

**III ENCUENTRO DE JOVENES INVESTIGADORES**

***TITULO:***

**Evaluación del grado de balance isostático de la Cuenca Cuyana, mediante el análisis de datos de gravedad terrestre.**

***LINEA TEMÁTICA:***

**Estudios de la tierra y el espacio**

***INSTITUCION:***

**Departamento de Geofísica; Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; Universidad Nacional de San Juan.**

## INTRODUCCION

La Cuenca Cuyana comprende geográficamente las provincias de San Juan y Mendoza, extendiéndose aproximadamente entre los 31°15' y 36° de latitud sur y entre los 70° y 66°45' de longitud oeste.

Geoméricamente la cuenca Cuyana constituye una cubeta alargada de orientación norte-noroeste, presentando su sección transversal una extensión aproximada de 140 km y una superficie útil desde el punto de vista petrolero de 30.000 Km (Figura 1). Las dimensiones de la cuenca Cuyana han sido definidas en base a evidencias actuales, tanto de superficie como de subsuelo, si bien el margen oriental de la cuenca está en general bien preservado e identificado, no ocurre lo mismo con el occidental, el cual en ocasiones ha sido definido en base al límite actual de distribución de las sedimentitas triásicas (Kokogian y Mancilla, 1989).

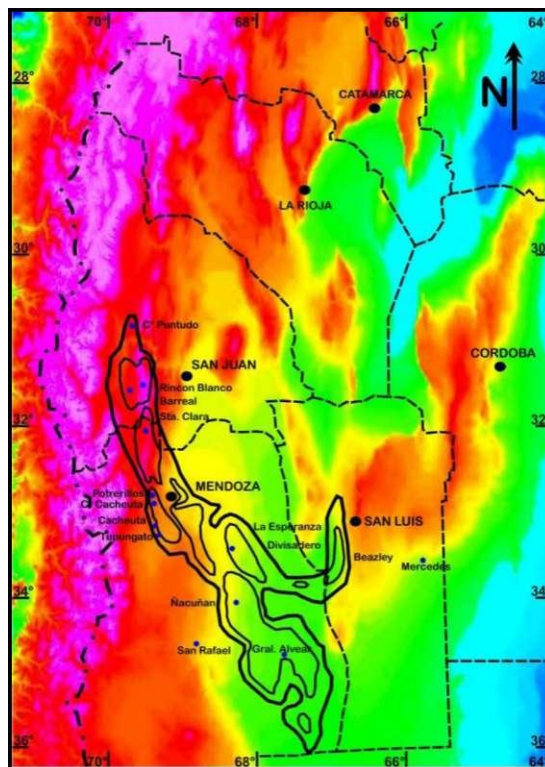


FIGURA 1: Mapa de ubicación de la Cuenca Cuyana y distribución de los distintos depocentros que constituyen las Subcuencas de Alveary Cacheuta.

Geológicamente la Cuenca Cuyana se encuentra limitada al oeste, en el sector septentrional por Cordillera Frontal, mientras que en el sector austral por el Sistema de Sierra Pintada o Bloque de San Rafael que la separa de la Cuenca Neuquina; a esta latitud el límite oriental lo integran metamorfitas y rocas ígneas del Pericratón Pampeano ( Sierras Pampeanas), y vulcanitas triásicas del Grupo Choiyoi (Bloque de

la Mahuidas), mientras que hacia el norte los depósitos se van acuñando en el ámbito precordillerano, alcanzando los afloramientos más septentrionales el flanco occidental del Cerro Puntudo.

El origen de la cuenca Cuyana se remonta al Triásico inferior, producto del conjunto de esfuerzos extensionales que provocaron el hundimiento escalonado de bloques de corteza, a través de fallas lítricas que presentarían superficies de despegue de bajo a moderado ángulo (Boll y de la Colina 1993). Durante el Cenozoico la cuenca es sometida una reactivación general como consecuencia de la Orogenia Andina, responsable de la configuración estructural actual.

El conjunto de depocentros que conforman la cuenca Cuyana han sufrido variaciones evolutivas asociadas tanto a la magnitud de la extensión que les dio origen, como a su posterior historia térmica (subsistencia y levantamiento terciarios), factores responsables de la formación de trampas estructurales y de los procesos de generación y migración de hidrocarburos en aquellos sectores de la cuenca donde las condiciones eran favorables.

