

MODELADO DE INVERSIÓN GRAVIMÉTRICA EN LA FAJA PLEGADA Y CORRIDA, CUENCA NEUQUINA

M. Patricia Martínez⁽¹⁾, Federico Lince Klinger⁽²⁾
Andreas Frischbutter⁽³⁾, Mario Vila⁽⁴⁾, Mario Gimenez⁽⁵⁾, Francisco Ruiz⁽⁶⁾

⁽¹⁾Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. S. Volponi – Universidad Nacional de San Juan – CONICET. E-mail : mpm@unsj-cuim.edu.ar

⁽²⁾Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. S. Volponi – Universidad Nacional de San Juan E-mail : flklinger@hotmail.com

⁽³⁾Wintershall Energía S.A. E-mail : andreas.frischbutter@wintershall.com

⁽⁴⁾Wintershall Energía S.A. E-mail : mario-alberto.vila@wintershall.com

Palabras claves: Inversión gravimétrica, Modelos estructurales

Abstract:

A 2D gravimetric inversion model applied to a survey conducted in the Ranquil Norte Area south of the Mendoza Province is presented. The study area is characterized by a well exposed and, an intensively folded and faulted Cretaceous sedimentary column

The Free Air reduction as well as Topographic and Bouger corrections have been applied to the gravity field measurements. The gravimetric effect of the Moho for a transcontinental section parallel to 36° S was used as a regional anomaly.

Based on the structural surface analysis (dip measurements), geological mapping and considering the regional geological framework of the Neuquen Basin fold and thrust belt, two east-west cross section were modeled. applying a basement involved tectonic inversion model with different lateral displacement.

Based on these structural cross sections two gravimetric models, using the densities of the different lithological units involved, have been calculated. The formation density values were obtained from borehole e-logs of nearby wells.

The densities, thicknesses and depths of the geological units were adjusted in an iterative process with the objective of matching the calculated gravity model with the field measures. The tectonic inversion model (minimum lateral displacement), with significant basement uplift, reached the best fit with the field data. The thickness variation of the evaporites of the Huitrin Formation along the sections is the main modeling factor of the gravimetric model.

INTRODUCCION

Los métodos gravimétricos han sido largamente usados en la prospección de estructuras de interés en la exploración de hidrocarburos. Particular interés tiene este método potencial como herramienta de relevamiento preliminar en regiones de difícil acceso o topografía muy accidentada por su bajo costo y el rápido procesamiento de los datos (Telford et al., 1990; Blakely, R., 1995).

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Faja Plegada de la Cuenca Neuquina en las proximidades de la confluencia de los ríos Barrancas y Grande al Oeste de la Sierra de Reyes (Fig.1).

La Faja Plegada y Corrida de la Cordillera Principal es parte del cinturón orogénico andino, tiene como rasgo característico la participación en la deformación de bloques del Grupo Choiyoi. La vergencia dominante de las estructuras de la faja deformada es generalmente hacia el antepaís; sin embargo en la zona estudiada las estructuras mayores afloradas tienen vergencia contrarias Kozlowski et al. (1993).

Los mapas geológicos de superficie muestran que al oeste del lineamiento estructural de Sierra de Reyes- Sierra de Cara Cura se observan estructuras menores con sus ejes paralelos a la dirección de los lineamientos principales (aproximadamente Norte-Sur). En estas estructuras menores, de 1-2 Km de ancho por 8-10 Km de largo, afloran sedimentitas del grupo Neuquén, y de las formaciones Rayoso y Agrio. No existe registraci3n sísmica en el área de estudio.

Los rasgos estructurales del área pueden ser estudiados a partir de las cartas de anomalía de Bouguer o bien modelando las estructuras a lo largo de una sección 2D o un cubo 3D. Se presenta aquí un modelado 2D de una sección en la cual se han realizado mediciones gravimétricas.



Fig. 1 Mapa de Ubicación del área de estudio y del perfil gravimétrico regional

MEDICIONES GRAVIMÉTRICAS

La zona de estudio fue cubierta por mediciones gravimétricas en un área de 50 km² con secciones E-O espaciadas cada 500 m y mediciones de gravedad cada 200 m a lo largo de las mismas. También se relevaron dos transectas de 8 y 10 km con mediciones espaciadas cada 300 m. Se utilizaron dos gravímetros, un Lacoste & Romberg G981 (con precisión de 0.03 mGal) y un Scintrex CG3 Autograv (con precisión de 0.01 mGal) los cuales fueron calibrados diariamente en una estación de referencia. Las coordenadas y elevaciones fueron medidas con equipos GPS diferenciales que aseguraron un error menor a 30 cm.

