



MAPAS GENERALIZADOS DE LAS ANOMALÍAS GRAVIMÉTRICAS DEL CARIBE OCCIDENTAL Y AMÉRICA CENTRAL

José Luis Cuevas Ojeda,⁽¹⁾ Lázaro A. Díaz Larrinaga⁽²⁾ y Bárbara Polo González⁽³⁾

Dpto. Geofísica Regional, Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, La Coronela, La Lisa, Ciudad de La Habana, CP 11 600, Cuba. C. Eléct.: (1) jlcuevas@iga.cu, (2) ldiaz@iga.cu, (3) bpolo@iga.cu

RESUMEN

El presente trabajo ha tenido como principal objetivo el completamiento del mapa de anomalías gravimétricas de aire libre y de Bouguer total (con corrección topográfica hasta 167 km) del Caribe occidental desde los 9 grados de latitud norte hasta los 27,22° y entre los -90 y -65 grados de longitud oeste a escala 1:2 000 000.

En 1994 se culmina por primera vez la confección de un mapa de anomalías de Bouguer total (con corrección topográfica hasta 167 km) de Cuba centro oriental, culminándose en 1998 la confección del mapa del mismo carácter de toda Cuba en 1998, a escala 1:500 000, en ambos casos por Cuevas y otros.

En 1999 se calcula el Efecto Gravitacional del terreno en el Caribe centro occidental (Cuba, La Española, Jamaica y mares adyacentes). Elaborándose en ese mismo año el Mapa de Anomalías gravimétricas de Bouguer total (con corrección topográfica hasta 167 km) en el Caribe centro occidental, a escala 1:2 000 000 por Cuevas y otros (2000).

Este resultado constituye la ampliación de la generalización metodológica del cálculo de las anomalías gravimétricas de Bouguer total en el área del Caribe occidental, donde se encuentran la mayor parte de las islas pertenecientes a las Antillas Mayores, incluyendo América Central, y la parte septentrional occidental de América del Sur, lo que permitirá en el marco del Proyecto "Contribución al Modelo de Evolución Geológica del Caribe Occidental según Datos Geofísicos", llevar a cabo interpretaciones geólogo-geofísicas con nueva información.

ABSTRACT

The present paper has had as main goal the realization of free air gravity and Bouguer anomalies maps (with topographical correction up to 167 km) of the western Caribbean from the 9 degrees of north latitude up to the 27,22 degrees and between the -90 and -65 degrees of longitude west to scale 1:2 000 000.

In 1994, culminates the making of the gravity Bouguer anomalies map for the first time (with topographical correction up to 167 km) of center eastern Cuba, being culminated in 1998 the making of the map of the same character of all Cuba, to scale 1:500 000, in both cases for Cuevas and others.

In 1999, the gravitational effect of the terrain is calculated in the Caribbean western center (Cuba, The Hispaniola, Jamaica and adjacent seas). being elaborated in that same year the gravity Bouguer anomalies map (with topographical correction up to 167 km) in the Caribbean western center, to scale 1:2 000 000 for Cuevas and others (2000).

This result is the amplification of the methodological generalization of the calculation of the gravity Bouguer anomalies map in the area western Caribbean, where they are most of the islands belonging to the Greather Antilles, including central America, and the part northern Westerner of America of the South, what will allow in the frame the Project "Contribution to the Model of Geological Evolution of the Western Caribbean according to Geophysical Data", to carry out geological and geophysical interpretations with new information.



Introducción

En Cuba se han realizado varias generalizaciones gravimétricas a escalas regionales, entre las que se encuentran la realizada por Soloviev et al. (1964), a escala 1:500 000 de un mapa de anomalías de Bouguer simple, posteriormente se confecciona un nuevo mapa bajo la redacción de N. Sazhina, también a la misma escala que culmina en 1968. En 1989 se culmina una generalización a una escala 1:500 000 realizada por Cuevas y otros.

En 1994 se culmina por primera vez la confección de un mapa de anomalías de Bouguer total (con corrección topográfica hasta 167 km) de Cuba centro oriental, culminándose en 1998 la confección del mapa del mismo carácter de toda Cuba en 1998, a escala 1:500 000, en ambos casos por Cuevas y otros.

