

SERIE
CONTRIBUCIONES
TECNICAS

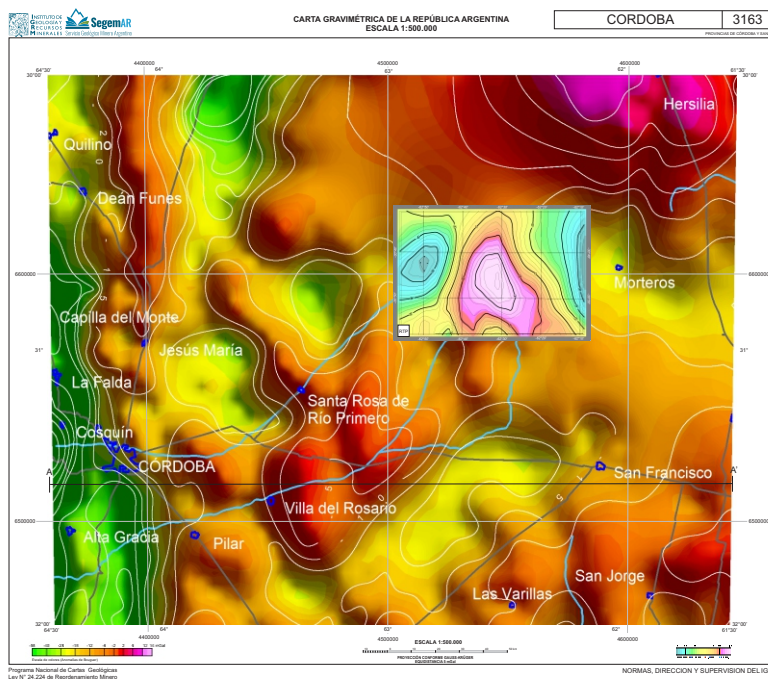
Geofísica

17



*Carta Gravimétrica
3163 - CORDOBA
(escala 1:500.000).
Interpretación de una sección
gravimétrica a los 31°31'LS*

Gustavo A. Ramé
Daniel E. Vargas
Juan C. Candiani
Elio E. Barat
José J. Benitez
Ana Felisa Tavitián Serrano



Córdoba, Noviembre de 2019

Contenido

<u>INTRODUCCIÓN</u>	2
<u>METODOLOGÍA</u>	3
<u>Planialtimetría de las estaciones</u>	4
<u>Relevamiento de la gravedad observada $g_{(obs)}$</u>	5
<u>Relevamiento de la intensidad de campo magnético total (TMI) en el espejo de agua de la laguna Mar Chiquita</u>	6
<u>Regularización de los datos</u>	7
<u>INTERPRETACIÓN DE UNA SECCIÓN GRAVIMÉTRICA A LOS 31°31' LS (Perfil A-A')</u>	13
<u>REFERENCIAS BIBLIGRÁFICAS CITADAS EN EL TEXTO</u>	16

INTRODUCCIÓN

La Carta Gravimétrica 3163 – CORDOBA (escala 1:500.000) se desarrolló en el marco del proyecto Cartas Gravimétricas de la República Argentina. Se ubica en el ámbito de la llanura chaco-pampeana de las provincias de Córdoba y parte centro-oeste de Santa Fe. El sector occidental de la carta (al oeste de la Ciudad de Córdoba) está dominado por serranías y corresponde al sector oriental de la Sierra Chica de Córdoba y la porción sur de la Sierra Norte dominada principalmente por los afloramientos del basamento cristalino. La escorrentía superficial en general y debido al resalto topográfico, es de oeste a este en el sector serrano con derivación luego al noreste en la parte de la llanura. Los ríos Primero (Suquía) y Segundo (Xanaes) son los cursos de agua de mayor jerarquía e importancia de la región. También abarca en su totalidad a la laguna Mar Chiquita ubicada en la parte centro-norte de la carta. Las localidades más importantes son la ciudad Capital de Córdoba, San Francisco, Alta Gracia, Río Primero, Jesús María, Villa del Totoral, Dean Funes, Pilar, La Puerta, Miramar, Las Varillas y Morteros en la Provincia de Córdoba; mientras que en la Provincia de Santa Fe se destacan las localidades de Sunchales y Villa Trinidad entre otras. Las mayores altitudes (1784 msnm) se encuentran en el sector serrano hacia el este del cerro Uritorco (ubicado fuera de los límites de la carta), ver [figura 1](#), localización. Los afloramientos del basamento cristalino están compuestos por una serie de complejos ígneo-metamórficos de génesis y edades diferentes, parte de ellos fueron descritos en las hoja geológica 20i del Mapa Geológico de Argentina ([Pastore, 1932](#)) en donde el autor hace una descripción de las distintas litologías presentes en el área serrana y que sirvieron como base para trabajos posteriores; la Hoja 3163-I (Jesús María a escala 1:250.000; [Candiani et al., 2010](#)); la Carta de Minerales Industriales, Rocas y Gemas 3163-III Córdoba ([Gaido y Sapp, 2015](#)); la Hoja Geológica 3163-III Córdoba que se encuentra en la etapa de revisión y edición; así como también los numerosos trabajos científicos realizados por distintos grupos de investigación en el ámbito de las Sierras Pampeanas Orientales de Córdoba. Hacia el este de las sierras se extiende una zona de piedemonte transicional que se continúa con el desarrollo de la llanura Pampeana propiamente dicha. Desde el punto de vista geotectónico, el sector de la Carta se encuentra en la transición entre unidades pertenecientes al Orógeno Pampeano (OP) aflorantes en todo el ámbito de la Sierra Chica de Córdoba y el Cratón del Río de la Plata (CRP) no aflorante que sirve de sustrato para la secuencia sedimentaria de la llanura chaco-pampeana ([Ramos, 1988](#); [Ramos y Vujovich, 1993](#); [Dalziel, 1997](#); [Escayola y Kraemer, 2003](#); [Rapela et al., 2007](#); [Schwartz et al., 2008](#)). El hecho de que la zona de contacto no se encuentra expuesta y que la información de subsuelo es escasa ha dado lugar a que se propongan modelos de variada incertidumbre en cuanto al tiempo y a la forma del contacto entre ambas unidades geotectónicas.

