



## Evaluación del estado isostático del valle de La Rioja, La Rioja - Argentina

Bustos, Gabriela<sup>(1)</sup>; Gimenez, Mario<sup>(2)</sup>; Martínez P. (2); Introcaso, A.<sup>(3)</sup>; Jordan, T. (4).

(1) Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. UNSJ.

(2) CONICET. IGSV-FCFN, UNSJ

(3) CONICET. IFIR-UNR

(4) Departamento de Geociencias. Universidad de Cornell

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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 carry out a study isostatic 3D in the Valley of the east of La Rioja city in Argentina, considering a system of compensation isostática of the type Airy in stretched crustal.

The chart of Bouguer anomalies of gravimetric effects of the sedimentary column and of isostatic corrections, was used to prepare a chart of isostatic anomalies (or of residual isostatic anomaly) including the whole extension of the studied basin.

Our results point out that the isostatic anomalies are negative in the domain of the basin, with an evident deficit of antiroot. These values indicate us that in the future; 1) the crust underlying this basin, will ascend to reach the hydrostatic balance or 2) the strong crust could support the sedimentary deposit, without deformation.

### Introducción

La hipótesis isostática de Airy, consiste esencialmente en suponer que cada trozo de corteza está en equilibrio hidrostático. Cuanto más profunda es la cuenca sedimentaria, mayor es la antirraíz ascendida desde el nivel normal de corteza (Tn). Todo pasa como si cada prisma vertical de distinto tamaño que compone a la corteza terrestre, flotara en un material viscoso que le permitiera realizar lentos movimientos verticales en busca del equilibrio hidrostático.

Ha sido demostrado que si nos mantenemos dentro del sistema elegido, cualquier modelo asumido como compensado puede ser utilizado para estudiar el equilibrio isostático (Woollard, 1969). Así, modelos de una o de dos capas, con distintos espesores normales Tn (no demasiado diferentes unos de los otros), y con densidades diferentes pueden ser adecuadamente utilizados. En este trabajo seguimos la metodología propuesta por Introcaso (1993), respecto del análisis isostático en cuencas sedimentarias.

carácter regional. Para lograr esto, se substrajo este efecto gravimétrico regional a la carta de anomalías de Bouguer, obteniéndose la carta de

En la figura 1, se observa la ubicación de la cuenca del Valle de la Rioja.

### Mediciones Gravimétricas

Se relevaron nuevos datos de gravedad, los que fueron sumados a la carta gravimétrica de la provincia de La Rioja (Martínez et al, 2003) y a la base de datos perteneciente al Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. S. Volponi, de la Universidad Nacional de San Juan y al Instituto de Física de Rosario, de la Universidad Nacional de Rosario - CONICET.

El cálculo de anomalías respondió a las clásicas expresiones:

$$AAL = Gobs. - (\delta_0 - CAL) \quad (1)$$

$$AB = Gobs. - (\delta_0 - CAL + CB + CT) \quad (2)$$

Donde AAL y AB son las anomalías de Aire Libre y de Bouguer completa; Gobs: gravedad observada referida al valor de la estación fundamental de Miguelete (Buenos Aires);  $\delta_0$ : Gravedad Normal para cada estación; CAL, CB y CT: Correcciones de Aire Libre, Bouguer y Topográfica.

Para calcular la CAL se adoptó la expresión de Swick (1942):

$$CAL = (0.308555 + 0.00022 \times \cos 2 \varphi) \times H - 0.072 \times (H/1000)^2 \quad (3)$$

donde

H: representa la altitud (en metros) y  $\varphi$ : es la latitud de la estación gravimétrica.

El valor de CB fue calculado asumiendo una densidad para la topografía de 2.67 g/cm<sup>3</sup>, ecuación (4).

$$CB = 0,1118 \times H \quad (4)$$

siendo

H: altura sobre el nivel medio del mar expresado en metros.

Las anomalías fueron referidas al la estación fundamental de Miguelete usando el sistema IGNS 1967.  $\delta_0$ , fue referida a la expresión del elipsoide del 67, ecuación (5):

$$\delta_0 ('67) = 978031.85(1 + 0,0053024 \sin^2 \varphi - 0,0000058 \sin^2 2\varphi) \quad (5)$$

### Filtrado gravimétrico

La carta de anomalías de Bouguer, fue filtrada mediante la técnica de prolongación ascendente del campo potencial (en nuestro caso a 30 km), con objeto de descontaminar los efectos de anomalías residual de Bouguer (ARB), que se observa en la Figura 3.

