

JIFI2018
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN
ENCUENTRO ACADÉMICO INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA UCV

MODELADO GRAVIMÉTRICO DE POSIBLES CUERPOS INTRUSIVOS, EN LA REGIÓN DE PARGÜAZA, ESTADO BOLÍVAR.

Jefferson Toledo Ávila¹; Mariano Arnaiz-Rodríguez¹,

¹ UCV, Fac. Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica

ferson28@gmail.com; marianoarnaiz@gmail.com

RESUMEN

Se realizó un procesamiento e interpretación de datos gravimétricos provenientes de dos adquisiciones realizadas en una región de Pargüaza, estado Bolívar, con fines mineros. La zona de estudio se encuentra al oeste del estado Bolívar cercano a los límites con Amazonas y Apure entre las coordenadas UTM 686000E a 696000E y 687000N a 681000N para la zona 19N. Se trabajó con un total de 123 estaciones espaciadas cada 500 m y 254 estaciones cada 100 m aproximadamente. Las anomalías de Bouguer se calcularon por medio de reducciones de segundo orden. Durante el procesamiento de los datos se realizó una separación regional-residual por medio de un filtrado Gaussiano, luego se calculó la derivada horizontal total para resaltar zonas de altos contrastes, posteriormente se calculó la deconvolución de Euler y se realizó un análisis espectral para la estimación de la profundidad de las fuentes gravimétricas y finalmente se generó un modelo sobre un perfil N30W utilizando el mapa residual de la adquisición de mayor escala. Los resultados permitieron resaltar regiones de interés prospectivo delimitadas por zonas de altos gradientes en contactos entre anomalías de valores máximos y anomalías de valores mínimos las cuales fueron interpretadas como posibles cuerpos pegmatíticos intrusivos en el Granito Rapakivi del Pargüaza, posibles fuentes de las mineralizaciones de interés de la zona.

Palabras Clave: Gravimetría, prospección minera, Granito Rapakivi de El Pargüaza, pegmatitas, coltán.

ABSTRACT

A processing and interpretation of gravimetric data was made from two acquisitions in a region of Pargüaza, Bolívar state, with mining intents. They are located at west of Bolívar state close to the Amazonas and Apure states boundaries between UTM coordinates 686000E to 696000E and 687000N to 681000N for 19N zone. The work was made with a total of 123 stations spaced 500 m and 254 stations every 100 m approximately. Bouguer anomalies was calculated using second order reductions. During the processing, a regional-residual separation was made using Gaussian filtering, then the total horizontal derivative was made in order to highlight high contrast surfaces, later the Euler deconvolution was calculated and a spectral analysis was made for estimating the depth of the gravimetric sources a finally a model was proposed in a N30W profile over the residual map of the biggest scale acquisition. Results allow highlighting prospective interesting areas delimited by high gradient zones in contact areas of maximum anomalies and minimum anomalies, interpreted as possible pegmatite bodies intruding the rapakivi granite of Pargüaza, possible sources of interest mineralization in the zone.

Keywords: Gravimetry, mining prospection, Granite Rapakivi of Pargüaza, pegmatites, coltan.

INTRODUCCIÓN

Con fines de prospección minera se realizó dos adquisiciones gravimétricas en la región de Pargüaza estado Bolívar (Figura 1) entre enero y febrero del año 2018. La denominada Adquisición A (Figura 2a.) constó de 113 estaciones con un espaciamiento entre ellas de aproximadamente 500 m y la Adquisición B (Figura 2B) fueron 254 estaciones con cerca de 100 m entre estaciones. Esta región está completamente dentro del llamado Granito Rapakivi del Pargüaza (GRP) al suroeste del estado Bolívar y dentro del Escudo Guayanés.

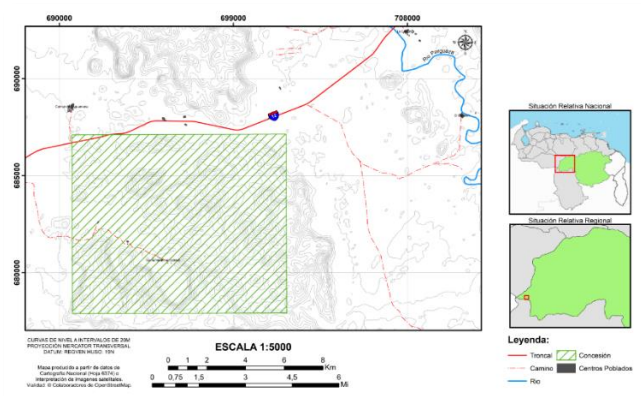


Figura 1. El recuadro verde representa la ubicación de la zona de estudio, en la región de Pargüaza, al suroeste del estado Bolívar Venezuela.

