

COMPORTAMIENTO FLEXURAL DE LA CORTEZA QUE CONTIENE A LA CUENCA DE ISCHIGUALASTO-VILLA UNIÓN (PROVINCIAS DE SAN JUAN Y LA RIOJA-ARGENTINA).

Francisco Ruiz¹ y Antonio Introcaso²

¹CONICET e Instituto Sismológico Ing. F. Volponi. Facultad de Cs. Ex, Fís. y Nat. Univ. Nac. de San Juan. Meglioli 1160 (sur)-Rivadavia, (5400) San Juan. Argentina.

²Facultad de Cs. Exac., Ing. y Agrim. Universidad Nacional de Rosario. Instituto de Física de Rosario (CONICET). Av. Pellegrini 250, (2000) Rosario, Argentina.

RESUMEN

Con el doble objetivo de evaluar el comportamiento isostático de la profunda cuenca intermontana Ischigualasto-Villa Unión y la búsqueda de mecanismos que permitan explicar su desarrollo, se consideran: i- relaciones estadísticas entre anomalías medias de Bouguer (AB) y elevaciones medias (H), ii- modelos de compensación local (Sistema de Airy) y iii- compensación regional (Sistema Flexural). A partir de (i) fue posible evaluar que la región de la cuenca exhibe, en términos generales, un estado de leve subcompensación isostática, que luego empleando el sistema de Airy se hace más nítida. En (ii) se prepararon cartas de anomalías de Aire Libre, de anomalías de Bouguer, topográfica, de Moho hidrostático, de correcciones isostáticas y de anomalías isostáticas. El análisis se llevó a cabo desde dos enfoques, primero se siguió la metodología clásica, es decir se computó la compensación de las masas topográficas, en el segundo caso se asumió atenuación cortical en la cuenca, evaluando en forma sustractiva, la compensación del paquete sedimentario, y aditiva, la de las masas topográficas expuestas. En ambos modelos y a pesar que los mecanismos empleados son distintos, se concluye que en el sistema de Airy la región se encuentra subcompensada. Finalmente, en (iii), se consideró un modelo más refinado con una corteza atenuada en la cuenca, evaluando la compensación del paquete sedimentario, de las masas topográficas regionales y de densas masas intracorticales. El sistema flexural satisface la anomalía de Bouguer observada cuando consideramos $D = 0$ en Cordillera y Precordillera y una $D = 9.10^{23}$ N.m para la corteza ubicada al este de la falla de Valle Fértil.

ABSTRACT

Both to evaluate the isostatic behavior of the Ischigualasto - Villa Unión intermontane deep basin and to search the mechanisms to explain its development: i- statistical relationships between mean Bouguer anomalies (AB) and mean elevations (H), ii- local compensation models (Airy's System) and iii- regional compensation models (Flexural System) were considered. From (i) it was possible to evaluate that the region from the basin (in general terms) shows an isostatic slight undercompensation state that becomes clearer using the Airy's system. In (ii), charts of Free Air anomalies, Bouguer anomalies, topography, Moho contours, isostatic corrections and isostatic anomalies were prepared. The analysis was carried out using two approaches: first, the classic methodology was followed, i.e. the compensation

of the topographic mass was computed; second, an attenuated crust in the basin was assumed evaluating the sedimentary thickness compensation subtractively and the exposed topographic mass additively. In both models and although the mechanisms used are different, we conclude that the region is undercompensated in the Airy system. Finally, in (iii), a more refined model with a attenuated crust in the basin was assumed evaluating the sedimentary thickness compensation, the regional topographic mass and dense intracortical mass. Flexural system satisfy the observed Bouguer anomaly when we consider $D=0$ in Cordillera and Precordillera and an $D=9 \cdot 10^{23}$ N.m for the crust located at the east of the Valle Fértil fault.

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca intermontana Ischigualasto-Villa Unión (I-VU) está ubicada en el ámbito geográfico de las Sierras Pampeanas Occidentales caracterizadas por su tectónica de bloques de basamento de piel gruesa (thick-skinned) en contraposición con los sobrecorrimientos (thin-skinned) de la Precordillera Andina (Jordan y Allmendinger, 1986). Emplazada en la región límite de ambos terrenos, comprende una extensa área con más de 100 km. en sentido meridiano y unos 50 km. de ancho (Fig. 1), ocupada por sedimentos neopaleozoicos, triásicos y terciarios que, en conjunto, alcanzan espesores del orden de 9 km. (Ruiz e Introcaso, 1997a).

La fosa sedimentaria presenta una anomalía de Bouguer residual superior a +30 mGal (Ruiz e Introcaso, 1997b) que correspondería, al menos en parte, a efectos positivos en corteza intermedia atribuibles al emplazamiento de rocas ultramáficas, posibles relictos de corteza oceánica amalgamada (Vujovich, 1995). Por otro lado, existen afloramientos de magmatismo básico asociado a etapas de tectónica distensiva para el Triásico y Neógeno (Stipanovic y Bonaparte, 1979; Malizia *et al.*, 1995) que podrían sugerir la presencia de cuerpos densos intruidos. Además, el modelo de Moho calculado a partir de datos gravimétricos exhibe leve atenuación cortical en la comarca (Ruiz, 1998).