Desde el punto de vista estructural la cuenca Cuyana ha sido caracterizada como un rift, relacionado con un modelo de cizalla simple ubicado como otras cuencas triásicas (Ischigualasto, Marayes, etc), en áreas cercanas al cratón y controladas por suturas de los terrenos acrecionados durante el Paleozoico (Ramos y Kay , 1991). Aproximadamente a los 34° de latitud sur un alto estructural divide la cuenca Cuyana en dos subcuencas: al norte la de Cacheuta y al sur la de Alvear; a su vez cada subcuenca se compone por un conjunto de depocentros (Kokogian et al., 1993; Spalletti, 2001; Zencich et al., 2005) de dimensiones variables, parcial o totalmente desconectados entre sí por altos intracuencales de basamento (Rolleri y Criado Roque, 1968; Kokogian y Boggetti, 1987; Uliana y Biddle, 1988; Legarreta et al., 1993).

Estratigráficamente la cuenca Cuyana se caracteriza por una sección sedimentaria que se extiende desde el Ordovícico hasta el Terciario, con la roca madre generadora de petróleo en clásticos del Triásico tardío y potenciales reservorios en clásticos del Devónico, Carbonífero, Triásico tardío, Jurásico superior y Terciario superior. Los sedimentos que rellenan la cuenca proceden de múltiples fuentes de aporte y están compuestos generalmente por la denudación de las rocas que constituyen el prerift de la misma. Es por ello que cada uno de los depocentros tiene un relleno dominado por las litologías sobre las que se asienta. En base a estudios geoquímicos

realizados por Jenchen y Rosenfeld (2002), se reconoce que los sedimentos provienen de un posible orógeno reciclado, donde se superponen tanto los depósitos volcánicos de Grupo Choiyoi como los depósitos marinos y continentales de las sedimentitas paleozoicas.

La producción comercial de hidrocarburos está limitada a los depocentros Tupungato (Kokogian et al., 1993) y Rivadavia (Zencich et al., 2005), donde la generación proviene de rocas madre de la denominada secuencia Cacheuta/Potrerillos de edad triásica para acumulaciones en reservorios que se extienden desde el Devónico hasta el Terciario. Sobre esta base, Jones et al. (1999) optaron por definir cinco sistemas petroleros en la denominada subcuenca Cacheuta (Kokogian et al., 1993), a partir de un único nivel generador (CS Cacheuta/Potrerillos) y cinco niveles de reservorio. En este trabajo, el procesamiento y análisis de datos terrestres de gravedad permite evaluar el grado de compensación isostática alcanzado por la cuenca Cuyana, a fin de predecir los potenciales movimientos verticales de la misma a futuro, pero considerando a priori que la región se encuentra actualmente bajo condiciones compresionales producto de una activa tectónica andina.

## **FUNDAMENTACION Y METODOLOGÍA**

El presente trabajo tiene como objetivo alcanzar un mejor conocimiento de las estructuras que conforman el subsuelo de la cuenca Cuyana, proporcionando a su vez un mayor entendimiento del modelo de corteza propuesto para esta región. La posterior evaluación e interpretación geofísico-geológica de los datos de gravedad terrestre medidos brindará para el área de estudio información de gran utilidad tanto en la exploración como en el desarrollo de aquellos sectores productores de hidrocarburos (subcuenca Cacheuta); contribuyendo a su vez a la realización de una mejor interpretación geológico-estructural de aquellos sectores no productivos (subcuenca Alvear).

La evaluación del grado de compensación isostática alcanzado por la región permite llevar a cabo una diferenciación entre ambientes con diferente comportamiento geotectónico, regiones de subducción normal caracterizadas por el desarrollo de ambientes volcánicos y regiones de subducción subhorizontal donde la actividad sísmica cortical es predominante. El reconocimiento de diferentes niveles de actividad sísmica, tiene interés, además en la evaluación del grado de riesgo al que se encontraría sometida la zona, ya que existe una estrecha relación entre las estructuras

definidas y reconocidas en subsuelo en el presente trabajo y la localización de los eventos sísmicos superficiales, muchos de ellos en ocasiones de magnitudes destructivas como el terremoto de Mendoza de 1861 considerado uno de los más desastrosos del siglo XIX, o el más reciente del 26 de enero de 1985 con epicentro en la subcuenca de Cacheuta.