En 1999 se calcula el Efecto Gravitacional del terreno en el Caribe centro occidental (Cuba, La Española, Jamaica y mares adyacentes). Elaborándose en ese mismo año el Mapa de Anomalías gravimétricas de Bouguer total (con corrección topográfica hasta 167 km) en el Caribe centro occidental, a escala 1:2 000 000 por Cuevas y otros (2000).

El presente resultado es la ampliación, sobre la base de la adición de nueva información de la generalización metodológica del cálculo de las anomalías gravimétricas de Bouguer total en el del área Caribe occidental, donde se encuentran la mayor parte de las islas pertenecientes a las Antillas Mayores, incluyendo en esta ocasión América Central, y la parte septentrional occidental de América del Sur, lo que permitirá en el marco del Proyecto "Contribución al Modelo de Evolución Tectónica del Caribe, según datos Geofísicos", llevar a cabo interpretaciones geólogo-geofísicas con nueva información.

El presente trabajo ha tenido como principal objetivo el completamiento del mapa de anomalías gravimétricas de Bouguer total (con corrección topográfica hasta 167 km) del Caribe occidental desde los 9° de latitud norte hasta los 27,22° y entre los -90° y -65° de longitud oeste a escala 1:2 000 000.

Materiales y métodos

Materiales

Área de Estudio. La misma se ubica entre los 9° y los 27,22° de latitud norte y los 68,13° y 88,43° de longitud oeste, que incluye a Cuba, La Española, Jamaica, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, los extremos meridionales de los territorios de Panamá y Colombia y el extremo oriental de México y sus mares adyacentes (fig. 1).

Modelo Digital de Elevación (MDE). El completamiento del MDE hasta los 9 grados de latitud norte, se obtuvo del sitio web MARINE GRAVITY FROM SATELLITE ALTIMETRY (Sandweel, T. [en línea]). Estos datos se regularizaron a una red regular de 5000 m para su unión con los modelos obtenidos en trabajos recientes (Cuevas et al., 2000), completándose el MDE para el Caribe occidental y América Central. Permitiendo calcular los valores de corrección topográfica hasta 167 km en el área de interés. El MDE del Caribe occidental puede observarse en la fig. 2.

Materiales gravimétricos primarios. Para la elaboración de los mapas finales de aire libre y en reducción de Bouguer total, se contó como base fundamental los mapas obtenidos para el área del Caribe centro occidental por Cuevas y colaboradores (2000), los que incluían la información del mapa de anomalías de Bouguer simple ($\sigma = 2,3 \text{ t/m}^3$) elaborado para toda Cuba a escala 1:500 000 (Cuevas et al., 1989), el mapa de anomalías de Boguer total ($\sigma = 2,67 \text{ t/m}^3$) de Cuba centro oriental a escala 1 : 500 000 (Cuevas, 1994), el mapa de anomalías de Bouguer



simple de La Española (Reblin, 1972) y las observaciones gravimétricas primarias de toda el área bajo estudio correspondientes al Mar Caribe, así como a Jamaica (Bowin, 1976; Paterson et al., 1992). También fueron adquiridos del sitio web antes mencionado (Sandweel, T. [en línea]) los valores gravimétricos de aire libre, completándose la base digital de los datos primarios desde los 9° hasta los 16,15°, para la realización del cálculo de las anomalías gravimétricas en reducción de Bouguer total.