Ruiz e Introcaso (1997c), sobre una sección transversal a la región de la fosa sedimentaria ($29^{\circ} 30'$ de latitud sur), presentaron los resultados preliminares de un estudio isostático en el sistema de Airy, encontraron una anomalía isostática positiva (40 mGal), con longitud de onda mayor que el ancho de la fosa, índice del estado de subcompensación de las Sierras Pampeanas que contienen a la cuenca. En este trabajo se analiza la isostasia: i- basados en relaciones estadísticas de Anomalías de Bouguer ver-sus Altitud; ii) en el sistema hidrostático local (Airy) y iii) en el sistema de compensación regional (flexural).

2. BASE DE DATOS

Se efectuó un relevamiento gravimétrico areal, midiéndose unas 300 estaciones sobre el área de la cuenca. Estas observaciones se sumaron a una base de datos con más de 2000 valores distribuidos regionalmente. De esta manera se conformó una grilla irregular que

cubre toda la comarca y permite disponer, en promedio, de una estación cada 20 km².

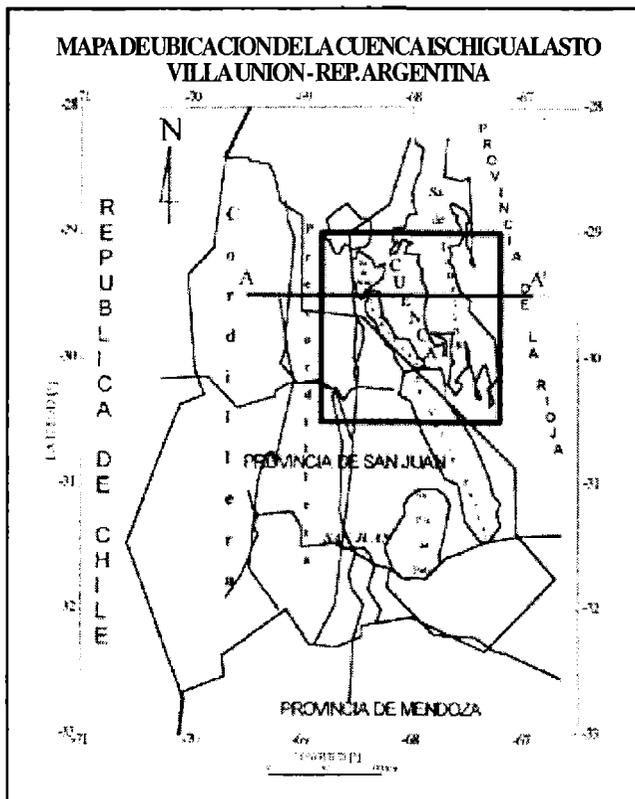


Figura I: Mapa de ubicación de la cuenca Ischigualasto - Villa Unión, provincias de San Juan y La Rioja. Cuenca I-VU. A--A sección gravimétrica de figura 5.

Los valores de gravedad se vincularon con la estación fundamental de Miguelete, Buenos Aires, en el Sistema IGSN 1971 (979690.03 mGal). El cálculo de anomalías se efectuó por las expresiones clásicas:

$$AAL = G_{obs} - (\gamma_0 - CAL)$$

$$AB = G_{obs} - (\gamma_0 - CAL + CB)$$

$$AI = AB + CI$$

donde: **AAL**, Anomalía de Aire Libre; **AB**, Anomalía de Bouguer; **AI**, Anomalía Isostática; **G_{obs}**, Gravedad Observada (Sistema IGSN 1971); **γ₀**, Gravedad Teórica Normal para el elipsoide de 1967 o prácticamente de 1971; **CAL**, Corrección de Aire Libre; **CB**, Corrección de Bouguer; **CI**, Corrección Isostática. Siendo:

$$\gamma_0 \text{ [mGal]} = 978031.85(1 + 0.0053024 \text{ Sen}^2\theta - 0.0000058 \text{ Sen}^22\theta)$$

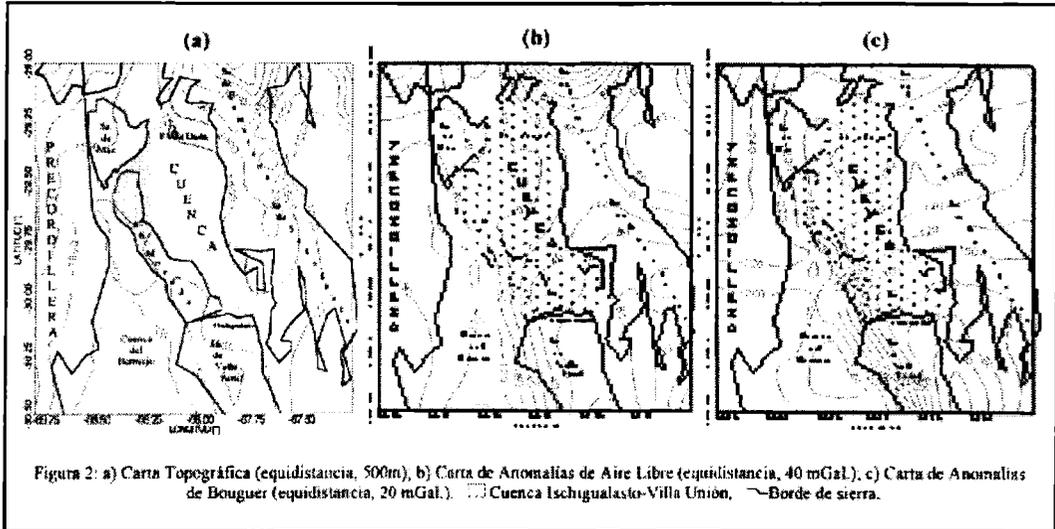
Para la corrección de Aire Libre se adoptó la expresión propuesta por Swick (1942):