ANOMALÍA DE BOUGER

Las mediciones de gravedad fueron corregidas para obtener la anomalía de Bouguer según a ecuación:

$$ABs = Gobs - (\gamma_0 - CAL + CB) \quad (1)$$

donde:

ABs = Anomalía simple de Bouguer

$Gobs$ = Valor observado

CAL = Corrección de aire libre

CB = Corrección de Bouguer : $0,1118 h$, considerando una densidad de 2,67 g/cm³ para la masa por encima del nivel medio del mar (incluida en el coeficiente), y h : altitud de la estación en metros.

γ_0 = Valor teórico (expresión internacional de 1967).

Para la reducción de Aire Libre se adoptó la expresión válida para grandes alturas propuesta por Swick (1942), que considera a la tierra como un elipsoide .

$$CAL = (0,3085 + 0,00022 \cos 2\varphi - 0,072(h/1000)^2) \quad (2)$$

siendo

h : cota en metros

φ : latitud de observación.

Las anomalías fueron calculadas en el sistema 1967, vinculando la gravedad observada con la estación fundamental de Miguelete. Para γ_0 , gravedad teórica normal, se adoptó la expresión (3), para el elipsoide internacional de 1967.

$$\gamma_0 \text{ (mGal)} = 978031,85 (1 + 0,0053024 \sen^2 \varphi - 0,0000058 \sen^2 2\varphi) \quad (3)$$

siendo φ la latitud de la estación.

Finalmente los valores de la anomalía simple de Bouguer fueron corregidos por el efecto de la topografía dentro de la zona de Hayford, con segmentos circulares de terreno hasta 167 km de diámetro mediante el software llamado CTOP.BAS del IFIR (Instituto de Física de Rosario). Para esta corrección topográfica se utilizó un modelo de elevación digital (MED) obtenido por interferometría de imágenes de radar obtenidas por el satélite de la misión SRTM. Este MED tiene una resolución espacial de 90m en X e Y y de 1-10m en Z según la pendiente del terreno.

Así la anomalía de Bouguer completa será:

$$AB = ABs + Ct \quad (4)$$

siendo:

AB: anomalía de Bouguer completa

ABs: Anomalía simple de Bouguer.

Ct: Corrección Topográfica.

La regularización de los datos gravimétricos regionales, permitió construir una carta de anomalía de Bouguer (Fig. 2). Se construyeron perfiles de mayor resolución a lo largo de la sección 2D de estudio.

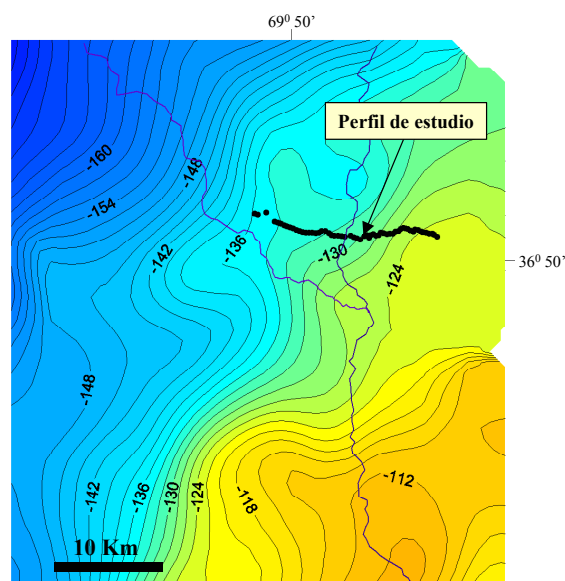


Fig. 2: Carta de Anomalía de Bouguer de la zona de de la confluencias de los ríos Barrancas y Grande al Sur de la Provincia de Mendoza. (valores en mGal). Se observa en la misma el perfil en estudio

ANOMALÍA REGIONAL

La determinación de la anomalía regional en este pequeño perfil, se basó en el cálculo del efecto gravimétrico del Moho para un perfil transcontinental (fig. 1) en el paralelo 36° S (Martínez, et al., 1995), (Fig. 3)