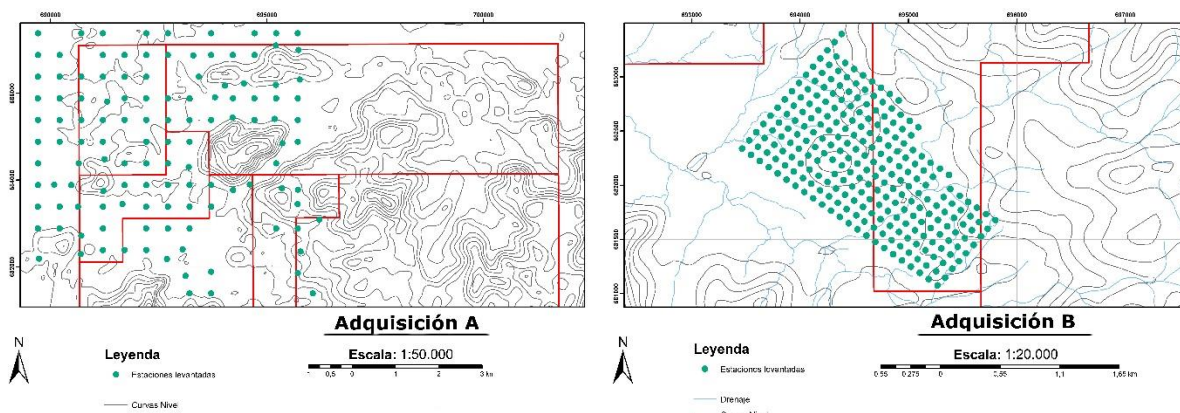
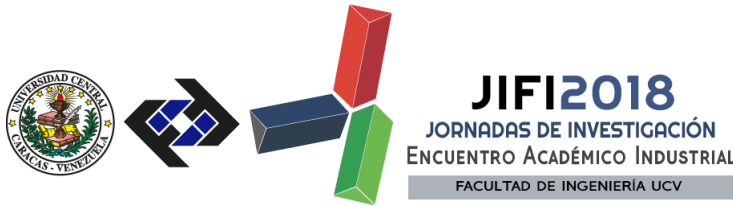


Figura 2. a) Adquisición A, b) Adquisición B. La Adquisición B se ubica al Sureste de la Adquisición A.

El GRP es similar en su composición química a granitos tipo A tales como los granófiros de Skaergaard, charnockitas de Nigeria, granitos rapakivis de Finlandia, de San Francisco Mountains,



de Surucucú y de Mucajai, Brasil (Mendoza, 2005) por lo que a groso modo se extrapolará a lo reportado en otras regiones del mundo. Grande y Mariño (2012) realizaron un estudio en el GRP encontrando domos de bauchita a varias decenas de kilómetros al noreste de las adquisiciones analizadas en este estudio. Jacome et al. (2004) hicieron un modelado gravimétrico de un perfil del Granito del Pargüaza al sur de nuestra zona de estudio usando contrastes geocronológicos. En Brasil Pedrosa et al. (2016) modelaron el rift intracontinental de Jaibaras utilizando información geofísica. También se realizaron dos estudios de carácter litosférico al norte de Europa en segmentos del escudo Báltico con presencia de granitos Rapakivi (Yegorova et al. 2004 y Kozlovskaya et al. 2004). Este estudio estuvo enfocado en resaltar y modelar las estructuras presentes en el área, que representaran contrastes de densidades lateralmente importantes para su posterior evaluación como zonas de interés minero. Se tomó en consideración principalmente la Adquisición A ya que para esta escala se muestran las estructuras de mayor carácter regional. La adquisición B se utilizó para validar la Adquisición A tanto en tendencia de anomalías como en rango de valores y para el estudio de las anomalías de Bouguer a esa escala.

Contexto Geológico

El Precámbrico en Suramérica fue dividido en provincias de carácter geocronológico basados en estudios radiométricos. Estas provincias cubren todo el Cratón Amazónico por lo cual el Escudo de Guayana venezolano forma parte de ellas. El Escudo venezolano a su vez está dividido en cuatro provincias geológicas. Estas son: Roraima, Imataca, Pastora y Cuchivero (Mendoza, 2005), siendo esta última la provincia en la cual se adquirieron los datos. La Provincia Cuchivero según Sidder y Mendoza (1.995) se extiende hacia el sur-sureste en el Estado Amazonas, formando gran parte de las rocas del no diferenciado Proterozoico. Está formada por la Superasociación Cedeño, por la Asociación Cuchivero y la Asociación Suapure formada por el Granito de Pijigüaos, Granito de Güaniamito, Granito Rapakivi del Pargüaza, entre otros. El granito *rapakivi* de Pargüaza consiste en fenocristales de feldespato potásico que sirven de núcleo en forma ovoide a circular para anillos de plagioclasa, esto embebido en una matriz holocristalina más fina. Un punto relevante de estos granitos es que su raíz es de poco espesor, de alrededor de 3 a 8 km con una forma parecida a un hongo extendiéndose en superficie incluso por cientos de kilómetros. Además, estos sufren un enfriamiento espacial inverso lo que significa que los bordes se enfrían primero que el centro lo que genera una segregación entre minerales máficos y félsicos del borde al centro respectivamente. El GRP se presenta como un elipsoide de 250 km en su eje N-S y de 120 km E-W.

METODOLOGÍA

La información disponible consta de las planillas de campo, datos GPS y los datos descargados del gravímetro por lo que la primera etapa, previa al procesamiento, fue la verificación y validación de esta información. Cada adquisición se trabajó por separado y se hizo uso de los programas *Oasis montaj*, *Excel*, *Matlab* y *Surfer 13*. Posteriormente para el cálculo de las anomalías de Bouguer se realizaron correcciones de segundo orden según los nuevos estándares de reducciones gravimétricas (Hinze et al., 2005) utilizando como nivel de referencia la menor cota general (41,522 m) y con una densidad reportada por Yegorova et al. (2004) de $2,65 \text{ g/cm}^3$ como la

densidad de los granitos rapakivi. Los mapas de anomalías de Bouguer se realizaron por el método de *Kriging* utilizando variogramas con los parámetros mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de variogramas.