$$CAL = (0.30855 + 0.00022 \cos 2 \phi) h - 0.072 (h/1000)^2$$

En la corrección de Bouguer se asumió, como es usual, la densidad de 2.67g/cm^3 ,

$$CB = 0.1118 h + Cc$$

Donde en **CAL** y **CB**, **h** es la altura sobre el nivel del mar de la estación, en **CAL** y γ_0 , ϕ es su latitud. **Cc** es una corrección complementaria que elimina del G_{obs} los efectos de las masas topográficas sobre el nivel del Geoide.



Las anomalías isostáticas dependen del modelo de compensación elegido. En cada hipótesis se calculó el Moho hidrostático (M_H) a partir de expresiones que surgen de verificar igualdad de presiones bajo el máximo espesor cortical, su efecto gravimétrico directo cambiado de signo, constituye la corrección isostática **CI** (ver apartados 4 y 5). Los valores altimétricos se extrajeron de una base de datos mundiales, mejorada por digitalización de cartas 1:100000 (IGM), 1:200000 (SEGEMAR) y mediciones topográficas convencionales (Ruiz, 1998). La figura 2 muestra las cartas: a- topográfica, b- de anomalías de Aire Libre y c- de anomalías de Bouguer, obtenidas a partir de regularizar los datos empleando el método de interpolación de mínima curvatura.

3. RECTAS DE REGRESIÓN “AB” VERSUS “H”

Con el objetivo de evaluar el comportamiento isostático regional de la zona, se prepararon relaciones estadísticas entre anomalías de Bouguer (**AB**) corregidas y altitudes medias (**H**) que fueron comparadas con las determinadas por Woollard (1969) para Estados Unidos de Norteamérica, comarca que se considera en equilibrio isostático.

Los valores de gravedad están fuertemente contaminados por anomalías de densidad provocadas por las cuencas emplazadas en el área (Ischigualasto-Villa Unión, Bermejo, Vinchina, Chilecito y Paganzo), debido a esto se trabajó con las anomalías de Bouguer corregidas por sus efectos sedimentarios (Ruiz e Introcaso, 1996).

La relación de recurrencia (a) se obtuvo a partir de los datos **AB** y **H** promediados en cuadrículas de tamaño $1^\circ \times 1^\circ$, en el área comprendida por $69^\circ 30' - 65^\circ 30'$ de longitud oeste y $31^\circ 15' - 28^\circ 15'$ de latitud sur. Ésta se comparó con la expresión homóloga (b) calculada por Woollard (1969) para los EEUU, válida para $200\text{m} < H < 1700\text{m}$.

a) **AB [mGal] = - 9.954 - 94.559 H**

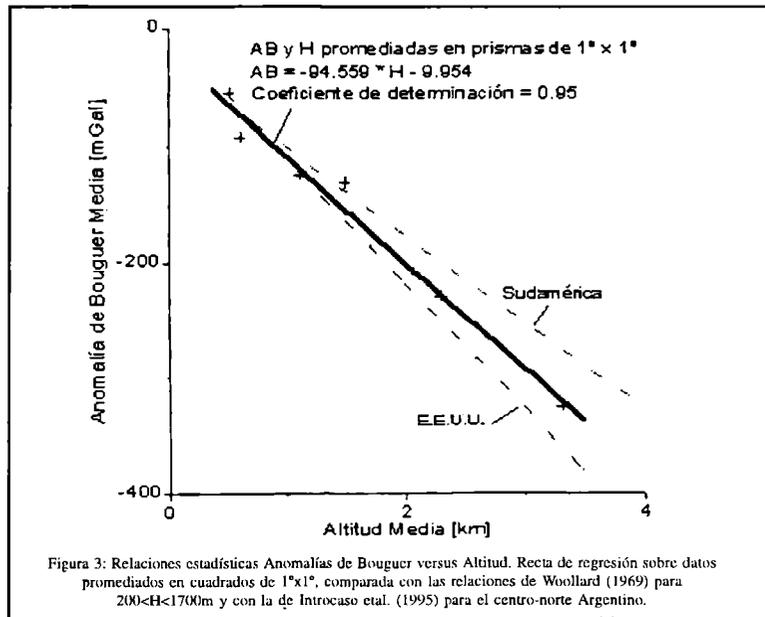
b) **AB [mGal] = - 1 - 109 H**

También se equiparó (a) con la relación determinada por Introcaso *et al.* (1995) para Sudamérica en la banda 22° a 30° de latitud sur (**AB [mGal] = - 25.01 - 76.04 H**). Los resultados se muestran en Figura 3.

Analizando los resultados vemos que la comarca se encuentra en estado de leve subcompensación isostática o regionalmente, excediendo con amplitud el ancho de la cuenca, tiende a estar isostáticamente compensada.