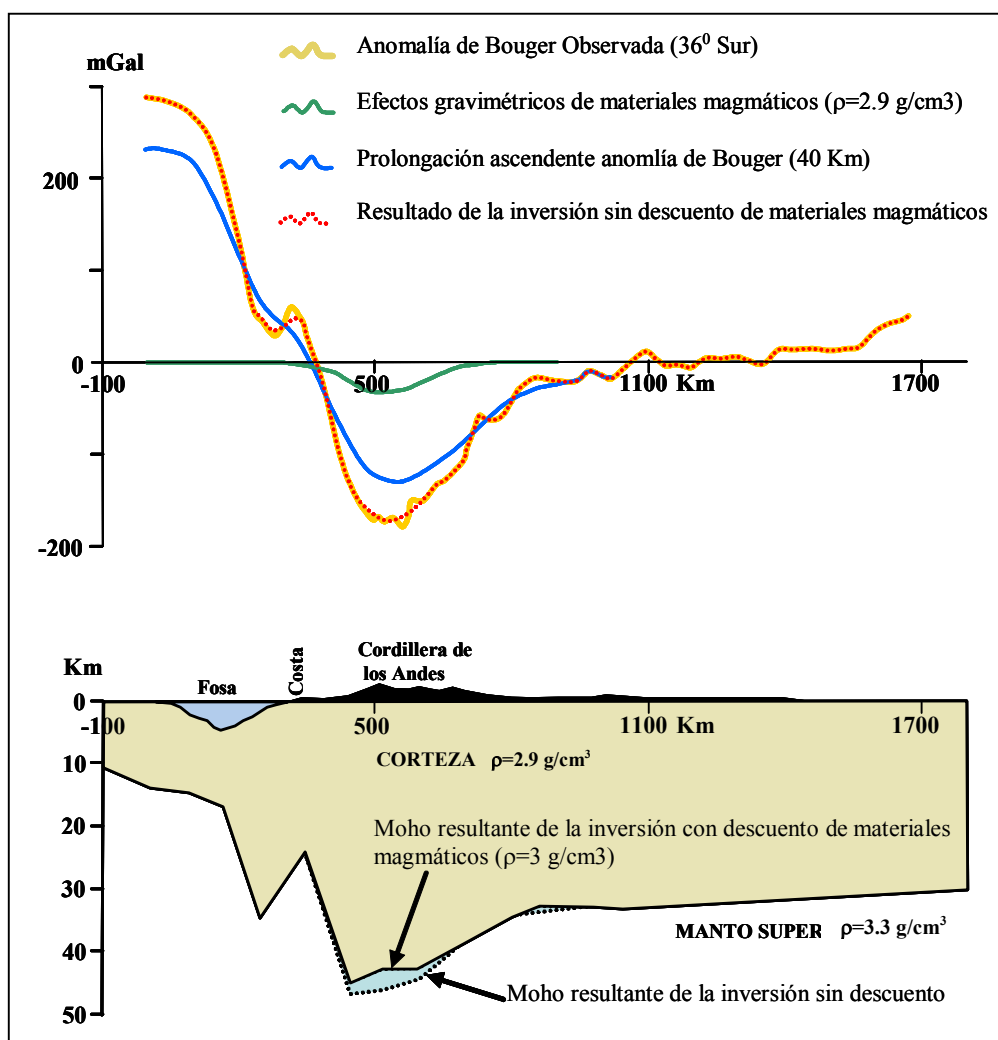


Figura 3 : Perfil transcontinental en el paralelo 36° S. Extraído de Martínez et al.

Los autores se basaron en un modelo de densidad de 3 capas: $2,67 \text{ g/cm}^3$ para los materiales por encima del nivel medio de mar, $2,9 \text{ g/cm}^3$ para la corteza y $3,3 \text{ g/cm}^3$ para el manto superior. De ese extenso perfil se tomó la porción correspondiente al tramo del perfil a interpretar.

En la Figura 4 se observa la anomalía de Bouguer calculada y la anomalía regional en el área de estudio.