Para el desarrollo del presente trabajo, el área bajo estudio fue cubierta por una extensa base de datos, constituida por 16.333 valores de gravedad, los cuales provienen de dos fuentes diferentes: una primer fuente constituida por 13.833 datos, (equidistancia entre datos de aproximadamente 800 metros), denominada Cuyana\_Gravity\_Arg y una segunda fuente constituida por 2.500 datos, (equidistancia entre datos de 3000 metros) designada bajo el nombre Cuyana\_Gravity\_Arg\_Ch. El conjunto de datos de gravedad fue proporcionado por el Area Geodinámica perteneciente a la Universidad Nacional de Rosario. Inicialmente el procesamiento de los datos correspondientes a ambas grillas fue realizado por separado, calculándose para cada una de ellas sus correspondientes reducciones gravimétricas y topográficas.

A partir del procesamiento de los datos de gravedad, se construyeron mapas de anomalía de aire libre, Bouguer y Bouguer completa. Se confeccionaron además mapas de profundidad de basamento, profundidad de interfaz corteza inferior - manto superior y de espesores sedimentarios

Se evaluó además, mediante un modelo hidrostático de compensación local (en la hipótesis de Airy) el grado de compensación isostática en el que se encuentra la región. Para ello, fue necesario el cálculo del moho Hidrostático considerando el efecto gravimétrico que las raíces y anti-raíces predictivas producirían. Para ello se asumió una corteza normal de 35 km y un contraste de densidad corteza-manto superior de  $0,4 \text{ g/cm}^3$ .

## ANOMALÍAS ISOSTÁTICAS

El análisis de las anomalías isostáticas nos permite conocer entre otros aspectos, el estado de equilibrio hidrostático en el que se encuentra una determinada zona de interés. La evaluación del estado isostático se realiza considerando a la corteza como una capa ideal de estratos planos, paralelos y homogéneos. Las diferencias entre dicha corteza y las predichas según un modelo ideal se denominan *anomalías en la distribución de masas*. En el caso particular de las anomalías isostáticas, las diferencias entre las anomalías de Bouguer observadas en una determinada zona de estudio y las predichas según un modelo ideal de compensación nos permitirán realizar predicciones acerca del estado de equilibrio tectónico de dicha región. A fin de predecir el comportamiento isostático en la zona de la cuenca Cuyana se normalizó la corteza superior, es decir que se corrigió la anomalía de Bouguer completa por el efecto gravimétrico generado tanto por los sedimentos que rellenan la cuenca como por la raíz andina.

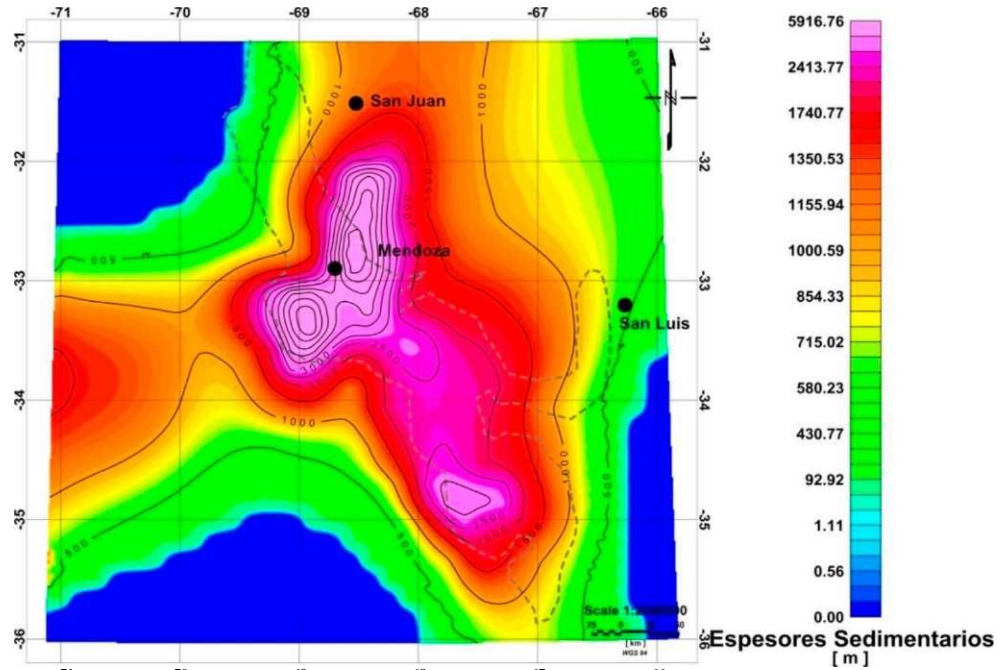
El efecto gravimétrico de los sedimentos que rellenan la cuenca fue calculado a partir de la distribución de los espesores sedimentarios a lo largo de toda la cubeta, derivados del mapa isobatas de basamento determinado mediante sísmica de reflexión (datos YPF).

