



MODELO GRAVIMÉTRICO 2D Y SU COMPARACIÓN CON ESPESORES CORTICALES SÍSMICOS EN UNA SECCIÓN A LOS 30 ° DE LATITUD SUR

Mario E. Gimenez, CONICET, Instituto Geofísico Sismológico. UNSJ. mgimenez@unsj-cuim.edu.ar

Myriam P. Martinez, CONICET, Instituto Geofísico Sismológico. UNSJ. mpm@unsj-cuim.edu.ar

Ruiz, Francisco, Instituto Geofísico Sismológico. UNSJ. fruiz@uns-cuim.edu.ar

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

We made a gravimetric model, on a section which crossed through the Andean Cordillera, Pampean Ranges and Precordillera in an west to east direction, at -30° latitude south and 71° at 65° longitude west. The response of gravimetric model of the crust, fixed to the curve of the Bouguer anomaly upward continuation at 40km in height, which would correspond to the moho undulations. This result was compared with the crustal thickness obtained by means of: (1) the Moho depths given by the apparent phase velocities Pn (Fromm et al., 2004) and (2) receiver function of wave S (Heit et al., 2008). In This study evaluated the gravimetric effect of the three cortical models compared with the regional Bouguer anomaly. The conclusions reveal that the major discrepancy between the models is produced in the Cuyania terrane, principally in the Precordillera zone.

This includes the "PACH" and "HEDI" seismological stations and on minor measurement to the "RINC" station, located in the Famatina terrane. In accordance with the existing geological information, the Precordillera is a thin-skin structure, with a décollement horizon at 18km of depth.

From the isostatic viewpoint, based on the Airy concept, the region is an unbalanced, manifesting a scarcity of root. This evidence would be the contrast-position to the seismological models which indicate that below the

Precordillera, the Moho exceeds depths of 70 km, that being the deepest of the Andean Cordillera.

Introducción

Mediante un estudio gravimétrico apoyado en información geológica y sismológica, en una región de los Andes Centrales (Figura 1), se presenta un análisis sobre la discrepancia existente entre las profundidades del Moho sísmico y gravimétrico principalmente bajo el terreno Cuyania.

Fromm *et al.* (2004) calcularon el espesor de la corteza sobre una sección a través de los Andes y Sierras Pampeanas Orientales. El modelo sísmico 2D, fue obtenido desde las velocidades de fase aparente de las ondas Pn registradas en 8 estaciones de banda ancha durante 16 meses de registros sísmicos, como parte del proyecto CHARGE (CHilean ARgentina Geophysical Experiment). Las máximas profundidades de Moho sísmico obtenidas fueron: de 62 km bajo las mayores altitudes andinas, 60 km en la Precordillera, 55 km en las Sierras Pampeanas Occidentales y 36 km en las Sierras Pampeanas Orientales.

A una escala local, para esta misma latitud y usando datos de gravedad, Gimenez *et al.* (2000) prepararon un modelo de corteza interpretando espesores de corteza de 55 km bajo la Precordillera y de 45 km para la Sierra de Valle Fértil.

Alvarado *et al.* (2004, 2005b), usaron la inversión del tensor de momento sísmico y modelaron las componentes de los desplazamientos sísmicos, extrayendo datos regionales del proyecto CHARGE, obtuvieron soluciones de mecanismos focales y

profundidades de foco, para 27 sismos corticales entre 30° y 33° de latitud sur. Como resultado encuentran una elevada sismicidad en el terreno de Cuyania y muy limitada en el terreno Pampia, con velocidades sísmicas medias $V_p = 6,2$ a $6,4$ km/s ($V_p/V_s = 1,8$ a $1,85$), y espesores de 45 a 52km para las Sierras Pampeanas Occidentales, mientras que para las Sierras Pampeanas Orientales las velocidades de onda son menores ($V_p = 6,0$ a $6,2$ km/s), la velocidad de ondas S sería mayor ($V_p/V_s = 1,65$ a $1,7$) y el espesor cortical sería 27 a 37 km.