Desde el punto de vista geofísico, la información gravimétrica de base fue obtenida a través de un convenio entre el SEGEMAR y el IGN (Instituto Geográfico Nacional). Ésta consiste en líneas gravimétricas medidas a lo largo de rutas nacionales y provinciales con equidistancia de aproximadamente 3 a 5 km y que forman parte de la denominada Red Gravimétrica de

Segundo Orden (RSO). Estas líneas confluyen en puntos denominados nodales y que pertenecen a la Red de Primer Orden (RPO). Esta red de estaciones de IGN han servido de base para el traslado de la gravedad observada cubriendo toda la zona de la carta en forma areal utilizando las rutas nacionales, provinciales y la red de caminos rurales de la región. En ocasiones, estos caminos se encontraron cerrados o clausurados por lo que fue necesario pedir autorización a los propietarios de campos para poder ingresar a medir.

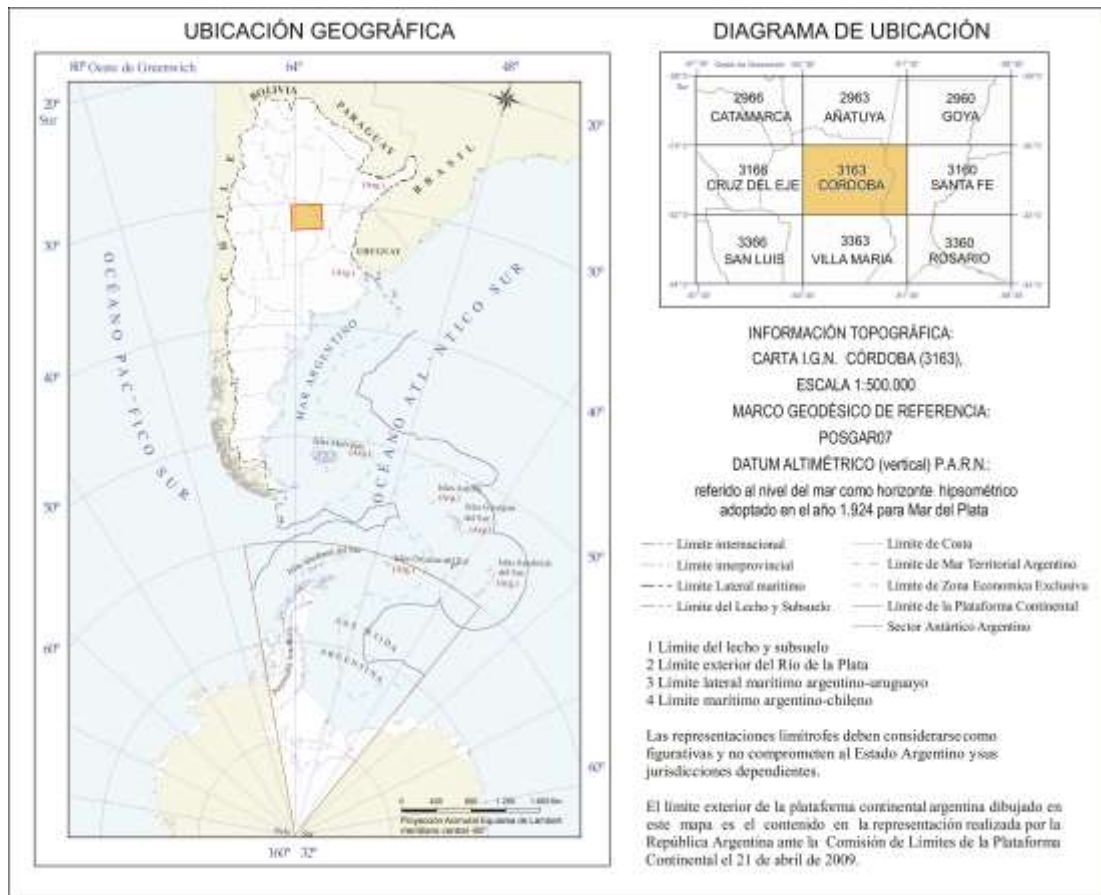


Figura 1: Mapa de ubicación geográfica y diagrama de localización de la carta.

