



REVISTA TÉCNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- SCOPUS
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci
- Revencyt
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



REVISTA TÉCNICA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Hacia los 130 años de creación de la Universidad del Zulia

"Buscar la verdad y afianzar los valores trascendentales", misión de las universidades en su artículo primero, inspirado en los principios humanísticos. Ley de Universidades 8 de septiembre de 1970.

Integration and unification of gravimetric data in western Venezuela for the calculation of the Bouguer anomaly of the Mérida Andes

Francisco Araujo^{1}, Nuris Orihuela²*

¹PDVSA Intevep, Gerencia de Exploración, Los Teques Edo Miranda, C.P. 1201, Venezuela.

²Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geofísica, Apartado 47885, Caracas 1020A, Venezuela.

*Autor de Contacto: Francisco Araujo.franck074@gmail.com

<https://doi.org/10.22209/rt.v43n2a02>

Recepción: 22/11/2018 | Aceptación: 14/02/2020 | Publicación: 01/05/2020

Abstract

For the integration of gravimetric data, there are two important variables to take into account, one is that the values of relative gravity have to be unified to the same reference system, and the associated height values must have error ranges according to the instrumental assessment of gravimeters used for acquisition. There is a reference system before 1970 with a wrong value (14.8 mGal per excess), which was corrected worldwide in 1971. However, even though in Venezuela these values are corrected these values since the implementation of the Gravimetric Network of 1982, and furthermore with the absolute measurements of 1988, this error continues spreading when it comes to acquiring new gravimetric data. The problems appear when trying to make maps with surveys that are tied to different reference systems and mathematical or fictitious anomalies begin to appear, which do not reflect the geological context but are a consequence of the lack of unification of the gravimetric measurements. Since the publication of data from the 1982 network, there is a mixture of surveys in Venezuela. The present work shows the error committed when calculating Bouguer anomalies for surveys linked to different reference systems, this error is up to 60% for some cases. A possible solution to try to recover the data with this error is presented. It is shown the Bouguer Anomaly map for western Venezuela, where the aforementioned source of error is corrected.

Keywords: Gravimetry; Mérida Andes; Gravimetric Network; Bouguer Anomaly.

Integración y homologación de datos gravimétricos en el occidente de Venezuela para el cálculo de la anomalía de Bouguer de los Andes de Mérida

Resumen

Para la integración de los datos gravimétricos existen dos variables importantes a tomar en cuenta, una es que los valores de gravedad relativa tienen que estar homologados a un mismo sistema de referencia y los valores de altura asociada deben tener rangos de error acordes a la apreciación instrumental de los gravímetros. Se tiene un sistema de referencia antes de 1970 con un valor errado (14.8 mGal por exceso) y luego de 1971 este valor se corrige a nivel mundial. Sin embargo, a pesar de que Venezuela corrige estos valores a partir de la Red Gravimétrica de 1982 y luego con las medidas absolutas de 1988, este error se sigue cometiendo a la hora de adquirir nuevos datos gravimétricos. Los problemas aparecen cuando se tratan de realizar mapas con levantamientos que están amarrados a diferentes sistemas de referencia y empiezan a aparecer anomalías matemáticas o ficticias las cuales no reflejan el contexto geológico, sino que son una consecuencia de la falta de homologación de las medidas gravimétricas. A partir de la publicación de los datos de la red de 1982 se tiene una mezcla de levantamientos. El presente trabajo muestra el error cometido al calcular anomalías de Bouguer para levantamientos ligados a diferentes sistemas de referencia, siendo este error de hasta el 60 % para algunos casos. También se da una posible solución para tratar de recuperar los datos con este error y se presenta el mapa de Anomalía de Bouguer para el occidente sin la fuente de error antes citada.

Palabras Clave: Gravimetría; Andes de Mérida; Red Gravimétrica; Anomalía de Bouguer.

Introducción

El primer sistema gravimétrico conocido es el Sistema Gravimétrico de Viena establecido en el año 1900; a este sistema le reemplaza el sistema gravimétrico de Potsdam en 1909, este se presenta como un sistema más preciso. Al transcurrir el tiempo se observa que el sistema de Potsdam tiene un error en el orden de 14 mGal [1]. En 1970 la Dirección de Cartografía Nacional de Venezuela asume el levantamiento de una red de referencia de alcance nacional, (Figura 1, tabla1,). La red de referencia de 1970 es identificada con la Red Gravimétrica Nacional de Venezuela (RGNV70), se levantan 58 estaciones. Cuando en el año 1970 en Venezuela se mide la red de referencia, el Sistema de Referencia Gravimétrico Mundial vigente era el de Potsdam, el cual tenía un error del orden de 14 mGal. A nivel mundial, este problema es abordado por la Asociación Geodésica Internacional (AGI), quien deroga el Sistema Gravimétrico de Potsdam en el año 1971 y lo sustituye por la Red de Estandarización Gravimétrica Internacional (IGSN71). En el año 1982 es el Ministerio de Energía y Minas (MEM), junto a la Dirección de Cartografía Nacional, quienes asumen la campaña de campo para levantar una nueva red de referencia, normalizada al IGSN71. En esta nueva red de referencia son levantadas 26 estaciones (Figura 1,) [1]. El año 1988 se desarrolla la primera campaña de mediciones de gravedad absolutas en Venezuela para lo cual se utiliza un sensor de caída de peso, el Jilag-3. Se levantan 6 estaciones absolutas [2]. Producto de las mediciones de gravedad absoluta de 1988 se publica el trabajo de Drewes [3] que además de reportar las gravedades de las seis localidades indicadas incorpora la normalización de las 26 estaciones de la red del 1982 a los nuevos valores absolutos medidos.