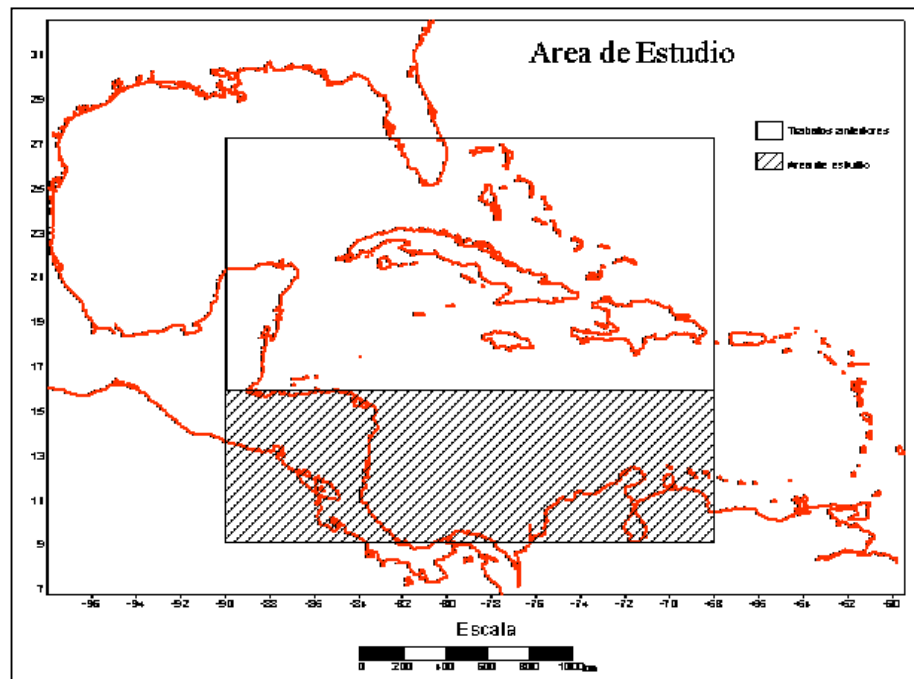


Fig. 1. Área total de estudio en el Caribe occidental. Parte sombreada: área de completamiento.

Método de cálculo del efecto gravitacional del relieve. El método de cálculo ha sido el mismo que fue probado y utilizado con éxito en Cuba, para el cálculo de la corrección topográfica (Pick, 1987) y posteriormente generalizada la metodología para el área del Caribe occidental utilizando el algoritmo implementado por Cuevas (1991), un mayor detalle sobre el aspecto metodológico puede encontrarse en Cuevas (1994) y en Cuevas y Pacheco (1995).

Resultados y discusión

El principal objetivo del presente trabajo lo constituyó la confección de los mapas gravimétricos generalizados en reducción de Bouguer total ($\sigma = 2,67 \text{ t/m}^3$) y de aire libre en el Caribe occidental, América central y la parte septentrional de América del Sur, a una escala de 1:2 000 000. Los mencionados mapas completaron el material necesario para la culminación de una reinterpretación integrada de los campos magnéticos y gravimétricos en la zona de estudio dentro del Proyecto "Contribución al Modelo de Evolución Tectónica del Caribe, según datos Geofísicos" (Díaz et al., 2003).

La cartografía gravimétrica con corrección topográfica es una labor extremadamente laboriosa, máxime cuando los territorios involucrados son muy extensos, como lo es en el presente caso, en el que se ha incluido el territorio del Caribe occidental, adicionando la



América central y la parte septentrional de América del Sur. Es por ello que esta labor ha sido realizada en varias etapas la que ha sido detallada en varios trabajos (Cuevas y Pacheco, 1991; Cuevas, 1994; Cuevas y Díaz, 1996; Alvarez et al., 1999; Cuevas et al., 1998, 1999a, 1999b, 2000a, 2000b).

