

RESULTADOS DE LA INTERPOLACIÓN REGIONAL DE LAS ANOMALÍAS DE BOUGUER Y SU CORRELACIÓN CON LOS DOMINIOS GEOTECTÓNICOS DEL PERÚ

RESULTS OF REGIONAL INTERPOLATION OF BOUGUER ANOMALIES AND THEIR CORRELATION WITH GEOTECTONIC DOMAINS OF PERU

Mirian Mamani, Victor Carlotto, Alan Santos, Harmuth Acosta, Rildo Rodríguez, Raquel Martiarena, Juan Rodríguez, Juan Navarro, Lourdes Cacya, Aldo Alvan, Teresa Cornejo, Daniel Peña y Rigoberto Aguilar

RESUMEN

Un mapa simple de anomalías de Bouguer del Perú ha sido elaborado en base a los datos de gravimetría publicados en Fukao et al. (1999). El procesamiento estadístico de los datos de gravimetría sugirió interpolar los valores cada 25 mGal, obteniéndose el mapa de anomalías de Bouguer que indica sobre todo los cambios de densidad a nivel cortical y cambios en el espesor de la corteza continental. Este mapa fue correlacionado con los sistemas de fallas principales y con los grandes dominios geotectónicos. Así, el mapa resultante muestra que los valores positivos ocurren a lo largo de la costa en los dominios geotectónicos de Amotapes-Tahuin, Sechura-Lancones, Casma, Pisco-Chala y Atico-Mollendo-Tacna. Los valores transicionales ocurren en los dominios tectónicos de Olmos-Loja, Cordillera Oriental, Zona Subandina, borde oeste y norte del dominio de la Cordillera Occidental. Los valores negativos están principalmente en los dominios tectónicos del Alto Condoroma-Caylloma, margen este de la Cordillera Occidental, Altiplano Occidental y Altiplano Oriental. Por otro lado, se observa que hay una buena correlación entre los cambios bruscos de los valores de anomalías de Bouguer y los sistemas de fallas principales que delimitan los dominios geotectónicos.

Palabras claves: Anomalías de Bouguer, dominios geotectónicos, gravedad, sistema de fallas, Perú.

ABSTRACT

A simple Bouguer anomalies map of Peru has been developed on the basis of gravimetry data published in Fukao et al. (1999). The statistical processing of the gravimetry data suggested to interpolate the values each 25 mGal, obtaining so the Bouguer anomalies map that indicates changes of densities at crustal levels and changes of the continental crustal thickness. This map was correlated with the main fault systems and the geotectonic domains. Thus, the resulting map shows that the positive values occur along the coast in the geotectonic domains of Amotapes-Tahuin, Sechura-Lancones, Casma, Pisco-Chala and Atico-Mollendo-Tacna. The transitional values occur in the tectonic domains of Olmos-Loja, Eastern Cordillera, Subandean Zone and western margin and north of the Western Cordillera Domain. The negative values are principally in the tectonic domains of Alto Condoroma-Caylloma, eastern margin of the Western Cordillera, Western Altiplano and Eastern Altiplano. On the other hand, it is observed that there is a good correlation between the abrupt changes of the Bouguer anomalies values and the main fault systems that delimit the geotectonic domains.

Keywords: Bouguer anomalies, geotectonic domains, gravity, fault systems, Peru.

INTRODUCCIÓN

Las mediciones de gravimétricas son datos geofísicos que en los últimos años han sido bien aprovechados, ya que las anomalías de gravedad proveen la información básica para estudiar la estructura cortical y su aplicación en la evolución de las montañas y sus recursos. En el caso del Perú

es muy importante contar con estos datos ya que el territorio tiene características morfoestructurales muy distintas, variadas y contrastadas como la fosa Perú-Chile, la Cordillera de la Costa, la Cordillera Occidental, el Altiplano, la Cordillera Oriental, la Zona Subandina y la Llanura Amazónica.

Las mediciones de gravedad en el Perú fueron hechas por el Instituto Geofísico del Perú y por el Servicio Geofísico del Japón. Este último realizó mediciones de gravedad entre los años 1980-1984 y 1995-1998. Un total de 800 estaciones de gravedad de los japoneses proporcionaron tres o más puntos de referencia, para cada ruta de las estaciones del Instituto Geofísico del Perú (Fig. 1). Fukao et al. (1999) publicaron un mapa simple de las anomalías de Bouguer del Perú utilizando los valores compilados de gravedad, tomados del IGP y de las medidas que ellos realizaron, sobre un total de 7659 puntos. Además aplicaron correcciones de Bouguer a estos datos. En su trabajo ellos reportan todos los procedimientos que sirvieron para la calibración y reducción de los datos, explican los procedimientos matemáticos usados para el cálculo de las anomalías de Bouguer, discuten la confiabilidad de los resultados de la reducción de los datos, y resaltan las características principales del mapa simple de anomalías de Bouguer del Perú. Por lo tanto, aquí no se explican todos estos procedimientos, ya que el objetivo principal de este trabajo es la correlación entre las variaciones de anomalías de Bouguer y los dominios geotectónicos del Perú que es presentado en este mismo boletín (ver figura 1 de Carlotto et al., 2009).

