

Modelado gravimétrico 3D de la corteza superior de la subcuenca Palauco y alrededores, sur de Mendoza

Marianela LUPARI^{1,2}, Agustina PESCE¹, Marcelo GONZALEZ¹, Flavia LEIVA^{1,2}, Silvina NACIF^{1,2}, Orlando ALVAREZ^{1,2}, Mario GIMENEZ^{1,2}, Juan LA VECCHIA³ y Andrés FOLGUERA⁴

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

² Instituto Geofísico Sismológico "Ing. Fernando S. Volponi". FCEF. Universidad Nacional de San Juan.

³ YPF S.A.

⁴ Laboratorio de Tectónica Andina, FCEyN, Universidad de Buenos Aires - CONICET, Argentina

Email: marianelalupari@gmail.com

Editor: Augusto Rapalini

RESUMEN

Se obtuvo un modelo 3D de densidad para los primeros kilómetros de corteza superior de una región situada dentro de la provincia volcánica de Payenia. El modelo se basa en los resultados obtenidos a partir de 2250 nuevas mediciones gravimétricas apoyadas con GPS diferencial. A partir de los mismos, se obtuvieron cartas de anomalías de Bouguer y se calculó un modelo de densidad en 3D, aplicando la técnica desarrollada por VOXI (*Earth Modeling from Geosoft*), mediante el uso de la anomalía residual de Bouguer y del modelo de elevación digital del terreno ETOPO 2. Se obtuvo un modelo en bloque de densidad variable, desde 2320 kg/m³ a 2850 kg/m³. Los modelos de corteza fueron ajustados con valores de densidad obtenidos de pozos sísmicos realizados por YPF S.A., y de muestras tomadas en afloramientos de estructuras geológicas representativas de la región. El modelo 3D de densidad variable obtenido permite observar en profundidad la geometría de las subcuencas presentes en la zona de estudio. Se desprende de este modelo la continuidad de la subcuenca Rincón-Los Amarillos y Cerro Fortunoso al menos hasta los 1000 m de profundidad, existiendo a partir de esta cota una desvinculación de ambas subcuencas. Por otro lado, se aprecia una continuidad de las subcuencas Palauco y Los Cavaos, visible en el modelo hasta los 4000 m de profundidad. Los resultados que se aportan en este trabajo permiten ampliar las potenciales áreas de exploración de hidrocarburos en la región, generando expectativas económicas.

Palabras clave: *Datos de gravedad; Anomalía de Bouguer; Modelado; Subcuenca Palauco; Cerro Fortunoso.*

ABSTRACT

3D gravimetric modeling of the upper crust of the Palauco sub-basin and surroundings, south of Mendoza.

A 3D density model was obtained for the first kilometers of upper crust of a region located within the volcanic province of Payenia. The model is based upon 2250 new gravimetric measurements supported by differential GPS determinations. From these new data, we calculated gravity anomaly maps and a 3D density model of the upper crust, applying the technique developed by VOXI (*Earth Modeling from Geosoft*), using the Bouguer residual anomaly and the digital terrain elevation model ETOPO. We obtained a block model of variable density, from 2320 kg/m³ to 2850 kg/m³. The models were adjusted with density data obtained from seismic boreholes made by YPF S.A. and rock outcrop samples of representative geological units of the region. This model allows us to observe the depth geometry of the sub-basins located in the study area. The density model shows the continuity of the Rincón-Los Amarillos sub-basin and Cerro Fortunoso up to a depth of 1,000 meters where there is a decoupling between both sub-basins. The model also displays the continuity of the Palauco and Los Cavaos sub-basins up to a depth of 4,000 meters. Finally, the results obtained in this work allow expanding the potential areas for hydrocarbon exploration in the region, with the corresponding economic expectations.

Keywords: *Gravity data; Modeling; Palauco sub-basin; Cerro Fortunoso.*

INTRODUCCIÓN

En la Cordillera Principal, correspondiente a la región austral de los Andes Centrales del sur, se desarrolla la faja plegada y corrida de Malargüe (Kozłowski *et al.* 1993). Las características de esta faja posibilitan el desarrollo de una serie de depocentros o subcuencas que se encuentran parcialmente desconectados por altos estructurales, en el sector interno de la faja plegada. Sin embargo, hacia el sector frontal presentan mayor conectividad (Silvestro y Atencio 2009). En este trabajo se realizó un análisis gravimétrico detallado en la subcuena de Palauco (Manceda y Figueroa 1995) y sus alrededores. Más precisamente, el área de estudio se encuentra entre los 35,75° y 36,30° de latitud sur y entre los 69,0° y 69,5° de longitud oeste (Fig. 1 y 2).

La subcuena Palauco presenta fallas de basamento que levantaron la estructura principal generando estructuras frontales epidérmicas como el cerro Fortunoso, Rincón Los Amarillos y Rincón Colorido (Kozłowski *et al.* 1993, Giampaoli *et al.* 2002). Estas estructuras frontales representan la máxima expansión de la deformación hacia el este, por lo que constituyen el frente orogénico mioceno (Kozłowski *et al.* 1993, Giampaoli *et al.* 2002, Giambiagi *et al.* 2009b, Silvestro y Atencio 2009).

En la zona de estudio, gran parte de los afloramientos geológicos están cubiertos por basaltos cuaternarios de retroarco asociados con el campo volcánico Llancanelo (Bermúdez *et al.* 1987) y con el campo volcánico Payún Matrú, que juntos constituyen la provincia volcánica La Payenia (Llambías *et al.* 2010) (Fig. 1b). La región posee una gran importancia petrolera. Debido a esto, YPF S.A. ha realizado numerosas líneas sísmicas en la zona, sin poder obtener una imagen detallada de la parte más somera de la corteza superior. Debido a esto, los métodos potenciales han resultado ser ideales para aportar información característica del subsuelo. A partir de algunos trabajos realizados en la zona, se conoce la geometría y profundidad del basamento en las subcuencas de Río Grande (4000 m) y Palauco (2500 m) (Anci *et al.* 2014), las ondulaciones del basamento de la región de estudio (Anci

et al. 2016) y modelos 3D de corteza superior, a escala regional (Richarte *et al.* 2018).