4. ISOSTASIA EN EL SISTEMA DE AIRY

La metodología clásica para el análisis isostático requiere conocer la topografía de las masas excedentes (masas visibles). La compensación local aplicada al estudio de cuencas implica admitir, por ejemplo, una corteza atenuada (Introcaso, 1993). Se investiga este sistema dado que la anomalía cortical, luego de eliminado el efecto de los sedimentos de la fosa I-VU, es del orden de $+40$ mGal, que podría ser atribuida a atenuación cortical, a densos cuerpos intracorticales o, probablemente, una combinación de ambos (Ruiz e Introcaso, en preparación).



Recordemos que en el sistema de Airy cada bloque de corteza flota hidrostáticamente sobre el manto superior, la compensación comienza a nivel de la base de la corteza normal T_n , en este análisis se consideró $T_n = 33$ km. (Woollard, 1969). Los cálculos del Moho hidrostático se efectuaron en el área comprendida por las latitudes 28°S a 32°S y las longitudes 71° 30' W a 66° W. Las masas superficiales (topografía y espesores sedimentarios) se promediaron en prismas de 20' x 20' de lado.

4.1. Balance Isostático en el Enfoque Clásico

El M_H se calculó, utilizando un mecanismo de masas excedentes versus raíces compensadoras, a partir de la señal topográfica de altitud h_t , con la expresión:

$$\Delta R = 6.675 h_t \quad (1)$$

donde ΔR es la raíz topográfica predicha y el coeficiente 6.675, surge de considerar los siguientes valores de densidad topográfica, de corteza y manto superior, $\sigma_t = 2.67$ g/cm³, $\sigma_c = 2.90$ g/cm³ y $\sigma_m = 3.30$ g/cm³, respectivamente (Introcaso et al., 1992).

Las correcciones isostáticas se computaron por modelado directo 3-D (Guspí *et al.*, 1987) asumiendo contraste de densidades de corteza y manto: $\sigma_{ms} - \sigma_c = 0.4$ g/cm³ (Woollard, 1969). Finalmente, se calculó la anomalía isostática (AI) descontando de las anomalías de Bouguer la corrección isostática: $AI = AB - CI$. La Figura 4, muestra en: a- la carta de Moho hidrostático, b- la Carta de Correcciones Isostáticas y c- la carta de Anomalías Isostáticas, así obtenidas.

4.2. Balance Isostático de Masas Topográficas Excedentes y del Depósito Sedimentario de la Cuenca

En este enfoque se computó el balance isostático de todas las masas superficiales, es decir, de la carga topográfica regional y de los sedimentos alojados en la fosa. Debemos tener en cuenta que la cuenca I-VU posee una cota media de 1100 m, además en el sistema de Airy, el relleno sedimentario de la cubeta (déficit de masas desde el nivel del mar hacia abajo) debería balancearse considerando predictivamente antirraíces compensadoras (hipótesis distensiva). Sin embargo debemos tomar a la columna como un todo, igualando presiones en la base de una corteza de capa simple, se obtiene la expresión:

$$\Delta R = \frac{\sigma_t}{\sigma_m - \sigma_e} h_t - \frac{\sigma_e - \sigma_s}{\sigma_m - \sigma_e} h_s \quad (2)$$

siendo σ_s , la densidad media del paquete sedimentario (2.44 g/cm^3) y h_s su espesor.

Debemos considerar la anomalía de Bouguer corregida por el aporte gravimétrico del relleno sedimentario \mathbf{ABcg} , que en este caso resulta: $\mathbf{ABcg} = \mathbf{AB} + \mathbf{CG}$, en donde \mathbf{CG} tiene carácter de corrección geológica (Ruiz - Introcaso, 1996).

M_H se computó empleando la expresión (2). La anomalía isostática se obtuvo efectuando la reducción correspondiente sobre \mathbf{ABcg} . Los resultados se muestran en Figuras 4d, 4e y 4f. Partimos del mecanismo de estiramiento que debería producir una antirraíz cortical. Por otro lado, la masa topográfica excedente de 1.1 km. determina que para mantener el equilibrio habrían antirraíces solo si $h_s > 6.38 \text{ km}$.

Del análisis precedente (4.1 y 4.2) surge:

I- Las anomalías isostáticas son fuertemente positivas en las Sierras Pampeanas que rodean a la cuenca en estudio. Ellas son indicativas de déficit de raíces compensadoras.

II- La región de la cuenca exhibe una anomalía positiva cuya longitud de onda es superior a su ancho. Esta respuesta se observa tanto en el modelo clásico como en el que contempla, además, compensación de masas sedimentarias.

III- Analizando el modelo de estiramiento, puede verse que la zona de la cuenca responde con anomalías de valor absoluto mayor que en el modelo clásico, aunque ambas respuestas de g son positivas, indican un claro estado de subcompensación a escala regional.