Los resultados regionales muestran la utilidad de correlacionar un mapa de anomalías de Bouguer con dominios geotectónicos y esto puede ser un modelo de trabajo en estudios corticales donde se requiere conocer las propiedades de la corteza y su efecto en las mediciones de gravedad. La resolución del mapa simple de las anomalías de Bouguer del Perú nos permitió correlacionar las principales características de gravedad con los principales dominios geotectónicos. Por otro lado, actualmente en INGEMMET los mapas regionales detallados de gravedad están siendo preparados por cada proyecto de la Dirección de Geología Regional, es así que se adicionará una leyenda de las anomalías de Bouguer en los mapas geológicos integrados que están en preparación. Estos mapas tendrán muy buena resolución en las áreas donde se cuenta con

mayores mediciones de gravedad (Fig. 1), mejorarán la resolución y mostrarán con más detalles las características de las mediciones de gravedad en cada dominio geotectónico.

CORRELACIÓN DEL MAPA SIMPLE DE ANOMALÍAS DE BOUGUER CON LOS DOMINIOS GEOTECTÓNICOS

El mapa final de las anomalías de Bouguer que ha sido interpolado cada 25 mGal (Fig. 2), puede ser usado para identificar las anomalías gravimétricas relacionadas con los cambios de densidad de la corteza y por tanto del espesor, los que a su vez están asociados a los diferentes dominios geotectónicos o geológicos de escala regional. En consecuencia, el mapa sirve para la correlación de gravedad con los dominios geotectónicos. Los datos de Fukao et al. (1999) no cuenta con mediciones de gravedad del dominio amazónico del país (Fig. 1), es por eso que este área carece de información.

Los estudios de estratigrafía-sedimentología, tectónica, petrología, magmatismo, geoquímica y metalogenia han permitido definir grandes dominios geológicos o geotectónicos (Carlotto et al., 2009) con importancia en los recursos naturales y principalmente los recursos minerales y energéticos. Son 13 los dominios geotectónicos (Figura 1 en Carlotto et al., 2009) y estos se hallan separados por los principales sistemas de fallas. Se ha correlacionado el mapa simple de anomalías de Bouguer con los dominios geotectónicos y se nota claramente que los lugares de los mayores cambios regionales corresponden a los contornos o fronteras de estos dominios (Fig. 3).

Para una mejor comprensión del mapa resultante de la interpolación de los datos de gravedad y los dominios geotectónicos (Fig. 3), se consideran tres rangos de los valores de anomalías: positivas, transicionales y negativas. La secuencia de anomalías positivas va de 0 a +120.016 mGal, y es observada a lo largo de la costa, en los dominios de Amotapes-Tahuin, Sechura-Lancones, Casma, Pisco-Chala y Atico-Mollendo-Tacna. La secuencia de anomalías transicionales va de 0 a -150 mGal y se observa en los dominios Olmos-Loja, Cordillera Oriental, Zona Subandina, borde oeste y norte del dominio de la Cordillera Occidental. La secuencia de anomalías negativas tiene valores desde -150 a -439.914 mGal, y ocurre en los dominios Alto Condorama-Caylloma, margen este de la Cordillera Occidental, Altiplano Occidental y Altiplano Oriental.