En el presente trabajo las mediciones precisas de gravedad georeferenciadas a partir de mediciones GPS y su posterior interpretación, permiten identificar anomalías asociadas con los depocentros y con las estructuras que los limitan, como altos estructurales o contactos. El conocimiento detallado de la distribución de densidades en la región de estudio

es una incógnita que se trata de resolver mediante el análisis gravimétrico realizado en este trabajo. A partir de nuevas mediciones de gravedad realizadas durante los últimos años, se prepararon cartas de anomalías, las cuales fueron vinculadas con la geología, permitiendo desarrollar modelos 3D de densidad que ajustan a los datos geofísicos observados, exhibiendo la geometría de las subcuencas de la región analizada.

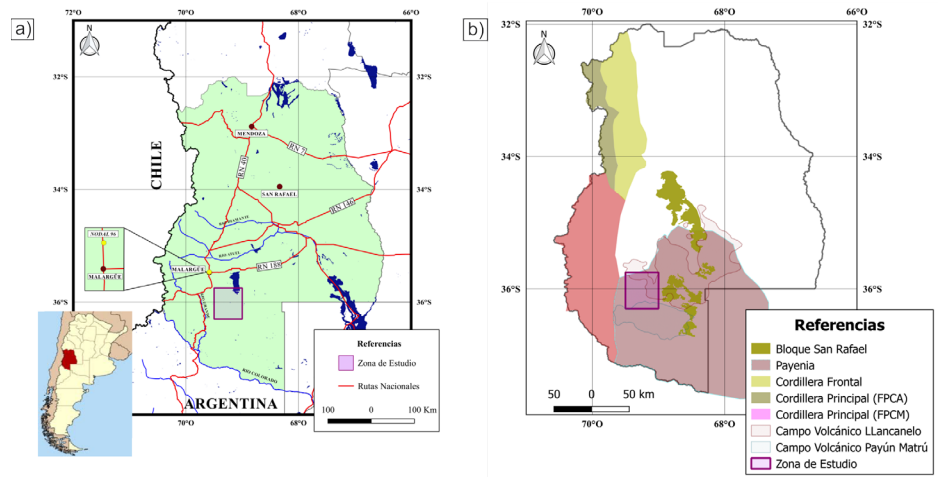


Figura 1. a) Ubicación del área de estudio y rutas de acceso; b) Principales provincias geológicas de Mendoza (Extraído de Ramos 1999 y Ramos *et al.* 2014). FPCA: Faja Plegada y Corrida de Aconcahuá, FPCM: Faja Plegada y Corrida de Malargüe.

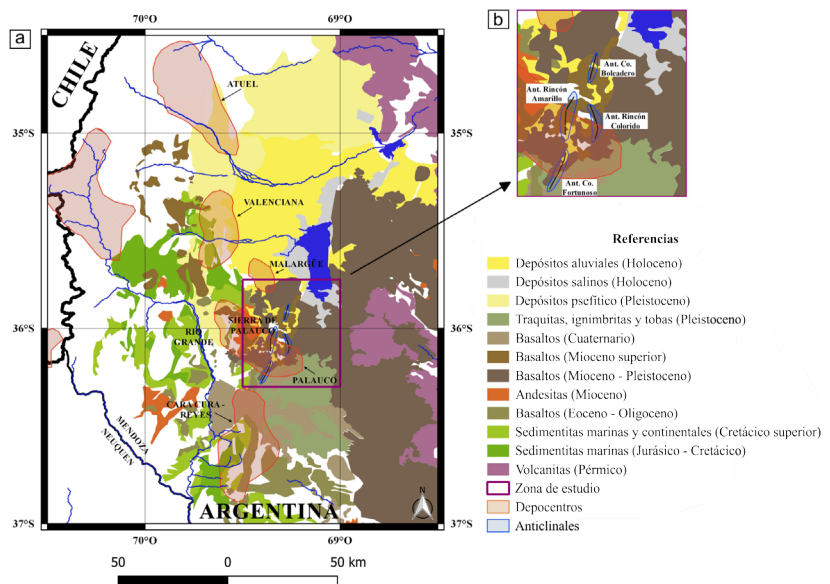


Figura 2.a) Mapa Geológico del sector austral de la provincia de Mendoza. Se destacan los principales depocentros del norte de Cuenca Neuquina (Extraído de Giambiagi *et al.* 2009); b) Área de estudio donde se destacan los anticlinales Cerro Fortunoso, Rincón Amarillo, Rincón Colorido y Cerro Boleadero (Extraído de Silvestro y Atencio 2009).

MARCO GEOLÓGICO

La subcuenca Palauco (Fig. 2a) se desarrolla al este del frente emergente de la faja plegada y corrida de Malargüe, a la altura del río Grande y al oeste de los afloramientos de basamento del bloque San Rafael (Fig. 1b). Este sector pedemontano se encuentra conformado por una serie de estructuras con escaso relieve topográfico que exponen en sus núcleos secuencias cretácicas tardías de los Grupos Neuquén y Malargüe, cubiertas en discordancia angular por secciones volcánicas de los Grupos Palauco de edad Oligoceno tardío a Miocena temprano y Huincán del Mioceno tardío (Silvestro *et al.* 2005). Estas estructuras son de Oeste a Este; el cerro Palauco, que presenta la exhumación más profunda; el Rincón Amarillo; Rincón Colorido y cerro Boleadero, y hacia el Sur el cerro Fortunoso, representando el frente de deformación expuesto para esta latitud (Kozłowski *et al.* 1993, Giampaoli *et al.* 2002) (Fig. 2).

Los máximos espesores (del orden de los 2000 m) de la cuenca se encuentran preservados en la sierra de Palauco. La sierra de Palauco, estructuralmente, corresponde a un braquianticlinal flanqueado por dos sinclinales. Hacia el Este del frente de deformación, que está representado por una falla ciega bajo el eje del sinclinal oriental, la columna sedimentaria se adelgaza notablemente con espesores que no superan los 300 m, acuña-dose definitivamente hacia el borde de la cuenca, en el flanco dorsal del bloque San Rafael (Silvestro y Atencio 2009).