En la figura 2 se muestra el mapa de espesores sedimentarios, en el que puede observarse los mayores espesores en coincidencia con los principales depocentros de la cuenca Cuyana; la cubeta sedimentaria alcanza espesores de más de 5000 metros en el sector de Subcuenca Cacheuta, mientras que hacia el sector de Subcuenca Alvear los espesores sedimentarios decrecen hasta valores próximos a los 3000 metros.

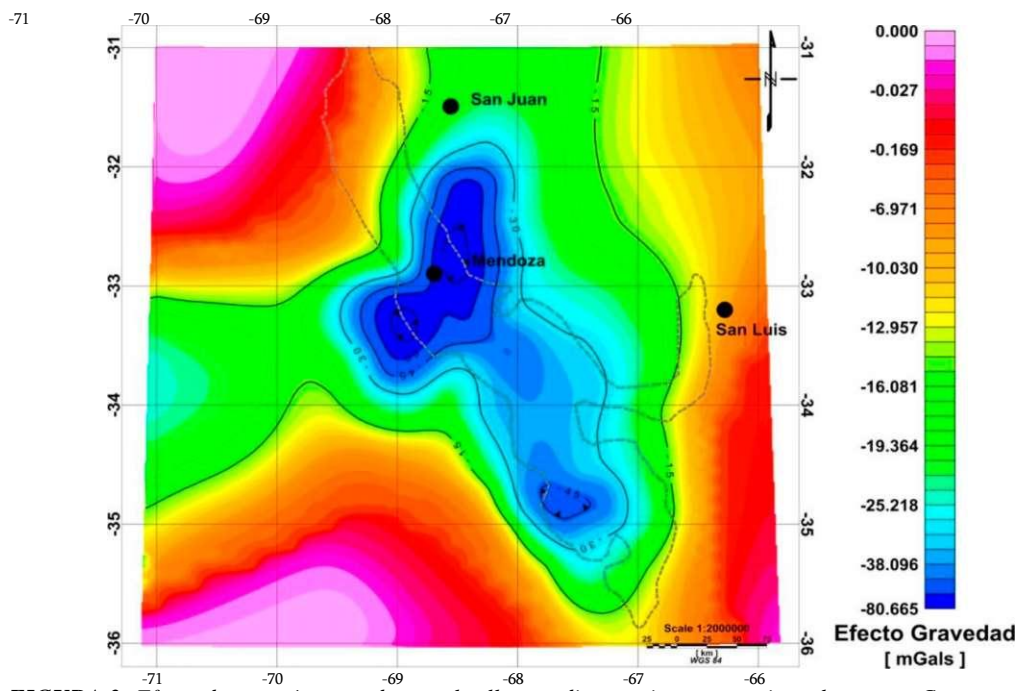
Una vez conocida la profundidad alcanzada por el relleno sedimentarios a lo largo de toda la extensión de la cuenca cuyana se calculó el efecto gravimétrico generado por los mismos, suponiendo un valor de densidad de contraste  $-0,38 \text{ gr/cm}^3$  resultante de la diferencia entre la densidad de sedimento  $2,32 \text{ gr/cm}^3$  y la densidad de basamento de cuenca  $2,70 \text{ gr/cm}^3$ . Los valores de densidad considerados fueron determinados a partir de las velocidades sísmicas (sísmica de refracción, datos YPF) y las curvas velocidad-densidad de Nafe-Drake.

En la figura 3 se muestra el efecto de gravedad generado por el relleno sedimentario. Se observa una correlación directa entre los sectores de mayores espesores

sedimentarios con las regiones en la que el efecto de gravedad alcanzan los mínimos negativos como en el caso del sector de Subcuenca Cacheuta donde los valores oscilan entre -60 mGal a -80 mGal, mientras que en el sector de Subcuenca Alvear los valores son próximos a los -45 mGal.