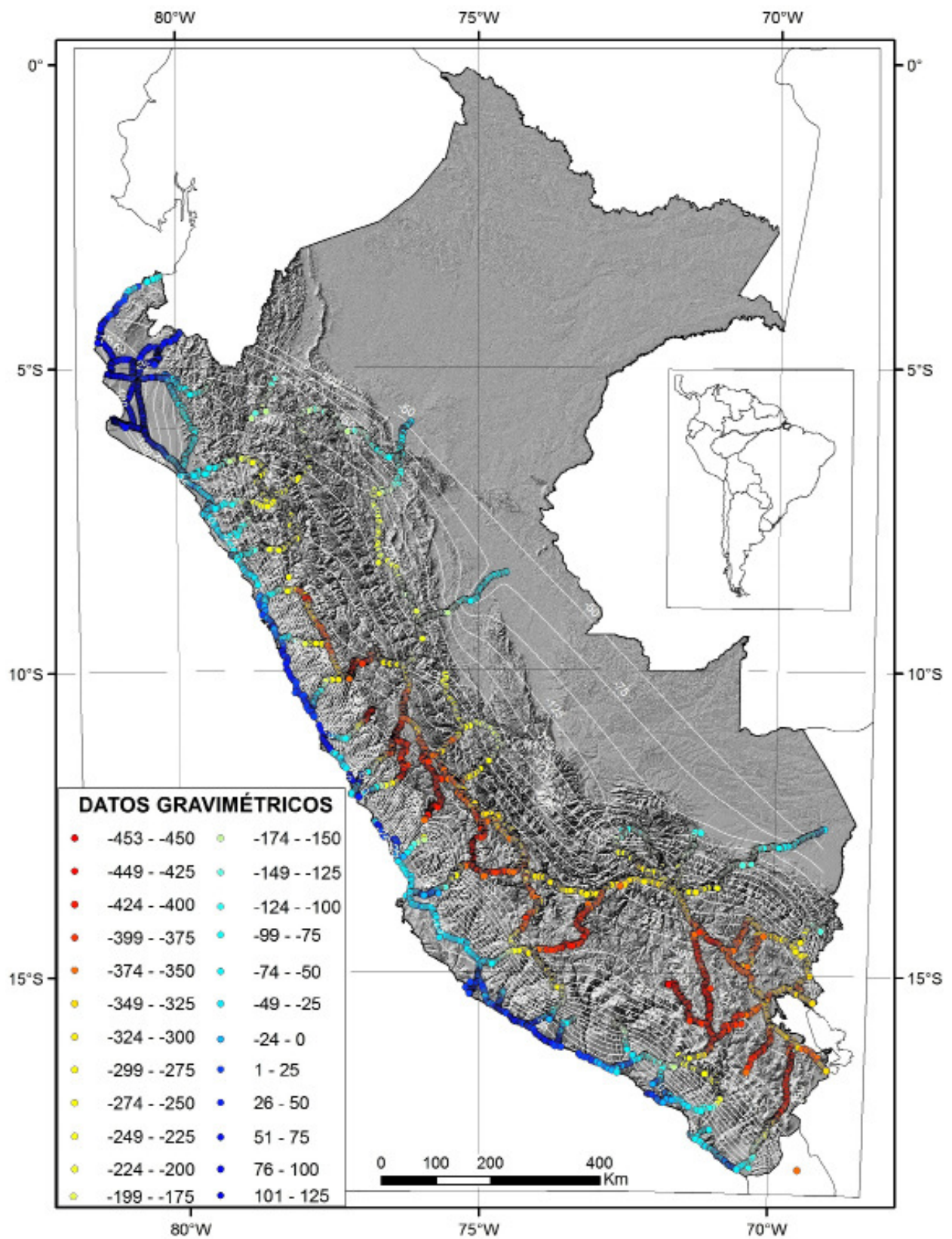


Figura 1. Localización de puntos de referencia donde se tomaron las medidas de gravedad. Estos puntos corresponden a las mediciones de gravedad y hacen un total de 7659. Las líneas blancas son los contornos de la interpolación de los datos de anomalías de Bouguer, cada 25 mGal según Fukao et al. (1999).