En el sector oriental de la sierra de Palauco los afloramientos están asociados a los altos estructurales del cerro Fortunoso, Rincón Amarillo y Rincón Colorido. Datos de perforaciones conjuntamente con datos de superficie (Kozłowski *et al.* 1985 y Lagarreta *et al.* 1985) permiten observar cambios de espesor, acuña-mientos y discordancias dentro del Grupo Neuquén y en relación con las unidades cenozoicas suprayacentes, a lo largo de los ejes principales de estos anticlinales y así constreñir la edad de deformación de estas estructuras al Cretácico Tardío al Neógeno (Kozłowski *et al.* 1985, Legarreta *et al.* 1985, Fennell *et al.* 2015).

Silvestro y Atencio (2009), describen la columna cenozoica de las estructuras orientales, compuesta inicialmente por areniscas tobáceas y mantos de basaltos, asignados a la Formación Los Cerrillos, con un espesor del orden de los 270 m. Por encima se encuentra un segundo intervalo de tobas y basaltos pertenecientes a la Formación Ranquil Co, con un espesor superior a los 550 m en el sinclinal del Cerro Fortunoso Este y mínimos espesores por erosión en el núcleo de las estructuras del Cerro Fortunoso, Loma Amarilla y Rincón Colorido. Los basaltos situados en los flancos de estas estructuras, poseen altos buzamientos y son cubiertos en discordancia angular por basaltos del Mioceno superior.

Hacia el Norte, el Cerro Morado está ubicado sobre el hundimiento Sur del anticlinal Malargüe, en la transición entre las subcuencas de Palauco y Malargüe (Silvestro y Atencio 2009). Los basaltos de la Formación Los Cerrillos inician la columna, y están cubiertos por areniscas y conglomerados rojos equivalentes a la Formación Agua de la Piedra, que en conjunto tienen espesores de 140 m. Son seguidos por más de 700 m de brechas andesíticas intercaladas con niveles basálticos, asignadas a la Formación Huincán (Silvestro *et al.* 2005).

DATOS Y METODOLOGÍA

Mediciones de Gravedad

Se realizaron campañas de mediciones de datos de gravedad y GPS diferencial durante los años 2007, 2008, 2014 y 2017. Estas mediciones tuvieron la finalidad de estudiar las estructuras emplazadas en corteza superior, bajo el área de estudio. Las mediciones de gravedad se realizaron con gravímetros relativos automáticos marca *Scintrex Autograv*, modelo CG-3, con resoluciones de 0,05 mGal. Estas mediciones fueron georeferenciadas a partir de mediciones GPS de doble frecuencia (L1/L2) mediante posicionador marca *Trimble* (5700) en modo diferencial en pos-proceso. Para el procesamiento de los datos topográficos, se utilizó el software *Trimble Business Center*.

Para asegurar precisiones del orden de $\pm 0,020$ mGal, en las campañas se realizaron controles de deriva instrumental y de calibración (Ruiz *et al.* 2008). Para el relevamiento gravimétrico fue necesario transportar el valor de gravedad desde el Nodal 96 de la Línea de IGM 254, ubicado en la plaza central de la ciudad de Malargüe (Fig. 1a), con un valor de $g = 979323,58$ mGal.

Se midieron 2250 puntos gravimétricos y topográficos, equiespaciados 400 m so-

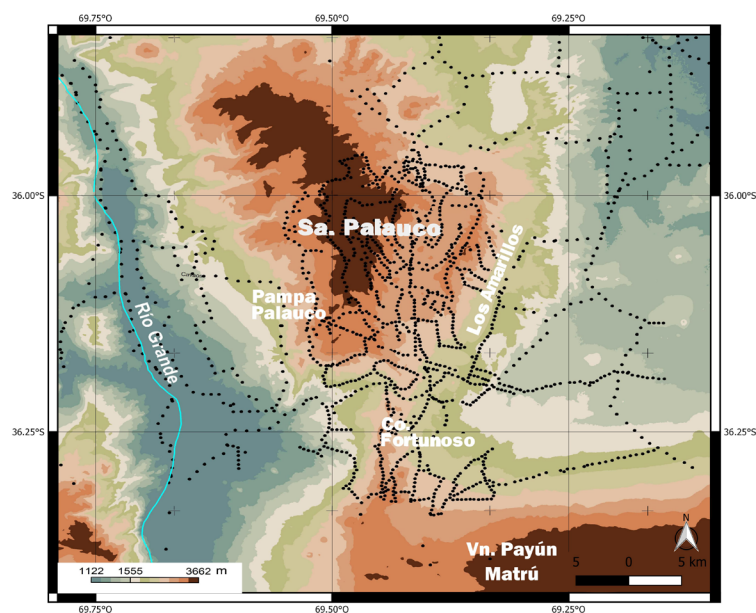


Figura 3. Carta topográfica del área de piedemonte correspondiente a la sierra de Palauco-Rincón Los Amarillos con la base de datos gravimétricos (círculos negros) utilizados en el presente trabajo.

bre caminos, huellas, picadas sísmicas y a campo traviesa en vehículos y mediante el uso de animales, tratando de cubrir completamente el área de trabajo. La distribución de las estaciones relevadas se observa en la figura 3.

Correcciones y cálculo de anomalías

El Sistema Geodésico de Referencia de 1980 (GRS80), fue el sistema utilizado para el cálculo de la gravedad teórica en función de la latitud φ (Hildebrand 2002).

$$g_{\varphi} = g_e \frac{(1 + k \operatorname{sen}^2 \varphi)}{\sqrt{(1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi)}}$$

Donde:

g_e : 978032.67715 mGal;

k : 0.001931851353;

e^2 : 0.0066938002290

El cálculo de anomalías de gravedad se efectuó siguiendo lo estandarizado por Hinze *et al.* (2005) y mediante las clásicas expresiones:

$$AAL \text{ (mGal)} = g_{\text{obs}} (\gamma_o - CAL)$$

$$AB \text{ (mGal)} = g_{\text{obs}} (\gamma_o - CAL + CB),$$

Donde:

AAL: Anomalía de Aire Libre

AB: Anomalía de Bouguer

g_{obs} : Gravedad Observada referida al sistema IGSN71 por su acrónimo en inglés de International Gravity Standardization Network 1971.