Adquisición	Modelo	Efecto Nugget	Escala	Longitud	Pendiente
A	Lineal	0,015	-	-	0,00046
B	Esférico	0,0530	0,144	260	-

Se realizó luego la separación regional-residual, para la adquisición A. Para esto se utilizó un filtro Gaussiano con desviación estándar de 0,2063. Se realizó la derivada horizontal total a esta misma adquisición. Esta se hizo suavizando la anomalía de Bouguer completa por medio de una continuación analítica hacia arriba a 65 m y posteriormente calculando sus derivadas en X e Y. La derivada horizontal total se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$DHT = \sqrt{Dx^2 + Dy^2} ; (1)$$

Dónde: DHT: Derivada total; Dx: Derivada en X; Dy: Derivada en Y.

Tanto para la adquisición A como para la B, se realizó un estudio de los espectros de frecuencia para estimar la profundidad del tope de las estructuras asociadas a las anomalías por medio de la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{m}{4\pi} ; (2)$$

Siendo m la pendiente de la línea de tendencia de los datos. Añadido a esto, se realizó una deconvolución de Euler para la adquisición regional cuyos parámetros se describen en la Tabla 2. Tabla 2. Parámetros de deconvolución de Euler, adquisición A.

Índice estructural	Tolerancia	Tamaño de ventana
1	15 %	3

Finalmente se realizó el modelado en un perfil A-A' con dirección N30W. Este se realizó sobre el mapa residual de la anomalía de Bouguer de la adquisición A integrando la información generada en los pasos anteriores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados por medio de análisis de mapas, cálculos, perfiles, estimación de profundidades y modelado de las fuentes de anomalías. Los puntos amarillos en los mapas representan las estaciones gravimétricas.

Las anomalías de Bouguer completas provenientes de la adquisición de mayor extensión (Figura 3) presentan un rango cercano a los 5,7 mGal con su mínimo absoluto en el sur hacia la zona central

del mapa con un valor de -29.1806 mGal. El máximo se registró al noroeste alcanzando un valor de -23.4032 mGal. Los contornos presentan múltiples direcciones como respuesta a diferentes fuentes. Las anomalías de valores intermedios presentan una dirección N45E que pasa a ser EW en la región noreste. Al este, en la zona central, podemos apreciar anomalías que describen una dirección cercana a la línea NS de mismo modo que la zona de valores mínimos al sureste. Al noroeste se presenta una zona de valores máximos con orientación EW. Los mayores gradientes los podemos observar al este cerca de la latitud 686000 con un valor cercano a los 0,6 mGal cada 100 m. Estos se hacen más suaves al oeste cerca de la latitud 683000 con un valor de 0,04 mGal cada 100 m.

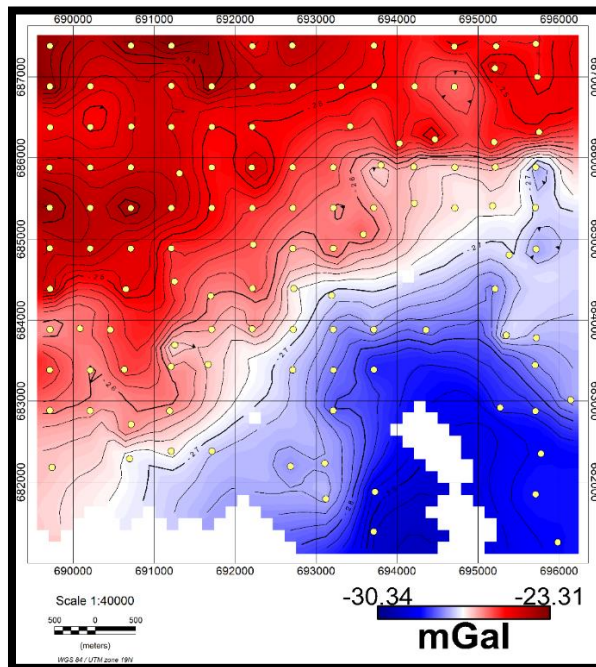


Figura 3. Mapa de anomalías de Bouguer completas para la adquisición A. Los puntos amarillos representan las estaciones cuyo espaciamiento es cercano a 500 m. El rango de anomalías ronda los 5,4 mGal presentando una tendencia de aumento de las mismas en sentido NW.

El rango de anomalías de Bouguer completas para la adquisición B (Figura 4) es menor que para la adquisición A debido a su menor longitud teniendo un valor de 2,7 mGal. El valor máximo se localiza cerca de la latitud 682000 y la longitud 694500 con un valor de -27.4827 mGal. El mínimo se localiza entre las longitudes 694500 y 695000 y al sur de la latitud 681500 con un valor de -30.2216 mGal. En la región central del mapa los contornos tienen una dirección preferencial cercana a la línea EW de mismo modo que en la esquina este mientras que la esquina oeste presenta una orientación cercana a N45E. Al norte las anomalías presentan una orientación N60W. En la esquina este el gradiente alcanza los 0,9 mGal cada 100 metros siendo este uno de los más altos para esta adquisición.