MODELOS ESTRUCTURALES

El área de estudio fue objeto de relevamientos de geología de superficie. Se realizó un mapeo de superficie y se midieron los rumbos y buzamiento de las capas que afloran a lo largo de una transecta que fue relevada en la campaña gravimétrica (Fig. 5). Teniendo en cuenta estas mediciones y el contexto estructural de faja plegada en la zona se propusieron dos modelos estructurales. Estos modelos corresponden a dos soluciones geométricas de un plegamiento generado por inversión tectónica con basamento involucrado. La primera solución considera un gran desplazamiento lateral

de las unidades involucradas (Fig.6), mientras que la segunda implica un rechazo mínimo (Fig. 7). Los espesores y buzamientos de las formaciones involucradas en los modelos fueron tomadas de las mediciones de superficie y de valores de perfiles de pozos cercanos al áreas de estudio

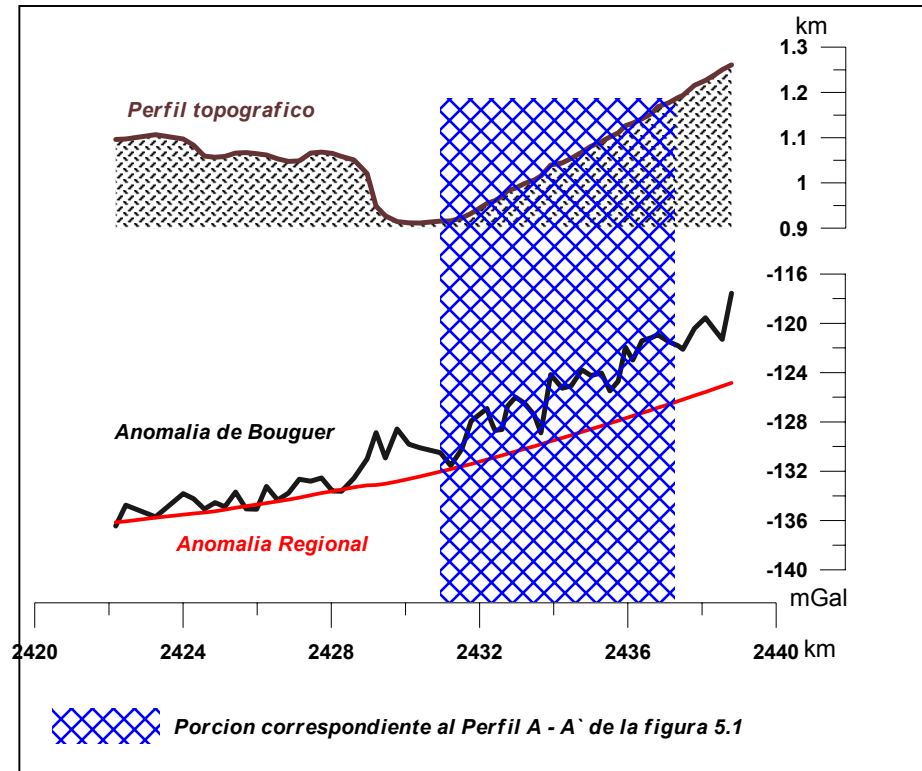


Figura 4 : Determinación de la anomalía Regional.. Arriba: Perfil topográfico extendido. Abajo: Anomalia de Bouguer Observada (negro) y anomalía de Bouguer Regional (rojo).