METODOLOGÍA

Se relevaron gravimétrica y plani-altimétricamente 1872 estaciones distribuidas en el área de la carta a una equidistancia entre 5 y 7 km. Para su localización se utilizó la red de rutas nacionales, provinciales y caminos rurales disponible en la zona de la hoja. En aquellas estaciones ubicadas dentro de propiedad privada se solicitaron los permisos necesarios para poder realizar las mediciones. A través del convenio con el Instituto Geográfico Nacional (IGN) fueron incorporadas además 454 estaciones de la red gravimétrica de segundo orden del IGN (RSO) existentes en la zona y los nodales 149, 150, 151, 154, 160 y 235 de la red de primer orden (RPO). En total la carta cuenta con 2332 estaciones gravimétricas ([figura 2](#)).

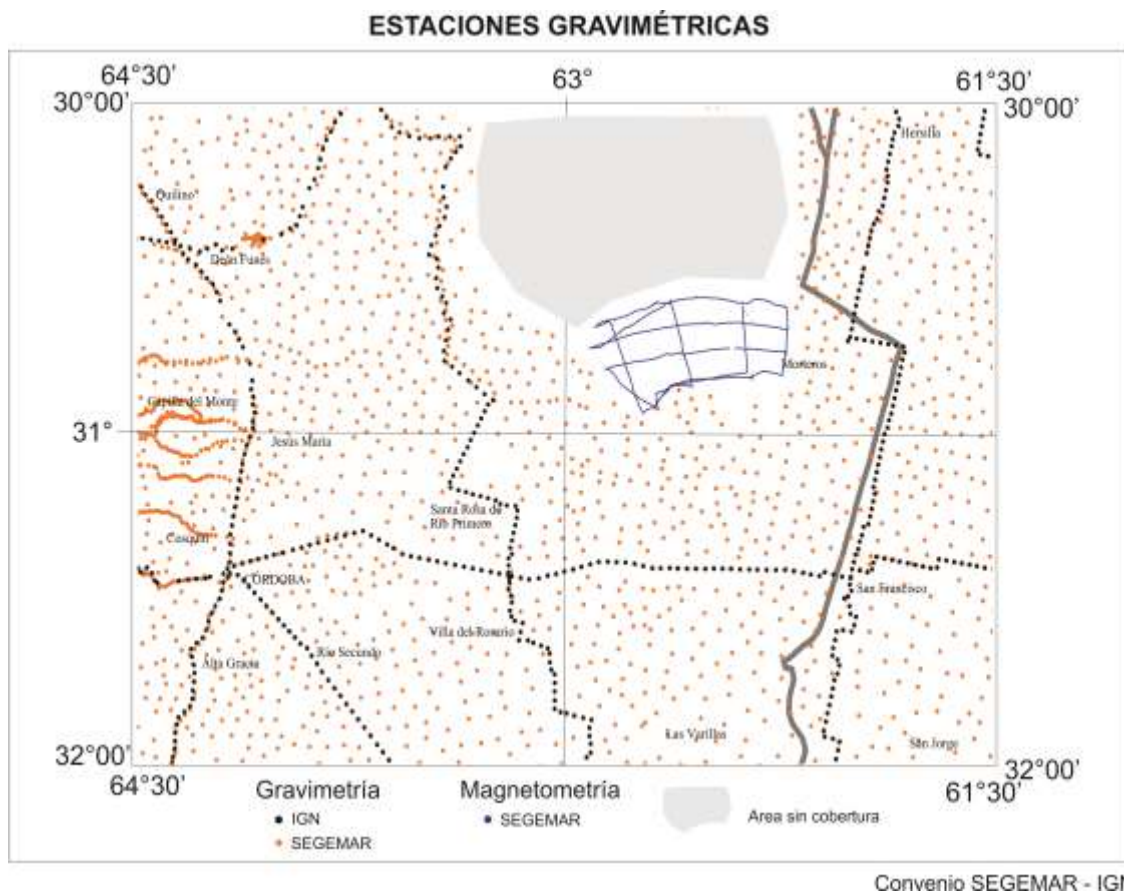


Figura 2: Distribución de estaciones gravimétricas.

Planialtimetría de las estaciones gravimétricas

La posición de las estaciones se realizó utilizando un GPS TRIMBLE PRO-XRT de doble frecuencia (L1,L2) propiedad del SEGEMAR. La técnica de relevamiento usada fue GPS diferencial (método estático rápido). Este método consistió en medir en cada estación de observación la posición por un período que osciló entre 2 y 4 minutos. Posteriormente estos datos fueron procesados mediante el software Pathfinder (V4.20) de TRIMBLE con la finalidad de efectuar la corrección diferencial utilizando los datos de las bases permanentes de la red RAMSAC del IGN (bases Córdoba, San Luis) y una base de la red SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center de la Universidad de California) ubicada en Falda del Carmen, provincia de Córdoba y cuya finalidad fue obtener resultados con precisiones en la planimetría de 0,2 m y en la altura inferiores a 0,5 m. El error planimétrico no introduce errores en el cálculo de las anomalías gravimétricas, mientras que el error altimétrico se traslada al cálculo de las mismas según la relación $0.3086 \cdot h$ para la anomalía de aire libre (AAL) y $0.1118 \cdot h$ para la anomalía de Bouguer (AB), por lo que el error máximo observado fue de 0.19 mGal siendo el error medio de 0.1 mGal.