### Análisis Isostático:

Siguiendo a Introcaso (1993), la carta de ARB debe ser corregida por el efecto gravimétrico de los sedimentos (ES). Así:  $ARBC = ARB - ES$  (6)

Con ARBC: Anomalía Residual de Bouguer corregida.

Se dispuso de una carta inédita (perteneciente a YPF) de isóbatas de basamento cristalino, determinada mediante sísmica de reflexión. Asimilamos las isóbatas a láminas poligonales cerradas. Mediante un número impar de ellas, para posibilitar la integración numérica (Talwani and Ewing, 1960; Guspí et al., 1987), se evaluó el efecto gravimétrico del paquete sedimentario (ES), ver figura 4. La carta de anomalías de Bouguer corregidas por efecto sedimentario (ARBC) se observa en la figura 5, que (en teoría) responde únicamente a efectos profundos.

Como punto de partida admitiremos un modelo cortical de dos capas, sometido a estiramiento uniforme. Este modelo considera que el estiramiento uniforme no altera (no deforma) la discontinuidad intermedia. A partir de plantear las ecuaciones de equilibrio hidrostático, llegamos a:

$$\Delta r = \frac{\sigma_{cs} - \sigma_s}{\sigma_m - \sigma_{ci}} \times h_s \quad (7)$$

siendo:  $\Delta r$ : espesor de la antirraíz;  $\sigma_{cs}$ : densidad de la corteza superior;  $\sigma_s$ : densidad de los sedimentos;  $\sigma_m$ : densidad del manto superior y  $\sigma_{ci}$ : densidad de la corteza inferior

#### Determinación de Densidades

A través del análisis de perfiles sísmicos de refracción realizados por Yacimientos Petrolíferos Fiscales (ahora Repsol YPF SA), se determinó la velocidad promedio para las ondas de compresión. Luego y mediante la relación propuesta de Nafe y Drake (1958) se obtiene la densidad de los sedimentos, resultando  $\sigma_s = 2.3 \text{ g/cm}^3$ .

Asumimos un valor de  $2.70 \text{ g/cm}^3$  para la corteza superior (basamento de la cuenca), extrapolando valores obtenidos a partir de estudios sismológicos por Regnier et al. (1994), para la Sierra de Pie de Palo y la Precordillera sanjuanina. Resultando el contraste de densidad ( $\Delta\sigma$ ) entre los sedimentos y el basamento de:  $\Delta\sigma = -0.4 \text{ g/cm}^3$ .

La densidad de la corteza inferior ( $\sigma_{ci}$ ) se asume de  $2.9 \text{ g/cm}^3$ , y la del manto superior ( $\sigma_m$ ) de  $3.3 \text{ g/cm}^3$ , basándonos en valores medios mundiales consignados por Woollard (1969); Pacino e Introcaso (1988), entre otros.

#### Modelo hidrostático:

Reemplazando en (7), el modelo de predicción de antirraíces resulta:  $\Delta r = h_s$  (8)

En (8), la antirraíz ( $\Delta r$ ) coincide simplemente con el espesor sedimentario ( $h_s$ ) con tal que las densidades diferenciales: corteza – sedimentos, y manto superior – corteza, sean iguales. Fuera del modelo, en la naturaleza son muy cercanas.

Asumiendo 33 km para el espesor de corteza normal (Woollard, 1969; Introcaso et al., 1992; entre otros) se confeccionó la carta de las antirraíces Hidrostáticas (figura 6), a partir de las profundidades de los sedimentos de la cuenca del Valle de la Rioja. El efecto gravimétrico directo (EGRA) que produce la antirraíz

(Figura 7), cambiado de signo se corresponde con la corrección Isostática (CI).