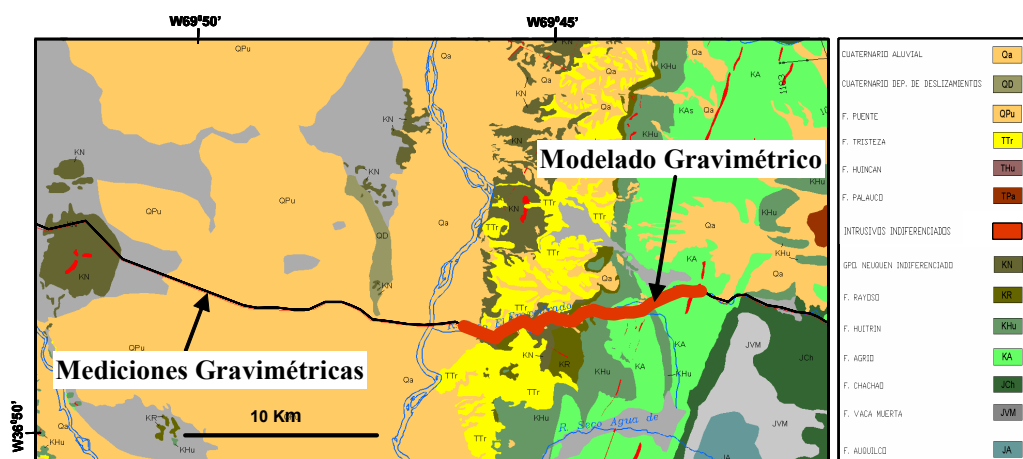


Fig. 5 Mapa geológico del área de modelado gravimétrico

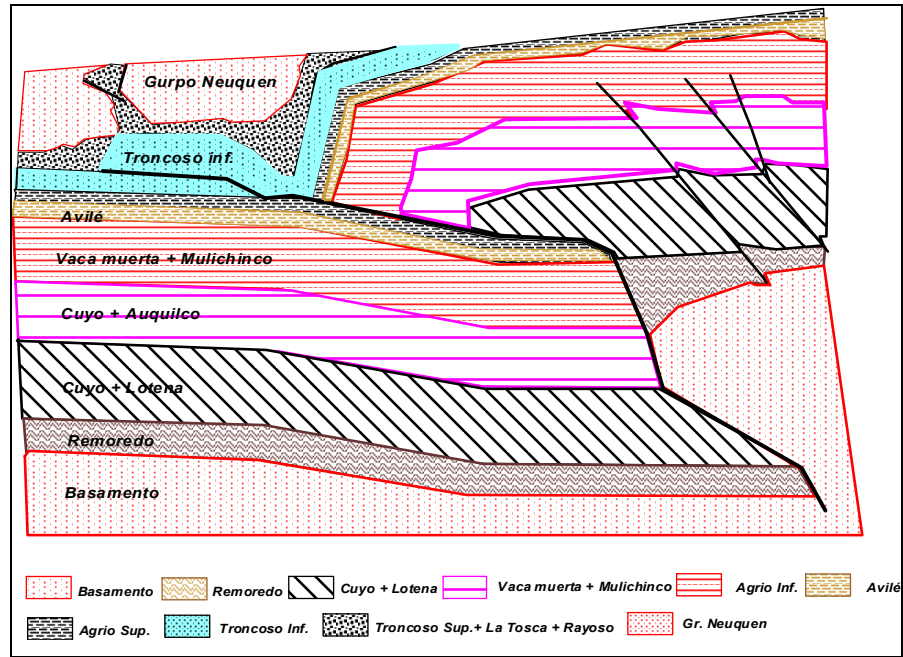


Figura 6: Modelo estructural 1

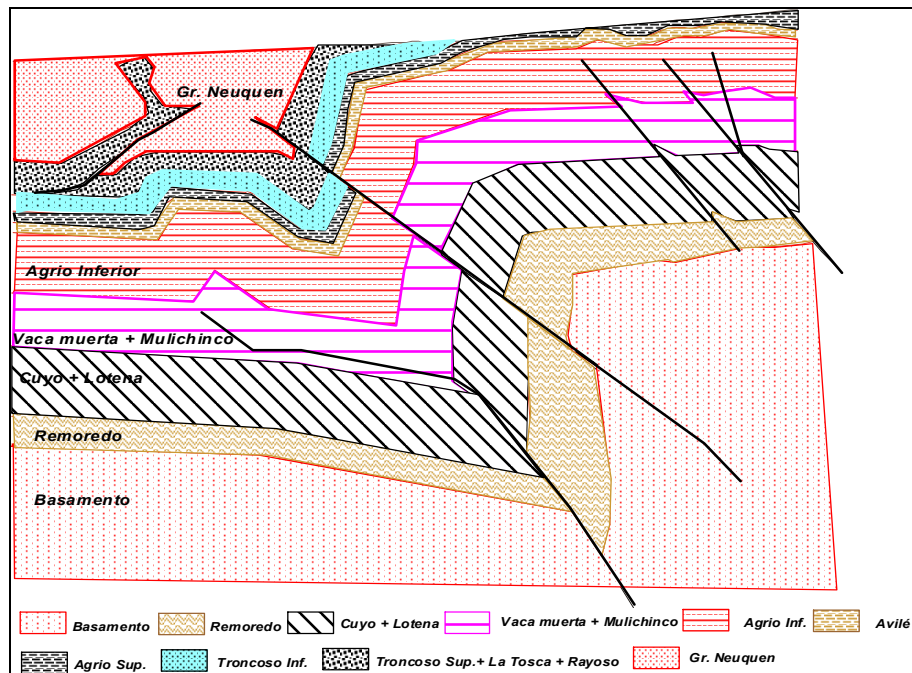


Figura 7: Modelo estructural 2

MODELADO GRAVIMÉTRICO

Se realizaron dos modelos gravimétricos a partir de los modelos estructurales propuestos. Se partió en todos los casos de un modelo de densidad simple que incluye 2.67 g/cm^3 para los materiales por encima del nivel medio del mar, y 2.7 g/cm^3 por debajo de este (para los materiales ubicados en la corteza superior).

Se utilizaron valores de densidad obtenidos en perfilaje de pozos ubicados en las inmediaciones del área de estudio. La figura 8 resume los valores de densidad finalmente ajustados para cada unidad litoestratigráfica identificada.

Unidad litoestratigrafica	Densidad (g/cm ³)
Grupo Neuquen	2.3
Troncoso Sup. + La Tosca + Rayoso	2.9
Troncoso Inf.	2.54
Agrio Sup.	2.7
Avilé	2.7
Agrio Inf.	2.55
Grupo Cuyo + Lotena	2.9
Vaca Muerta + Mulichinco	2.6
Remoredo	2.6
Basamento	2.9

Fig. 8 Valores de densidad de las unidades litoestratigráficas más importantes, ajustados por datos de perfiles de pozos.

En ambos casos se partió de la geometría propuesta por los modelos estructurales. Se modificaron luego: **I)** las profundidades de los estratos intervinientes; **II)** las formas de los polígonos que representan esos estratos; y **III)** los contrastes de densidades. Este procedimiento, fue aplicado en sucesivas iteraciones (inversión gravimétrica) hasta lograr reproducir en forma aproximada la Anomalía de Bouguer Observada. Se optimizó de esta manera la diferencia entre las anomalías calculadas en el área del modelo con la anomalía observada.