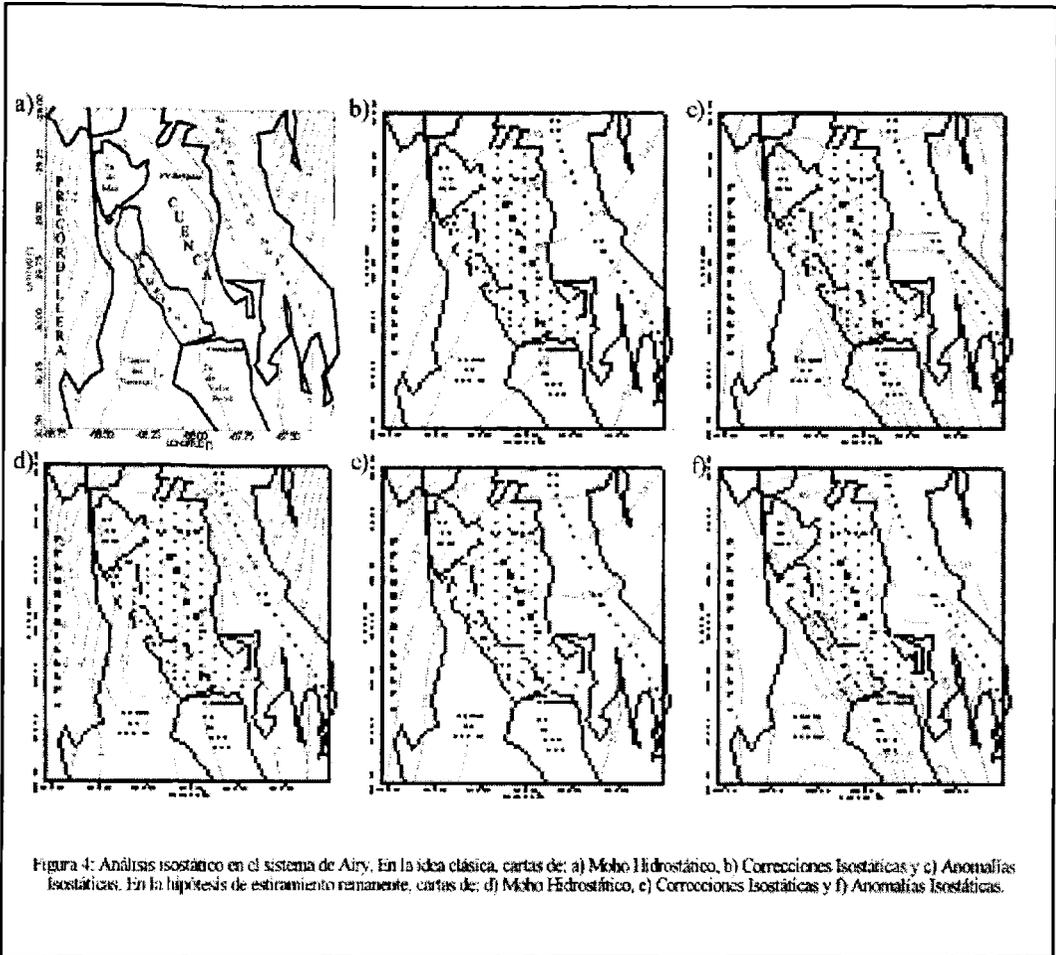
IV- A partir de estos resultados puede decirse que, considerando una corteza con densidades normales, la región se encuentra subcompensada isostáticamente.

Las anomalías isostáticas, si bien consistentes en ambos métodos, aparecen desplazadas respecto de la estructura de la cuenca, señalando el comportamiento regional de la isostasia (Wollard, 1959).

En el marco regional, estos resultados son compatibles con la fuerte compresión reconocida en la mayor parte de las Sierras Pampeanas Occidentales, Baldis *et al.* (1979), Triep y Cardinali (1984), Regnier *et al.* (1994), Zapata y Allmendinger (1997). Estudios gravimétricos en otras Sierras Pampeanas indican subcompensación isostática (Introcaso y Lion, 1988; Toselli *et al.*, 1988; Miranda e Introcaso, 1995; Giménez, *et al.*, 1997; Introcaso, 1997). La cuenca estudiada no escapa al comportamiento general de toda la comarca. El positivo encontrado en la zona de la cuenca puede también ser explicado mediante densas masas intracorticales, con o sin defecto de raíces compensadoras.

5. ANÁLISIS ISOSTÁTICO EN EL SISTEMA FLEXURAL

Dado que la región exhibe una anomalía residual de corteza positiva (Ruiz e Introcaso, 1997b), parecería que la flexión (que proporciona raíces suavizadas) no puede, a priori, justificar el positivo de g . No obstante, si consideramos una corteza atenuada y la sometemos a la carga sedimentaria, topográfica y de masas intracorticales, podríamos admitir compensación isostática regional.



En este análisis la litosfera y astenosfera terrestres son modeladas como una delgada capa elástica y un substrato fluido, respectivamente. La litosfera se flexiona bajo la carga superficial P_1 . Aplicando la teoría de la elasticidad (Nadai, 1963), la flexión vertical w en 2-D, se obtiene por:

$$w = \frac{P_1 a^3}{8D} e^{-\frac{x}{a}} \left(\cos \frac{x}{a} + \sin \frac{x}{a} \right) \quad (3)$$

El *parámetro flexural* “ α ” determina la longitud de onda de la flexión en la dirección x. Es función de la rigidez flexural, de la gravedad g y de las densidades de la placa elástica σ_c y del substrato σ_M

$$\alpha = \left(\frac{4D}{(\sigma_m - \sigma_e)g} \right)^{1/4} \quad (4)$$

$$D = \frac{ET}{12(1 - \nu^2)} \quad (5)$$

El coeficiente D es la *rigidez flexural* de la placa, caracteriza su resistencia a la flexión, manteniendo una relación proporcional con E (módulo de Young) y T (espesor litosférico), ν es el coeficiente de Poisson.