Tabla 1. Valores de gravedad absoluta para la red gravimétrica de 1970 (tomado y modificado de Graterol [4]) y los reportados por Drewes 1991 tomado y modificado de Drewes [3].

No.	Notes	Station	Name	Gravity	RMSE
1	□	962467	Ccs-Cagigal	9780246.95	± 0.07
2	■	970070	Ccs-Malquetia	9782309.1	± 0.10
3	■	975070	Ccs-Sta.Ines	9780510.43	± 0.08
4	■	970082	Caracas (Ccs)	9780612.93	± 0.07
5		970182	Pto.Fijo	9782507.46	± 0.14
6	■	970282	Maracaibo	9781994.89	± 0.09
7		970382	Carupano	9782239.37	± 0.12
8		970482	Barcelona	9781505.61	± 0.09
9		970582	Barquisimeto	9780394.88	± 0.11
10		970682	Sta.Barbara	9780451.94	± 0.11
11		970782	Tucupita	9781132.94	± 0.09
12	●	970882	Merida	9777511.51	± 0.26
13		970982	V.de Pascua	9781556.23	± 0.09
14		971082	Calabozo	9781688.54	± 0.09
15		971182	San Tomé	9780660.54	± 0.10
16	■	971282	Cd.Bolivar	9781516.77	± 0.07
17		971382	San Antonio	9779427.59	± 0.16
18		971482	San Fernando	9781383.74	± 0.08
19		971582	Caicara	9781262.83	± 0.08
20		971682	Elorza	9780814.93	± 0.09
21		971782	Vergarena	9780045.37	± 0.11
22		971882	El Dorado	9780581.45	± 0.10
23	■	971982	Pto.Ayacucho	9780606.67	± 0.07
24		972082	Uriman	9779494.3	± 0.16
25		972182	Manapare	9780209.15	± 0.11
26	●	972282	Sta.Elena	9778227.97	± 0.22
27		972382	San Fernando	9780184.82	± 0.11
28		972482	Ocamo	9779736.12	± 0.14
29		972582	San Carlos	9780076.46	± 0.12

Notes: □ absolute gravity station, ■ local base tied to absolute gravity station
● destroyed station, not identical with but replaced by absolute gravity station

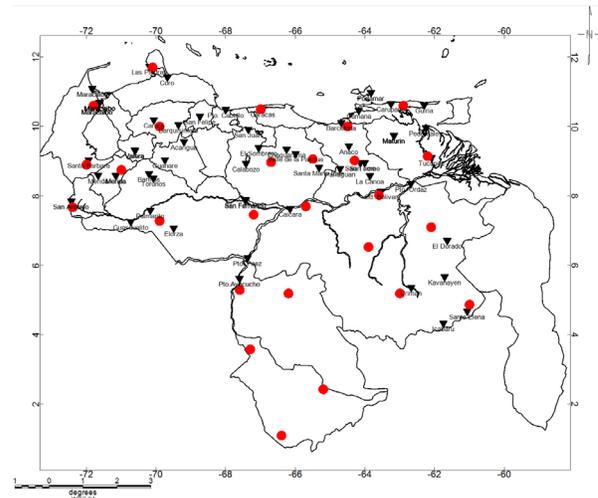


Figura 1. Estaciones de la red de referencia gravimétrica levantada en 1970, triángulos en color negro. Estaciones de la red de referencia gravimétrica levantada en 1982, círculos en color rojo (Modificado de Graterol [4]).