Relevamiento de la gravedad observada $g_{(obs)}$

La $g_{(obs)}$ se obtuvo mediante un gravímetro de mediciones relativas marca SODIN 200T perteneciente al SEGEMAR y cuya precisión es al centésimo de mGal.

La metodología para el cálculo de la $g_{(obs)}$ consistió en trasladar el valor gravedad a partir de estaciones con valor conocido (nodales y puntos fijos del IGN) a las estaciones de medición mediante incrementos de los valores relativos. Se utilizó el método de lectura en circuitos, con puntos de arranque y cierre, a fin de corregir la deriva instrumental. En cada estación de medición se efectuaron 3 lecturas instrumentales tomando como regla que la diferencia entre las mismas no superara las 0,5 divisiones y así obtener un valor promediado más confiable. Con esta metodología el error máximo obtenido debido a la lectura instrumental, sumado al error de posicionamiento, fue inferior a 0,22 mGal.

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 gravimétricas se efectuó según las expresiones clásicas:

$$AAL = g_{(obs)} - (g_0 - CAL), (1)$$

$$AB = g_{(obs)} - (g_0 - CAL + CB), (2)$$

donde:

AAL: Anomalía de aire libre,

AB: Anomalía de Bouguer,

$g_{(obs)}$: Gravedad Observada (Sistema IGSN, 1971)

g_0 : Gravedad Teórica Normal para el Elipsoide de 1967 o prácticamente de 1971, cuya expresión es:

$$g_0 \text{ [mGal]} = 978031,85 (1 + 0,0053024 \text{ sen}^2 \gamma - 0,0000058 \text{ sen}^2 2\gamma), (3)$$

CAL: Corrección de Aire Libre,

CB: Corrección de Bouguer,

Para la Corrección de Aire Libre se adoptó la expresión propuesta por [Swick \(1942\)](#), válida para zonas llanas y elevadas, asimilando a la Tierra a un elipsoide:

$CAL = (0,3085 + 0,00022 \cdot \cos^2 \gamma) \cdot h - 0,072 \cdot (h/1000)^2 = 0,3086 \cdot h$ (4). Para la corrección de Bouguer se asumió como es usual la densidad de la topografía igual a $2,67 \text{ g/cm}^3$

$$CB = 0,1118 \cdot h (5)$$

En (4) y (5): h es la altura ortométrica o cota de la estación y en (3) y (4), "γ" es su latitud.

Relevamiento de la intensidad de campo magnético total (TMI) en el espejo de agua de la laguna Mar Chiquita

La carta gravimétrica 3163-CÓRDOBA tiene una superficie total de aproximadamente 63595 km². Dentro del sector de la carta se ubica la laguna Mar Chiquita que tiene una extensión areal aproximada entre el espejo de agua y zona de bañados de 9786 km² lo que representa el 15,4 % del total del área. Desde la gravimetría y con el tipo de instrumental que posee el SEGEMAR en esta extensa área ocupada por la laguna no se pueden realizar mediciones de gravedad ya que el gravímetro Sodin 200T es un equipo de uso terrestre. Con la finalidad de ampliar la cobertura de datos geofísicos que puedan correlacionarse con los datos gravimétricos en el año 2014 se planificó una campaña magnetométrica cuyo objetivo fue atravesar la laguna en su largo y ancho relevando la intensidad de campo magnético total (TMI). Para lograr este propósito se procedió a contratar una empresa de traslados en lancha para recorrer la superficie de la laguna. El medio de transporte estuvo compuesto por una lancha a motor y un bote de arrastre libre de elementos metálicos. La separación entre ambas embarcaciones fue de 15 metros a través de una soga para tal fin. En el bote de arrastre se ubicó el magnetómetro evitando de esta manera la interferencia debido al ruido producido por el motor de la lancha principal. El magnetómetro base se ubicó en la estación meteorológica de la Agencia Córdoba Ambiente, laguna Mar Chiquita. El magnetómetro de campo fue programado para registrar estaciones cada 2 segundos (TMI y coordenadas). Teniendo en cuenta que la velocidad promedio fue de 18 km/h, la equidistancia entre las estaciones resultó de aproximadamente 10 mts. Se relevaron alrededor de 45000 estaciones a lo largo de siete perfiles (cuatro en sentido este-oeste y tres norte-sur).

A partir de estos datos se efectuaron las correcciones debido a la variación diurna del CMT y se obtuvieron valores del TMI con los que se construyó una grilla preliminar de la intensidad de campo magnético total. Para comparar los datos magnetométricos con las anomalías de Bouguer es necesario reducir al polo los valores de anomalía de campo magnético total (TMI). La reducción al polo consiste en transformar las anomalías magnéticas dipolares en anomalías monopolares, como si la zona de estudio se hubiera ubicado en el polo (en este caso Sur), donde la anomalía de campo total es efectivamente monopolar, cuasi vertical y centrada directamente sobre el cuerpo que la genera. Esto permite una mejor y más directa interpretación de los datos, particularmente en zonas de alta latitud no cercanas al Ecuador. Podría considerarse entonces a la anomalía RTP como una pseudo anomalía gravimétrica ([Sigismondi et al., 2011](#)). Para aplicar el filtro de Reducción al Polo (RTP), [Baranov \(1957\)](#), se utiliza transformada rápida de Fourier (FFT) mediante la siguiente expresión aplicable entre los polos y hasta los 20º de latitud Norte o Sur:

$$L(\theta) = \frac{[\sin(I) - I \cdot \cos(I) \cdot \cos(D - \theta)]^2}{[\sin^2(Ia) + \cos^2(Ia) \cdot \cos^2(D - \theta)] [\sin^2(I) + \cos^2(I) \cdot \cos^2(D - \theta)]^2}$$

donde:

la: Inclinación por corrección de amplitud

I : Inclinación geomagnética (Para el sector de Mar Chiquita I = -33.2º)