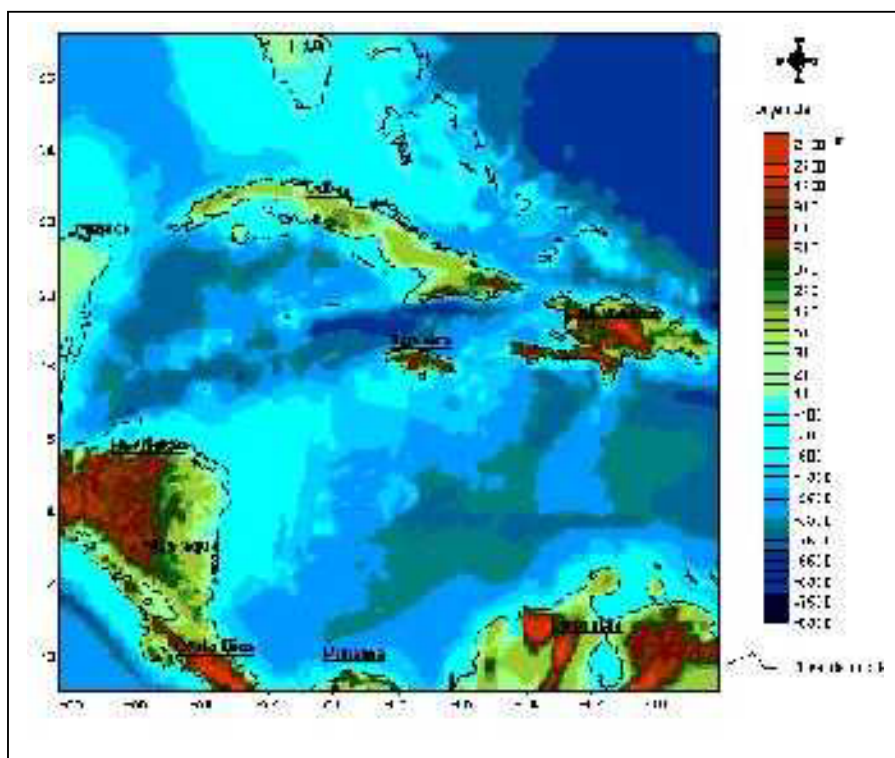


Fig. 2. Modelo Digital de Elevaciones del Caribe occidental, América central y parte septentrional de América del Sur.

Como parte de la información necesaria para la elaboración de los mapas gravimétricos del área, también se presenta el de anomalías de aire libre en la fig. 3.

El efecto gravitacional del relieve en toda el área del Caribe occidental fue calculado utilizando la metodología descrita anteriormente y puede observarse en la fig. 4.

En el presente trabajo se ha continuado la generalización metodológica del cálculo del efecto gravitacional del relieve a un área mayor del Caribe y que incluye por primera vez a América central y parte de América del Sur.

Un estudio del comportamiento del efecto gravitacional generalizado (EG) del relieve en el área de los trabajos, a donde pertenecen las Antillas Mayores (Cuba, La Española, Jamaica), América central (Nicaragua, Honduras, Costa Rica, Panamá) y la parte norte de la América del Sur (Colombia y Venezuela se hace en el presente trabajo. En el mapa de EG que puede observarse en la fig. 4, se obtuvieron valores máximos de 58 mGal, 21 mGal y 18 mGal para los territorios de Cuba, La Española y Jamaica respectivamente. En la parte norte de Colombia se calcularon efectos gravitacionales máximos de 35 mGal y en América central valores de 18 mGal en la región de Costa Rica.

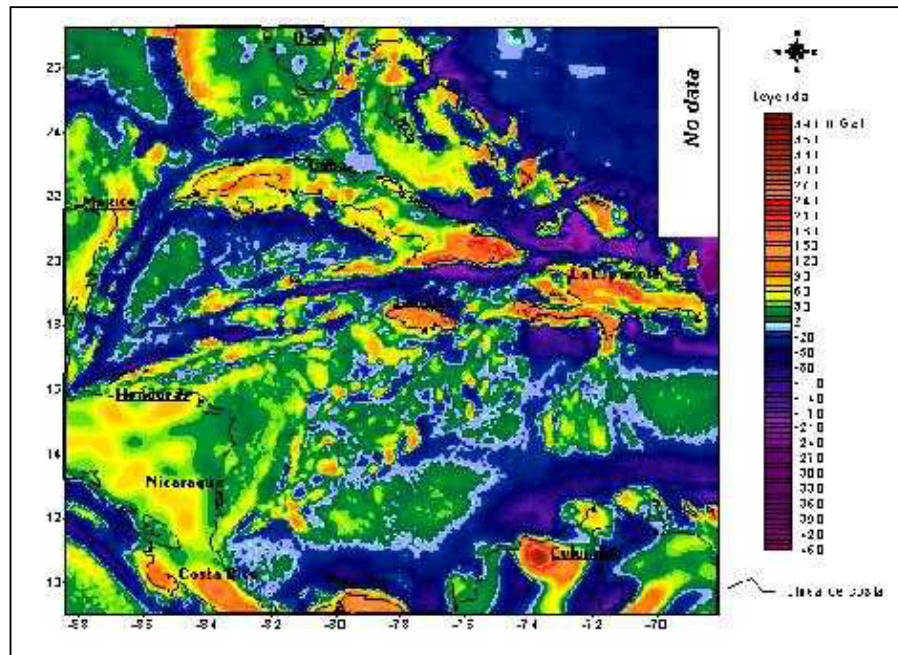


Fig. 3. Mapa del Anomalías de aire libre en el Caribe occidental, América central y parte septentrional de América del Sur