γ_o : Gravedad Normal a la latitud de la estación

CAL: Corrección de Aire Libre

CB: Corrección de Bouguer.

Para la Corrección de Aire Libre se adoptó el gradiente vertical normal de 0,3086 mGal/m, aplicando la expresión válida para grandes alturas, propuesta por Heiskanen y Moritz (1967), que considera la tierra como un elipsoide:

$$CAL [mGal] = (0,308555 + 0,00022 \cos 2\varphi) h - 0,072 (h/1000)^2$$

Donde:

h : cota expresada en metros; φ : latitud de observación.

En tanto que para la Corrección de Bouguer se asume una densidad estándar de 2670 kg/m^3 (Hinze 2003), de modo que:

$$CB [mGal] = 0,0419h [m] = 0,1119h [m]$$

Donde:

h : cota expresada en metros.

Luego de analizar las densidades y profundidades al basamento sísmico de los pozos más representativos de los yacimientos Fortunoso, Pampa Palauco y Rincón Los Amarillos (Fig. 5), se obtuvo que la densidad media al basamento sísmico fue de 2650 kg/m^3 , existiendo una diferencia de 20 kg/m^3 , respecto de la densidad utilizada en la corrección de Bouguer.

Debido a la escarpada topografía que existe en el área de trabajo, fue necesario aplicar la corrección topográfica. Para ello, se utilizaron dos modelos de elevación digital regional y local, el ETOPO 2 (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/01mgg04.html>) y SRTM de $90\text{m} \times 90\text{m}$ respectivamente. La corrección topográfica se llevó a cabo mediante el módulo *Terrain Corrections* del programa Oasis Montaj (www.geosoft.com). Este módulo combina los algoritmos desarrollados por Kane (1962) y por Nagy (1966) obteniendo una grilla de corrección topográfica, la cual a través de una opera-

ción de muestreo le asigna el valor de la corrección a cada estación gravimétrica. Los valores de anomalía fueron regularizados con una distancia de 2000m de separación. El método de grillado empleado fue el de Mínima Curvatura (Briggs 1974). Con los valores grillados se preparó el mapa de anomalías de Bouguer correspondiente a la zona de estudio (Fig. 4).

Separación de efectos gravimétricos

Para alcanzar los objetivos del presente trabajo, se necesita separar los efectos gravimétricos de larga longitud de onda, correspondientes a fuentes profundas, aislando los más superficiales de corta longitud de onda, correspondientes a la corteza superior.

El método de Continuación Ascendente (Jacobsen 1987, Blakely 1995) consiste en calcular el campo potencial a una altura "H" sobre la superficie de medición. Este método es en realidad una transformación del campo potencial medido sobre una superficie, al campo que resultaría medido sobre otra superficie más alejada de

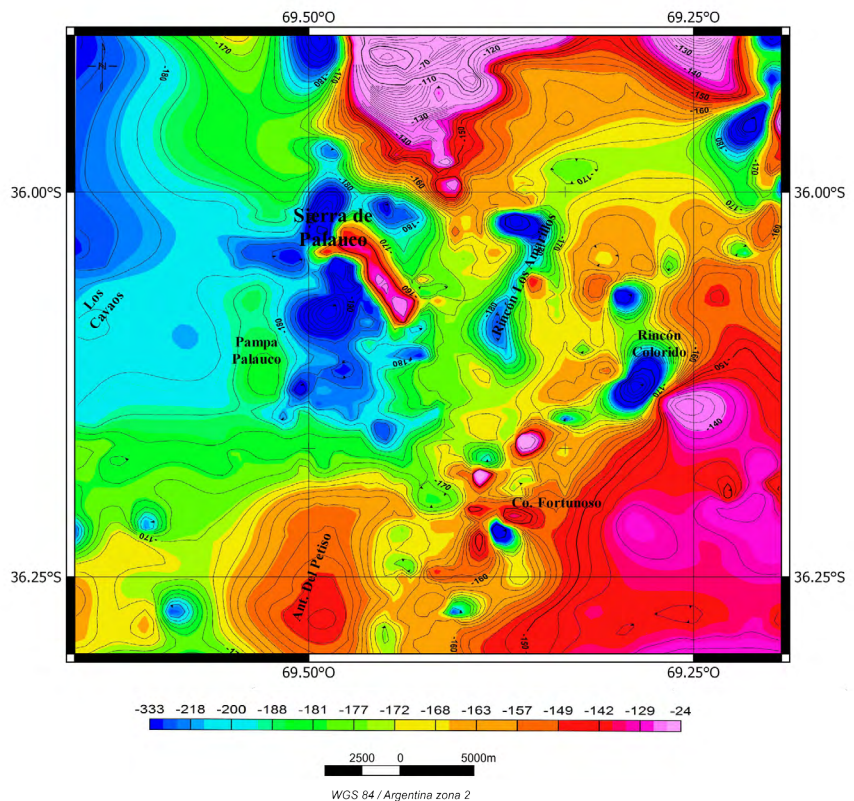


Figura 4. Carta de anomalías de Bouguer corregida por efecto topográfico. Los puntos de gravedad medidos se presentan en la figura 3.

la fuente. Esta transformación suaviza el efecto de cuerpos superficiales o de corta longitud de onda. Se probaron distintas alturas de prolongación, resultando la carta prolongada a 30 km de altura la más adecuada y representativa de los efectos de larga longitud de onda. Restando la carta de anomalía regional obtenida por prolongación ascendente a la carta de anomalía de Bouguer (Fig. 4), obtenemos la carta residual de anomalías (Fig. 5).

Inversión gravimétrica

La respuesta gravimétrica se puede calcular (Ellis 1987, Ellis *et al.* 2012) como:

$$\phi(P) = \int_{\infty}^P F ds$$

Y se puede escribir:

$$d^{obs} = G\rho$$

Dónde:

$$d^{obs} = (f_{z1}, f_{z2}, \dots, f_m), \gamma\rho = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_m);$$

Siendo ρ la densidad en g/cm^3

G es:

$$G_{ij} = \rho \int_{\Delta v_j} \frac{z - z_i}{|r - r_i|^3} dv$$

Entonces el problema inverso es estimar la densidad a partir de los datos d^{obs} y la solución se obtiene minimizando la siguiente función:

$$Q_a = \|W_a(d^{predicho} - d^{obs})\|_2^2,$$

$$W_a = diag\left(\frac{1}{\sigma_1}, \frac{1}{\sigma_2}, \dots, \frac{1}{\sigma_N}\right),$$

Siendo W_a la desviación estándar del dato observado.

