



XVIII Congreso Peruano de Geología

Estructura de la corteza a lo largo del perfil Ica-Cusco-Madre de Dios derivado a partir de datos de anomalía de Bouguer (resultados preliminares)

F. Saavedra¹, J.C. Villegas Lanza², R. Parillo³ y L. Macotela⁴

IGP Instituto Geofísico del Perú, Calle Calatrava 216, Urb. Camino Real, La Molina, Lima, Perú uge1@igp.gob.pe¹, juancarlos.villegas@igp.gob.pe², rocio.parillo@igp.gob.pe³

Resumen: En este estudio se realiza el reprocesamiento, análisis y modelado de datos gravimétricos del perfil Ica – Cusco – Madre de Dios obtenidos en campañas gravimétricas de los años 50-80's efectuadas por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) en cooperación con el Instituto Tecnológico de Tokio (TITech). Estudios anteriores, consiguieron determinar la anomalía simple de Bouguer (sin corrección topográfica) lo que permitió inferir el comportamiento de las estructuras geológicas en los Andes. Sin embargo, en dichos estudios no se determinó la anomalía de completa de Bouguer, que toma en cuenta información topográfica para la corrección por terreno, debido a que en dicha época solo se contaba con mapas para algunos sectores a escala 1/100000 proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). La corrección por terreno es significativa ya que permite caracterizar mejor las variaciones del Moho en profundidad. El perfil escogido: Ica – Cusco – Madre de Dios, es transversal a los Andes en el sur del Perú, abarcando una longitud de 720 km desde la costa hasta la llanura amazónica y consta de 711 puntos. Los resultados preliminares de la anomalía completa de Bouguer presentan valores que varían de +300 a -380 mGal y se correlacionan a primer orden con las variaciones topográficas de los Andes y los diferentes dominios geotectónicos. Los valores positivos corresponden a dominios como Pisco – Chala (+300 a -100 mGal), subandino (0 a +150 mGal) y cuenca amazónica (+150 a +250 mGal). Los valores negativos de -100 a -380 mGal corresponden a la Cordillera Occidental, Altiplano y Cordillera Oriental. Esto sugiere que el espesor de la corteza varía de acuerdo a su densidad y geología; siendo así, menos profundo en zonas cerca a la costa (~25 km), más profunda en los Andes (~70 km) y una profundidad promedio en la cuenca subandina y amazonia (~35 km).

1. Introducción

Durante las décadas de 1950 hasta 1980, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) realizó diversas campañas de gravimetría con la finalidad de conocer los principales problemas tectónicos de los Andes en el Perú (Ocola et al., 1983). La información recolectada en dichas campañas fue materia de algunos estudios que permitieron obtener resultados de la anomalía simple de Bouguer y la elaboración de perfiles gravimétricos de interés (DMACC, 1973; Ocola et al. 1983; Kono et al. 1983; Yamamoto et al. 1986; Fukao et al. 1989 y 1999). Sin embargo, dichos estudios presentaron algunas discrepancias en sus resultados, principalmente debido al tipo de procesamiento de datos, corrección y reducción de los mismos e información de datos de topografía regional, la

cual era insuficiente debido a la falta de trabajos cartográficos para esos años. En el presente estudio se realiza el reprocesamiento e interpretación de los datos de gravedad del perfil Ica – Cusco – Madre de Dios publicado por Fukao et al. (1989). El perfil escogido, abarca en extensión las zonas costa, sierra y cuenca amazónica en el sur del Perú (Figura 1). El interés de reprocesar esta información es de efectuar la corrección por terreno y determinar las variaciones de anomalía completa de Bouguer a lo largo de dicho perfil. Dichos resultados permitieron proponer un modelo de corteza, así como determinar su profundidad.

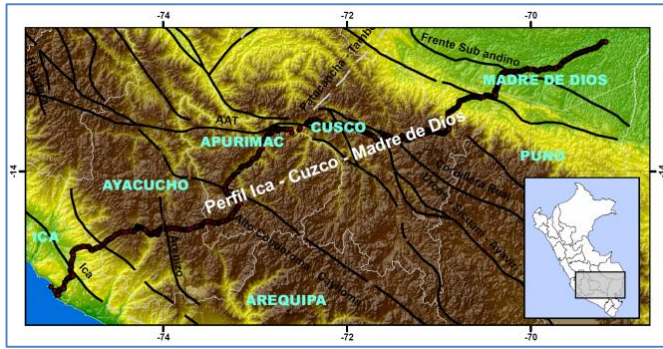


Figura 1. Mapa topográfico de la región de estudio que muestra la ubicación del perfil Ica - Cusco - Madre de Dios que consta de 711 puntos de observación. Líneas en negro representan los principales sistemas de fallas (Carlotto et al., 2009).