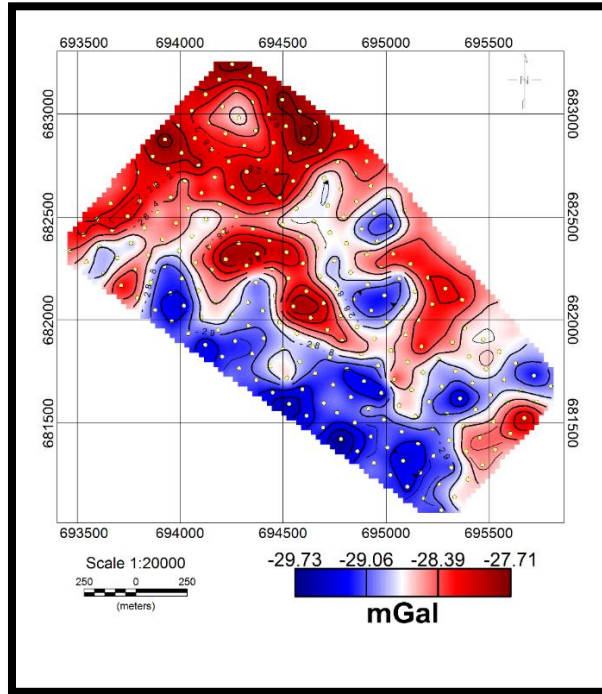
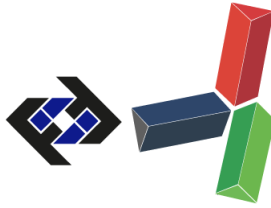


Figura 4. Mapa de anomalías de Bouguer completas para la adquisición B. Los puntos amarillos representan las estaciones cuyo espaciamento es de alrededor de 100 m. El rango de las anomalías para esta adquisición es cercano a los 2 mGal.

En la Figura 5 podemos apreciar las fuentes residuales de la adquisición A con un rango de anomalías de 2,07 mGal. En el sector norte las anomalías se alinean dirección prácticamente EW con los mayores gradientes cercanos a la latitud 686000 al este y al oeste con un valor que ronda los 0,23 mGal cada 100 m. Las anomalías de valores máximos al oeste alrededor de la latitud 684000 presentan orientación NS al igual que la anomalía de mismo carácter al sur en la región central. Los cuerpos de valores mínimos tanto al noroeste como al sureste y al noreste se muestran como anomalías de interés por sus contactos de altos gradientes con respecto a las anomalías de valores máximos.

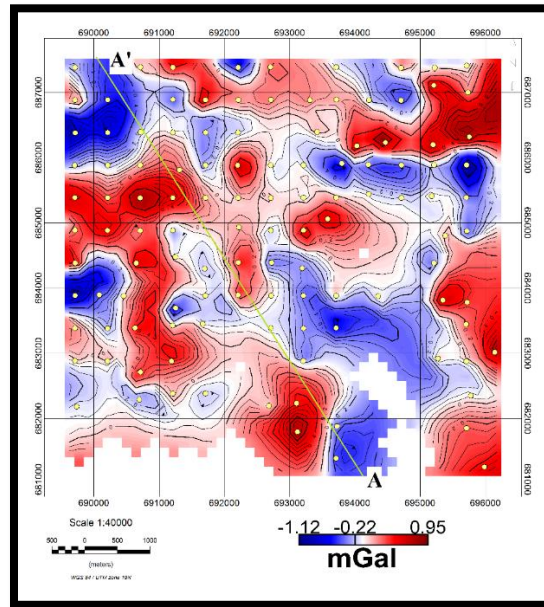
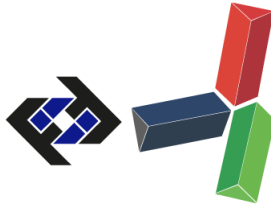
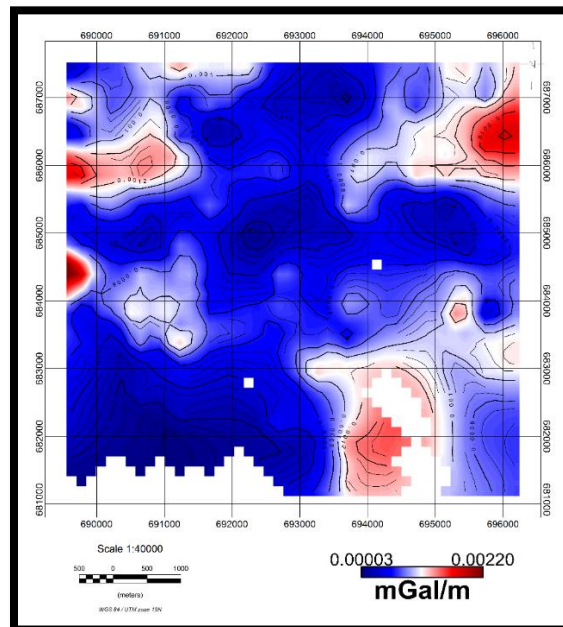


Figura 5. Componente residual de la anomalía de Bouguer para la adquisición A. El rango de esta componente es cercano a 1 mGal. Dos zonas de interés se destacan tanto al noroeste como al noreste correspondiente anomalías orientadas en dirección E-W. La línea amarilla representa el perfil A-A' sobre el que se realizó el modelado.