5.1. Resultados del Modelo Flexural Elástico

Utilizando la expresión (3) se calculó la flexión de la litosfera, explorando distintas rigideces flexurales, en una sección este-oeste de latitud 29° 30' Sur, que pasa por el centro de la cuenca (ver ubicación en Figura 1) y que se extiende desde 71° 25' W hasta 66° W.

El software empleado fue desarrollado por el Instituto de Física de Rosario.

La carga se computó promediando las alturas topográficas, la potencia sedimentaria y los sobrepesos intracorticales (véase Ruiz, 1998), en celdas de 50 km. de extensión a am-bos lados del perfil considerado y de 20 km. de lado.

El Moho flexural se obtuvo asumiendo:

Modulo de Young: $E = 1.10^{12}$ dinas/cm²

Coficiente de Poisson: $\nu = 0.25$

Densidad de corteza: $\sigma_c = 2.9$ g/cm³

Densidad del manto superior: $\sigma_m = 3.3$ g/cm³

Densidad media sedimentaria: $\sigma_s = 2.44$ g/cm³

Densidad media de intrusiones: $\sigma_i = 3.15$ g/cm³

Comportamiento flexural de la corteza...

La anomalía isostática se calculó descontando la **CI** regional de la **ABcg** corregida, a su vez, por el efecto gravimétrico de las masas intruidas en corteza (Ruiz, 1998). La forma y densidad de estas masas se extrajeron del modelo gravimétrico cortical en la sección 29° 30' Sur (Ruiz e Introcaso, en preparación).

La cuenca Ischigualasto-Villa Unión tiene un ancho aproximado de 50 km. con una profundidad media de 4.8 km. Además, el Moho calculado por inversión gravimétrica muestra un adelgazamiento en corteza inferior de $\Delta R \sim 5$ km. (Ruiz, 1998). Sobre esta base, se modeló una corteza adelgazada, con espesor normal $T_n = 33$ Km (Woollard, 1969b).

El modelo flexural de corteza atenuada incorporando densas masas intracorticales justifica, en parte, la anomalía observada en la región de la cuenca (Fig. 5). Para ello debemos considerar:

I- Cortezas con distintas rigideces flexurales a ambos lados de la falla de Valle Fértil (límite oeste de la cuenca). Cordillera y Precordillera se comportan en el sistema de Airy ($D=0$), mientras que, en las Sierras Pampeanas que contienen a la cuenca I-VU opera la compensación regional de masas, con una $D=9.10^{28}$ dyn.cm (o $D=9.10^{23}$ N.m).
II- Atenuación cortical asimétrica. El modelo sugiere que la atenuación de partida en corteza inferior debió ser, al menos, 2 km mayor que la actual (Moho gravimétrico).

En la misma sección, Ruiz (1998) propuso modelos calculados por inversión de datos magnéticos y gravimétricos, donde las dos cortezas separadas por la falla regional de Valle Fértil son de diferente constitución (en susceptibilidades y densidades). Hallazgos similares fueron obtenidos por Martínez (1997) y Giménez (1997) en secciones gravimétricas ubicadas sobre la Sierra de Valle Fértil y cuenca del Bermejo, respectivamente.

Finalmente debemos puntualizar la consistencia del Moho gravimétrico con el modelo flexural aquí propuesto.

6. CONCLUSIONES

Se analizó el comportamiento isostático de la corteza que contiene a la cuenca Ischigualasto-Villa Unión, encontrando:

I- Relaciones estadísticas **AB** versus **H** indican que la comarca presenta un leve estado de subcompensación isostática.

II- El sistema de Airy proporciona anomalías isostáticas con un fondo regional fuertemente positivo sobre las Sierras Pampeanas que rodean a la fosa, siendo éstas aún mayores en el centro y sur de la cuenca. Considerando distribución normal de densidades esto permite evaluar un importante déficit de raíces compensadoras. Por otro lado, a partir de estudios gravimétricos y geológicos se infiere (Ruiz, 1998) la presencia de