Una solución numérica, al problema de modelado inverso de gravedad 3D, se obtiene dividiendo la región de origen en celdas o voxels mediante una malla ortogonal 3D y suponiendo un valor de densidad constante dentro de cada celda.

Un voxel es una extensión tridimensional de un píxel elemental. Por lo tanto, es un elemento de volumen en 3D, que tiene un solo atributo. Los bloques de datos, que tienen una dimensión horizontal y vertical,

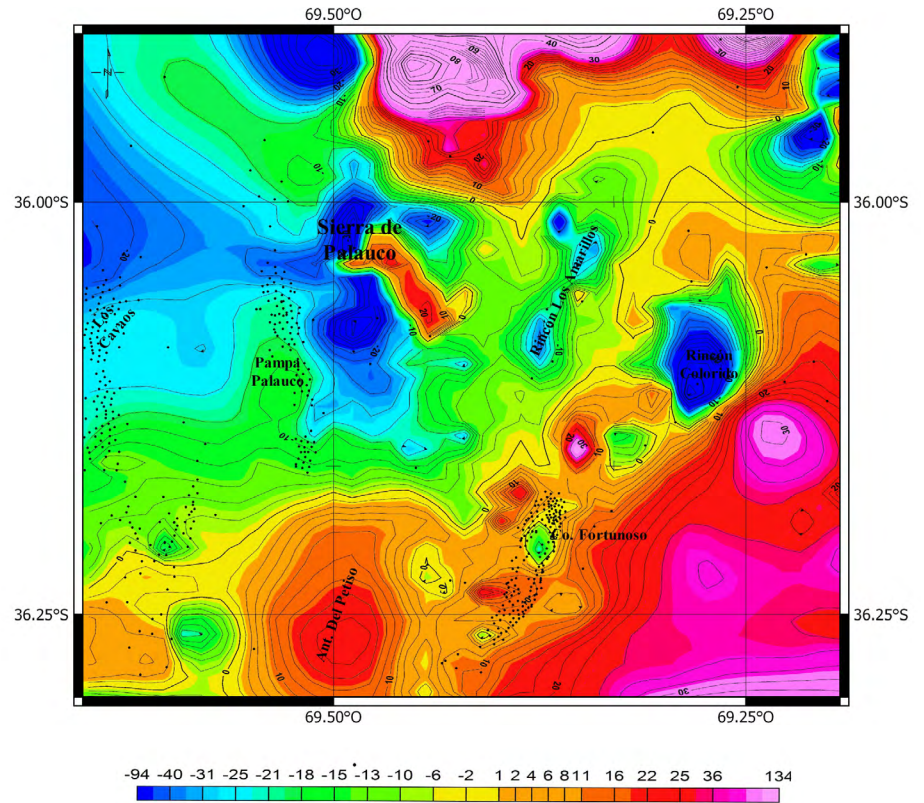


Figura 5. Carta de anomalía residual de Bouguer obtenida mediante prolongación ascendente realizada a 30 km de altura. Se indica la distribución de pozos sísmicos en la región con puntos negros.

se dividen en voxels igualmente espaciados. El objetivo es obtener un modelo mediante el uso de un método de interpolación que resulte la mejor estimación, geológicamente admisible, de los atributos de los voxels.

Modelo de corteza superior

Para el desarrollo de los modelos se utilizó un servicio de inversión geofísica denominado VOXI *Earth Modelling* de Geosoft, que brinda herramientas para generar modelos Voxel 3D a partir de datos de métodos potenciales. Para ello, a partir de los datos observados de la anomalía residual de Bouguer, se definió el modelo de inversión a través de un polígono cerrado cubriendo una área de ~ 600 km² (Figura 6). Además, fue necesario contar con una grilla topográfica de las mismas dimensiones que la grilla de anomalías de 250 x 250 celdas. La parametrización de la inversión consistió en definir el error mínimo (0,1 mGal) y elegir el número de voxels, en nuestro caso 285 x 315 x 194 voxels, que es la máxima cantidad a elegir para nuestros datos de gravedad y topo-

grafía permitidos por el programa siendo la dimensión de cada voxel de aproximadamente 80m x 80m x 38m. El proceso de ajuste de las densidades de los modelos obtenido para cada iteración se realizó en forma automática hasta alcanzar el mínimo error preestablecido. En la figura 7, se presentan los resultados de la inversión gravimétrica utilizando la técnica mencionada, obteniendo valores de densidad entre 2320 kg/m³ y 2850 kg/m³.

Resultados

La carta de anomalía de Bouguer (Fig. 4) presenta valores negativos de hasta -333 mGal, debido a la influencia negativa de la raíz andina (Introcaso *et al.* 2000). Sin embargo, dicha carta, a pesar de poseer un gradiente de pendiente negativa hacia el oeste, evidencia estructuras geológicas que provocan respuestas gravimétricas menos negativas (ej. -170 mGal en Los Cavaos) (Fig. 4), debido a su mayor densidad respecto de la densidad de referencia (2,67 g/cm³).