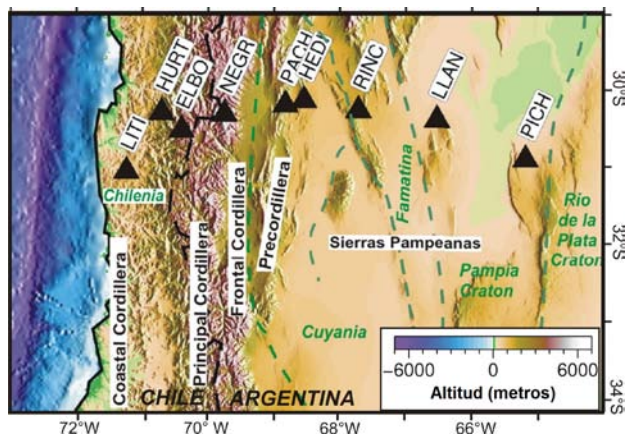


Figura 1: Se presenta una región de los Andes centrales, donde se trazó la sección gravimétrica y con▲() se indica la ubicación de las estaciones sismológicas.

Bajo la misma región, Gilbert et al. (2006), mediante la técnica de función receptor (receiver function) de la onda P, aplicada a los datos obtenidos por el proyecto CHARGE, encuentran relaciones anómalas de velocidades $V_p/V_s = 1.8$, en corteza inferior de la región del terreno Cuyania y parte de Pampia. Debido a que la amplitud de la conversión de onda P a S disminuye en el sector de Cuyania, interpretan que esta disminución del contraste de impedancia entre corteza inferior y Moho se debe a la existencia de una corteza inferior eclogitizada. Con la misma información del proyecto CHARGE, en un reciente trabajo Heit et al. (2008), considerando ahora la función receptor (receiver function) de la onda S, obtiene mejores respuestas en los cambios de impedancias respecto del encontrado por Gilbert et al. (2006).

En este trabajo, se analizan e interpretan los resultados obtenidos por las diferentes técnicas antes mencionadas

y se compara con las respuesta del modelado gravimétrico.

Metodología

La información gravimétrica se obtuvo de la base de datos del Instituto Geofísico Sismológico Volponi, Universidad Nacional de San Juan, la que fue procesada en el sistema IGSN1971. La anomalía de Bouguer se obtuvo siguiendo lo manifestado por (Hinze et al., 2005). El gradiente normal utilizado fue de 0.3086 mGal/m para la corrección de aire libre, y la densidad de 2.67 g/cm³ para la corrección de Bouguer (Hinze, 2003). La corrección topográfica se realizó hasta la zona B de Hayford de 167 km, basados en las técnicas que combinan los algoritmos de Kane (1962) y Nagy (1966). Se trazó una sección gravimétrica coincidente con las estaciones sismológicas (Figura 1). La sección gravimétrica obtenida se puede observar en Figura 2. Esta sección fue filtrada, a efectos de obtener sólo las largas longitudes de ondas (tendencias regionales), que responderían a la geometría del Moho. Para ello, basados en la experiencia de trabajos anteriores en el área de estudio (Introcaso y Huerta, 1972; Introcaso, Pacino and Fraga, 1992; Martinez, 1999; Gimenez et al., 2000), se realizó una prolongación ascendente a 40 km de altura, obteniéndose la anomalía regional de Bouguer (Figura 2).

A partir de la anomalía regional de Bouguer, y considerando un espesor normal de corteza de $T_n = 35$ km, densidades de $2,7$ g/cm³ para la corteza superior, de $2,9$ g/cm³ para la corteza inferior y de $3,3$ g/cm³ para el manto superior, se realizó un modelo gravimétrico que ajustó a la curva de anomalía regional (Figura 2).

Este modelo de corteza gravimétrico, fue comparado con los resultados de del proyecto CHARGE. En primer término, con los valores de Moho obtenido por Fromm et al. (2004) quienes calcularon el espesor de corteza aplicando la técnica de velocidad de fase aparente de las ondas Pn registradas en las 8 estaciones (Figura 1) de banda ancha durante 18 meses. Los resultados se pueden observar en Tabla 1.