Análisis del estado de las redes gravimétricas

De la publicación de los nuevos valores de gravedad tomados en 1982 y 1988 hasta aproximadamente el año 2012 se tiene una base de datos (en su mayoría común para Universidades e Institutos de Investigación) mezclada de valores de gravedad, unas amarradas al sistema de referencia de la Red Gravimétrica Nacional de Venezuela (RGNV70) y otras amarradas a las estaciones corregidas u homologadas por las medidas realizadas por cartografía nacional y por la Universidad de Hanover (Red de Estandarización Gravimétrica Internacional (IGSN71)). Esto trae como consecuencia anomalías matemáticas o ficticias cuando se trabajan con por lo menos dos o más levantamientos gravimétricos amarrados a diferentes datums. En el trabajo de Graterol 1993 [4] se realiza una homologación o reprocesamiento para la época de unas 140.000 estaciones pertenecientes a la base de datos de la USB para tratar de eliminar este problema. Sin embargo, en un análisis detallado de los levantamientos entre estaciones cercanas se ve que el problema persiste [5]. Para el año 2012 la UCV, ABAE (Agencia Bolivariana Aeroespacial), PDVSA, abordan el problema de tratar de depurar u ordenar la base de datos existente en PDVSA la cual es común a la USB, UCV y Funvisis. La ventana de trabajo fue de 6° a 13° grados de latitud y -73 a -58 grados de longitud esta ventana de revisión se debe a que se tenía como objetivo principal el estudio de las cuencas petroleras del país, la figura 2, se muestran todas las estaciones existentes en la base de datos. Observando los mapas generados a partir de la base de datos existentes, en algunas aéreas salen a relucir anomalías gravimétricas que no tenían una correlación geológica adecuada al contexto donde ésta se ubicaba ya que se notaba un máximo en una zona de alto espesor de sedimentos y estos por lo general son asociados a mínimos gravimétricos. Luego revisando los datos de origen se notó que la estación gravimétrica

(estación base) a la cual estaban amarrados estos datos poseía el valor en exceso de 14.826 mGal. A continuación se da un ejemplo de una simulación, para ver cómo afecta la integración de datos gravimétricos a diferentes datum la interpretación cualitativa y cuantitativa. Este sería un caso hipotético, donde se tiene el levantamiento realizado por la empresa sísmica Bielovenezolana para el 2010 en la zona circundante al graben de Mantecal, el levantamiento está amarrado al BM (Benchmark, o punto de referencia de medidas de gravedad) de la población de Elorza con valores de gravedad 978066,660 mGal homologado a la red de 1971. La figura 3, muestra el gráfico de las estaciones gravimétricas adquiridas, en color amarillo se tienen varias estaciones que hipotéticamente fueron amarradas a una base con los 14.826 mGal por exceso, o sea que tendremos un levantamiento mezclado. Las figuras 4 y 5, muestran las anomalías de Bouguer para el caso homologado y para el caso contaminado por ruido asociado a el amarre de los 14.826 mGal. Obsérvese como aparece una anomalía positiva al noreste de la población de Mantecal y que llega casi a la población del Saman, esta anomalía es completamente ficticia y no asociada a ningún cuerpo geológico dentro del subsuelo, la variación de mínimo a máximo en valor absoluto para el caso del mapa de la figura 4, es de 26.23 mGal mientras que la variación para el mapa de la figura 5, es de 42.21 mGal. La diferencia entre los dos mapas da 15.98 mGal, este valor es el 61% de 26.23 mGal (valor de variación correcto). En otras palabras al adicionar 14.826 mGal se introduce un error para este caso de más del 60 %, por lo que se concluye que cualquier tipo de interpretación cualitativa o cuantitativa estaría completamente errada. Para el caso del levantamiento Tupure Carora [6] el cual tiene una variación entre máximo y mínimo de 90 mGal, estos 14.8 mGal corresponderían a un error de 16 %. Para el levantamiento Mene de Acosta realizado recientemente con una variación del 71 mGal, el error asociado sería de 22%. Cuando se aplica un filtro matemático con la intención de resaltar algunas características geológicas a los mapas de la anomalía de Bouguer, aparecerá un factor multiplicador de 14.8 que afectará al mapa resultante.

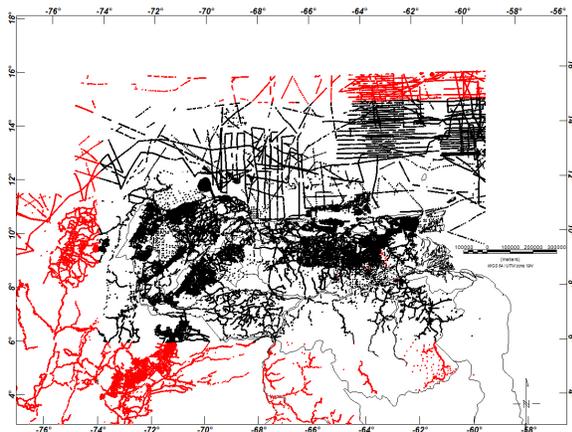


Figura 2. Estaciones gravimétricas existentes en la base de datos de la USB, UCV en total 140.000, estaciones en color negro representan las estaciones luego del trabajo de depuración.