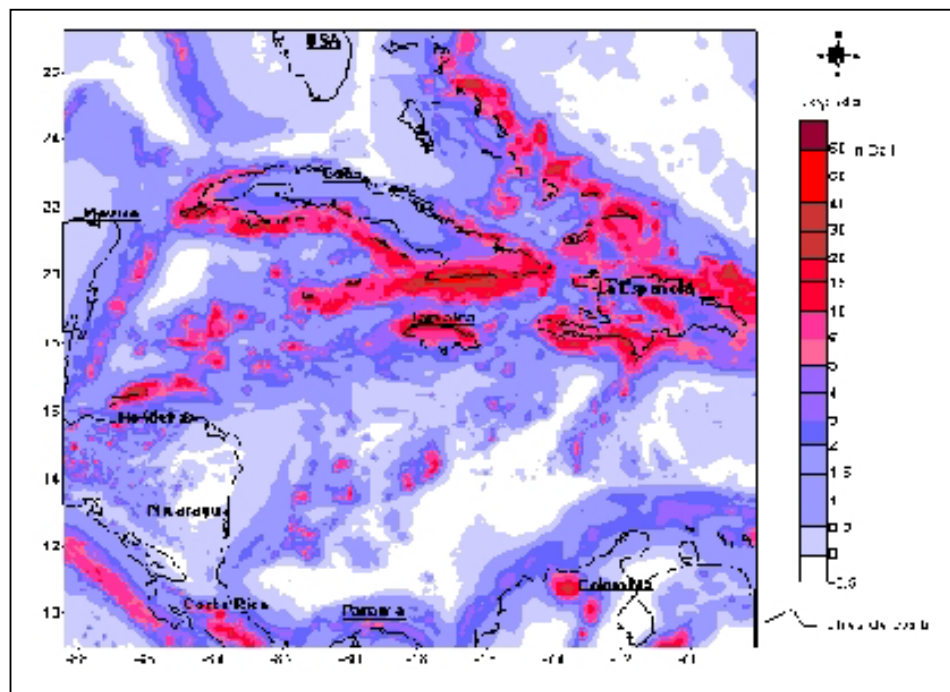


Fig. 4. Mapa del Efecto gravitacional del relieve hasta la zona de Hayford O2 (e.g. 167 km) en el Caribe occidental, América central y parte septentrional de América del Sur



Para el caso de Cuba ya con anterioridad se había realizado un estudio detallado (Cuevas y Pacheco, 1994; Cuevas y Díaz, 1996), así como otro estudio de regionalización de zonas a partir de métodos no supervisados de reconocimiento de patrones (Díaz et. al, 1998), donde se establecieron diferentes zonas de complejidades, pudiéndose obtener un esquema de caracterización regional del efecto gravitacional del relieve en todo el territorio nacional, a escala 1: 1 500 000. En el mismo se representan tres niveles del comportamiento anómalo del relieve topográfico de alta, moderada y baja complejidad, sobre las observaciones de la gravedad. Todo esto fue realizado a partir del estudio de los mapas obtenidos por Cuevas (1994) a escala 1: 500 000 de las correcciones topográficas parciales (de la zona lejana y cercana), así como de la morfometría del relieve topográfico (altura topográfica y gradiente horizontal máximo de la altura).

En el caso del resto de las Antillas Mayores, sólo se tienen referencias de trabajos considerando EG en Jamaica con los trabajos realizados por Paterson et al. (1992), cuando realizaron el mapa gravimétrico de anomalías de Bouguer del territorio escala 1:250 000, donde tuvieron en cuenta el EG hasta los 18 km.

El presente estudio de generalización considera a la región de las Antillas Mayores (Cuba, La Española, Jamaica y mares adyacentes), calculándose para La Española y Jamaica los mencionados EG a escala 1:500 000, y teniendo en cuenta MDE de escala 1:50 000, como se realizó en Cuba.

Empleando la metodología descrita anteriormente, se determinaron valores en tierra que alcanzan los 58 mGal, localizándose en el extremo meridional de Cuba oriental. Los mínimos valores del EG en Cuba se localizan en las zonas de llanuras que se extienden a todo lo largo del territorio como son: la Cuenca del Cauto y las llanuras de Camagüey por el oriente y por el occidente la llanura Habana-Matanzas y toda la parte meridional de la Isla de la Juventud entre otras. Las zonas de altos valores del EG, se ubican en la Sierra Maestra, el Macizo Escambray, la Cordillera de Guaniguanico, la Sierra de Nipe-Cristal, y la Sierra del Purial. Los valores máximos de gradiente del EG, se localizan en el extremo sur oriental de Cuba, con dirección de máximo gradiente de N a S (Cuevas y Pacheco, 1994; Cuevas y Díaz, 1996)