La Figura 6 muestra el mapa de derivada horizontal total para la adquisición A donde se pueden resaltar 3 zonas de importancia mostrada como valores máximos. Estos máximos ubicados al noreste, noroeste y sureste describen zonas de altas variaciones laterales que podrían corresponder a zonas de contactos entre estructuras locales.



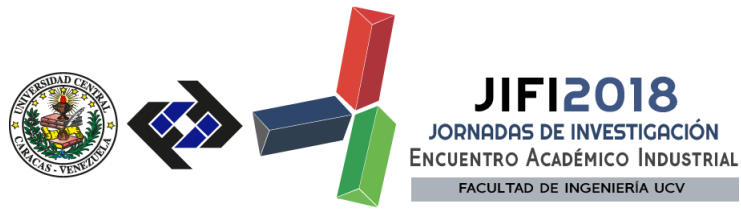


Figura 6. Derivada horizontal total para la adquisición A. Se resaltan dos zonas de altos gradientes al noreste y noroeste que se correlacionan a lo destacado en la anomalía residual.

La estimación de profundidad por medio de los espectros de potencia (Figura 7) se realizó para ambas adquisiciones teniendo un valor máximo para la A de 430 m y para la B de casi 100 m. Añadido a esto Las soluciones de Euler para la adquisición A presentaron un rango entre 138 m y 2259 m de profundidad siendo la media de las soluciones 514 m. Las soluciones de mayor profundidad se presentaron hacia el sureste correspondiendo esto a la zona de mínimos en la anomalía de Bouguer. En el noreste en la latitud 686000 las soluciones se alinean con la región de altos gradientes en dirección EW remarcando la posibilidad de un contacto o cuerpo en la zona que represente una superficie de altos gradientes. (Figura 8).

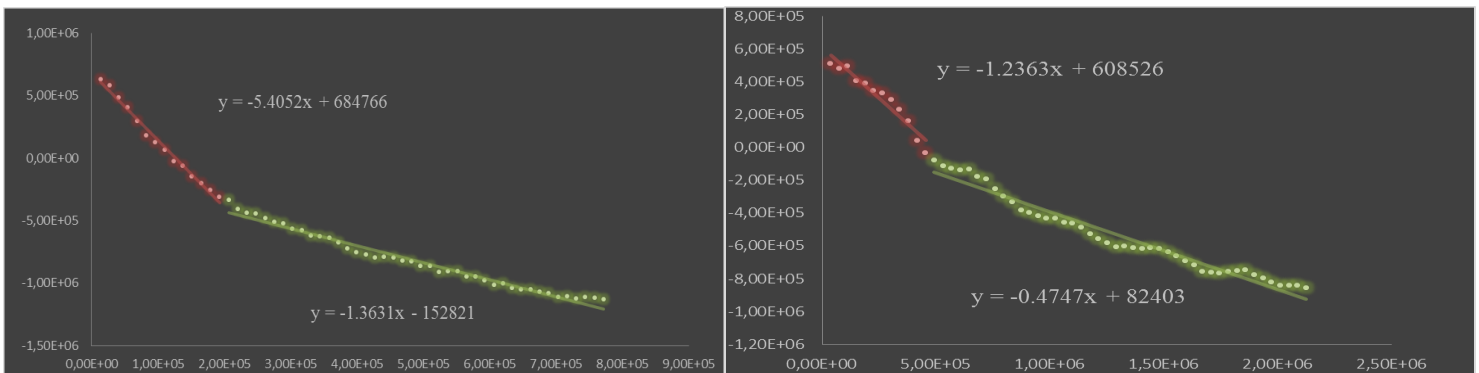


Figura 7. Espectros de potencia de la adquisición A y B a la izquierda y derecha respectivamente. Se usaron dos tendencias para cada espectro para la estimación de las profundidades. La mayor profundidad encontrada fue de unos 430 m.

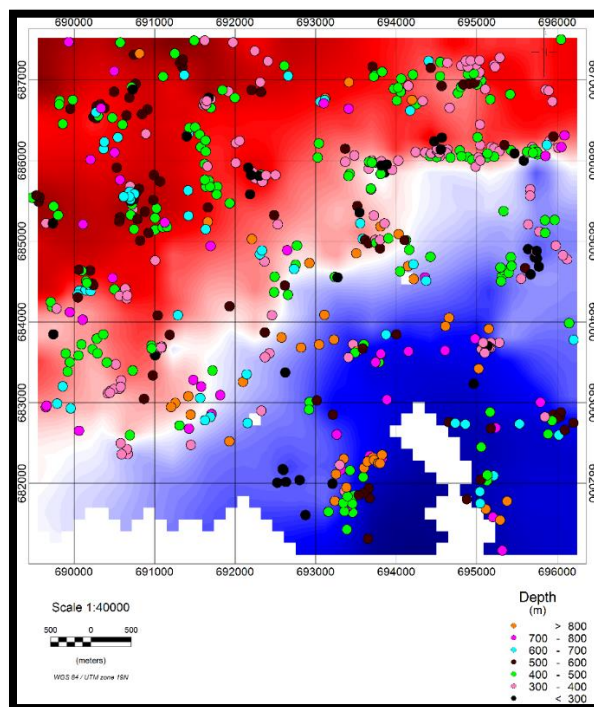


Figura 8. Soluciones de Euler para la Adquisición A las cuales tienen una media cercana a los 514 m de profundidad.