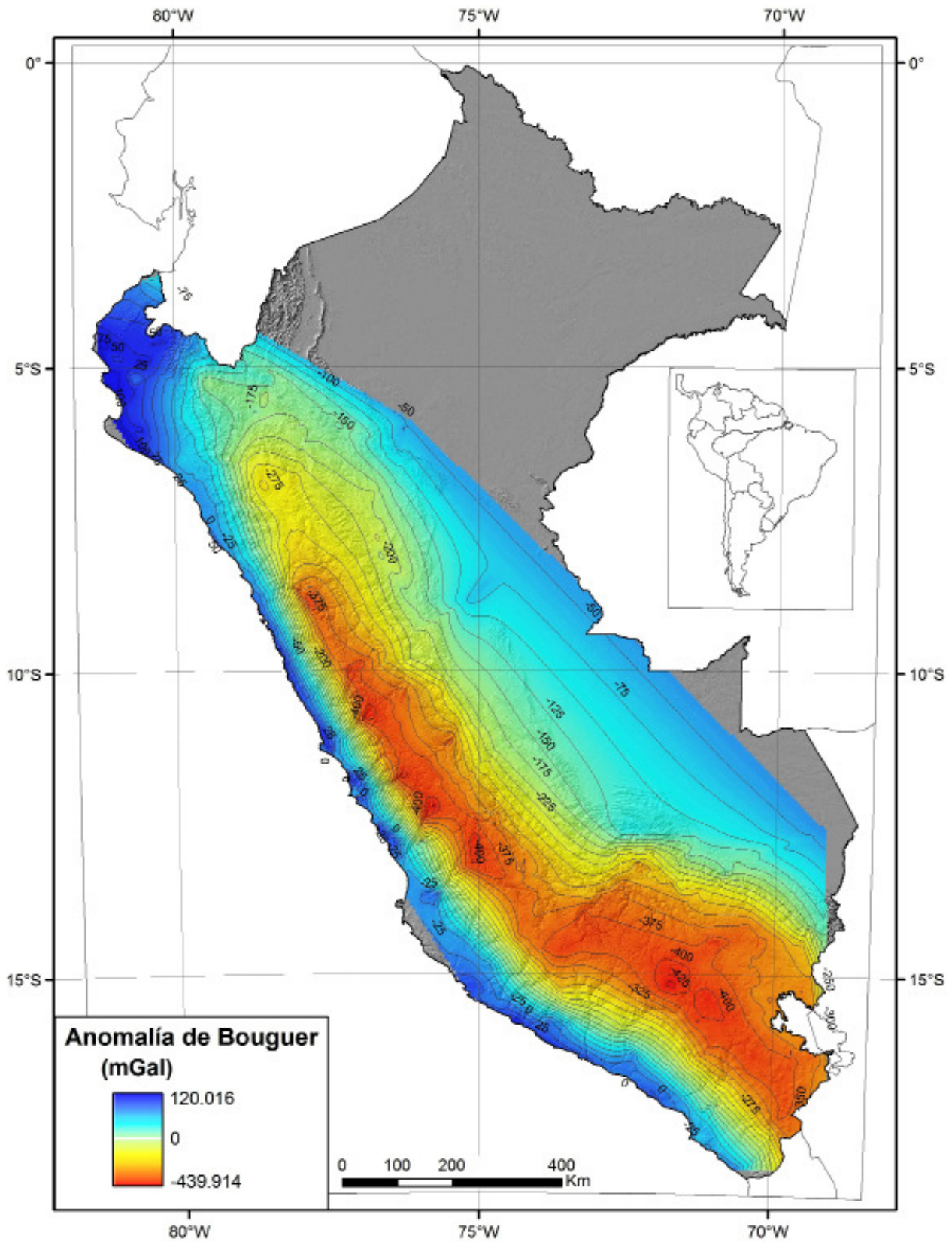


Figura 2. Mapa simple anomalías de las Bouguer, la interpolación fue realizada cada 25 mGal, modificado de Fukao et al. (1999).

Parte de estos valores fueron examinados por Kono et al. (1989), donde ellos concluyen que los valores positivos están relacionados a una corteza menor a 30 km, de espesor, los valores transicionales a una corteza con espesores entre 30 y 60 km y los valores negativos a una corteza más gruesa con espesores entre 60 y 75 km aproximadamente.

LA IMPORTANCIA GEOLÓGICA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE GRAVEDAD

En esta parte se presenta las características geológicas que tienen que ver con las anomalías de Bouguer, para lo cual veremos las fuentes de las anomalías, sean positivas, transicionales o negativas.

Fuentes de las Anomalías Positivas

Basamento proterozoico y paleozoico

En el norte del Perú los valores altos de las anomalías de Bouguer entre -69 a +99 mGal están asociados al dominio Amotape-Tahuin (Mourier et al., 1988). Este bloque está constituido por metasedimentos de edad paleozoica que han sido intruidos por granitos de edad triásica (Sánchez et al., 2006); y que hacia el este está limitada por el sistema de fallas Cusco-Angolo (Fig. 4).

En el sur, los valores entre -40 y +49 están asociados a las rocas proterozoicas del Macizo de Arequipa en los dominios Pisco-Chala y Atico-Mollendo-Tacna. Estos dominios están conformados por rocas metamórficas con facies que van desde granulitas a anfibolitas (Loewy et al., 2004) intruidas por granitoides juveniles del Ordovícico (Chew et al., 2008). Hacia el este están limitadas por el sistema de fallas Ica e Islay (Fig. 4).