D: Declinación geomagnética (-6.7º)

$\theta = \tan^{-1}(k_x / k_y)$: Angulo del número de onda.

Se observa una buena correlación entre las anomalías de Bouguer y la RTP para el sector de la Laguna Mar Chiquita lo que hace suponer una escasa magnetización remanente de las unidades geológicas presentes en el área.

Regularización de los datos

A partir de una distribución irregular de estaciones se puede llegar por distintos métodos de interpolación a un nuevo conjunto de datos distribuidos en una grilla regular. Para lograr resultados confiables nuestra base de datos originales debe contar con un gran número de elementos arealmente distribuidos. Los resultados obtenidos pueden ser representados mediante un modelo o grilla digital. La precisión y calidad de éstos dependerá entonces de dos tipos de parámetros: Los primeros son relativos a los métodos de adquisición de datos (densidad, distribución y precisión de las mediciones) y los segundos son aquellos que se refieren al procesamiento de los datos tales como el software y el método de interpolación utilizados.

El intervalo de grilla debe estar acorde a la distribución de los datos originales. Una grilla con menor cantidad de puntos puede desechar información valiosa y no ser representativa de los datos observados. Del mismo modo, una grilla con excesiva cantidad de puntos introduce nuevos valores por interpolación que pueden no representar a los datos verdaderos.

Las dimensiones de nuestro recuadro son: 2° de latitud por 3° de longitud (286 km según X por 222 km según Y) totalizando una superficie de aproximadamente 63.595 km². La base de datos disponible es de 2332 estaciones gravimétricas lo que representa un promedio de 3,67 puntos cada 100 km².

Las cartas de gravedad y magnéticas se confeccionaron regularizando la red de observaciones mediante software específico (Oasis Montaj de Geosoft). El método de interpolación aplicado fue el de mínima curvatura, de uso frecuente en el tratamiento de campos potenciales con muestreo irregularmente distribuido ([Briggs, 1974](#)). De esta manera

se generaron grillas de 5 x 5 km en un recuadro comprendido entre los límites de la hoja (latitudes 30° y 32°S y longitudes 61°30' y 64° 30'W). El error medio entre los valores observados y el valor de grilla obtenido es de +/- 0.2 mGal.

Las grillas fueron representadas gráficamente a través de cartas de anomalías de Bouguer (AB, escala 1:500.000, [figura 3](#)); de Aire libre (AL) y topográfica (escala 1:2.500.000 [figuras 4 y 5](#)). Para el sector del espejo de agua de la laguna Mar Chiquita se construyó un mapa de anomalías magnéticas reducidas al polo (RTP) a escala 1:500.000 ([figura 6](#)). Existe una buena correlación y continuidad de la forma de las anomalías de Bouguer y RTP, no así en los valores absolutos ya que las primeras están expresadas en mGal y las segundas en nT ([figura 7](#)).