Los máximos valores del EG en La Española alcanzan algo más de 25 mGal, y se localizan en el extremo meridional de la Sierra de Bahoruco, y otro similar de 24 mGal al SE de la Cordillera Central, otros valores máximos están localizados en el Oeste de las montañas sur del Macizo la Silla con valores que oscilan entre los 10 y 23 mGal. Los mínimos se localizan, en gran parte de las cordilleras septentrional, central y oriental y en el Golfo de Gonaives con valores que oscilan entre 2-10 mGal. El EG en este territorio tiene un carácter más homogéneo que el exhibido en Cuba, con zonas de máximos gradientes localizadas al norte de la Sierra de Bahoruco y en la Cordillera central, en ambas zonas la dirección de máximo gradiente es de NE a SW.

En el territorio de Jamaica se reportan máximos de 18 mGal, localizados en la Sierra Blue. En este territorio el EG mantiene un comportamiento muy estable, con valores que van desde los 5 a 10 mGal, con dirección de gradiente máximo de S a N.

Es así que sobre la base de los mapas del efecto gravitacional de las masas topográficas hasta 167 km, a escalas 1:500 000 construidos para Cuba, La Española, Jamaica (Cuevas et al., 1999a), así como el mapa confeccionado para la parte central del Caribe occidental (Cuevas et al., 2000), se pasó a la elaboración para el completamiento del área de estudio (fig.1, área sombreada) del mapa de anomalías de Bouguer total utilizando la adición al MDE, para el cálculo del efecto gravitacional del que se hizo una descripción general. En la fig. 5 se muestra el mapa de anomalías gravimétricas en reducción de Bouguer total.

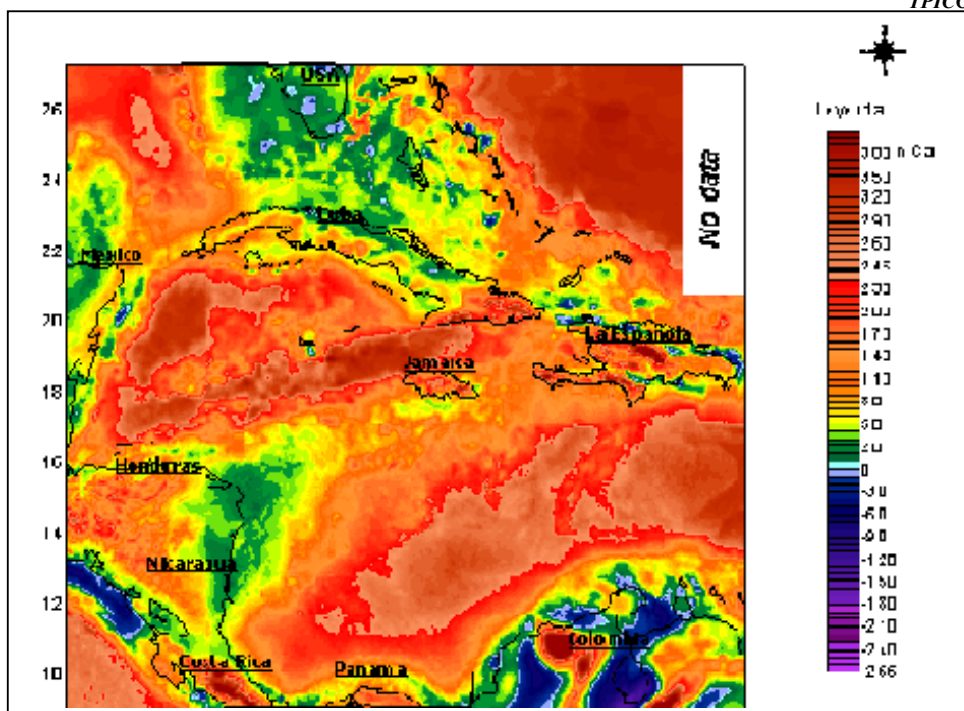


Fig. 5. Mapa de las Anomalías Gravimétricas en reducción de Bouguer total (e.g. con corrección topográfica hasta 167 km) en el Caribe occidental, América central y parte septentrional de América del Sur

La región de estudio se caracteriza por un campo de anomalías en reducción de Bouguer total, complejo con valores que van desde los -150 mGal hasta los 894 mGal. Una caracterización del mismo puede encontrarse en Cuevas et al. (2000). En el presente trabajo sólo nos referiremos brevemente al área adicional (fig. 1).