Integración de datos gravimétricos

Para el año 2013 - 2014 se realiza el proyecto Geociencia Integral de los Andes de Mérida (GIAME) en el cual se adquieren nuevos datos gravimétricos. Se decide levantar el mayor número de estaciones en tres zonas y perfiles (figura 6,); las bases gravimétricas fueron amarradas a la red 82 [1] normalizada, que está referida a IGSN71. En total se adquirieron

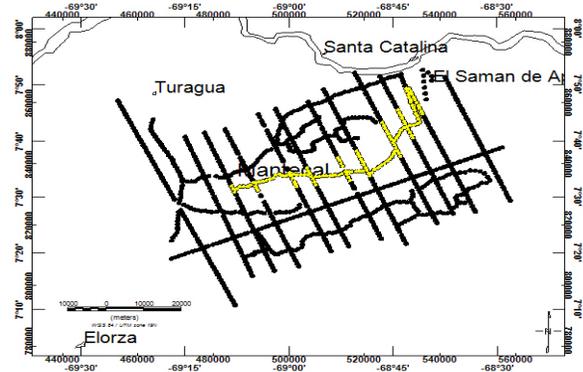


Figura 3. Estaciones gravimétricas tomadas en el área de Mantecal; las estaciones en color amarillo simulan un amarre a una base con los 14.8 mGal por exceso.

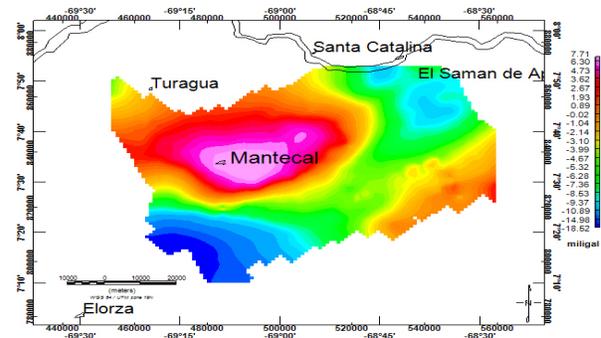


Figura 4. Mapa de la anomalía de Bouguer caso homologado en el área de Mantecal.

2742 estaciones homologadas a los valores correctos de gravedad. Para el año 2014 se realiza una integración de datos adquiridos para la zona 3 o zona más occidental del proyecto [5]. La integración se realizó solo para la zona 3, la cual cuenta con aproximadamente 40000 estaciones gravimétricas. Para realizar la integración se analizaron dos variables claves para la interpretación como lo son la gravedad observada y la altura de cada una de las estaciones. Se decidió construir un algoritmo (este funciona en las zonas con cambio en la topografía poco abruptos), el cual tiene como valor de gravedad correcto el valor de la estación gravimétrica nueva o estación adquirida para el proyecto GIAME y estudiar los valores de las estaciones cercanas (distancia menor de 1000 m)

(Figura 7.). El valor g_0 representa el valor de gravedad correcto g_1, g_2, g_3, g_4 son los valores de la estaciones viejas a ser estudiadas, si g_0-g_1 es mayor a 14.8, el factor $(h_0-h_1)0.3086$ debe ser mayor a 14.8, si no se cumple esta condición habría que buscar alguna razón geológica que la explique, si no existe se infiere que esta diferencia no se deben a contrastes laterales de densidad sino a que las estaciones están a diferentes datums con lo cual esta estación se clasifica como anómala y es eliminada. Luego se procedió a estudiar la base de datos misma ya que esto solo resultaba para estaciones cercanas a las estaciones adquiridas recientemente. El algoritmo se aplicó estudiando los valores de las estaciones cercanas correctas y viendo en este caso las estaciones vecinas.

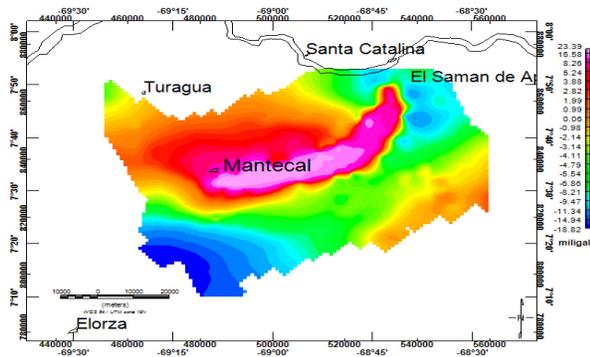


Figura 5. Mapa de la anomalía de Bouguer en el área de Mantecal con estaciones simulando un amarre a una base de 1970. Es decir caso donde la anomalía de Bouguer está contaminada por un factor asociado al amarre de 14.826 mGal

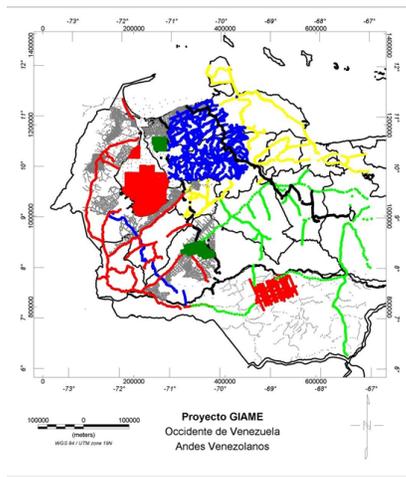
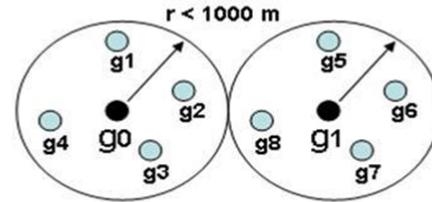