2. Marco Geológico

La corteza en el sur del Perú exhibe diferentes bloques estructurales yuxtapuestos (dominios geotectónicos), cada uno de estos dominios está caracterizado por su propia evolución sedimentaria, tectónica y magmática. Los límites están señalados por sistemas de fallas complejos NO-SE, E-O y NE-SO (Figura 1 y 3); regional o localmente pueden estar marcados por unidades magmáticas de diferentes edades y composiciones (Carlotto et al., 2010). Los dominios presentes en el perfil Ica - Cusco - Madre de Dios son: Pisco - Chala, Cordillera Occidental, Alto Condorama - Caylloma, Altiplano Oriental, Altiplano Occidental, Cordillera Oriental, Subandino y Llanura Amazónica. La descripción de los dominios estructurales y su correlación con la anomalía simple de Bouguer por Fukao et al., (1999) fue realizada por Mamani et al. (2009).

3. Datos

Los datos gravimétricos que se utilizan en el presente estudio fueron obtenidos en diferentes campañas realizadas por el IGP desde la década de los 50's hasta los 80's. Posteriormente, entre los años 1980 y 1984, se llevaron a cabo trabajos de campo por el Instituto Tecnológico de Tokio (Japón), en convenio con el IGP, para procesar en forma conjunta y analizar los datos de gravedad recogidos, estos fueron publicados por Fukao et al. (1989) y Fukao et al. (1999).

Fukao et al., (1999) entre 1995 y 1998, examina todos los documentos originales de las campañas gravimétricas disponibles del IGP (libretas de campo, bechmark, mapas topográficos 1:100000, etc.) y ejecuta mediciones de campo adicionales para poder hacer una mejor calibración y reducción del conjunto de datos. De este conjunto de datos se ha seleccionado los correspondientes al perfil Ica - Cusco - Madre de Dios, que cuenta con 711 puntos de gravedad observada. Los datos de topografía local son obtenidos de las fichas de campo del IGP, determinados en base a mapas de 1:100000 del IGN. Asimismo, a fin de efectuar la corrección topográfica se utilizó imágenes de elevación digital (DEM, Digital

Elevation Model) compilada de imágenes satelitales ASTER GDEM, con resolución de 30m.

4. Metodología

La metodología para la obtención de la anomalía completa de Bouguer para el perfil Ica - Cusco - Madre de Dios, consiste en la corrección de los datos de gravedad y el reprocesamiento mediante un programa especializado (Oasis Montaj). Los procedimientos de reducción y calibración al conjunto de datos del IGP, se realizó utilizando valores conocidos de gravedad absoluta de estaciones de referencia y esquemas razonables para corregir y ajustar los datos como: mapas, notas de campo, descripciones y tablas de constantes. Estos procedimientos realizados por Fukao, et al., (1999) son empleados en este trabajo. Se aplicaron correcciones por latitud, mareas y aire libre para obtener la anomalía simple de Bouguer y correcciones de terreno, para la obtención de anomalías completas.

Cabe señalar que en los trabajos de Fukao et al. (1989), Fukao et al. (1999), se utilizaron mapas del Perú a escala 1:1000000 (INGEMMET) y 1:100000 (IGN) respectivamente, por tal motivo las correcciones de terreno no fueron realizadas debido a la insuficiencia de información topográfica regional. En la corrección de terreno, se utilizaron datos de elevación obtenidos in situ (bechmarks), debido a que no se contaba con instrumentos de buena precisión en esa época; consideraron un error en la elevación de ± 100 m. Hoy en día se cuenta con mayor información proveniente de imágenes satelitales que permiten tener una mejor cobertura espacial y precisión de altura. La corrección regional se realizó con imágenes satelitales (ASTER GDEM) en escala 1:60000 y de 30 m de resolución.

Para elaborar un modelo de corteza y estimar su profundidad, se utiliza el método propuesto por Talwani et al., (1959), que utiliza un polígono de n-lados que se aproxima al contorno de la sección vertical de un cuerpo, de esta manera se puede definir el basamento o diferentes cuerpos. Siendo g anomalía residual, G Constante de gravitación universal ($6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kgs}^2$), δ contraste de densidad (gr/cm^3) y Z_i profundidad (m).

$$g = 2G\delta \sum_{i=1}^n Z_i$$

5. Resultados

Con respecto a los resultados de Fukao et al., (1989), la anomalía simple de Bouguer obtenida en este estudio (Figura 2), presenta variaciones de ± 0.05 mGal, en estaciones con elevaciones inferior a 2800 msnm y de hasta ± 7 mGal, en estaciones con elevaciones superiores.