Adición de material máfico a la corteza

Los dominios Sechura-Lancones, Casma y el borde oeste de Atico-Mollendo-Tacna tienen los valores más altos de anomalías positivas de Bouguer, los que oscilan entre +21 y +122 mGal. Estos valores están en relación a las mayores adiciones de material mantélico a la corteza que tuvo lugar en los dominios antes mencionados y dieron lugar a la formación de rocas de composición máfica como basaltos, basalto-andesitas, gabros y gabrodioritas; durante el magmatismo ocurrido entre el Jurásico y Cretácico (Winter, 2008; Polliand et al., 2005; Mamani et al., 2010). El sistema de fallas de Olmos y Cusco-Angolo en el norte y el sistema de fallas de Ilo en el sur,

delimitan las anomalías de Bouguer positivas de estos dominios geotectónicos (Fig. 4).

Fuentes de las Anomalías Transicionales

Granitos y otras rocas ígneas

Una importante fuente de anomalías transicionales (0 a -150 mGal) son proporcionadas por los granitoides. Por ejemplo, los que afloran el borde oeste y norte del dominio de la Cordillera Occidental y en el dominio Olmos-Loja, y son comúnmente conocidos como los granitoides del Batolito de la Costa formados entre el Cretácico y Paleoceno en un contexto de subducción (Beckinsale et al., 1985). Estos granitos están asociados a los sistemas de las fallas de Olmos, Huancabamba, Chulucanas, Pallasca, Conchao-Cocachacra y Cincha Lluta-Incapuquio (Fig. 4).

En la Cordillera Oriental también afloran granitoides cuya edad de formación van desde el Ordovícico al Triásico superior (Miskovik et al., 2009). Estas rocas tienen diferentes orígenes, unos asociados a la subducción y otros a rifts continentales. Aquí, los granitoides están relacionados a los sistemas de fallas de la Cordillera Real, Cerro de Pasco-Ayacucho, Oxapampa-San Vicente, Chonta y Marañón (Fig. 4).

Fajas corridas y plegadas

Otra importante fuente de anomalías de Bouguer transicionales (-65 a -150 mGal) son las rocas del dominio de la Zona Subandina (Gil, 2002; Hermoza et al., 2005). Se trata de secuencias sedimentarias cuyas edades van del Paleozoico inferior hasta el Mioceno y han formado un sistema de faja corrida y plegada, deformado principalmente en el Mioceno, producto del cabalgamiento de la Cordillera Oriental sobre la Llanura Amazónica. El cambio brusco de las anomalías de Bouguer de esta faja plegada, coincide al oeste con los sistemas de fallas de Almendra-Jumbilla, San Francisco-Satipo-Pangoa (Fig. 4), mientras que hacia el este el cambio no es notorio debido a la falta de datos de gravimetría (Fig. 1).

Fuentes de las Anomalías Negativas

Vulcanismo y producción de rocas félsicas

Los valores negativos entre -320 y -370 mGal están asociados a los sistemas volcánicos formados desde el Eoceno al Mioceno superior (42 a 3 Ma) en los dominios de la Cordillera Occidental, Altiplano