El cálculo de las anomalías gravimétricas de Bouguer en las nuevas áreas incluidas en la generalización dieron como resultados en la parte norte de Colombia valores que sobrepasan los 865 mGal, otro valor alto determinado en la zona de América Central fue en Costa Rica con valores que alcanzan los 495 mGal. Valores mínimos se localizan al oeste de Nicaragua con dirección NW y magnitudes del orden de los -50 mGal, Similares valores se localizan entre Venezuela y Colombia pero con dirección N-NE. Valores intermedios que alcanzan los 294 mGal se localizan en las cuencas de Colombia y Venezuela. Ambas cuencas están delimitadas por zonas de altos gradientes y divididas en dirección NE por el Elevado de Beata con valores que sobrepasan los 190 mGal.

Este mapa será útil desde el punto de vista de las investigaciones geofísicas regionales de la corteza profunda y el manto superior, en el área caribeña y América central, pudiendo considerarse como un aporte importante en el estudio gravimétrico de un área tan importante como lo es el Caribe y América Central, desde el punto de vista geológico, y que ha sido y seguirá siendo objeto de estudio de muchos investigadores.

Desde el punto de vista metodológico es de destacar que se acometió en el área del Caribe un trabajo de cálculo de las anomalías de Bouguer total, reflejándose de esta manera la verdadera magnitud de las anomalías de la gravedad.



Todos estos mapas están montados sobre un sistema de información geográfica que permitirá el procesamiento e interpretación integrada con otros métodos (Plata y Somoza, 1994)

Conclusiones

- ⌘ El presente trabajo cumplió satisfactoriamente el objetivo de la confección del mapa gravimétrico de anomalías de Bouguer Total del Caribe occidental y América Central ($\sigma = 2,67 \text{ t/m}^3$) de aire libre, a una escala de 1 : 2 000 000.
- ⌘ Se aportan nuevos elementos, para la planificación, e interpretación de los proyectos de investigación gravimétrica en el Caribe occidental aplicados a la búsqueda y exploración de yacimientos minerales, gas y petróleo, asimismo posibilita el esclarecimiento de las anomalías de la gravedad.
- ⌘ Los mayores valores de corrección topográfica ($>30 \text{ mGal}$), se localizan al suroeste de Panamá y en Costa Rica. Valores de similar magnitud, pero inferior en extensión se localizan al norte de Honduras.
- ⌘ Los máximos valores de anomalías de Bouguer total se localizan en Colombia y Costa Rica ($>895 \text{ mGal}$ y 495 mGal respectivamente), así como en las Hoyas de Colombia y Venezuela, con valores que sobrepasan los 270 mGal , estos valores se correlacionan con los que se localizan a todo lo largo de la Fosa Caimanes.
- ⌘ Del análisis comparativo entre el comportamiento de las anomalías de Bouguer total y simple, se puede constatar, que existen desplazamientos y cambios en la amplitud de las anomalías de la gravedad, hecho que demuestra la importancia que tiene la corrección del EG en las mediciones de la fuerza de la gravedad.
- ⌘ El incluir los mapas gravimétricos digitales en un Sistema de Información Geográfica como capas raster, permitirá la utilización de las técnicas propias de estos sistemas, para la interpretación integrada con los demás datos geofísicos y geológicos que se manejan en el presente Proyecto.

Referencias

Autor, Año. Título del artículo. *Publicación (lugar)*, volumen (número) : paginación

Bowin, C., 1982. Free-Air Gravity Anomaly Atlas of The World. Woods Hole Oceanographic Institution, Geological Society of America Map and Chart Series, No. MC-46.

Bureau Gravimétrique International; Association Internationale de Geodésie, Francia, 1988. Bulletin D'Information (Toulouse), (62) : 1-25

Cuevas, J. L., 1994. Caracterización de Anomalías de la Gravedad y su Utilización en Estudios de Tectónica y Sismicidad de Cuba centro oriental, Tesis Doctorado, IGA-ACC, mayo, La Habana, 146 p.