El modelo fue realizado con orientación N30W atravesando de norte a sur la adquisición A. Este perfil es denominado A-A'. Las anomalías descritas por el mismo tienen un rango que va desde -0,95 mGal a 0,52 mGal por lo que el error cuantificado en 0,024 mGal (Figura 9) representa un 1,63% en error porcentual. El ajuste se logró modelando una serie de cuerpos con densidades de 2,62 g/cm³ menores a la densidad del Granito Rapakivi de Pargüaza (2,65 g/cm³). Los contactos abruptos de estos cuerpos con el GRP pueden ser correlacionados con las superficies de altos gradientes descritas anteriormente. La profundidad del centro de masa de estos cuerpos se ajustó utilizando la información de las soluciones de Euler. La base de estas masas se dejó como una incógnita por la ambigüedad de su interpretación. Por información recabada en campañas geológicas exploratorias se conoce que la región está altamente meteorizada sin afloramientos frescos identificados por lo cual se añadió una capa de sedimentos en la parte superior con una densidad de 2,3 g/cm³. La base del GRP sobrepasa la escala de este trabajo ya que este puede alcanzar espesores de 4 a 10 km de profundidad (Mendoza, 2005), por lo que todas las variaciones en la gravedad son respuestas dentro del cuerpo del granito.

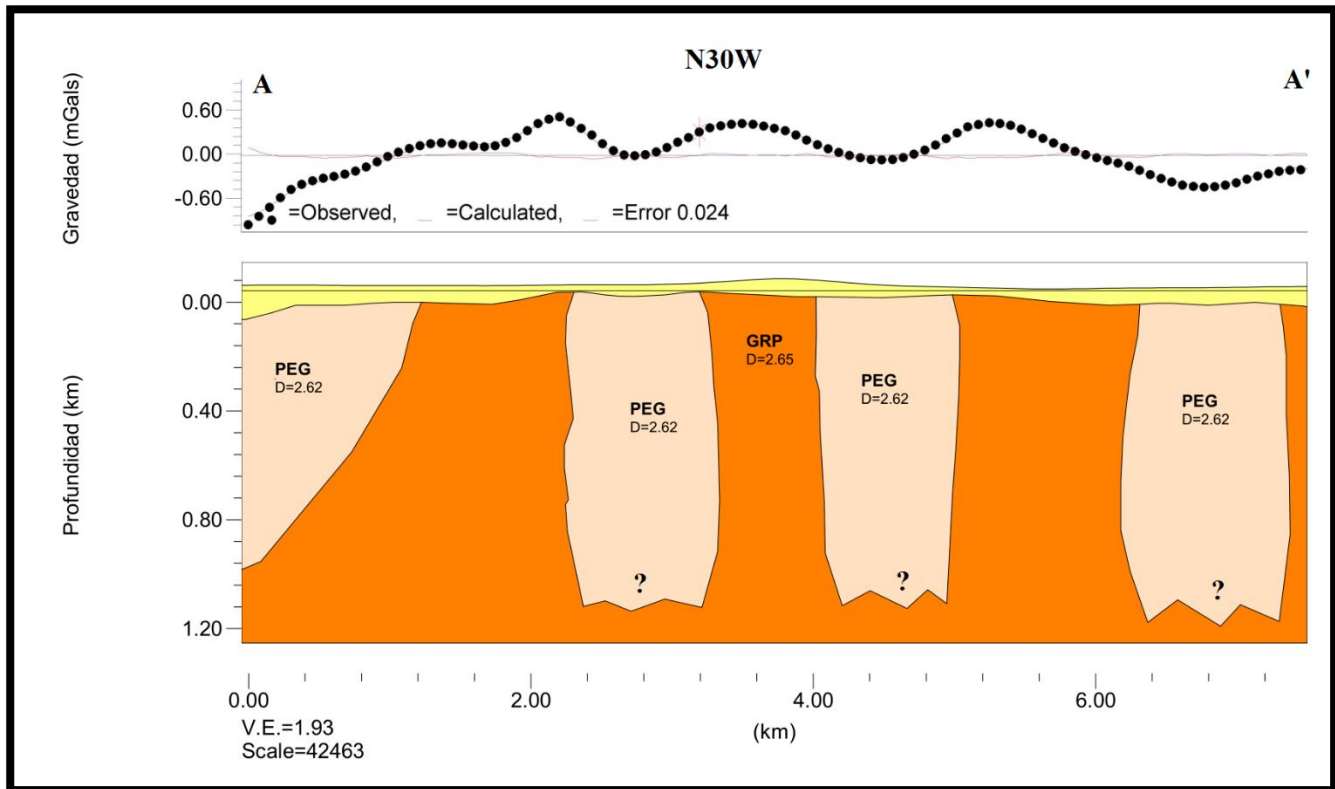


Figura 9. Modelo para perfil A-B. Error en el ajuste menor al 2 %. El extremo norte está ubicado a la derecha. El color amarillo representa la capa de sedimentos no consolidados para el cual se usó una densidad de 2.2 g/cm³; el naranja corresponde a granito rapakivi con una densidad de 2,65 g/cm³; los cuerpos color rosa son masas de una densidad de 2,62 g/cm³ interpretado como zonas posiblemente pegmatíticas.