Gilbert et al. (2006), a través de un estudio de función receptor (receiver function) de la onda P, encuentra que las impedancias acústicas entre corteza inferior y manto superior son muy similares en la región de los terrenos Cuyania y Famatina, por lo que interpretan que la corteza inferior se encuentra eclogitizada.

Finalmente, Heit et al. (2008), con la misma información del proyecto CHARGE, pero procesando la función receptor (receiver function) con la onda S, logra identificar los cambios de impedancia entre corteza inferior y manto superior, obteniendo profundidades de Moho que se presentan en Tabla 1 y se graficaron en Figura 2.

Resultados

Analizando la Figura 2, en su parte inferior a), se graficaron las geometrías del Moho obtenidas por las tres técnicas antes mencionadas, observándose que bajo la raíz andina, los tres modelos serían aceptables, si en el modelo de Heit et al. (2008), se considerará la profundidad de la fase negativa de la onda S (a 50 km) y no la fase positiva (20 km). Bajo la región de los terrenos Cuyania y Famatina, es donde existe la mayor diferencia entre los modelos de Moho en las estaciones PACH y HEDI.

	Fromm et al. 2004	Heit et al. 2008	En este estudio
HURT	47 km	20 km 50 km	49 km
ELBO	54 km	20 km 50 km	54 km
NEGR	62 km	65 km	62 km
PACH	62 km	73 km	55 km
HEDI	62 km	73 km	53 km
RINC	55 km	40 km	45 km
LLAN	39 km	40 km	39 km
PICH	36 km	40 km	35 km

Tabla 1: Profundidades al Moho obtenidas por las técnicas sismológicas y gravimétrica.

Resultando para el modelo de Moho de Fromm et al (2004), bajo Precordillera prácticamente la misma raíz que la propia Cordillera andina. Y en el Modelo de Heit et

al. (2008), se supera el espesor de la raíz andina, alcanzando los 73 km de profundidad.

Hacia la región del este, ya en el terreno Pampia, tienden a igualarse los tres modelos, salvo en la estación RINC, donde aún existen diferencias notables de alrededor de 10 km.

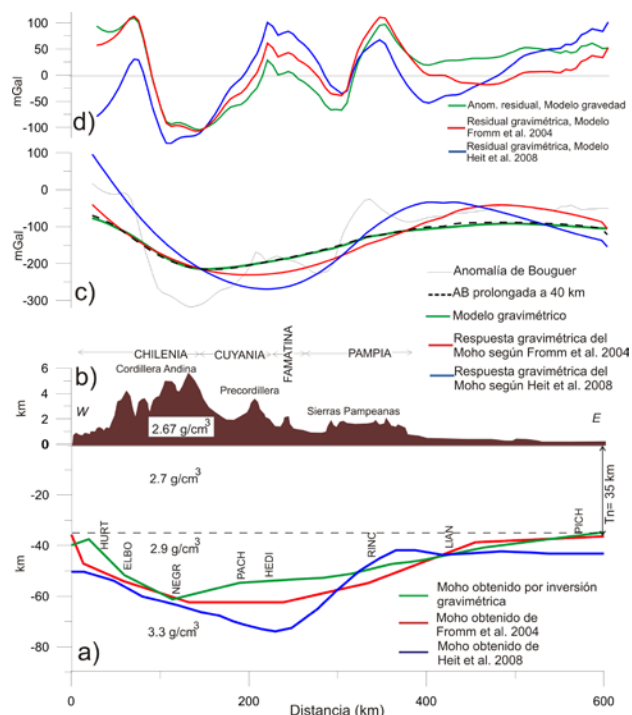


Figura 2: Modelos de Moho sismológico y gravimétrico, sus efectos gravimétricos y comparación con la anomalía de Bouguer.

En la parte c) de la Figura 2, se presentan las respuestas gravimétricas de los tres modelos de corteza dados por las profundidades de Moho de cada técnica empleada, considerando idénticos parámetros de T_n y densidades. Para su comparación se ha graficado la anomalía de Bouguer y la anomalía regional de Bouguer. Se observan las dispersiones entre las respuestas de gravedad, consiguiendo la mayor diferencia respecto de la anomalía regional, la respuesta de gravedad del modelo de Heit et al. (2008).