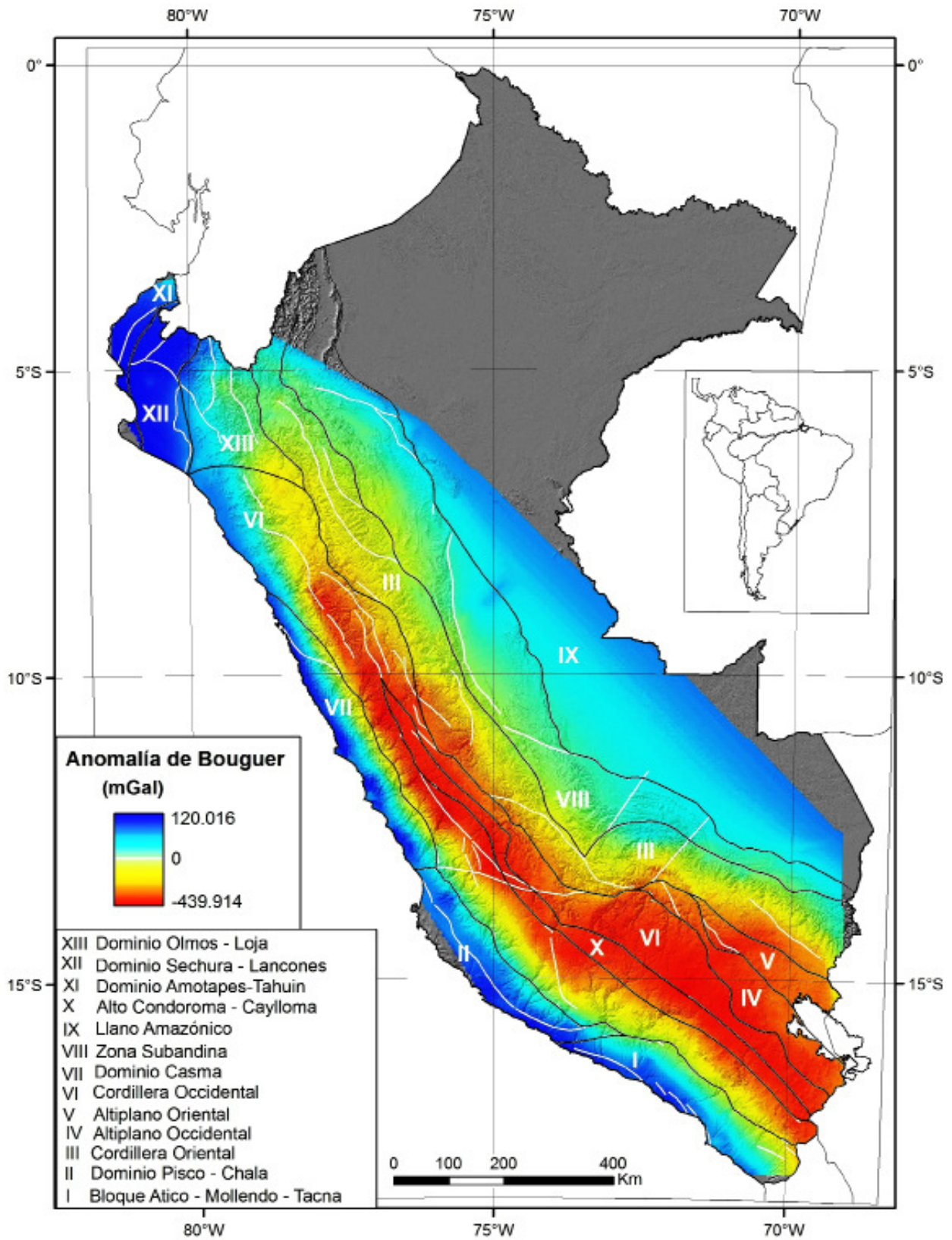


Figura 3. Mapa resultante de las anomalías Bouguer y los dominios geotectónicos del Perú según Carlotto et al. (2009).