Cuevas, J. L. y M. Pacheco, 1994. Influencia del Efecto Gravitacional del Relieve Topográfico sobre las Anomalías de Bouguer hasta la Zona de Hayford O2 en Cuba oriental. Geof. Int., 33 (3): 385-397



- Cuevas, J. L., M. Fundora, M. Pacheco y B. Polo, 1989. Nuevo Mapa de Anomalías Gravimétricas de Bouguer para la República de Cuba a escala 1 : 500 000. En 1er. Congreso Cubano de Geología (La Habana), Resúmenes, p 114.
- Cuevas, J. L., F. García, M. Pacheco, D. González y R. Ramírez, 1995. Determinación de Estructuras Tectónicas Disyuntivas utilizando Técnicas del Procesamiento de Imágenes y del Gradiente Total Normalizado a partir de Datos Gravimétricos de Cuba Central. Geof. Int., 34(1): 93-105.
- Cuevas, J. L. y L.A. Díaz, 1996. Efecto Gravitacional del Relieve Topográfico en Cuba: Características e Influencia. En Resúmenes, III Simposio Cubano de Geofísica GEOFÍSICA'96, 21-24 Oct. (La Habana), p. 64-65 y en Resúmenes, XI Fórum de Base de Ciencia y Técnica y VI Jornada Científica IGA (La Habana), 25-26 Sept., p. 17-18.
- Cuevas, J. L., L. A. Díaz y B. , 1998. Mapa de Anomalías de Aire Libre y Bouguer total de Cuba a escala 1:500 000. En Rep. de Inv., Inst. Geof. y Astron. (La Habana), 9 p.
- Cuevas, J. L., L. A. Díaz y B. Polo, 1999a. Nuevos Mapas de Anomalías de Bouguer total y Aire Libre de la Española y Jamaica, escala 1 : 500 000. Reporte de Investigación, Inst. Geof. y Astron., (La Habana), 15 p.
- Cuevas, J. L., L. A. Díaz y B. Polo, 1999b. Efecto Gravitacional del Relieve en las Antillas Mayores hasta la zona de Hayford O2, a escala 1 : 2 000 000, Reporte de Investigación, Inst. Geof. y Astron. (La Habana), 12 p.
- Cuevas, J. L., L. A. Díaz y B. Polo, 2000a. Generalización Metodológica del Cálculo del Efecto Gravitacional del Relieve en el Caribe centro occidental: Un Análisis Integrado en Las Antillas Mayores. Resúmenes, en XIII Forum Municipal de Ciencia y Técnica, 6-8 Sept. (La Habana, Cuba)
- Cuevas, J. L., L. A. Díaz y B. Polo, 2000b. Regionalización Gravimétrica en el Caribe Centro Occidental (III): Nuevos Mapas de Anomalías de Bouguer Total y Aire Libre, Escala 1:2 000 000. En Memorias [CD-Rom], III Conferencia Latinoamericana de Geofísica, 17-20 Oct. (Villahermosa, México).
- Díaz L. A., Cuevas J. L. y Polo B., 1998. Caracterización de la influencia del relieve en las observaciones gravitacionales para Cuba, con el uso de métodos no supervisados de reconocimiento de patrones. Rev. Min. y Geol., XV(3): 31-38
- Díaz, L. A., J. L. Cuevas, R. Alvarez y B. Polo, 2003. Mapa de Contactos Tectónicos y Estructuras del Caribe occidental, según Datos Geofísicos. En Memorias [CD-Rom], V Congreso de Geología y Minería de la Sociedad Cubana de Geología, 24-28 Marzo (La Habana, Cuba)
- Paterson, Grant y Watson Limited, 1992. Gravity Anomaly Map of Jamaica with terrain correction to 18 km. Jamaica Geological Survey. Project 504/12703.
- Pick, M., 1987. On the calculation of the gravity terrain corrections in Czechoslovakia. Studia. geoph. et geod., (39): 245-248
- Plata, J. L. y S. Somoza, 1994. Aplicación del proceso de imágenes al análisis de datos gravimétricos. Bol. Geol. y Min., 105(5): 473-483.
- Reblin, M. T., 1972. Simple Bouguer Gravity Anomaly Map of Hispaniola
- Sandweel, T. [en línea]. Marine Gravity from Satellite Altimetry [citado 15-02-2002]. Disponible en Internet: <URL: <http://topex.ucsd.edu/sandwell/sandwell.html>>