Finalmente, en la parte d) de Figura 2, se grafican las anomalías residuales, obtenidas de las diferencias de la Anomalía de Bouguer menos las respuestas de gravedad de cada uno de los modelos de Moho. En esta gráfica se aprecia más claramente la dispersión existente entre los tres modelos evaluados.

Discusión

Si tenemos en cuenta algunos antecedentes geológicos y geofísicos existentes en la región de estudio, podríamos decir que: desde el punto de vista de la isostasia, la Cordillera andina se encuentra prácticamente compensada, lo que significa que la columna topográfica es equilibrada por una potente raíz que alcanza los 65 km de profundidad promedio (Volponi, 1972, Introcaso y Huerta, 1972; Introcaso et al., 1992; Introcaso, 1993a). En cuanto a la Precordillera, ésta se encontraría desbalanceada isostáticamente, no encontrándose una raíz local que la equilibre (Gimenez et al., 1997). Sin embargo con las profundidades de Moho encontradas por función receptor (receiver function), la región de Precordillera debería estar isostáticamente sobre compensada. Hacia la región del este, sobre las sierras Pampeanas, se conoce que por su génesis estas sierras carecen de raíces compensadoras por lo cual están totalmente en desequilibrio isostático.

En un estudio de la sismicidad de la zona de Precordillera, Regnier et al. (1994), determinaron profundidades de Moho de 52 a 55 km.

Desde el punto de vista geológico, la Precordillera Central se caracteriza por constituir una faja plegada y corrida con estructuras de vergencia oriental, en cuya deformación no está involucrado el basamento (Thin-Skinned Thrust Belt System). La Precordillera Oriental también es una faja plegada y corrida pero de vergencia occidental y de tipo Thick-Skinned, en la cual el basamento está involucrado en la deformación (Zapata y Allmendinger, 1993, 1996a, 1996b). Estos dos sistemas de corrimientos de vergencia opuesta, delimitan una compleja zona triangular de tipo Thick-Skinned (Zapata y Allmendinger, 1996a, 1996b). Las Sierras Pampeanas Occidentales se caracterizan por la presencia de corrimientos que afectan al basamento cristalino. Estos provocaron el ascenso de bloques que causaron la deformación de la cubierta sedimentaria. Este sistema de corrimientos es de tipo Thick-Skinned, ya que el basamento se encuentra involucrado en la deformación.

Todo esto indicaría que una profundidad de Moho de 73 km o de 62 km como lo indican los modelos sismológicos, parecerían altamente improbables.

Evidentemente, la compleja tectónica de terrenos anexados y paleo subducciones (Ramos et al., 1986; Ramos, 1988), es la que está enmascarando las interpretaciones sismológicas.

Conclusiones

En una sección a los 30°S de latitud que se extiende desde Cordillera andina y hasta las Sierras Pampeanas, se realizó una comparación de modelos de Moho obtenidos por estudios sismológicos y gravimétricos. Los resultados de dicha comparación, indican que en la zona de Cordillera andina, las profundidades de Moho obtenidas son consistentes, no así bajo la región de Precordillera, donde existe la mayor dispersión de los valores encontrados, alcanzando una diferencia máxima de 20km. Estos resultados obtenidos por sismología bajo Precordillera no tendrían una explicación geológica consistente, debido a que el Moho sería más profundo que la raíz andina, siendo la Precordillera una zona de fajas plegadas y corridas.

En la región de Sierras Pampeanas, los modelos vuelven a ser mas coherentes entre si, con algunas pequeñas diferencias como las encontradas en la estación RINC, donde las diferencias en profundidad alcanzan los 10 km. La región de análisis es una región tectónicamente muy compleja donde aparentemente existirían una amalgamación de terrenos con paleosubducciones que probablemente sean las causantes de los cambios en las polaridades de fase de los modelos sismológicos.