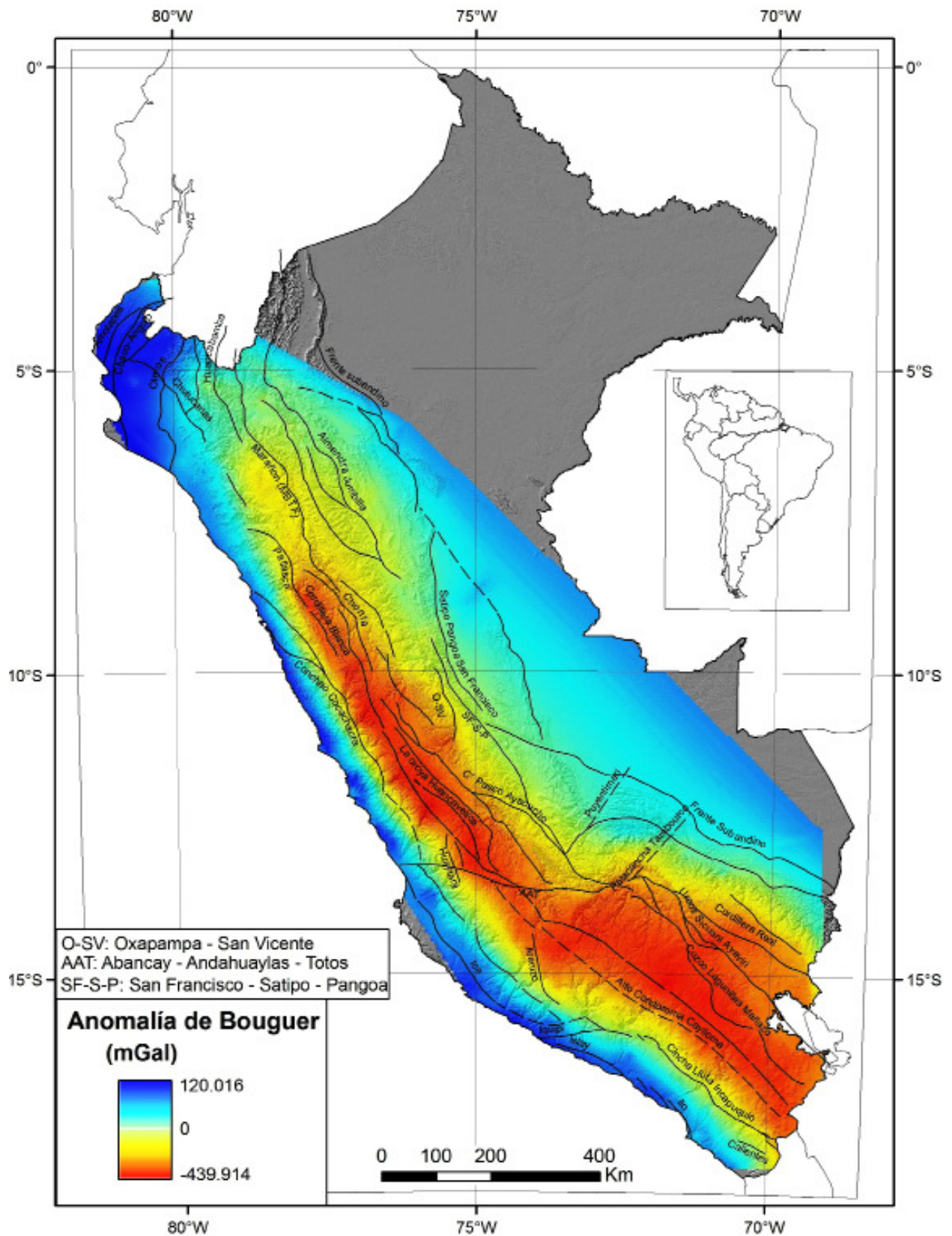


Figura 4. Mapa resultante de las anomalías Bouguer y los sistemas de fallas principales de los dominios tectónicos del Perú.

Occidental y Altiplano Oriental (Kaneoka y Guevara, 1984; Clark et al., 1990; Bissig et al., 2008; Mamani et al., 2010; Navarro et al., 2010). Los cambios en los valores de las anomalías de Bouguer de estos dominios coinciden con el sistema de fallas de la Cordillera Blanca, La Oroya-Huancavelica, Cuzco-Lagunillas-Mañazo y Urcos-Sicuani-Ayaviri (Fig. 4).

Por otro lado, los datos de anomalías negativas que van de -400 a -440 mGa, están asociados con el dominio de Alto Condoroma-Caylloma. Una de las características principales de este dominio es que en el se localizan calderas que han emitido abundantes volúmenes de ignimbritas durante el Mioceno, particularmente entre 24 y 10 Ma (Noble et al., 1974; Mamani et al., 2010).

Cuencas sedimentarias

Las anomalías de Bouguer negativas cuyos valores varían de -330 a -440 mGal están asociadas con cuencas sedimentarias ubicadas en la Cordillera Occidental, Altiplano Occidental y Altiplano Oriental. Resaltan las cuencas de capas rojas formadas desde el Paleoceno al Mioceno (Carlotto et al., 2005) o la cuenca Putina del Cretácico-Terciario.

REFERENCIAS

Beckinsale, R.D., Sánchez, A., Brook, M., Cobbing, E.J., Taylor, W.P. & Moore, N.D. (1985). Rb-Sr whole-rock isochron and K-Ar age determinations for the Coastal Batholith of Peru. In: Pitcher, W.S., Atherton, M.P., Cobbing, E.J. & Beckinsale, R.D., eds. *Magmatism at a plate edge: the Peruvian Andes*; Blackie, Glasgow, 177-202.

Bissig, T., Ullrich, T. D., Tosdal, R. M., Friedman, R., & Ebert, S. (2008). The time-space distribution of Eocene to Miocene magmatism in the central Peruvian polymetallic province and its metallogenetic implications. *J. S. Am. Earth Sci.* 26:16-35.

Carlotto, V., Jaillard, E., Carlier, G., Cárdenas, J., Cerpa, L., Flores, T., Latorre, O. & Ibarra, I. (2005). Las cuencas terciarias sinorogénicas en el Altiplano y la Cordillera Occidental del sur del Perú. In: Arce, J., ed. *Alberto Giesecke Matto, Soc. Geol. Perú, Lima, Vol. Especial 6*, 103-126.

Carlotto, V., Quispe, J., Acosta, H., Rodríguez, R., Romero, D., Cerpa, L., Mamani, L., Diaz-Martinez, E., Navarro, P., Jaimes, F., Velarde, T., Lu, S., Cueva, E. (2009). Dominios Geotectónicos y Metalogénesis del Perú. *Bol. Soc. Geol. Perú*, 103, 1-89.

CONCLUSIONES

Las correlaciones establecidas entre el mapa de anomalías de Bouguer y los dominios geotectónicos muestran relaciones importantes, lo que equivale a decir que estos dominios tienen espesores de corteza diferentes. Además se puede apreciar que los límites de estos dominios, que corresponden a los grandes sistemas de fallas, coinciden también con los cambios bruscos en las anomalías gravimétricas de Bouguer. En consecuencia, el mapa de anomalías de Bouguer es de gran utilidad para los estudios regionales y particularmente para la exploración regional.