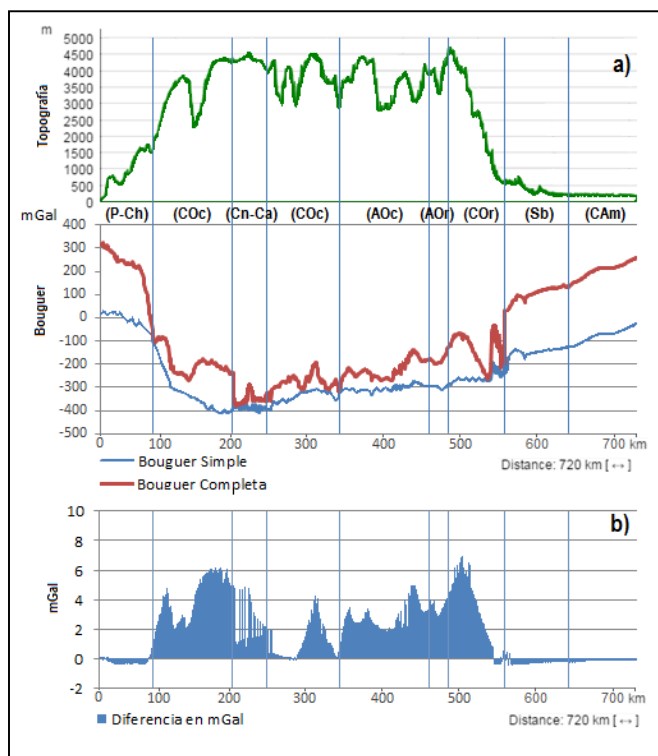


Figura 2. **a)** Perfil topográfico de la zona de estudio (verde), correlacionado con la Anomalía Simple de Bouguer (azul) y Anomalía Completa de Bouguer (rojo), líneas verticales delimitan los distintos dominios estructurales existentes siendo (P-Ch) Pisco - Chala, (COc) Cordillera Occidental, (Cn-Ca) Alto Condoroma - Caylloma, (AOc) Altiplano Occidental, (AOr) Altiplano Oriental, (COr) Cordillera Oriental, (Sb) Subandino y (CAm) Cuenca Amazónica. **b)** Diferencias en mGal en comparación a los resultados obtenidos por Fukao et al., (1999) y los obtenidos en este trabajo. A mayor altitud de los puntos de observación, la diferencia en mGal (miligales) entre resultados es mayor.

Esta variación puede estar asociada a una diferencia en el nivel de precisión de la latitud de referencia, la cual Fukao et al., (1999) presentan solamente hasta el minuto decimal. En el presente estudio se cuenta con una precisión de hasta segundos decimales. Los resultados obtenidos muestran que la anomalía completa de Bouguer se correlaciona con la topografía de los Andes, pudiendo establecerse límites de acuerdo a los dominios estructurales existentes, tal como sugiere Mamani et al., (2009). La anomalía completa de Bouguer del perfil de Ica - Cusco - Madre de Dios (Figura 3), se caracteriza por una disminución brusca de la anomalía completa de Bouguer desde la costa hacia la Cordillera Oriental. De Oeste a Este los valores de anomalía de Bouguer varían de +300 a -100 mGal en la costa (Ica), abarcando el dominio Pisco - Chala (P-Ch) con una profundidad de ~25 km. En la Cordillera, entre los departamentos de Ayacucho, Apurímac y el oeste de Cusco, los valores de anomalía varían de -100 a -380 mGal (Cordillera Occidental (COc), Alto Condoroma - Caylloma (Cn-Ca), el Altiplano Occidental (AOc), Altiplano Oriental (AOr) Cordillera Oriental (COr)), alcanzando una profundidad de ~70 km. Los valores negativos de anomalía de Bouguer máximos absolutos observados (-350 a -380 mGal) están asociados a los dominios de Alto Condoroma - Caylloma y Cordillera Occidental. Las Anomalías completas de Bouguer cuyos valores varían de -200 a -300 mGal, están asociados a cuencas sedimentarias ubicadas en la Cordillera Occidental, Altiplano Occidental y Oriental. En el subandino (Sb) de Cusco y la llanura amazónica (CAm) de Madre de Dios se observan valores de 0 a +250 mGal y una profundidad del basamento de ~35 km (Figura 3).