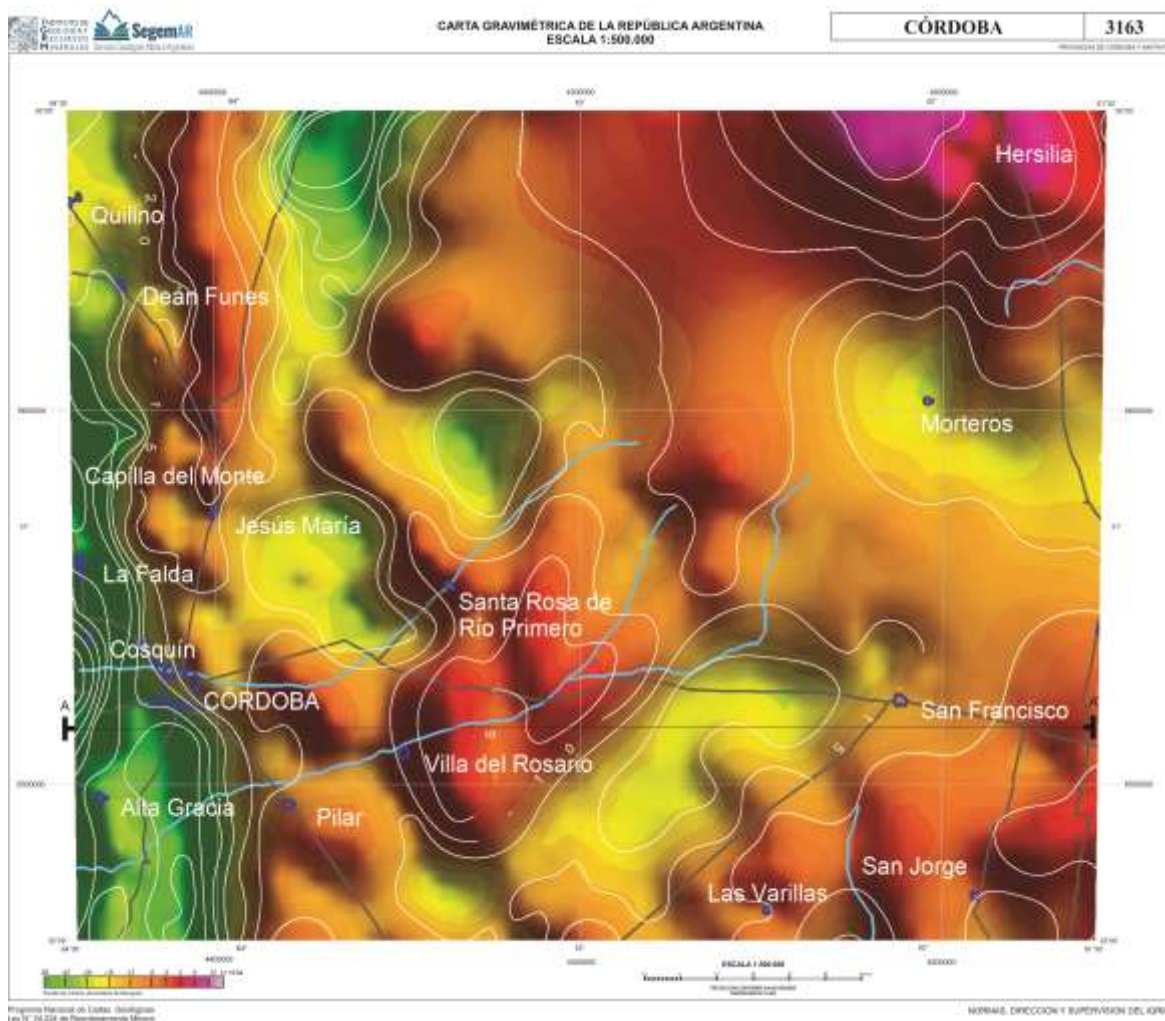
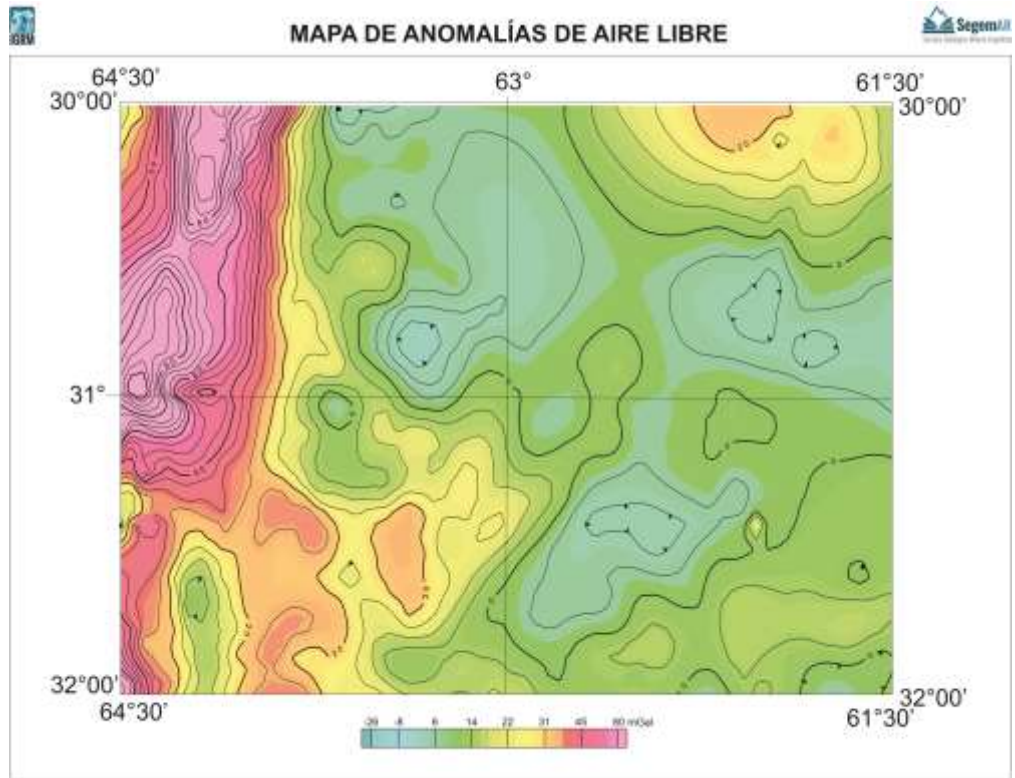