En el futuro, es de esperar que con mayor conocimiento geológico y geofísico sobre esta región se pueda lograr compatibilizar los resultados obtenidos por las diferentes técnicas geofísicas empleadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a CICITCA –UNSJ por la ayuda brindada a través de los Proyectos 21E/815, 21E/816 y 21E/810.

Referencias

- Alvarado, P., Beck, S., Zandt, G., Araujo, M. and Triep, E. 2005. Crustal deformation in the south-central Andes backarc terranes as viewed from regional broad-band seismic waveform modeling. *Geophys. J. Int.* doi: 10.1111/j.1365-246X.2005.02759.x
- Fromm, R., Zandt, G. & Beck, S. L., 2004. Crustal thickness beneath the Andes and Sierras Pampeanas at 30°S inferred from Pn apparent phase velocities, *Geophys.Res.Lett.*,31.
- Gilbert, H., Beck, S. and George Zandt. 2006. Lithospheric and upper mantle structure of central Chile and Argentina. *Geophys. J. Int.* **165**, 383–398.
- Gimenez, M., P. Martínez, A. Introcaso, J. Robles, y E. Uliarte. 1997. Análisis Isostático en una sección E-W de la Cordillera andina en la Provincia de san Juan. Segundas Jornadas sobre Geología de Cordillera. Actas, Pp. 220-224.
- Gimenez, M.; Martinez, M. P., Introcaso. 2000. A Crustal Model based mainly on Gravity data in the Area between the Bermejo Basin and the Sierras de Valle Fértil-Argentina. *Journal of South American Earth Sciences.* ISSN 0895-9811. Vol. 13 (3). Pp.275-286.
- Heit, B., Yuan, X., Bianchi, M., Sodoudi, F., Kind, R. (2008): Crustal thickness estimation beneath the southern central Andes at 30°S and 36°S from S wave receiver function analysis. *Geophysical Journal International*, 174, 1, 249-254.
- Introcaso, A. and Huerta, E., 1972. Perfil gravimétrico trascontinental sudamericano (32°S). *Rev. I.P.G.H.*, 21(22): 133-159.
- Introcaso, A.; Pacino, M.C. and Fraga, H., 1992. Gravity, isostasy and Andean crustal shortening between latitudes 30° S y 35° S. *Tectonophysics*, 205, pp. 31-48.
- Introcaso, A., 1993 a. El Levantamiento de Los Andes Centrales involucrando Manto Superior anómalo. 3i Congreso Internacional da sociedade Brasileira de Geofísica. Rio de Janeiro. V 2, pag. 1043-1047.
- Ramos, V., T. Jordan, R. Allmendinger, C. Mpodozis, S. Kay, J. Cortes y M. Palma, 1986. Paleozoic terranes of the central Argentine Chilean Andes. *Tectonics*, 5: 855-880.
- Ramos, V. A. 1988. The tectonics of the Central Andes; 30° to 33°S Latitude. *Geological Society of América, Special Paper* (218).
- Regnier, M., Chatelain, J.L., Smalley, R. (Jr.), Chiu, J.M., Isacks, B. & Araujo, M., 1994. Crustal thickness variation in the Andean foreland, Argentina from converted waves, *Bull. seism. Soc. Am.*, **84**, 1097–1111.
- Zapata, T. y R. Allmendinger, 1993. Central and Eastern Cordillera in the Jáchal area: The interaction of two systems of opposing vergence. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, 3: 149-159. Mendoza.
- Zapata, T. y R. Allmendinger, 1996a. La estructura cortical de la Cordillera Oriental y el valle del Bermejo a los 30° de latitud Sur. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, 2: 211-224. Buenos Aires.
- Zapata, T. y R. Allmendinger, 1996b. Thrust-Front Zone of the Cordillera, Argentina: A Thick-Skinned Triangle Zone. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 80 (3): 359-381.
- Volponi, F. 1972. La anomalía de los tiempos de llegada de las ondas sísmicas en la Cordillera de Los Andes. Simposio del Manto Superior. Bs. As., 1970. II: 267-281.