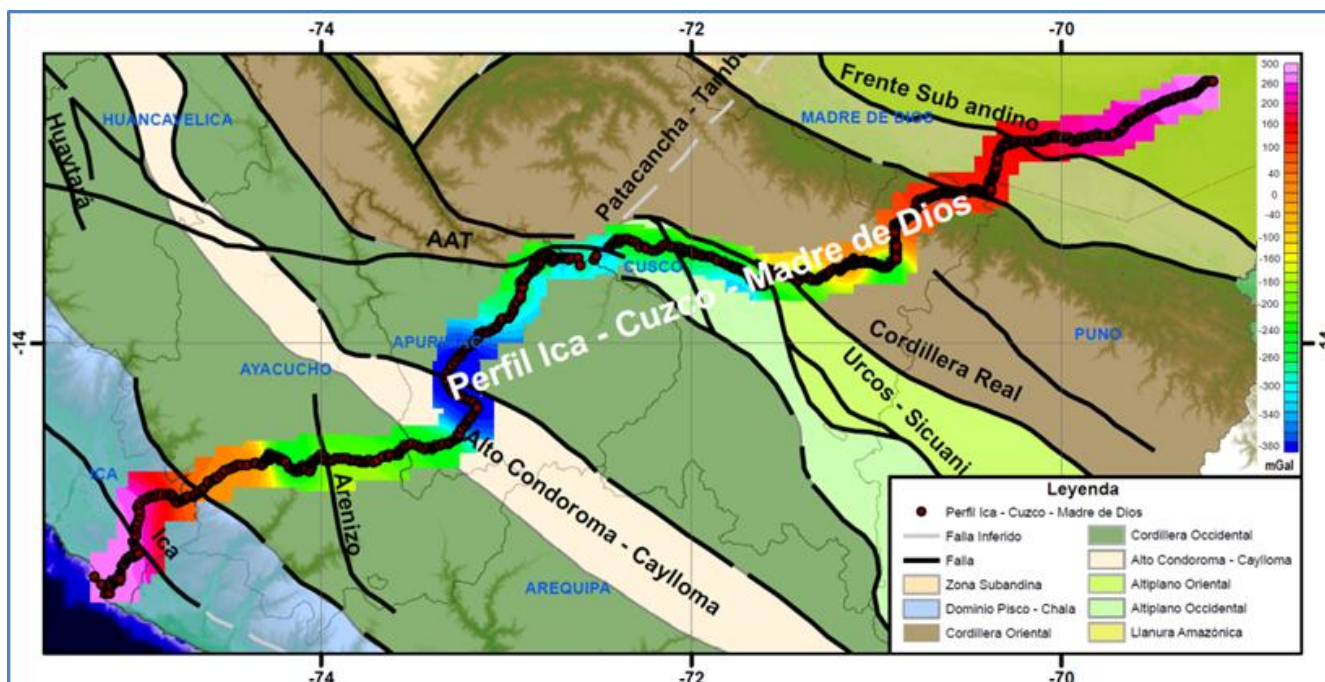


Figura 3. Anomalía completa de Bouguer en el Perfil Ica - Cusco - Madre de Dios. La barra de color indica el valor en miligal (mGal) de Bouguer corregido. La leyenda indica los dominios geotectónicos presentes, los sistemas de fallas principales en la zona y la ubicación de los puntos del perfil.

5. Discusiones

El modelo de corteza derivado a partir de las anomalías completas de Bouguer, aporta las características del Moho en las diferentes unidades o dominios geotectónicos. Fukao et al. (1989), obtiene similares valores de profundidad, diferenciándose en las zonas de máxima anomalía negativa, donde obtiene una profundidad de 65 km. Ocola & Meyer et al., (1971), reportan un espesor total de la corteza, en la sección de los Andes, de 70 km aproximadamente. Para el subandino, la profundidad próxima que se obtiene es de 32 km, siendo consistentes con nuestros resultados. Lyon-Caen et al., (1985) infiere que el Escudo Brasileño se introduce por debajo de la zona subandina, este proceso se produjo en el pasado, actualmente continúa y es responsable de la formación de la mayoría de la topografía y de la raíz cortical de los Andes Orientales. Las anomalías de gravedad de Bouguer en el Este, alrededor Cusco y Madre de Dios podrían deberse a la flexión del Escudo Brasileño bajo la cordillera oriental (Lyon-Caen et al., 1985), que se comporta como una placa elástica que se extiende hacia el este, pero sólo una cantidad finita debajo de los Andes hacia el oeste. El peso del material en los sub-Andes y la Cordillera Oriental ofrece una carga en el Escudo Brasileño.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que anomalías positivas de hasta +300 mGal, son observados en los dominios costeros como Pisco – Chala, con profundidades de ~25 km. Los valores de 0 a +250 mGal corresponden a dominios estructurales de la cuenca subandina, cuenca amazónica, con profundidades de ~35 km. Los valores negativos de -100 mGal a -380 mGal corresponden dominios como la Cordillera Occidental, Altiplano y Cordillera Oriental, con una profundidad entre los 60 y 70 km aproximadamente. La Cordillera Occidental está aparentemente en equilibrio isostático mientras que la Cordillera Oriental no lo está. Los resultados que se presentan en este estudio son preliminares y serán mejorados en un análisis posterior con información topográfica local y regional.