**FIGURA 2:** Mapa de espesores sedimentarios de la cuenca Cuyana. Se observa que los mayores valores coinciden con las subcuencas de Cacheuta y Alvear.



**FIGURA 3:** Efecto de graveé generado por el relleno sedimentario que constituye la cuenca Cuyana.

De acuerdo a las teorías isostáticas, el defecto de densidad en superficie (atribuido al relleno sedimentario) sería compensado por excesos de densidad en el subsuelo. Esto implicaría que en la hipótesis de Airy debería existir en profundidad una antiraíz de espesor "h", cuyo efecto gravimétrico cual deberá ser removido de la anomalía de Bouguer Completa para lograr la normalización completa de la corteza. Si a la carta de anomalías de Bouguer Completa le restamos el efecto de gravedad generado por el relleno sedimentario se obtiene la carta de anomalía de Bouguer corregida por efecto del relleno sedimentario (Figura 4), la cual exhibe la respuesta gravimétrica pura que generan todas aquellas masas situadas por debajo de la cubeta sedimentaria.

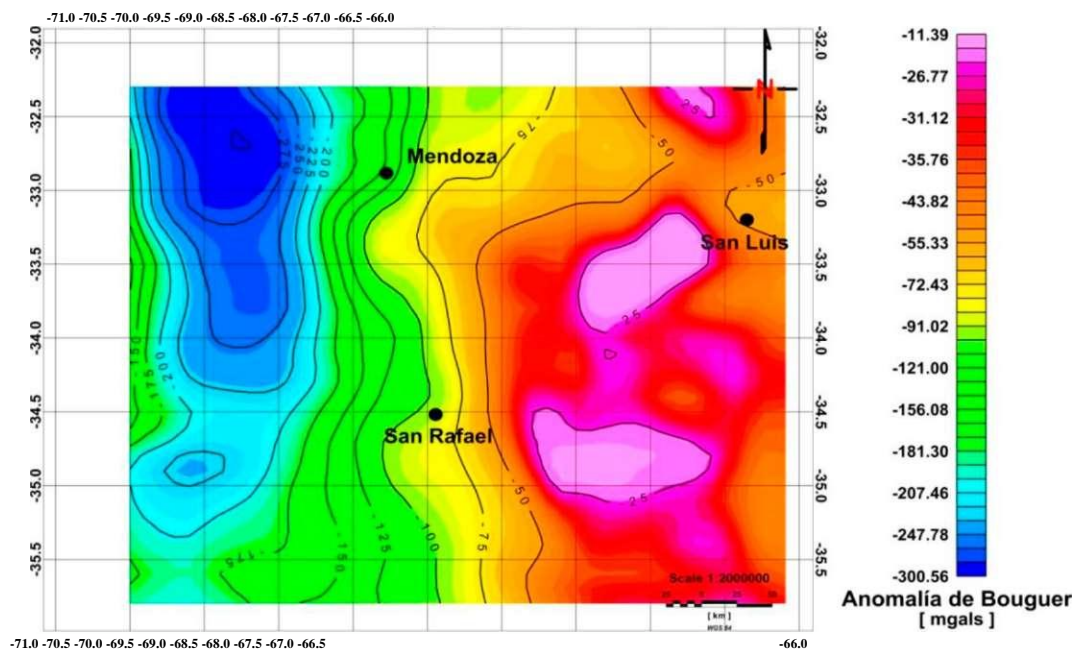
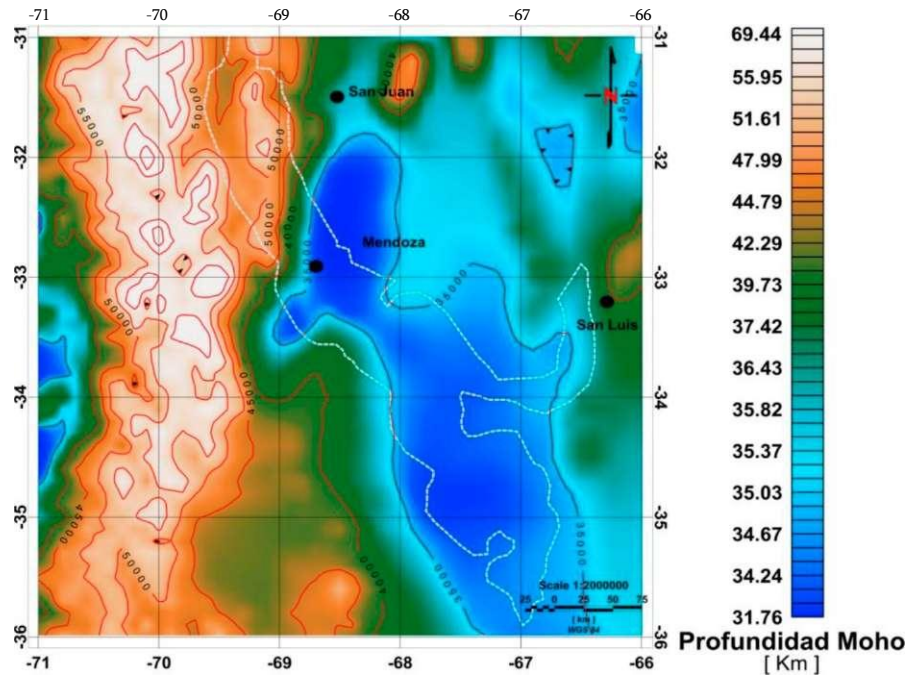