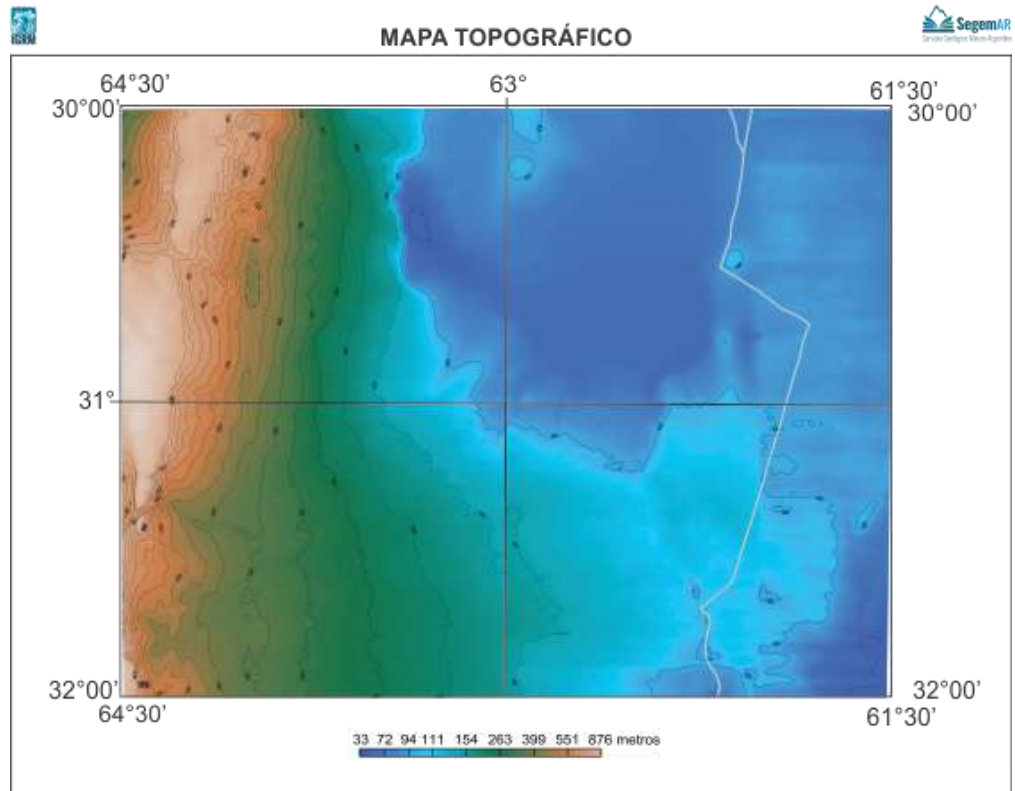
Figura 3: Carta de Anomalías de Bouguer

A partir de la compilación de datos de la Carta geológica SH20 escala 1:1.000.000 ([Candiani, 2014](#)); y el mapa provincial de Santa Fe a escala 1:750.000 ([Marengo, 2011](#)) se construyó el esquema geológico para el sector de la hoja cuya representación gráfica en la carta gravimétrica es a escala 1:2.500.000, [figura 8](#).



Curvas de isoanomalías de Aire Libre (equidistancia: 5 mGal)

Figura 4: Mapa de anomalías de Aire Libre.



Mapa generado a partir de imágenes ASTER Global Digital Elevation Model (2009), equidistancia 50m

Figura 5: Mapa topográfico a partir del MDE de imágenes ASTER (2009)