Figura 6. Estaciones gravimétricas para la construcción de mapas. Estaciones adquiridas en color amarillo para la zona 1, en color verde para la zona 2, en color rojo para la zona 3, el lago de Maracaibo y el graben de Mantecal, el perfil Andes sur y el levantamiento Tupure Carora en color azul, los perfiles andes norte y perfil Andes central están en color negro, Barinas Oeste y Oro negro el color verde oscuro y por ultimo las estaciones de la base de datos de PDVSA Intevp en color gris.

Control en Valores de Gravedad
Algoritmo Estaciones Cercanas



Para zonas Planas

$$g - g_1 < 14 ; (h-h_1)0.3086 < 14$$

$$g - g_1 = ? \text{ distancia}$$

Figura 7. Esquema de funcionamiento de algoritmo para estudiar los valores de gravedad. El valor g_0 representa el valor de gravedad correcto g_1, g_2, g_3, g_4 son los valores de la estaciones viejas a ser estudiadas si g_0-g_1 es mayor a 14, el factor $(h-h_1)0.3086$ debe ser mayor a 14 si es menor la estación g_1 es anómala y es eliminada [5].

Eliminándose aquellas que no cumplieran la condición. Después de discriminar por efecto de la gravedad se procedió a realizar el control de altura, por lo que se necesitó un modelo de elevación digital confiable para poder realizar dicho control. Para ello se utilizó el modelo de elevación digital (DEM) obtenido del Instituto de Ingeniería de la Universidad Simón Bolívar, el cual tiene una resolución espacial de 30 m. Primero se procedió a comparar las alturas del levantamiento nuevo de la zona 3, (ver figura 6, estaciones en color rojo) los cuales tienen alta precisión (errores menores a los 50 cm) en altura h (h = altura elipsoidal) con las elevaciones del DEM. Aquí surge el problema ya que las nuevas estaciones fueron adquiridas con altura elipsoidal y las viejas estaciones tomadas en base a altura ortométrica H (H = elevación con respecto al nivel medio del mar). Para ello se procedió a transformar todas las alturas elipsoidales medidas en la zona 3 a elevaciones ortométricas $H = h - N$. Se usó un modelo geoidal para el cálculo de las ondulaciones N , esto se llevó a cabo a través del software VGM08 de la Universidad del Zulia [8]. Este es un error muy común que se comete a la hora de integrar diferentes levantamientos, las alturas de todos los levantamientos deben ser ortométricas o elipsoidales pero no se pueden mezclar, ya que la diferencia entre éstas o la ondulación geoidal en nuestro país pueden llegar a más de 60 m o un valor promedio de 24 m [8] lo que introduce un error de más de 7 mGal. Una vez transformadas las alturas a elevaciones se procedió a compararlas con el DEM, esto se realiza observando cuanto es la diferencia entre la elevación dada por el DEM y la elevación de la estación dada por el GPS para un punto o estación en específico. Esto se realizó para 400 estaciones aproximadamente sólo en las partes llanas, no en los Andes. En la figura 8a, podemos observar que la media está cercana a cero, la mayoría de las diferencias están entre -1 y 1 m y las diferencias más altas son de

cuatro metros. Estos representan solo un pequeño porcentaje de las estaciones, por lo tanto el DEM sería confiable para utilizarlo como control en el estudio de las alturas de la base de datos. Después de estas pruebas, se procedió a comparar la elevación de las estaciones de la base de datos con la elevación del DEM para cada una de las estaciones 30000 en total; en la figura 8b se observa el histograma final en el cual la mayoría de los valores