FIGURA 4: Carta de anomalías de Bouguer corregida por efecto gravimétrico del relleno sedimentario.

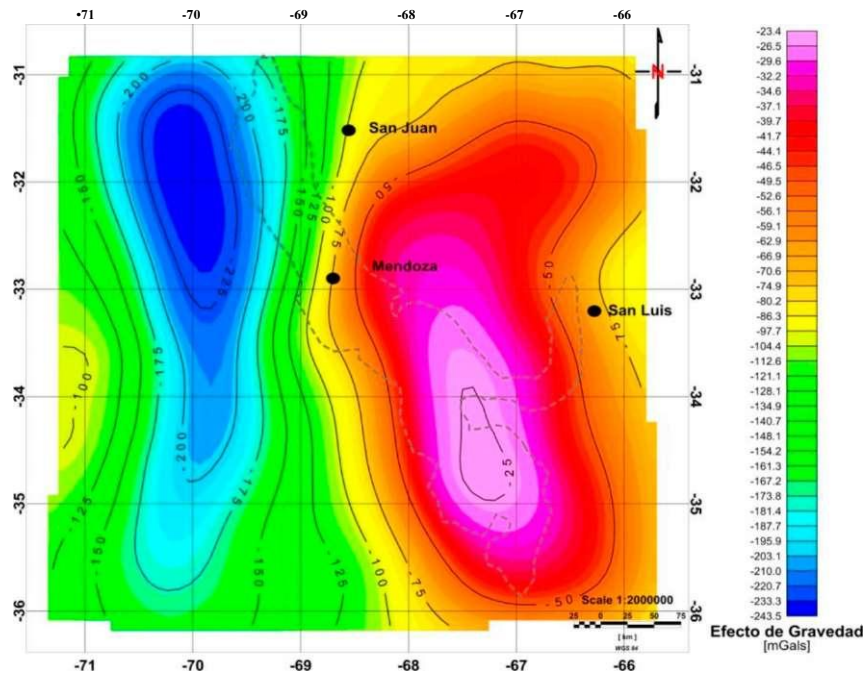
El siguiente paso en el análisis consiste en calcular el efecto de gravedad que genera la raíz andina, teniendo en cuenta la relación existente entre los rasgos topográficos y las anomalías de Bouguer,. Se supone entonces la existencia de una raíz isostática "AR" la cual compensaría a través de un defecto de densidad los excesos generados por las masas topográficas, suponiendo compensación en el sistema de Airy. En el cálculo se consideraron los siguientes parámetros: se asignó un valor de densidad de contraste corteza- manto superior de  $0,4 \text{ gr/cm}^3$  resultante de la diferencia entre una densidad de corteza de  $2,7 \text{ gr/cm}^3$  y una densidad de manto de  $2,3 \text{ gr/cm}^3$ ; y un espesor de corteza de referencia de 33 km (Introcaso. et al.. 1992).



Una vez obtenida la profundidad de moho hidrostático se corrigió por la antirraíz predictiva (Figura 5) generada por ajuste isostático en el sector de cuenca. Posteriormente se calculó el efecto de gravedad 3D para la profundidad de moho corregido por antirraíz (Figura 6).