En todos los casos se optimizó el ajuste de la anomalía de Bouger en el bloque autóctono inmediatamente al oeste del pliegue principal donde se encuentran las estructuras de piel fina que fueron mapeadas en superficie; fuera de esta zona solamente se ajustó la tendencia general de la anomalía Figura 9.

En las capas más superficiales las evaporitas de las formaciones Huitrin y Rayoso introducen una variación de densidad importante, por lo cual la geometría de estas capas determinan fuertemente las variaciones de cortas longitudes de onda en la anomalía de Bouger. Por esta razón se consideraron distintas geometrías y espesores de estas evaporitas de tal manera de optimizar el ajuste.

De los dos modelos estructurales propuestos el único que permitió un ajuste aceptable de la zona de estructuras de piel fina fue el modelo de inversión tectónica con basamento involucrado que considera rechazo y desplazamiento mínimos (Modelo estructural 2). Las Figuras 9 y 10 muestran los dos modelos y el ajuste correspondiente. Es posible ver en los modelos gravimétricos 1 y 2 que para lograr reproducir la anomalía de Bouguer Observada fue necesario basarse en el modelo geológico balanceado (propiedad de Wintershall Energía S.A.), disminuyendo la profundidad del Grupo Neuquen y aumentando el espesor del cuerpo correspondiente al conjunto compuesto por: los Miembros Troncoso sup. + La Tosca y la Formación Rayoso.