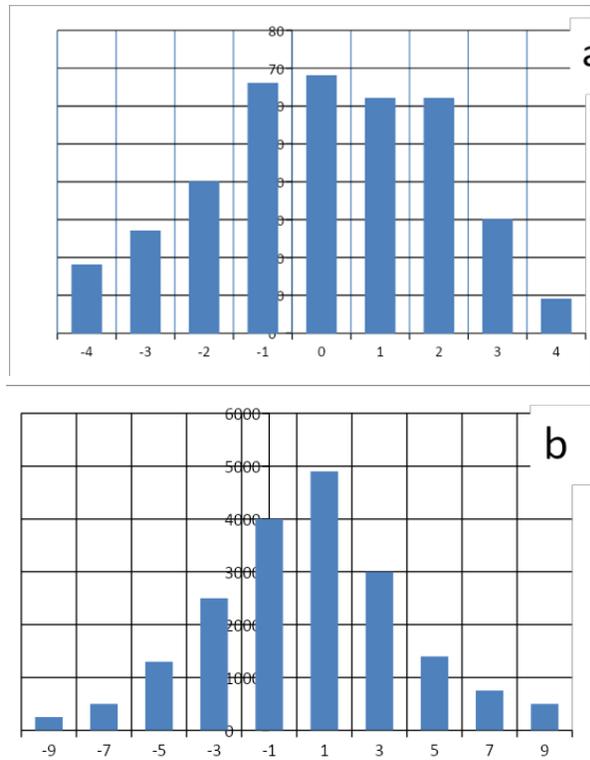


Figura 8. a) Histograma de comparación entre las elevaciones dadas por el dem y las elevaciones dadas por las estaciones gravimétricas adquiridas en el nuevo levantamiento. b) Histograma de comparación entre las elevaciones dadas por el dem y las elevaciones dadas por las estaciones gravimétricas de la base de datos.

Presentan un rango de diferencia entre -3 a 3 m y los valores más dispersos corresponden a diferencias de -7 a 7 m, lo cual corresponde a error de 2 mGal para estudios regionales como los que se está llevando a cabo, lo que es un valor aceptable. En la figura 6, podemos observar en color azul las estaciones gravimétricas del levantamiento Tupure-Carora el cual fue adquirido entre los años 2005 y 2007 como parte un proyecto exploratorio [6].

Luego se procedió a localizar la adquisición efectuada en el lago de Maracaibo en los años 80 (ver figura 6,). Estas estaciones presentaban el valor por exceso de 14.8 mGal lo que se detectó estudiando las estaciones que estaban en su entorno por lo tanto hubo que restarle el valor de 14.8 mGal.

En la figura 6, podemos observar en color verde oscuro el levantamiento de Barinas Oeste y el levantamiento de Oro Negro al este del estado Zulia, estos dos levantamientos son recientes (años 2007 y 2009 realizados por PDVSA). A pesar de ser adquisiciones nuevas, como no se tenía en cuenta la existencia del problema de homologación, estos levantamientos están amarrados a estaciones bases con los 14.8 mGal por exceso o a la RGNV70, lo que demuestra la seriedad del problema de homologación en el país. Para el momento del procesamiento le fueron restados 14.8 mGal a la gravedad observada; esto implica un ajuste grueso y no exacto, esto a los efectos de incorporar los datos en la generación del mapa del área, sin embargo, para trabajos específicos de caracterización de subsuelo la compensación se debe realizar amarrando de manera correcta las bases correspondientes, usando los datos de campo.

Resultados y Discusión

Mapa de la Anomalía de Bouguer

El Mapa de la Anomalía de Bouguer refleja los contrastes laterales de densidad asociado a estructuras geológicas presentes en el subsuelo las cuales son interés en este estudio. En la figura 9, tenemos una escala que va desde -162.86 (color azul) a 38.40 (color fucsia) mGal. Del mapa destaca el gran mínimo en color azul (valores entre -162.86 a -26 mGal) con rumbo en dirección SO-NE asociados a la cuenca del Lago de Maracaibo, el cual se encuentra paralelo y desplazado en dirección NO del rumbo de la cordillera de los Andes de Mérida, el desplazamiento es de aproximadamente 50 km. El punto en color amarillo representa el valor más negativo de -162.86 ubicado a 7 km al oeste de la población de Muyapa. El mínimo debería coincidir con la ubicación de la cadena montañosa, como es el caso común para sistemas orogénicos en equilibrio isostático. Este mínimo en un principio fue asociado a la gran acumulación de sedimentos en el sur de la cuenca del Lago de Maracaibo [9], pero luego de varios modelados gravimétricos realizados por diferentes autores (Kellogg y Bonini [9], Escobar y Rodríguez, [10]) se concluye que esta acumulación de sedimentos no era suficiente para producirlo, sino que estaba relacionado con la configuración de diferentes estructuras de gran longitud de onda y a gran profundidad como lo son las placas suramericanas, la placa del Caribe (Audemard y Audemard [11], Colleta et al [12], Jacome [13]). El máximo, que va de -13 a 10 mGal con rumbo noreste el cual está ubicado sobre la topografía andina, tiene una longitud de aproximadamente 410 km desde la depresión del Táchira hasta ciudad de Barquisimeto y un ancho promedio de 60 km. Es de hacer notar el valle o "silla de caballo" ubicado en la ciudad de Mérida que pareciera dividir la cadena montañosa en Andes suroeste y noreste, hacia la zona noreste se observa como la anomalía aumenta de -22 a -17 mGal asociada a los afloramientos cretácicos de las napas de Lara, en la zona suroeste la anomalía presenta una forma triangular con un rango entre -70 a -37 mGal. De la