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a Hernando Tavera del Instituto Geofísico del Perú, con quien se tuvo la iniciativa de empezar a correlacionar los datos geofísicos y geológicos del Perú. Esperamos que este tipo de correlaciones con otras áreas relacionadas a las ciencias de la tierra se sigan dando y estamos seguros que la combinación e integración de la información ayudará a entender los procesos que dieron lugar a la formación de dominios geotectónicos, corticales, metalogénicos, geoquímicos, sísmicos y otros.

Chew, D.M., Magna, T., Kirkland, C.L., Miskovic, A., Cardona, A., Spikings, R. & Schaltegger, U. (2008). Detrital zircon fingerprint of the proto-Andes: evidence for a Neoproterozoic active margin? *Precambrian Res.* 167, 186-200.

Clark, A.H., Farrar, E., Kontak, D.J., Langridge, R.J., Arenas, M.J., France, L.J., McBride, S.L., Woodman, P.L., Wasteneys, H.A., Sandeman, H.A. & Archibald, D.A. (1990). Geologic and geochronologic constraints on the metallogenic evolution of the Andes of Southeastern Peru. *Econ. Geol.*, 85, 1520-1583.

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 Peru: *Bulletin of Earthquake Research Institute University of Tokio*, 74, 161-266.

Hermoza, W., Brusset, S., Baby, P., Gil, W., Roddaz, M., Guerrero, N., & Bolaños, R. (2005). The Huallaga foreland basin evolution: Thrust propagation in a deltaic environment, northern Peruvian Andes: *Journal of South American earth Sciences* 19. pp. 21-34.

Gil, W. (2002). Evolución lateral de la deformación de un frente orogénico: ejemplo de las cuencas subandinas

- entre 0° y 16°S. Sociedad Geológica del Perú, Lima, Publicación Especial 4, 146 p.
- Kono, M., Fukao, Y. & Yamamoto, A. (1989). Mountain building in the Central Andes. *J. Geophys. Res.*, 94, 3891-3905.
- Loewy, S.L., Connelly, J.N. & Dalziel, I.W.D. (2004). An orphaned basement block: the Arequipa-Antofalla basement of the central Andean margin of South America. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 116, 171-187.
- Mamani, M., Wörner, G., & Sempere, T. (2010). Geochemical variations in igneous rocks of the Central Andean Orocline (13° to 18°S): Tracing crustal thickening and magma generation through time and space. *Geol. Soc. Am. Bull.*: doi:10.1130/B26538.1.
- Miskovic, A., Schaltegger, U., Spikings, R.A., Chew, D.M., Kosler, J. & Ulianov, A. (2009). Tectonomagmatic evolution of Western Amazonia: geochemical characterization and zircon U-Pb geochronologic constraints from the Peruvian Eastern Cordilleran granitoids. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 121, 1298-1324.
- Mourier, T., Laj, C., Mégard, F., Roperch, P., Mitouard, P. & Farfán, A. (1988). An accreted continental terrane in northwestern Perú. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 88, 182-192.
- Navarro, P., Rivera, M. & Monge, R. (2010). Estratigrafía, Petrográfica, Evolución y metalogía del volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en la Cordillera Occidental del norte del Perú: segmento Santiago de Chuco. INGEMMET. Bol. Ser. D: Est. Esp. (en prensa).
- Noble, D.C., McKee, E.H., Farrar, E. & Petersen, U. (1974). Episodic Cenozoic volcanism and tectonism in the Andes of Peru. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 21, 213-221
- Polliand, M., Schaltegger, U., Frank, M. & Fontboté, L. (2005). Formation of intra-arc volcanosedimentary basins in the western flank of the central Peruvian Andes during Late Cretaceous oblique subduction; field evidence and constraints from U-Pb ages and Hf isotopes. *Int. J. Earth Sci.*, 94, 231-242
- Sánchez, J., Palacios, O., Feininger, T., Carlotto, V. & Quispesivana, L. (2006). Puesta en evidencia de granitoides triásicos en Los Amotapes-Tahuín: Deflexión de Huancabamba. XIII Congreso Peruano de Geología, Resúmenes Extendidos, 312-315. Edit. Soc. Geol. Perú
- Winter, L.S. (2008). The genesis of 'giant' copper-zinc-gold-silver volcanogenic massive sulphide deposits at Tambogrande, Perú: age, tectonic setting, paleomorphology, lithochemistry and radiogenic isotopes. Ph.D. thesis, University of British Columbia, Vancouver, 274 p.