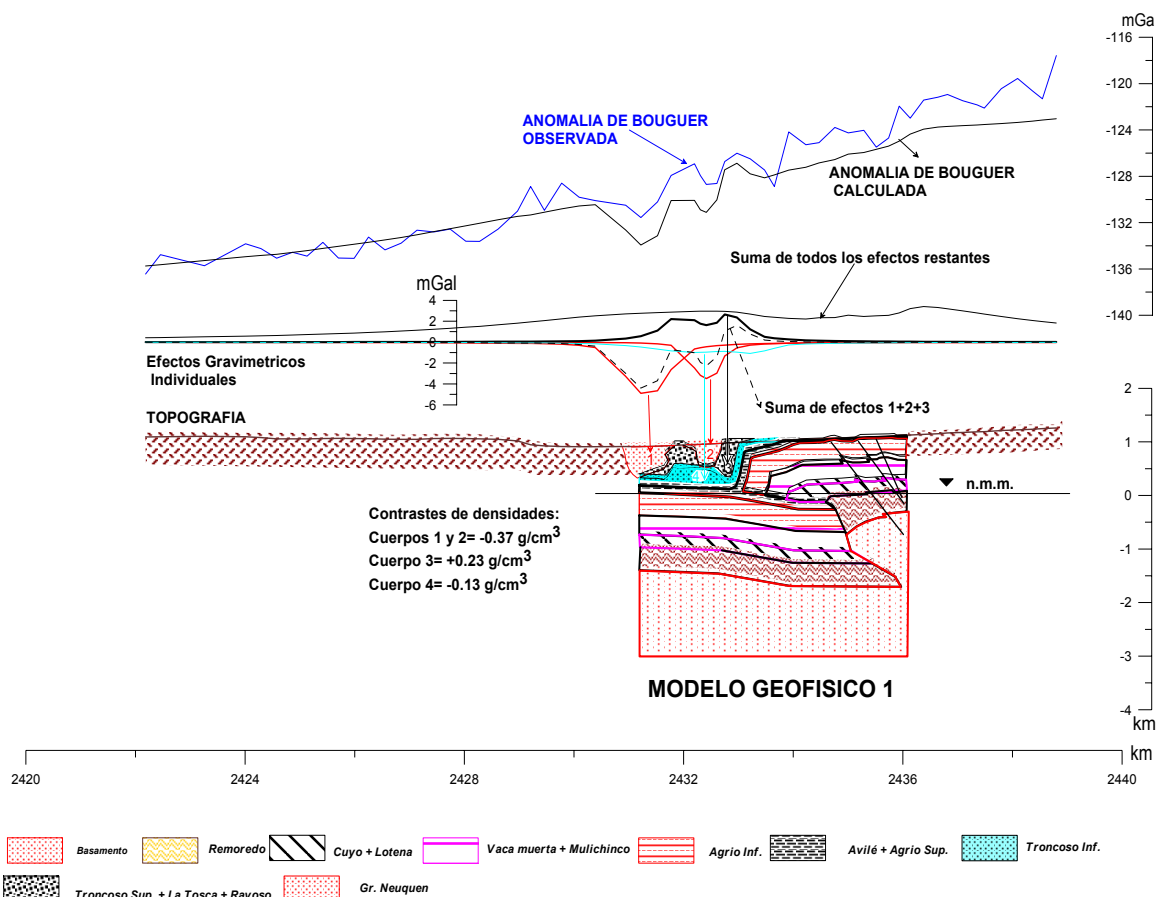


Figura 9: Modelo Gravimétrico Directo, correspondiente al perfil de la figura 2.
 Arriba: Con azul la anomalía de Bouguer Observada y con puntos negros la anomalía de Bouguer Calculada.
 Centro: Efectos gravimétricos individuales y suma de efectos gravimétricos parciales.
 Abajo: Modelo Geofísico que se corresponde con el modelo Estructural 1 (fig. 6)

CONCLUSIONES

El método gravimétrico mostró que puede ser utilizado como herramienta geofísica para la construcción de modelos de estructuras de segundo orden en aquellas regiones donde no se dispone de datos sísmicos. En este caso permitió diferenciar dos modelos estructurales y señalar que el modelo de inversión gravimétrica con rechazo y desplazamiento mínimo es compatible con las mediciones gravimétricas.

Es posible ver en los modelos gravimétricos 1 y 2 que para lograr reproducir la anomalía de Bouguer Observada fue necesario basarse en el modelo geológico balanceado, disminuyendo la profundidad del Grupo Neuquen y aumentando el espesor del cuerpo correspondiente al conjunto compuesto por: los Miembros Troncoso sup. + La Tosca y la Formación Rayoso. Siendo las evaporitas de las formaciones Huitrin y Rayoso, por su alta densidad, determinantes en la respuesta gravimétrica.