Finalmente la anomalía Isostática, llamada a veces Anomalía Residual Isostática (AI), se determina a partir de la siguiente expresión (11), y su representación gráfica se puede ver en la figura 8.  $AI = ARBC - CI$  (11)

Analizando la figura 8, observamos que toda la cuenca del Valle de la Rioja se encuentra descompensada:  $AI \neq 0$ . Los máximos valores ( $-40 \text{ mGal}$ ), los encontramos en el centro del valle. El signo de esta anomalía (-) nos indica que la antirraíz del Modelo Hidrostático es insuficiente para equilibrar la columna sedimentaria. Se sabe que la profundidad del Moho bajo la cuenca se ubicaría a 50 km de profundidad (Martínez y Gimenez, 2003), por consiguiente, el valle de la Rioja actualmente es soportado por la corteza engrosada, producto del apilamiento tectónico de la región.

#### Conclusiones

A partir de la carta de de isóbatas de basamento del Valle de la Rioja, se confeccionó un modelo de antirraíz hidrostática. Se comparó la carta de anomalías residuales de Bouguer corregida por efecto de los sedimentos, con la que produce la antirraíz hidrostáticamente compensada, para determinar la Anomalía Residual Isostática. Obtuvimos descompensación Isostática en todo el dominio de la cuenca del Valle de La Rioja. El signo negativo de la Anomalía Residual Isostática nos señala una dirección ascendente para el potencial futuro movimiento de los bloques del basamento que componen la cubeta sedimentaria del Valle de La Rioja. Si la potencia cortical es adecuada, la cuenca podría permanecer inactiva.

Se encuentran en preparación modelos de inversión gravimétrica, a partir de los cuales se podrían cuantificar los futuros movimientos potenciales.

#### Referencias

- Gimenez, M.E., Introcaso, A, Martínez, M.P.** 2000. *Estudio Genético y Evolutivo de la Cuenca Del Bermejo. San Juan - Argentina.* UNR Editora. Temas de Geociencia. N°6, 80 pp.
- Gimenez, M.; Martínez, M. P.; Introcaso, A.** 2001. Análisis Hidrostático de la Cuenca del Bermejo (Provincia de San Juan- Argentina). RAGA. Vol 56 N° 4, 2001, 419-424.
- Guspi, F.; A. Introcaso y E. Huerta.** 1987. Calculation of gravity effects of tridimensional structures by analytical integration of a polyedric approximation and application to the inverse problem. Geofis. Int., 26, 3: 407-428.
- Introcaso, A.; M. C. Pacino and H. Fraga.** 1992. Gravity, isostasy and Andean crustal shortening between latitudes 30° S and 35°S. Tectonophysics, 205: 31-48.
- Introcaso, A.** 1993. Predicción del Movimiento vertical de una cuenca sedimentaria utilizando el Método gravimétrico. XII Cong. Geol. Argentino y II Cong. de Exploración de Hidrocarburos. Geología y Recursos Naturales de Mendoza. Actas T I :1-4.
- Martínez, M. Patricia y Gimenez, Mario E.** 2003. Fuerte anomalía gravimétrica residual positiva en el Sistema de Famatina y su relación con Paleosuturas. Explicaciones Alternativas. RAGA. N° 58.

# Evaluación del Estado Isostático del Valle de La Rioja. Argentina

**Nafe and Drake**, 1958. In Grant-West 1965. "Interpretation Theory of Applied Geophysics". Fig.7-7. 200 pp. Mc Graw Hill Book Company.

**Pacino, M. C. y A. Introcaso**. 1988. Modelo gravimétrico sobre el sistema de subducción Placa de Nazca Sudamericana en la latitud 33°Sur. V Congreso Geol. Chileno.T2: 77-89.

**Regnier, M.; J. M. Chiu; R. Smalley; B. L. Isacks and M. Araujo**. 1994. Crustal Thickness Variation in the Andean Foreland, Argentina, from Converted Waves. Bulletin of the Seismological Society of America, V.84, 4:1097-1111.

**Swick, C.H.**, 1942. Pendulum Gravity Measurements and Isostatics Reductions. U.S. Coast and Geodetic Survey. Special Publications N°232.

**Talwani, M. and M. Ewing**.1960. Rapid computation of gravitational attraction of three-dimensional bodies of arbitrary shape. Geophysics XXV, 1: 203-225.

**Woollard, G. P.** 1969. Regional variations in gravity. The earth's crust and upper mantle. Ed. Pembroke J. Hart.: 320-341.