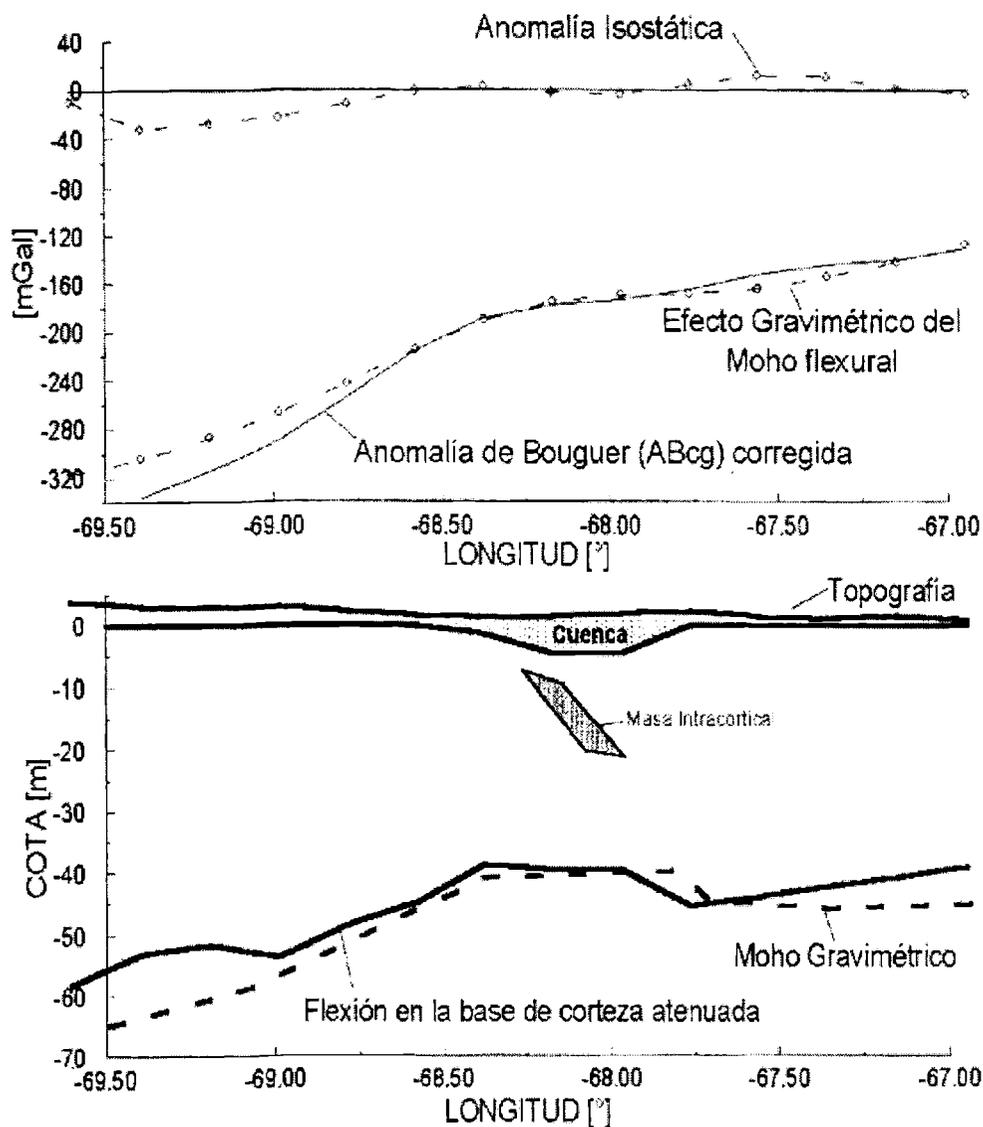


Figura 5: Análisis isostático en el Sistema Flexural, hipótesis de estiramiento remanente y masas intruidas. Modelo de corteza con: $D=0$ en Precordillera y Cordillera, y $D=9.10^{23}$ N.m en Sierras Pampeanas. Arriba: Anomalia isostática versus anomalía observada y efecto del modelo flexural. Abajo: Moho flexural versus Moho calculado por inversión gravimétrica, en la sección E-O a $29^{\circ} 30'$ de latitud sur (ubicación fig.1).

Comportamiento flexural de la corteza...

densos cuerpos alojados en corteza superior e intermedia que justifican, al menos en parte, los valores anormal-mente positivos de gravedad.

III- El modelo de compensación regional, ensayando a la flexión una corteza atenuada en

la región de la cuenca, sometida a la carga de la topografía, del relleno sedimentario y de densas masas intracorticales, permite minimizar las anomalías isostáticas. Esto se logra considerando una corteza que opera en el sistema de Airy en Cordillera y Precordillera, mientras que en Sierras Pampeanas (al este de la falla de Valle Fértil) la corteza se comporta isostáticamente en el sistema flexural.

III es consistente con I y con modelos geotectónicos, gravimétricos y magnéticos que proponen cortezas amalgamadas por una paleosubducción ubicada en la zona de la falla regional de Valle Fértil (Ramos, 1995; Martínez, 1997; Giménez, 1997; Ruiz, 1998).

REFERENCIAS

- Baldis, B.; Uliarte, E.; Vaca, A.; 1979. Análisis estructural de la comarca sísmica de San Juan. RAGA, Revista XXXIV, 4:294-311.
- Giménez, M., 1997. Estudio Genético y Evolutivo de la Cuenca del Bermejo, a partir de datos de gravedad (San Juan, Argentina). Tesis Doctoral, U.N.R., inédito (150 ps.).
- Guspi, F., Introcaso, A. y Huerta, E., 1987. Calculation of gravity effects of three-dimensional structures by analytical integration of a polyhedric approximation and application to the inverse problem. Geofísica Internacional 26, 407-428.
- Introcaso, A., 1997. Isostatic systems and tectonic mechanisms present in Argentina. Geoacta, 22: 1-9.
- Introcaso, A., 1993. Predicción del movimiento vertical de una cuenca sedimentaria utilizando el método gravimétrico. XII Congr. Geol. Arg. y II Cong. de Exploración de Hidrocarburos. Mendoza. Tomo I, (1-4).
- Introcaso, A., Pacino, M. C. y Guspi, F., 1995. Relaciones anomalías de gravedad-elevaciones en Sudamérica por debajo de 22° de Latitud Sur. C.A.C, I Congreso Argentino de Geociencias y Geotécnicas y IX Congreso Nacional de Cartografía, Bs. As., pp 94-101.
- Introcaso, A.; Pacino, M. C. and Fraga, H.; 1992. Gravity, isostasy and Andean crustal shortening between latitudes 30° S y 35° S. Tectonophysics, 205.
- Introcaso, A. y Lion A. 1988. Modelos gravimétricos preliminares sobre las sierras Pampeanas de Pie de Palo, De La Huerta y Chepes. V Congreso Geol. Chileno. Tomo II, F11-F24.
- Jordan, T. E. And Allmendinger, R. W., 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina: A modern analogue of rocky mountain foreland deformation. American Journal of Science, Vol.286, P. 737-764.
- Malizia, D.C., Reynolds, J.H. y Tabbutt, K.D., 1995. Cronología de la sedimentación Neógena, tectonismo y edad de la estructuración en el Campo de Talampaya, Sierras Pampeanas, Provincia