Agradecimientos

En primer lugar agradecer al Instituto Geofísico del Perú (IGP), por la oportunidad de realizar trabajos de investigación. El agradecimiento también a los doctores L. Ocola y Y. Fukao, quienes proporcionaron información referente a sus publicaciones. Agradecemos a los comentarios y sugerencias del revisor anónimo que ayudaron a mejorar la versión final de este trabajo.

Referencias

ASTER, 2016. ASTER Global Digital Elevation Model-Overview 2016 <<http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/4.html>>.

- Carlotto, V., Quispe, J., Acosta, H., Rodríguez, R., Romero, D., Cerpa, L., Mamani, M., Diaz, E., Navarro, P., Jaimes, F., Velarde, T., Lu, S., and Cueva, E. 2009. Dominios Geotectónicos y Metalogénesis del Perú. Bol. Soc. Geol. Perú 103, p. 1-89.
- Carlotto, V., Acosta, H., Mamani, M., Cerpa, L., Rodríguez, R., Diaz, E., Navarro, P., Cueva, E., Chacaltana, C. 2010. Los Dominios Geotectónicos del Territorio Peruano. Bol. Soc. Geol. Perú N°9, p. 47-50.
- DMAAC. 1973. Defense Mapping Agency Aerospace Center. 1°x1° mean free-air gravity anomalies, DMAACIRP-73-0002, DOD gravity Serv. Div., St. Louis AFS, Mo., p.100.
- Fukao, Y., Yamamoto, A. 1989. Gravity Anomaly Across the Peruvian Andes. Journal of Geophysical Research v. 94, No. B4 p. 3867-3890.
- Fukao, Y., Kono, M., Yamamoto, A., Saito, M., Nawa K., Giesecke, A., Perales, C. 1999. Gravity Measurements and Data Reduction for Bouguer anomaly Map of Perú. Bulletin of Earthquake Research Institute University of Tokio, 74, p. 161-266.
- Kono, M., Kono, S. 1983. Gravity survey across the Peruvian Andes. Andes science, edited by M. Kono, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Vol. 2, p. 58-66.
- Lyon-Caen, H., Molnar, P., and Suárez, G. 1985. Gravity anomalies and Flexure of the Brazilian Shield beneath the Bolivian Andes. Earth and Planetary Science Letters, 75 p. 81-92.
- Mamani, M., Carlotto, V., Santos, A., Acosta, H., Rodríguez, R., Martiarena, R., Rodríguez, Juan., Navarro, J., Cacya, L., Alvan, A., Cornejo, T., Peña, D., and Aguilar. 2009. Results of Regional Interpolation of Bouguer Anomalies and their Correlation with Geotectonic Domains of Peru. R. Bol. Soc. Geol. Perú 103, p. 255-263.
- Ocola, L., Meyer, R. 1971. Gross Crustal Structure under Peru-Bolivia Altiplano. Geophysical Polas Research Center University of Wisconsin, p. 33-48.
- Ocola, L. 1983. Geophysical data and the Nasca-South American subduction zone kinematics: Peru-North Chile segment, in Geodynamics of the Eastern Pacific Region, Caribbean and Scotia Arcs, Geodyn. Ser., edited by R. Cabre, Am. Geophys. Un., Washington D.C, v. 9, p. 95-112.
- Talwani, M., Worzel, L. and Landisman, M. 1959. Rapid gravity computation for two dimensional bodies with applications to the Mendocino submarine fracture zone. J. Geophys. Res., 64, p. 49-59.
- Yamamoto, A., Fukao, Y. and Kono, M. 1986. Gravity surveys across Peruvian Andes. Andes Scince, edited by M.Kono. Tokyo Institute of Technology, Tokyo, vol. 3, p. 99-112.