La anomalía residual de Bouguer obtenida (Fig. 5) responde a fuentes superficiales

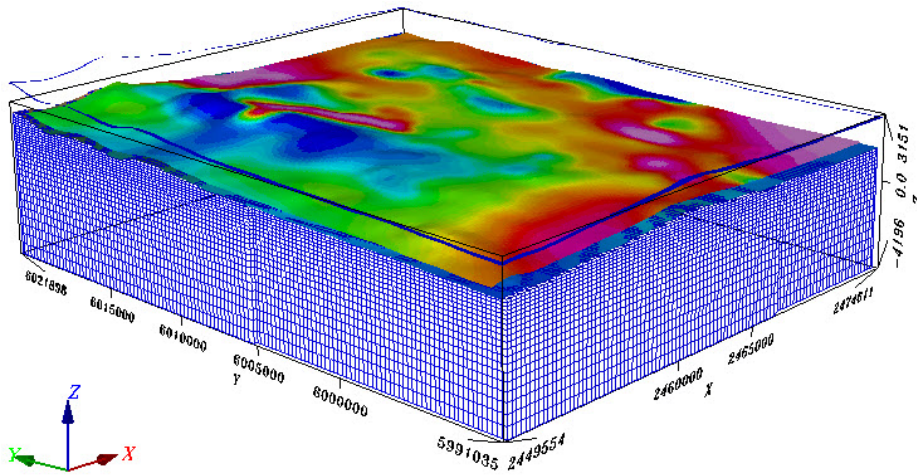


Figura 6. Se presenta el área a modelar a través de la técnica VOXI. La anomalía residual de Bouguer en la parte superior es utilizada como dato de entrada, el polígono en color azul define el área a modelar y la trama de voxels a los que se asignará las densidades durante el proceso de inversión.

ubicadas en los primeros kilómetros de corteza (Blakely 1995), con valores que varían entre -94 mGal y +134 mGal. Se destacan tanto las estructuras geológicas con efectos gravimétricos positivos, como así también las subcuencas con efectos gravimétricos negativos. Es así, que la subcuenca Palauco se sitúa al norte de la sierra de Palauco y se extiende hacia el sur y hacia el oeste, disminuyendo su profundidad hacia Los Cavaos. Esta subcuenca se ubica en sentido longitudinal y se separa de la subcuenca de Los Cavaos por un alto estructural, donde se emplaza el yacimiento Pampa Palauco. La región de Rincón-Los Amarillos, si bien tiene una topografía escarpada, presenta una respuesta gravimétrica es netamente negativa (~ -30 mGal), indicando la continuidad de sedimentos de baja densidad.

La sierra de Palauco evidencia en su borde oriental una mayor densidad ($\rho = 2850 \text{ Kg/m}^3$) que el resto de la sierra donde mayoritariamente predominan sedimentos de menor densidad (Fig. 5). Hacia el sureste de la carta anomalía residual de Bouguer, se encuentra la respuesta gravimétrica de 70 mGal que provoca el material basáltico del volcán Payún Matrú con importante radio de influencia sobre las estructuras vecinas (ej. el cerro Fortunoso).

En la figura 7a, se presenta el modelo de densidad obtenido y sobre éste el modelo de elevación digital del terreno, con una elevación máxima de 3146 m sobre el nivel del mar. En el corte realizado a los 1400 m (Fig. 7b), se observa que existe una continuidad de una depresión longitudinal desde Rincón-Los Amarillos hacia el sur, extendiéndose hasta el oeste de Payún Matrú. Se observa, en la subcuenca de Palauco, una desconexión superficial de la parte norte y sur de la subcuenca a través del núcleo rígido y denso de la sierra de Palauco. Esto se visualiza más claramente en el corte a nivel del mar (0 m) mostrado en la figura 7c. En la región del cerro Fortunoso se observa que existen dos pequeñas subcuencas separadas por un alto estructural, tipo silla de montar. Finalmente, en el corte a 4000m de profundidad, se observa la existencia de una sola subcuenca (subcuenca Palauco) que se extiende, en profundidad, en todo el sector oriental de la sierra de Palauco alcanzando el sur de dicha sierra. Por el

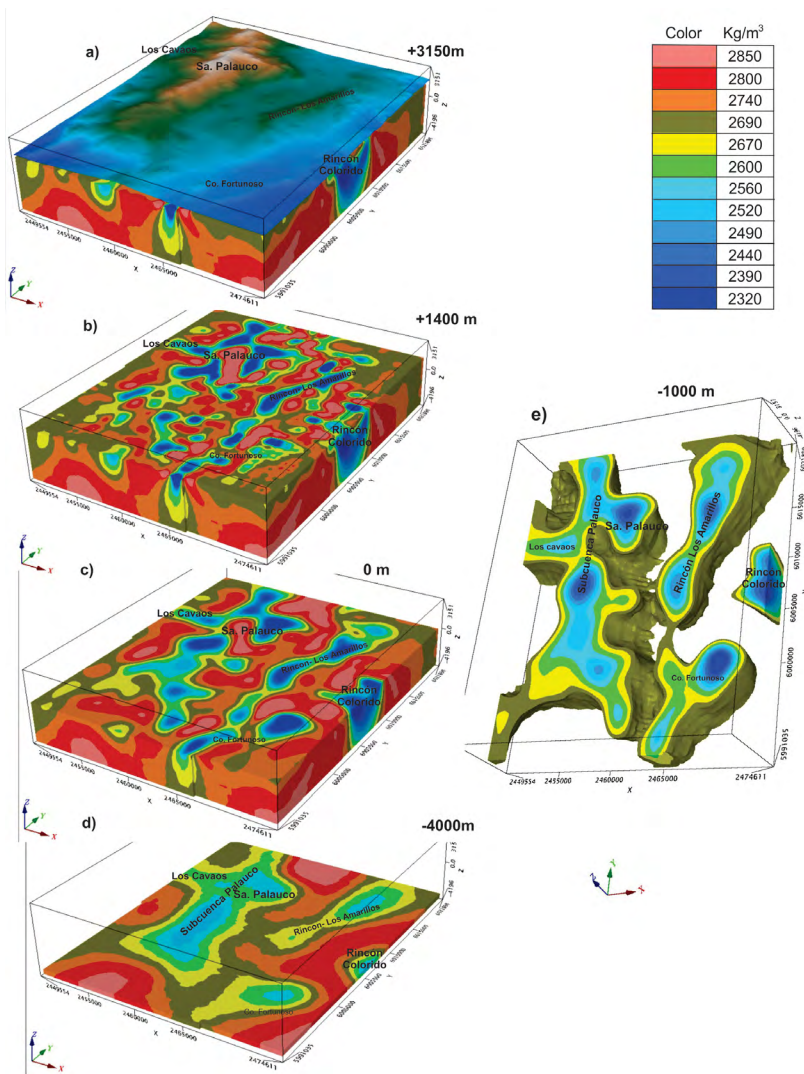


Figura 7. Modelo de inversión 3d de la anomalía residual de Bouguer utilizando la técnica VOXI. Se presentan cuatro cortes: a) +3150 m; b) +1400 m; c) 0 m; y d) -4000 m, a fin de analizar las características de las estructuras de interés; e) se muestra las zonas de baja densidad vinculadas con cuencas sedimentarias.

