDACIONES

Seguir explorando sobre los diferentes métodos que existen para realizar la separación regional-residual. Se recomienda emplear la misma metodología de trabajo y los algoritmos y software usados, para realizar la inversión gravimétrica 3D de otras cuencas sedimentarias. Finalmente se propone, buscar o crear nuevos algoritmos semejantes al algoritmo 3DINVER.M pero que le permitan al usuario poder fijar puntos de control durante el proceso de inversión, esto permitiría que la superficie obtenida variara sólo en las regiones donde no se posean datos confiables.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Universidad de British Columbia y a todo su personal docente por habernos suministrado el software GRAV3D, el cual fue importante para el logro de los objetivos de este trabajo.

## REFERENCIAS

**Ávila, J., 2005**, Modelado Bidimensional de la Corteza en la Zona de Colisión Caribe-Suramérica, Región Oriental de Venezuela (Estado Anzoátegui), Tesis, Universidad Simón Bolívar. 137 pp.

**Bhaskara, D., y Ramesh, N., 1991**, A Fortran-77 computer program for three-Dimensional Analysis of gravity anomalies with variable density contrast, *Computer & Geosciences*, v. 17, no. 5, pp. 655-667.

**Daza, J., y Prieto, R., 1990**, Fallas de crecimiento en el área de Papirito Monagas Central, *Memorias V Congreso Venezolano de Geofísica*, pp. 142-149.

**Di Croce, J., 1995**, Eastern Venezuela Basin: Sequence stratigraphy and structural evolution [Ph.D. thesis], Rice University, Houston, Texas, 225 pp.

**Erllich, R.N., y Barrett, S.F., 1992**, Petroleum Geology of the eastern Venezuela foreland basin: in Macqueen, R.W. and Leckie, D.A., *Foreland Basins and Folded Belts*; AAPG Mem. 55, pp. 341-362.

**Feo-Codécido, G., Smith, F.D., Abound, N. y Di Giacomo, E., 1984**, Basement and Paleozoic rocks of the Venezuela Llanos basin, in Bonini, W. E., Hargraves, R.B. and Shagan, R., eds., *The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics*: Geological Society of America, M.162, pp. 175-187.

**Gomez, D., y Agarwal, B., 2005**, 3DINVER.M: a MATLAB program to invert the gravity anomaly over a 3D horizontal density interface by Parker-Oldenburg's algorithm, *Computers & Geosciences* v. 31, pp. 513-520.

**González de Juana, C., Arozena, J. y Picard Cadillac, X., 1980**, Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas: Funinves Ed., Caracas, 2v., pp. 95- 994.

**Graterol, V., 1993**, Mapa de anomalía de Bouguer de la República de Venezuela. Comp. 1993, *Memorias VII Congreso Venezolano de Geofísica*, Caracas, pp. 169.

**Jácome, M., 2001**, The Formation of Monagas Foreland Basin: Eastern Venezuela. University of Liverpool. pp. 204.

**Jácome, M., Kuszniir, N., Audemar, F., y Flint, S., 2003**, Formation of the Maturín Foreland Basin, eastern Venezuela: Thrust sheet loading or subduction dynamic topographic, *Tectonics*, v. 22, no. 5, 1046, pp. 1-17.

**Jácome, M., Kuszniir, N., Audemar, F., y Flint, S., 2003**, Tectono-stratigraphic Evolution of the Maturín Foreland Basin: Eastern Venezuela, *AAPG Memoir* 79, pp. 735-749.

**Jiménez, R., 2004**, Inversión Geoestadística 3D de datos gravimétricos: Aplicación a la región Hamaca, Faja Petrolífera de Orinoco, Tesis de Maestría, Universidad Central de Venezuela. 150 pp.

**Lilliu A., 1990**, Geophysical interpretation of Maturín foreland, Northeastern Venezuela, Msc. Thesis, University of Houston. 200 pp.

**Li, Y., Oldenburg, D., 1998**, 3-D inversion of gravity data, *Geophysics*, v. 63, no. 1, p. 109-119.

**Martins A., Schmitz M., Sánchez J., y Castilla R., 2002**, Adquisición de dos Transectos Sísmicos Profundos en el Oriente de Venezuela para Investigar la Corteza Terrestre. *Informe Preliminar, proyecto PDVSA-FUNVISIS*. (12): 2705-2733.

**Subieta, T., J. O. Carnevalli, y V. Hunter, 1988**, Evolución Tectonoestratigráfica de la Serranía del Interior y de la Subcuenca de Maturín, in A. Bellizzia, A.L. Escoffery, and I. Bass, eds., *III Simposio Bolivariano: Sociedad Venezolano de Geólogos*, Caracas, Venezuela, v. 2, pp. 549-578.

**Ussami, N., Gogo, N., Cassola, E., 1993**, Regional y Residual Isostatic Anomalies and Their Correlation with Major Tectonic Provinces, *Journal Geophysical Research*, Vol. 98, No. B2, pp. 2199-2208.

**University of British Columbia, 2001**, GRAV3D Version 2.0 A program Library for Forward Modelling and Inversion of Gravity Data over 3D structures.

**Yánez, M., 2005**, Modelado Bidimensional de la Corteza en la Zona de Colisión Caribe-Suramérica, Región Oriental de Venezuela (Estados Sucre y Monagas), Tesis, Universidad Central de Venezuela, 114 pp.