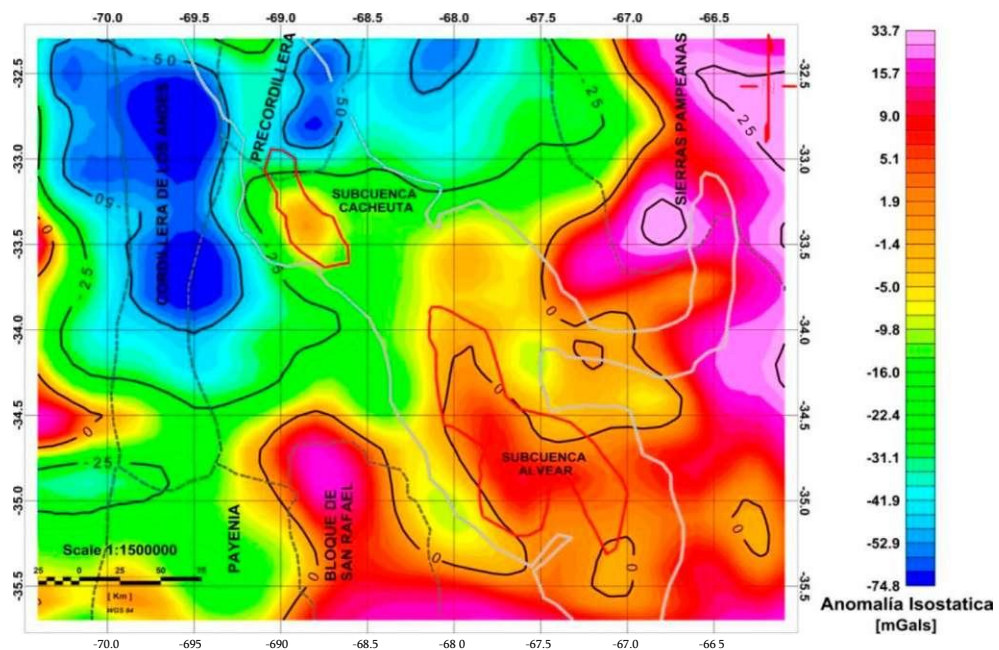
**Figura 5:** Mapa de profundidad de moho hidrostático corregido por antirraíz de cuenca.



**FIGURA 6:** Efecto de gravedad calculado a partir de la profundidad de moho hidrostático corregido por antirraíz.

Finalmente se obtuvo la residual isostática (figura 7 ) descontando de las anomalías de Bouguer de figura 4 el efecto de gravedad de figura 6. En el mapa de anomalía residual isostática es posible identificar y diferenciar, en función de la respuesta isostática, las distintas unidades morfoestructurales que se encuentran limitando a la cuenca Cuyana: al oeste y coincidente con los mínimos valores de anomalía isostática, de -50 a -70 mGal, se desarrollan las unidades de Cordillera y Precordillera; hacia el sur y tomando valores de anomalía que varían entre los 0 mGal y los 15 mGal se emplaza el Bloque de San Rafael, mientras que hacia el sector oriental, la unidad de Sierras Pampeanas alcanza valores de anomalía isostática mayores a 25 mGal.

La evaluación de este mapa también permite reconocer diferencias en el grado de compensación isostática alcanzado por los principales depocentros que constituyen la cuenca Cuyana. Hacia el sector de la subcuenca Cacheuta las anomalías isostáticas son negativas tomando valores entre -5 y -30 mGal, los cuales serían indicativos de un estado de subcompensación para esta región de la cuenca. Por otro lado, hacia el sector de la subcuenca Alvear las anomalías son nulas o ligeramente positivas alcanzando valores máximos de 8 mGal, hecho que sugeriría que la región se encontraría en aproximadamente en equilibrio hidrostático a nivel de fondo de corteza.



**FIGURA 7:** Mapa de anomalía residual isostática obtenida para la región de la Cuenca Cuyana; en línea de trazo gris oscura se indican los límites de las distintas unidades morfoestructurales, en línea punteada gris clara los límites de afloramientos de la cuenca Cuyana, en línea de trazo continuo rojo los límites de los depocentros Cacheuta y Alvear.