## Agradecimientos:

*Este trabajo a sido posible gracias a los aportes provenientes de los proyectos: PEI ° 6189 CONICET. RESOL. N° 1201/03, PIP N° 02804. CONICET y, PICT REDES 2003 N° 283.FONCYT.*

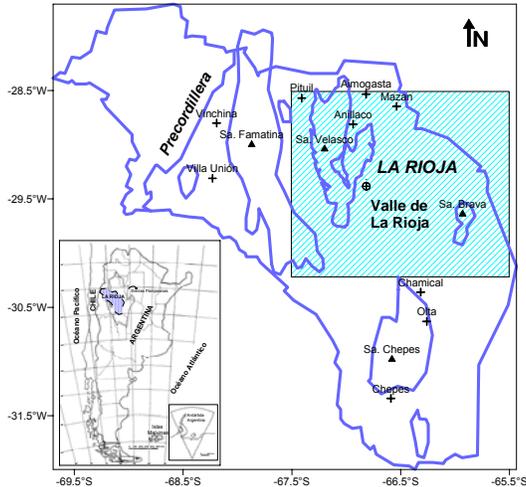


Figura 1: Ubicación geográfica de la zona de estudio. En el centro, el Valle de La Rioja

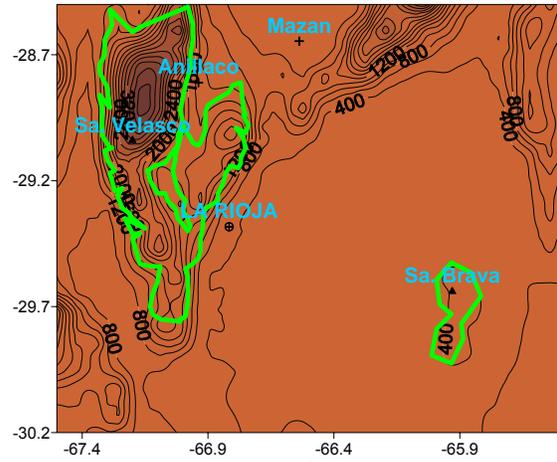


Figura 2: Carta topográfica del área de estudio. Extraída de la base de datos EOTOPO5, del servicio geológico de USA. Isolinéas cada 200 m.

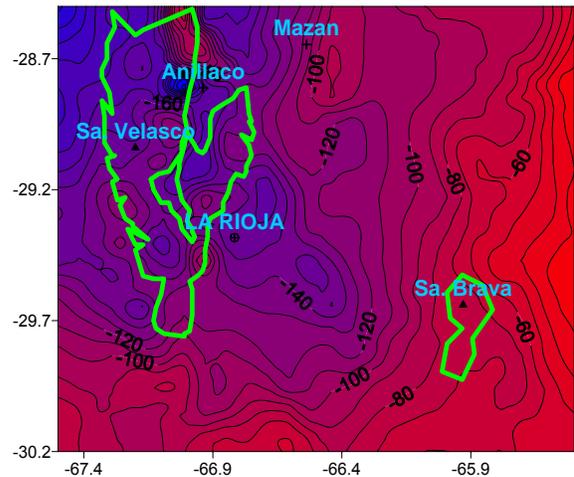


Figura 3: Carta de Anomalías de Bouguer (AB). Isoanómimas cada 10 mGal.

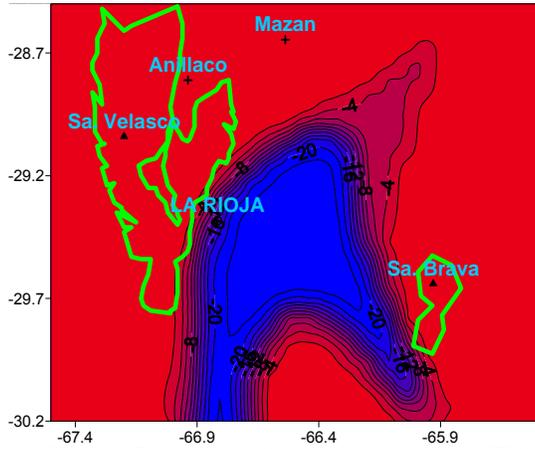


Figura 4: Efecto gravimétrico de los sedimentos (ES). Densidad de los sedimentos:  $2.3 \text{ g/cm}^3$ . Isoanómalas cada 2 mGal.