figura también podemos ver el mínimo (-110 a -100 mGal) al sur de la ciudad de San Cristóbal que está asociado a la depresión del Táchira donde el basamento se encuentra a 6 km de profundidad, aproximadamente [14]. Este mínimo cubre parte de la cuenca de Apure y continua hacia el sur de Barinas, aquí está asociado a la depresión de Capitanejo (-75 a -85 mGal) sobre la ciudad de Barinas se observa que la anomalía se hace menos negativa (-60 a -55 mGal) posiblemente asociado con el arco de Mérida. Al suroeste de la población de San Fernando de Apure, ubicado a -70° de longitud y 7° de latitud, tenemos un mínimo no tan prominente con valores de -12 a -18 mGal, el cual es una respuesta gravimétrica del graben de Mantecal. Al noreste de la misma población se observan dos máximos entre 7 y 17 mGal vinculados al alto del Baúl. Al sur sureste de la ciudad de Coro se nota un alto (-10 a 30 mGal) con rumbo E-O el cual tiene una extensión aproximada de 200 km y un ancho promedio 60 km asociado al anticlinorio de Falcón. Este alto estaría mayormente influenciado por el acortamiento cortical en esta zona [16], con lo que la contribución de Mohorovic a la anomalía gravimétrica es más del 60 %, la expresión de la columna sedimentaria es minoritaria. De la figura, también se observa la asimetría entre las cuencas Barinas Apure y Lago de Maracaibo donde el espesor sedimentario es diferente para ambas, la enorme acumulación de sedimentos en la cuenca del Lago de Maracaibo está asociada a la alta producción de hidrocarburos de esta, siendo menor la producción de la cuenca Barinas Apure. El mínimo gravimétrico del Lago de Maracaibo está fuertemente controlado por la falla de Bocono al sur y la falla de Valera (ubicar en el mapa) al este, ya que este mínimo termina abruptamente contra estas dos fallas. La profundidad de los sismos causados por la falla de Boconó está en promedio hasta 15 km [11] por tanto esta falla que estaría afectando cuerpos de la corteza superior hasta la superficie entre estos el basamento ígneo y la columna sedimentaria, debido al cambio abrupto de propiedades físicas en este caso la densidad, también podría representar el límite entre el bloque de Maracaibo y el borde norte de la placa sur Americana [11]. Comparando este mapa con los generados de Orihuela 2011[16] (ver artículo figura 2,) y Sánchez 2011 [17] (ver artículo figura 3,) vemos que en este se presenta una mayor resolución que concuerda con las fallas cuaternarias (Valera, Bocono y Burbusay) y con los principales rasgos estructurales de las formaciones geológicas del occidente del país como lo son las Napas de Lara (ubicadas al oeste suroeste de la ciudad de Barquisimeto) cerro Santana en la península de Paraguana la excelente definición de la traza de la de la falla de Oca Ancon la cual parece delimitar el anticlinorio de Falcón en su flanco sur mientras que en dichos mapas solo se ven rasgos regionales asociados a cuerpo de muy alta longitud de onda y no permiten ver detalles de las estructuras. Otro de las bondades de este producto sería a la hora aplicarle filtros matemáticos tales como derivadas y residuales, ya que como se mostró anteriormente los mapas contaminados resultan afectados por un factor de multiplicativo de 14.8, tanto para la interpretación

cualitativa y cuantitativa.

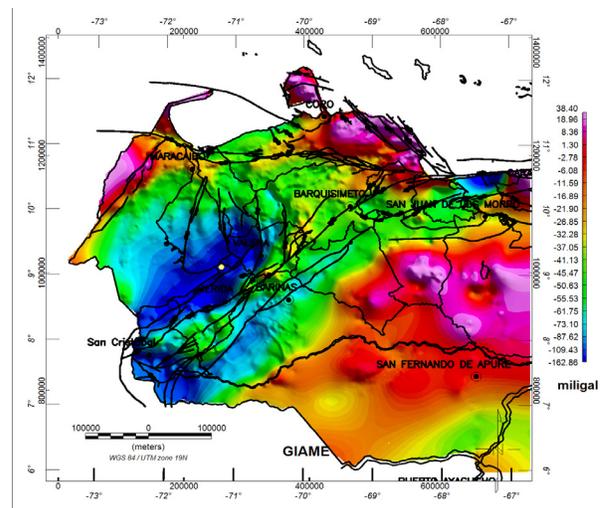


Figura 9. Mapa de la Anomalía de Bouguer y fallas cuaternarias [18]. El punto en color amarillo muestra el valor más negativo -162.86 ubicado a 7 km al oeste de la población de Muyapa.