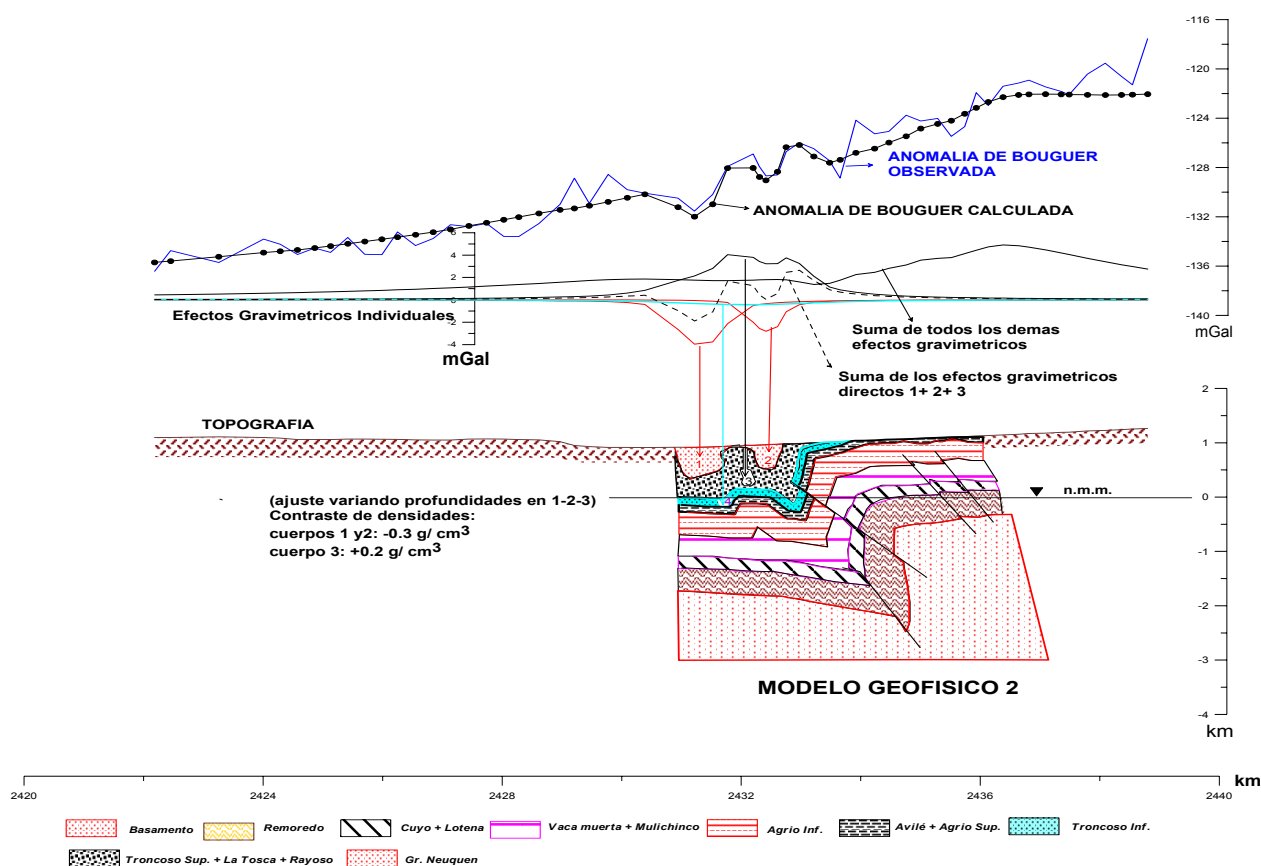


Figura 10: Modelo Gravimétrico Directo, correspondiente al perfil de la figura 7.
 Arriba: Con azul la anomalía de Bouguer Observada y con puntos negros la anomalía de Bouguer Calculada.
 Centro: Efectos gravimétricos individuales y suma de efectos gravimétricos parciales

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecemos a Wintershall Energía S.A. y Total Austral, por la autorización para publicar los resultados aquí presentados.

Lista de trabajos citados

- Blakely, R. (1995). Potential theory in gravity and magnetic applications. Cambridge University Press. 441 pp.
- Kozlowski, E. ; Manceda, R. y Ramos, V. 1993. Estructura. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Relatorio I, p.p. 238 – 256.
- Martínez M. P. (1995). Combinación de acortamiento cortical y adición magmática para la génesis del edificio andino a través de datos gravimétricos. Revista Brasileira de Geofísica.
- Telford W.M., Geldart L.P. and Sheriff R.E. 1990. *Applied Geophysics* 2nd edn. Cambridge University Press, New York.