Francisco Ruiz y Antonio Introcaso

de La Rioja, Argentina. YPF, BIP Junio: 78-105.

Martínez, P. 1997. Estudio del Levantamiento de la Sierra de Valle Fértil, San Juan, Argentina. Tesis Doctoral. U.N.R., inédito (130 ps.).

Martínez, P. e Introcaso, A., Robles, J. y Gimenez, M., 1992. Anomalia isostática de la Sierra Pie de Palo. II Congr. Geol. Cs. de la Tierra, Memorias I.G.M. CHILE, I, 497-503.

Miranda, S. e Introcaso, A., 1995. El mecanismo de flexión viscoelástica en las Sierras de Córdoba- Rep. Argentina; Análisis preliminar en 31° 30' Sur. 4° Cong. Int. da Sociedade Brasileira de Geofísica. Rio de Janeiro. 1090-1093.

Nadai, A., 1963. Theory and flow fracture of solids. Vol. II. McGraw-Hill, Inc., New York, 705 pp.

Regnier, M., Chiu, J.; Smalley, R.; Isacks, B.; And Araujo, M.; 1994. Crustal Thickness variation in the Andean Foreland, Argentina, from Converted Waves. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 4:1097-1111.

Ruiz, F., 1998. Estudio de la geometría, génesis y evolución de la cuenca Ischigualasto-Villa Unión, a partir de datos de gravedad y magnetismo. Provincias de San Juan y La rioja, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Rosario. Inédito, 147 pp.

Ruiz, F. y Introcaso, A. , 1997a. Modelo Gravimetrico De La Profunda Cuenca Sedimentaria Ischigualasto - Villa Unión (Provincias De San Juan Y La Rioja) - Argentina. Revista del IPGH, en revisión.

Ruiz, F. y Introcaso, A. , 1997b. Interpretación Preliminar del Efecto Gravimétrico de la Cuenca Ischigualasto - Villa Unión (Prov. de San Juan y La Rioja-Argentina). 5° International Congress Of The Brazilian Geophysical Society. Actas: 743-746.

Ruiz, F. y Introcaso A., 1997c. Estudio isostático preliminar de la cuenca Ischigualasto -Villa Unión (Prov. de San Juan y La Rioja-Argentina) realizado en la sección gravimétrica ubicada en 29° 30'S 19va. Reunion Cientifica De La Asoc. Argentina de Geofisicos y Geodestas, San Juan. Actas: 167-171.

Ruiz, F. y Introcaso, A, 1996. Resultados Preliminares De Un Estudio Gravimétrico En La Cuenca Ischigualasto - Villa Unión, Provincias De San Juan y La Rioja, Argentina. XII Cong. Geol. Boliviano . Tomo III, 1107-1113.

Stipanivic, P. y Bonaparte, J., 1979. Cuenca triásica de Ischigualasto - Villa Unión (Provincias de La Rioja y San Juan). II Simp. de Geol. Reg. Argentina, Cordoba, I, 523-575.

Talwani, M. & Ewing, M., 1960. Rapid computation of gravity attraction of three-dimentional bodies of arbitrary shape. Geophysics 25, 203-225.

Toselli, A.J.; Introcaso, A.; Aceñolaza, A.G. Durand, F.; 1989. Sección gravimétrica preliminar a través del sistema del Aconquija, Provincias de Tucumán y Catamarca, una hipótesis sobre su génesis tectónica. Acta Reunión sobre Geotransectas de América del Sur, Mar del Plata: 78-82.

Triep, E. y Cardinali, C. 1984. Mecanismos de sismos en las Sierras Pampeanas occidentales. IX Congr. Geol. Arg., Bariloche, III, 61-80.

Vujovich, G., 1995. Geología del basamento igneo-metamórfico de la Loma de Las Chacras, Sa. de la Huerta, San Juan. Rev. de la Asoc. Geol. Arg., 49: 321-336.

Walcott, R., 1970. Flexural rigidity, thickness, and viscosity of the lithosphere. J.G.R., v 75, n° 20, 3941-3954.

Comportamiento flexural de la corteza...

- Woollard, G. P. 1969. Standardization of gravity measurements. The earth's crust and upper mantle. Ed. Pembroke J. Hart. Geophys. Monogr., A.G.U.: 320-341.
- Woollard, G.P. 1959. Crustal structure from gravity and seismic measurements. Jour. Geophys. Res. 64 (10): 1521-1544.
- Zapata, T. y Allmendinger, R., 1997. Evolución de la deformación del frente de corrimiento de la Precordillera, Provincia de San Juan. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 52(2): 115-131.