Conclusiones

La falta de divulgación de la información, así como la poca articulación interinstitucional han afectado a Venezuela y toda Latinoamérica los resultados de los métodos gravimétricos, perjudicando así la credibilidad de esta herramienta geofísica con la que se puede obtener conocimiento rápido y valioso de estructuras geológicas. La mezcla de medidas relativas de gravedad amarradas a diferentes datums ha causado la aparición de anomalías matemáticas o ficticias produciendo interpretaciones erróneas durante 30 años. Se ha demostrado que estos errores varían en diferentes porcentajes de acuerdo a la variación entre mínimo y máximo del levantamiento. La mejor forma de solucionar el problema es adquirir nuevos datos homologados a Red de Estandarización Gravimétrica Internacional (IGSN71) normalizadas a los levantamientos de estaciones absolutas. El mapa de la Anomalía de Bouguer realizado no presenta problemas de homologación y por tanto representa en forma fidedigna las anomalías causadas por los cuerpos presentes en el subsuelo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Orihuela, N. Historia de la gravimetría en Venezuela. *Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra*, 46(1): (2014). 44-57.
- [2] Torge W, Timmen L, Röder R., Schnüll M. 1994. The IFE Absolute Gravity Program "South America" 1988-1991, Deutsche Geodätische Kommission, N299.

- [3] Drewes, H., Torge, W., Töder R., Badell C., Bravo D. & O Chourio. Absolute and relative gravimetric surveys of national and geodynamic networks in Venezuela, *Journal of South American Earth Sciences*, 4, (1991) pp. 273-286.
- [4] Graterol, V. Mapa de anomalía de Bouguer de Venezuela. Compilación 1993. *Memorias del VII Congreso Venezolano de Geofísica*, (1994) pp. 162 a169.
- [5] Araujo, F., Bello, H., 2014. Interpretación gravimétrica de las adquisiciones realizadas en los Andes de Mérida, Informe interno para PDVSA Intevep. Int 102014 10-50
- [6] Moncada, J., Ávila, J., Amaris, E., Reinoza, C., Schmitz, M. 2006. Mediciones gravimétricas en el área ubicada entre las poblaciones de Carora Estado Lara y Tupure Estado Falcón, informe interno para PDVSA. 100
- [7] Araujo, F. & Bello, H. 2013. Adquisición gravimétrica del perfil Andes Sur del proyecto GIAME informe interno para PDVSA Intevep. Int 302013 5-30
- [8] Acuña G. VGM08: Un modelo geoidal de alta-resolución para las áreas marinas, insulares y terrestres continentales de Venezuela. *Tópicos de Geodesia Geométrica. LGFS/DGS-LUZ. Volumen 2, Número 4*, (2012)
- [9] Kellogg, J. N. & Bonini, W. E. Subduction of the Caribbean plate and basement uplifts in the overriding South American plate. *Tectonics*, Vol. 1(3), (1982). p.251-276.
- [10] Escobar y Rodríguez. Interpretación geofísica integrada de un transecto NW-SE a través de los andes venezolanos. I *Latinoamerican Geophysical Congress*. Rio de Janeiro, Brazil, Vol 1 (1995), p. 273-276.
- [11] Audemard, F. E., & Audemard, F. A. Structure of the Mérida Andes, Venezuela; relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction. *Tectonophysics*, 345(1-4), (2002). p 299-327.
- [12] Colleta, B., F. Roure, B. De Toni, D. Loureiro y H. Passalacqua. Tectonic inheritance, crustal architecture, and contrasting structural styles in the Venezuela Andes. *Tectonics* 16 (5), (1997), pp. 777-794.
- [13] Jácome, M. Interpretación geológica, sísmica y gravimétrica de un perfil transandino. (Tesis de grado), Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, (1994), 68 p.
- [14] Feo Codecido, G., Smith, F., Aboud, N. y Di Giacomo, E. Basement and Paleozoic Rocks of the Venezuelan Llanos Basins. *Memoir Geological Society of America*, 162, (1984), p. 175-187.
- [15] Bezada, M.J., Schmitz, M., Jácome, M.I., Rodríguez, J., Audemard, F., Izarra, C., and the BOLIVAR Active Seismic Working Group. Crustal structure in the Falcón Basin area, northwestern Venezuela, from seismic and gravimetric evidence. *J. Geodyn.*, Vol. 45, (2008), p 191-200.
- [16] Orihuela, N., Garcia, A., Garzón, Y., González, J., & Tabare, T. (2011). Mapa de gravedad y anomalía gravimétrica de Venezuela derivado de datos satelitales. *Revista de la Facultad de Ingeniería UCV*, Vol.26, N°1, pp. 51-58.
- [17] Sanchez-Rojas, J. (2011). "New Bouguer gravity maps of Venezuela: Representation and analysis of free-air and Bouguer anomalies with emphasis on spectral analyses and elastic thickness." *International Journal of Geophysics*, Vol. 2012, p. 1-19.
- [18] Audemard, F. A., Romero, G., Rendon, H., & Cano, V. (2005). Quaternary fault kinematics and stress tensors along the southern Caribbean from fault-slip data and focal mechanism solutions. *Earth-Science Reviews*, 69(3-4), 181-233.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Vol. 43. N°2, Mayo -Agosto 2020, pp. 58 - 110 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Abril de 2020, por el **Fondo Editorial Serbiluz**, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve

www.serbi.luz.edu.ve

www.produccioncientifica.luz.edu.ve