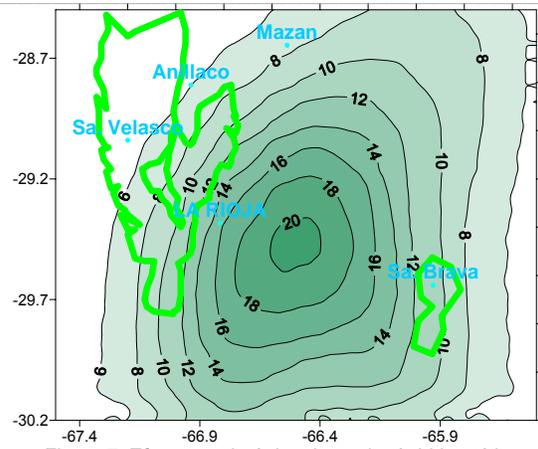


Figura 7: Efecto gravimétrico de antirraíz hidrostática. El contraste de densidad manto superior - corteza inferior es de  $+0.4 \text{ g/cm}^3$ . Isoanómalas cada 2 mGal.

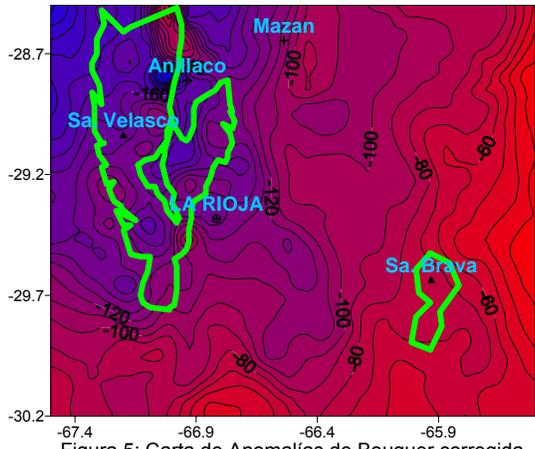


Figura 5: Carta de Anomalías de Bouguer corregida por el efecto gravimétrico de los sedimentos (ABC). Isoanómalas cada 10 mGal.

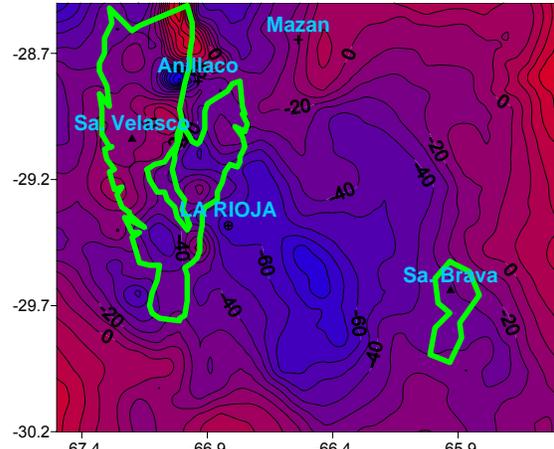


Figura 8: Carta de Anomalías Isostática (o Residual Isostática, AI). Isoanómalas cada 10 mGal.

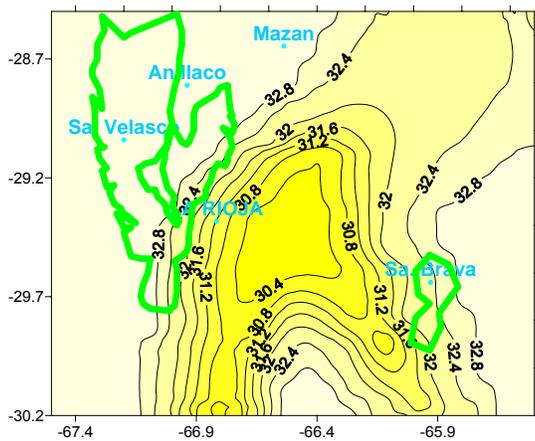


Figura 6: Carta de la antirraíz hidrostática correspondiente a la cuenca del valle de La Rioja. El espesor normal de corteza  $T_n = 33 \text{ km}$ . Las isolinneas cada 0.4 km