Discusión

Realizando una integración de los resultados presentados, podemos resaltar ciertas características y rasgos de particular importancia. Las anomalías de Bouguer para la Adquisición A describen una tendencia de aumento hacia el NW, esta tendencia se refleja también de forma general en la componente regional de la Adquisición B. Esta tendencia responde posiblemente a la forma y buzamiento del GRP. El rango de anomalías de Bouguer completas para la Adquisición B se registró entre los $-30,222$ mGal y los $-27,487$ con una media de $-28,603$ mGal acorde a los valores registrados para el área en el mapa de anomalías de Bouguer completa para la Adquisición A.

Cabe destacar que, durante el procesamiento, tres estaciones gravimétricas correspondientes a la Adquisición A fueron removidas de los datos ya que se presentaban como valores de calidad dudosa creando anomalías causadas solamente por una estación sin respaldo de estaciones vecinas y distorsionando la tendencia regional de los contornos. Estas estaciones representan menos del 1% de las estaciones totales levantadas y difieren de su entorno por cerca de ± 1 mGal que para la escala de este trabajo representa una anomalía significativa, por lo cual se tomó la decisión de eliminarlas. El estudio estadístico de las anomalías correspondientes a las estaciones definitivas resultó en ningún valor anómalo reflejado en los diagramas de caja y bigotes teniendo un rango de anomalías cercano a los 6 mGal siendo este un valor dentro de lo esperado en estudios de carácter minero en los que se considera un buen rango de anomalías entre 1-10 mGal.

La derivada horizontal total calculada para ambas adquisiciones es cónsona con lo descrito en los mapas de Bouguer. Específicamente podemos resaltar tres zonas de altos gradientes en el mapa de Bouguer de la Adquisición A que se corresponden en el mapa de derivada horizontal total como valores máximos y con tendencias exactamente iguales en ambos mapas.

Las profundidades estimadas por medio de los espectros de potencia nos indicaron fuentes entre 430 m la más profunda para la Adquisición A y 38 m la más somera para la Adquisición B. Es importante entender que esta es una aproximación a la profundidad del tope de la estructura causante de la anomalía y que el error es bastante alto rondando un $\pm 50\%$ de los resultados calculados. Por su parte, las soluciones de Euler proporcionaron información de la profundidad de los centros de masas de cuerpos para una media de 514 m en la Adquisición A y 148 m en la Adquisición B.

El perfil gravimétrico modelado describe la presencia de masas de menor densidad definidas como cuerpos de forma irregular intrusivos al Granito Rapakivi de El Pargüaza. Estos cuerpos se emplazan hasta el contacto con el espesor sedimentario y se ubican en zonas donde la capa aluvional se engrosa como consecuencia de la menor resistencia ofrecida por estos cuerpos a la erosión.

Las anomalías gravimétricas describen superficies de altos contrastes en ambas adquisiciones. Estas superficies pueden ser la respuesta a los contactos entre cuerpos de densidades diferentes. Los estudios geológicos de superficie realizados en la zona evidencian la presencia de elementos mineralógicamente asociados a cuerpos pegmatíticos por lo que las respuestas evidenciadas podrían corresponder a grandes zonas pegmatíticas con un ancho de alrededor de 800 m con su centro de masa posicionado a unos 500 m de profundidad para el perfil modelado. Estos cuerpos pegmatíticos se forman en la última etapa de fraccionamiento del magma conteniendo los elementos más líquidos y fluidos del mismo por lo cual su inyección por grietas y fracturas es

bastante efectiva y su edad es levemente menor que los granitos de los que se derivan pudiendo generar zonas altamente intruidas por estas masas pegmatíticas (London, 2005).

Es evidente en estudios como los realizados por Grande y Mariño (2012), Bolívar et al. (2012), Bonilla-Perez et al. (2013) y Pacheco (1982), que el cuerpo del Granito Rapakivi del Pargüaza no es necesariamente una masa completamente homogénea, sino que dentro de la inmensidad de uno de los granitos anorogénicos más grandes de todo el mundo existan facies distintas aún no identificadas debido a la poca exploración y a la alta meteorización de la región, entre otros factores. Estos cuerpos definitivamente poseen respuesta geofísica y lo analizado en este trabajo es muestra de ello.

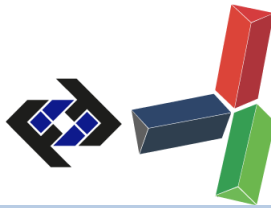
CONCLUSIONES

Finalmente podemos recalcar que el rango de anomalías de Bouguer para la zona de estudio reflejó un buen valor para trabajos de índole minera. Las estadísticas descriptivas calculadas para los datos de ambas adquisiciones mostraron valores entre -30,222 mGal en la Adquisición B y -23,403 mGal en la Adquisición A.

A pesar de tener dos adquisiciones de escalas distintas con espaciamentos diferentes, podemos afirmar que las zonas donde ambas se solapan corresponden tanto en tendencias regionales como en rangos de anomalías de Bouguer validándose mutuamente. Ambas presentan una tendencia de aumento al NW y los valores promedio para la Adquisición B se ajustan a los valores de la zona para la Adquisición A.