contrario, la subcuenca de Rincón-Los Amarillos, se trunca al norte del cerro Fortunoso, quedando este último restringido a una pequeña subcuenca circular de muy poco espesor sedimentario (Fig. 7d). En la figura 7e se ha filtrado las densidades mayores a 2670 kg/m³, a fin de observar sólo las subcuencas y su vinculación a los 1000 m de profundidad. La figura 8 muestra diferentes cortes realizados al modelo de densidad 3D a profundidades de 2000 m (Fig. 8a), 3000 m (Fig. 8b) y 4000 m (Fig. 8c). En estos cortes se puede destacar que la subcuenca Palauco situada longitudinalmente en el borde occidental de la sierra de Palauco posee densidades dentro del rango de 2320 a 2490 kg/m³. Por otro lado, para la región norte de la subcuenca Rincón Los Amarillos y para el cerro Fortunoso, los cuales desaparecen en profundidad a los ~4000 m, se obtuvieron densidades entre 2390 y 2490 kg/m³. La región centro este del área modelada presenta un relleno sedimentario de baja densidad (2320 kg/m³). El valor de densidad de relleno sedimentario de ~ 2320 kg/m³ se corresponde con el valor de densidad definido para la cubierta sedimentaria utilizado por Anci *et al.* (2016) en el modelado de corteza superior.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El área de estudio del presente trabajo se encuentra en el sector septentrional de la Cuenca Neuquina, y está ubicado al sudeste de la localidad de Malargüe, provincia de Mendoza. Los principales yacimientos en esta área lo constituyen la subcuenca de Palauco, Los Cavaos y el anticlinal Cerro Fortunoso. Con el fin de analizar las estructuras emplazadas en corteza superior, se calculó un modelo de densidad 3D, aplicando la técnica desarrollada por VOXI (*Earth Modeling from Geosoft*), a partir de la anomalía residual de Bouguer y del modelo de elevación digital del terreno (Etopo 2). Como resultado, se obtuvo un cubo de densidad variable, desde 2320 kg/m³ a 2850 kg/m³ que responde a las anomalías residuales de Bouguer calculadas y nos permite analizar el comportamiento

de las estructuras geológicas en profundidad. Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten establecer con detalle la distribución de densidades de las diferentes estructuras presentes en el área. En el modelo 3D de densidad vemos a través de los diferentes cortes en profundidad, la extensión y profundidad de las subcuencas presentes. Uno de los resultados más importantes desde el punto de vista económico es la continuidad hacia el norte del cerro Fortunoso, de depósitos sedimentarios de baja densidad (2320 kg/m³), existiendo una vinculación con la subcuenca Rincón-Los Amarillos al menos hasta los 1000 m de profundidad. Se observa, además, que la subcuenca Palauco se conecta con Los Cavaos hacia el oeste bordeando el sector norte de Pampa Palauco. Los resultados obtenidos son alentadores para extender, a nuevas áreas, la exploración de hidrocarburos.

AGRADECIMIENTOS

Los editores desean agradecer la tarea de revisión del Dr. Federico D. Esteban y un revisor anónimo.

REFERENCIAS

Anci, S., Ruiz, F., Lince Klinger, F., Leiva, F., Sánchez, M., Álvarez, O., García, H. y Acosta, G. 2014. Interpretación de las principales estructuras de la Payenia aplicando el método potencial gravimétrico. *Geoacta* 39: 11-19.

Anci, S., Ruiz, F., Lince Klinger, F., Leiva, F., García, H. y Acosta, G. 2016. Interpretación de la corteza superior a partir de métodos potenciales en la región de la Payenia y faja plegada y corrida de Malargüe. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 73: 159-172.

Bermúdez, A. 1987. Basaltos alcalinos terciarios en la Sierra de Palauco. Provincia de

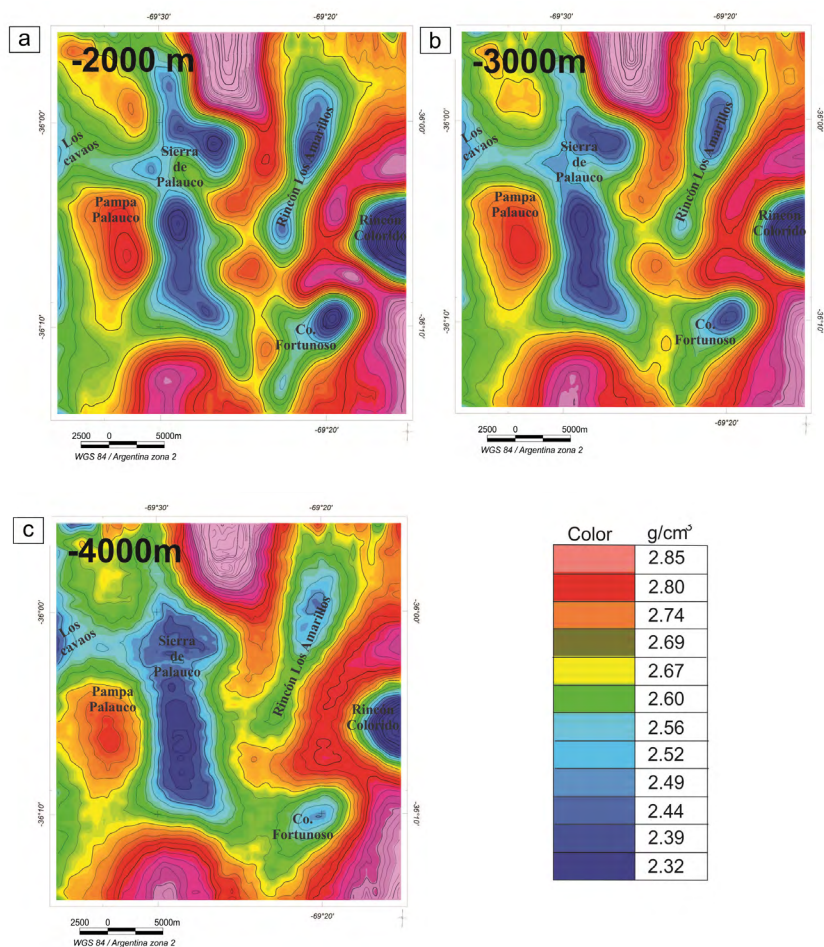


Figura 8. Vista en planta de los cortes realizados a diferentes profundidades del modelo de densidad 3D obtenido: a) 2000 m; b) 3000 m; y c) 4000 m de profundidad.