## **DISCUSION Y CONCLUSIONES**

La diferenciación observada en el grado de compensación isostática alcanzado por las subcuencas Cacheuta y Alvear, las cuales como ya mencionáramos se encuentran desconectadas entre sí por un alto estructural aproximadamente a los 34° de latitud sur, podría relacionarse con la tectónica prevaleciente: mientras que la subcuenca Alvear se encuentra más alejada de la región tectónicamente activa y podría haberse reacomodado para alcanzar el balance isostático, la subcuenca Cacheuta se encuentra muy próxima a la zona de influencia cordillerana y sometida a esfuerzos compresionales producto de la interacción entre la placa Sudamericana y la Placa de Nazca. Esto último se evidencia, por ejemplo, por el conjunto de sistemas de fallas y fallas activas que se desarrollan a lo largo del frente orogénico norte hasta aproximadamente los 34° de latitud sur.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Boll, A. y de la Colina, J., 1993. Armazón estratigráfico del Triásico- Jurásico en Atamisqui-Cuenca Cuyana-Mendoza. Actas XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Acta I: 33-40, Mendoza. Jenchen, U. y Rosenfeld, U., 2002, Continental Triassic in Argentina: response to tectonic activity, Journal of South American Earth Sciences, v. 15, p. 461-479. Jones, D., D. Kokogian, G. Barzola y A. Ortiz, 1999, Sistemas Petroleros de la Cuenca Cuyana, IV Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Actas I, p. 127-143.

Kokogian, D. y D. Boggetti, 1987, Reconocimiento de las formaciones Barrancas y Punta de las Bardas en la zona de Paramillos de Uspallata, Provincia de Mendoza, Argentina, X Congreso Geológico Argentino (San Miguel de Tucumán), Actas III, p. 131-134.

Kokogian, D. y O. Mancilla, 1989, Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Cuyana Secuencias deposicionales continentales, en G.A. Chebli y L. A. Spalletti, eds., Cuencas Sedimentarias Argentinas, Serie de Correlación Geológica 6 (San Miguel de Tucumán), p. 169-201.

Kokogian, D., F. Fernández Seveso y A. Mosquera, 1993, Las Secuencias Sedimentarias Triásicas, en V. A. Ramos, ed., Relatorio y Recursos Naturales de

Mendoza: XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Mendoza), p. 65-78.

Legarreta, L., C. Gulisano y M. Uliana, 1993, Las secuencias sedimentarias Jurásico-Cretácicas, en V. A. Ramos, ed. Relatorio y Recursos Naturales de Mendoza, XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Mendoza), p. 87-114.

Legarreta, L., D. A. Kokogian, y D. Dellape, 1993. Estructuración Terciaria de la Cuenca Cuyana. Cuánto de inversión tectónica?. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 47(1): 83-86.

Nafe, J. E., C. L. Drake, 1959. En: Talwani, M., G. H. Sutton & J. L. Worzel: A crustal section across the Puerto Rico trench. Journal of Geophysical Research, 64 (10): 1547-1555

Ramos, V. A. y S. M. Kay, 1991, Triassic rifting and associated basalts in the Cuyo Basin, Central Argentina, en R. S. Harmon y C. W. Rapela, eds., Andean magmatism and its tectonic setting, Geological Society of America, SP 265, p. 79-91.

Ramos, V., 1992. Control geotectónico de las cuencas triásicas de Cuyo. Boletín de Informaciones Petroleras. Tercera Época. Año IX, N° 31, pp. 2-9.

Rolleri, E. O. y P. Criado Roque, 1968, La cuenca triásica del norte de Mendoza: III Jornadas Geológicas Argentina (Comodoro Rivadavia), Actas 1, p. 1-76.

Spalletti, L. A., 2001, Evolución de las cuencas sedimentarias, en Artabe, A. E., E. M. Morel y A. B. Zamuner, eds., El Sistema Triásico en la Argentina, Fundación Museo de La Plata "Francisco Pascasio Moreno", La Plata, p. 81-101.

Uliana, M. A. y K. Biddle, 1988, Mesozoic-Cenozoic paleogeographic and geodynamic evolution of southern South America, Revista Brasileira de Geociencias, 18, p. 172-190.

Zencich, S., R. Calegari, J. C. Scolari, J. Posse, G. Gómez, D. Boggetti y R. Manceda, 2005, Trampas de hidrocarburos de la Cuenca Cuyana. Simposio Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas Productivas de Argentina: VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, p. 93-110.