Por su parte, las derivadas horizontales totales calculadas resaltan zonas de contactos entre anomalías de valores máximos y anomalías mínimas locales siendo coherentes con lo observado en los mapas de Bouguer. Así mismo, las profundidades de las fuentes estimadas por espectros de potencias y calculadas por Deconvolución de Euler se ajustan a la escala del trabajo presentando sus soluciones dentro del cuerpo del GRP y delimitando posibles estructuras internas en el granito. Las anomalías gravimétricas de la región describen zonas de interés para la prospección minera en un rango de profundidades entre 100 m y 500 m. Estas zonas se presentan como mínimos gravimétricos y máximos valores de gradientes del campo gravimétrico y se asociaron a posibles cuerpos o zonas diferentes al Granito Rapakivi del Pargüaza y de posible carácter pegmatítico siendo esta una asociación granítica común y la posible fuente principal de mineralizaciones como niobio y tantalio presentes en sedimentos lateríticos en toda la región en depósitos secundarios. Se modelaron cuatro cuerpos o zonas de baja densidad con respecto al entorno que se corresponden con las anomalías de valores mínimos encontradas tanto en la Adquisición A como en la Adquisición B. Es posible que la fuente primaria de estos minerales esté cubierta por los sedimentos generados por la alta meteorización que ha sufrido el GRP o que no haya sido encontrada o descrita aún y se relacionen con estos cuerpos que han sido modelados en este trabajo.

Es claro que existen variaciones laterales dentro del GRP y que definitivamente no es un cuerpo completamente homogéneo por lo que se recomienda prospección geofísica minera basada en métodos magnéticos que podrían integrarse con los resultados generados por la gravimetría, así como métodos eléctricos o electromagnéticos siendo estos últimos los ideales para la caracterización de minerales metálicos.



REFERENCIAS

- Bolívar, A., Manrique, A., Salazar, E., Grande, S., Guzmán, L., Mariño, N. (2012) Estudio preliminar de los depósitos de tantalita, columbita y casiterita en el Fundo La Fortuna, al SW del Cerro Boquerones, en el área metalogénica El Burro – Agua Mena, al Suroeste del municipio Cedeño, estado Bolívar, Venezuela. *GEOS*,42, 41-44.
- Bonilla-Pérez, A., Frantz, J., Charao-Marques, J., Cramer, T., Franco-Victoria, J., Mulocher, E., Amaya-Perea, Z. (2013). Petrografía, geoquímica y geocronología del Granito de Pargüaza en Colombia. *Boletín de Geología*, 35(2), 83-104.
- Hinze, W., C. Aiken, J. Brozena, B. Coakley, D. Dater, G. Flanagan, R. Forsberg, T. Hildenbrand, G. Randy Keller, J. Kellogg, R. Kucks, X. Li, A. Mainville, R. Morin, M. Pilkington, D. Plouff, D. Ravat, D. Roman, J. Urrutia- Fucugauchi, M. Véronneau, M. Webring y D. Winester. (2005). New standards for reducing gravity data: The North American gravity database. *Geophysics* 70(4): J25-J32.
- Jácome, María I., Izarra, C., Costanzo-Álvarez, Vincenzo, Mirón-Valdespino, Oscar. (2003) Gravimetric modeling of the Parguaza granitic intrusion, Guyana Precambrian Shield, southwestern Venezuela using geochronological constraint. *Geofísica Internacional*, Vol. 43, Num. 3, pp. 383-393
- Kozlovskaya, E., Elo, S., Hjelt, S.-E., Yliniemi, J., Pirttijärvi, M., and SVEKALAPKO Seismic Tomography Working Group. (2004). 3-D density model of the crust of southern and central Finland obtained from joint interpretation of the SVEKALAPKO crustal *P*-wave velocity models and gravity data. *Geophys. J. Int* 158, 827–848.
- London, D. (2012) Granitic Pegmatites: an assessment of current concepts and directions for the future. *Lithos*, 80, 281-303.
- Mendoza, V. (2005). Escudo de Guayana, Andes venezolanos y Sistema Montañoso del Caribe. Ciudad Bolívar, Venezuela: Universidad de Oriente.
- Pacheco, E. (1982). Obtención de concentrados de columbita-tantalita, zircon e ilmenita a partir de aluviones del caño Aguamena en la región de Boqueron, estado Bolívar. Trabajo de Grado no publicado, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Pedrosa, N., Vidotti, R., Fuck, Reinhardt A., Castelo Branco, R.M.G. de Almeida, Afonso R., Vieira Silva, Nilton C., Braga, Luiz R.C.(2016). Architecture of the intracontinental Jaibaras Rift, Brazil, based on geophysical data. *Journal of South American Earth Sciences*.
- Sidder, G. B., y Mendoza, S. (1995). Geology of the Venezuelan Guyana Shield and its relation to the geology of the entire Guyana Shield. U.S. Geological Survey, Bulletin 2124:B1-B41.
- Yegorova, T. P., Starostenko, V. I., Kozlenko, V. G., & Yliniemi, J. (2004). Lithosphere structure of the Ukrainian Shield and Pripyat Trough in the region of EUROBRIDGE-97 (Ukraine and Belarus) from gravity modelling. *Tectonophysics*, 381, 29–59. – 59.