- Mendoza, Argentina. 10° Congreso Geológico Argentino (Tucumán), Actas 4: 238-342.
- Blakely, R.J. 1995. Potential theory in gravity and magnetic applications. Cambridge University Press.
- Briggs, I.C. 1974. Machine contouring using minimum curvature. *Geophysics* 39: 39-48.
- Ellis, D.V. 1987. *Well Logging for Earth Scientists*. Elsevier, 532 p., New York.
- Ellis, R.G., De Wet, B. y Macleod, I.N. 2012. Inversion of Magnetic Data from Remanent and Induced Sources. ASEG 22nd International Geophysical Conference and Exhibition Extended Abstracts.
- Fennell, L., Folguera, A., Naipauer, M., Gianni, G., Rojas Vera, E., Bottesi, G. y Ramos, V.A. 2015. Cretaceous deformation of the Southern Central Andes: synorogenic growth strata in Neuquen Group (35°30'-37°S). *Basin Research* 29: 51-72.
- Giambiagi, L., Ghiglione, M., Cristallini, E. y Bottesi, G. 2009. Kinematic models of basement /cover interactions: insights from the Malargüe fold and thrust belt, Mendoza, Argentina. *Journal of Structural Geology* 31: 1443-1457.
- Giampaoli, P., Gait, M.A. y Dzelalija, F. 2002. Análisis estructural del bloque Cerro Fortunoso: resultados y aplicación en proyectos de exploración y desarrollo. *Trabajos Técnicos del V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*: 11p., Mar del Plata.
- Heiskanen, W. y Moritz, H. 1967. *Physical Geodesy*. W. Freeman and Company, 364 p., San Francisco.
- Hildenbrand, T.G., Briesacher, A., Flanagan, G., Hinze, W.J., Hittelman, A.M., Keller, G.R., Kucks, R.P., Plouff, D., Roest, W., Seeley, J., Smith, D.A. y Webring, M. 2002. Rationale and Operational Plan to Upgrade the U.S. Gravity Database: U.S. Geological Survey Open-File Report 02-463, 12 p.
- Hinze, W.J. 2003. Bouguer reduction density, why 2.67? *Geophysics* 68: 1559-1560.
- Hinze, W.J., Aiken, C., Brozena, J., Coakley, B., Dater, D., Flanagan, G., Forsberg, R., Hildenbrand, T., Keller, G.R., Kellogg, J., Kucks, R., Li, X., Mainville, A., Morin, R., Pilkington, M., Plouff, D., Ravat, D., Roman, D., Urrutia-Fucugauchi, J., Veronneau, M., Webring, M. y Winester, D. 2005. New standards for reducing gravity data: The North American gravity database. *Geophysics* 70: J25-J32.
- Introcaso A., Pacino M.C. y Guspi F. 2000. The Andean of Argentina and Chile: crustal configuration, isostasy, shortening and tectonic features from gravity data. *Temas de Geociencia* 5: 1-31.
- Jacobsen, B.H., 1987. A case for upward continuation as a standard separation filter for potential-field maps. *Geophysics* 52: 1138-1148.
- Kane, M.F. 1962. A Comprehensive System of Terrain Corrections Using a Digital Computer. *Geophysics* 27: 455-462.
- Kozlowski, E., Cruz, C. y Rebay, G. 1985. Sierra de Palauco, Provincia de Mendoza. Estructura. YPF, (inédito), 103 p., Buenos Aires.
- Kozlowski, E., Manceda, R. y Ramos, V. 1993. Estructura. En: Ramos, V. (ed.), *Geología y Recursos Naturales de Mendoza*. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Mendoza), Relatorio: 235-256, Buenos Aires.
- Legarreta, L., Kokogíán, D. y Boggetti, D. 1985. Sierra de Palauco - Estratigrafía y estructura. Provincia de Mendoza. YPF, (inédito), 103 p, Buenos Aires.
- Llambías, E.J., Bertotto, G.W., Risso, C. y Hernando, I. 2010. El volcanismo cuaternario en el retroarco de Payenia: una revisión. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67: 278-300.
- Manceda, R. y Figueroa, D. 1995. Inversion of the Mesozoic Neuquén rift in the Malargüe fold-thrust belt, Mendoza, Argentina. En: Tankard, A.J., Suárez, R. y Welsink, H.J. (eds.), *Petroleum Basins of South America*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 369-382, Tulsa.
- Nagy, D., 1966. The Gravitational Attraction of a Right Rectangular Prism. *Geophysics* 31: 362-371.
- Ramos, V.A. 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. *Geología Argentina*. SEGEMAR, Anales 29, 41-96, Buenos Aires.
- Ramos, V.A., Litvak, V.D., Folguera, A. y Spagnuolo, M. 2014. An Andean tectonic cycle: From crustal thickening to extension in a thin crust (34-37 SL). *Geoscience Frontiers* 5: 351-367.
- Richarte, D., Lupari, M., Pesce, A., Nacif, S. y Gimenez, M. 2018. 3-D crustal-scale gravity model of the San Rafael Block and Payenia volcanic province in Mendoza, Argentina. *Geoscience Frontiers* 9: 239-248.
- Silvestro, J., Kraemer, P., Achilli, F. y Brinkworth, W. 2005. Evolución de las cuencas sinorogénicas de la Cordillera Principal entre 35°- 36° S, Malargüe. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60: 627-643.
- Silvestro, J. y Atencio, M. 2009. La cuenca cenozoica del río Grande y Palauco: edad, evolución y control estructural, faja plegada de Malargüe. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65: 154-169.

Recibido: 5 de mayo, 2018

Aceptado: 14 de noviembre, 2018