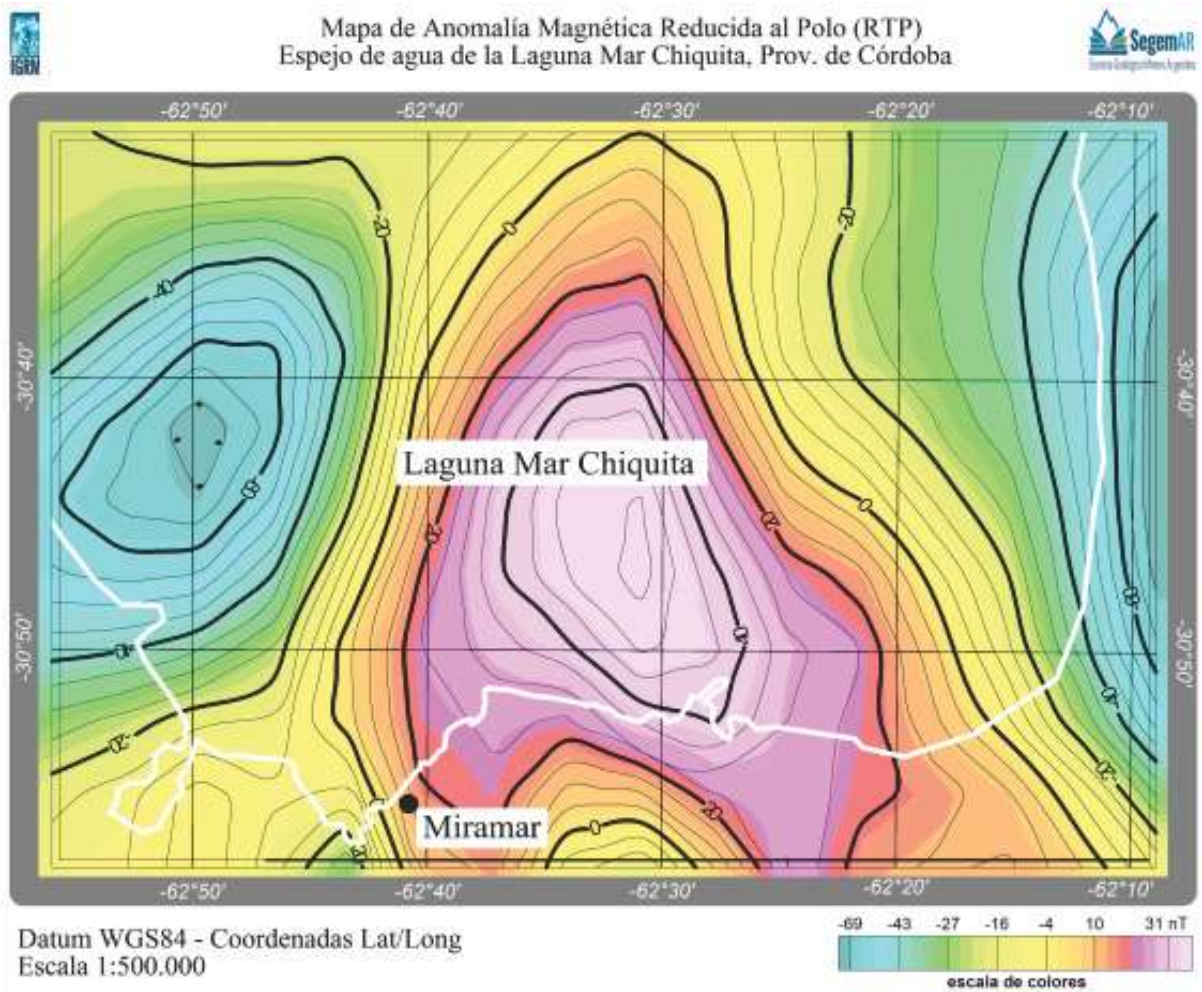


Figura 6: Mapa de Anomalía magnética reducida al polo (RTP), sector de la laguna Mar Chiquita

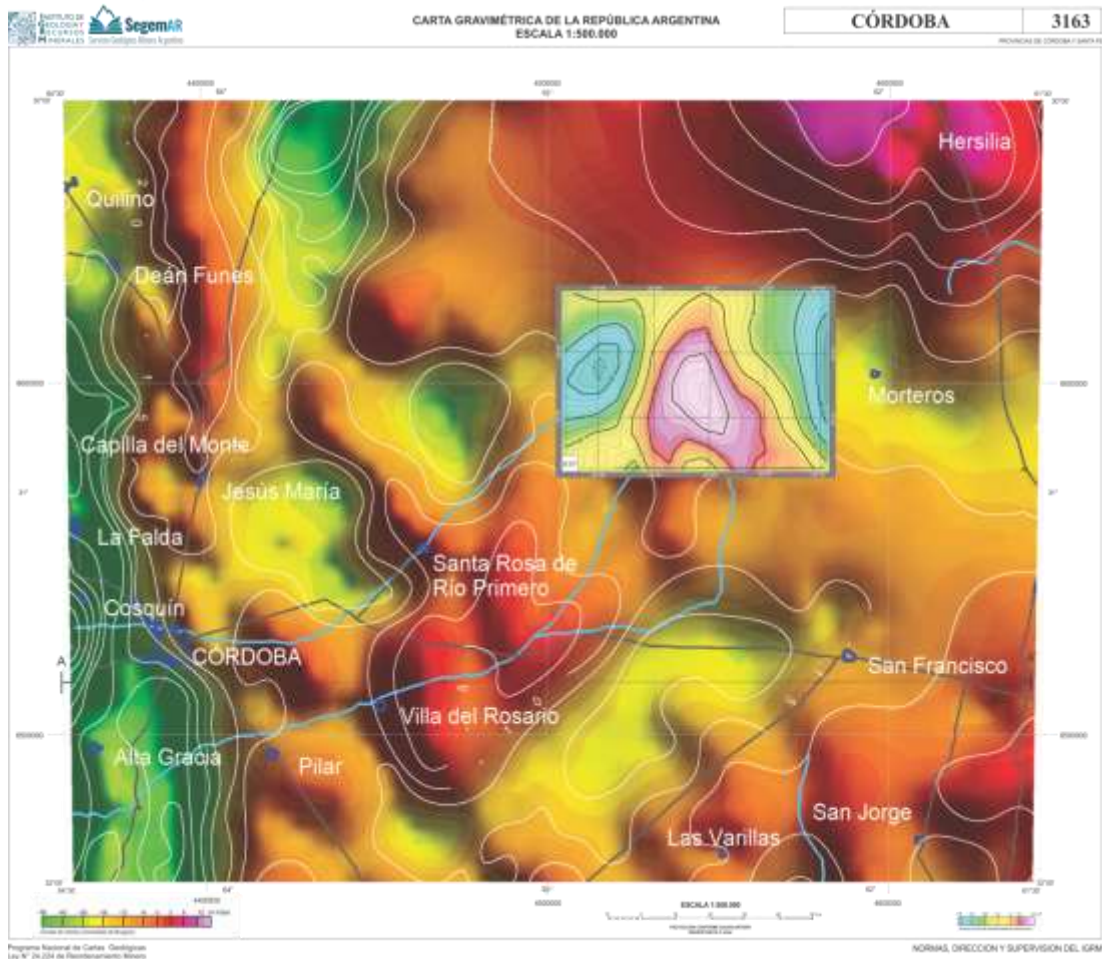
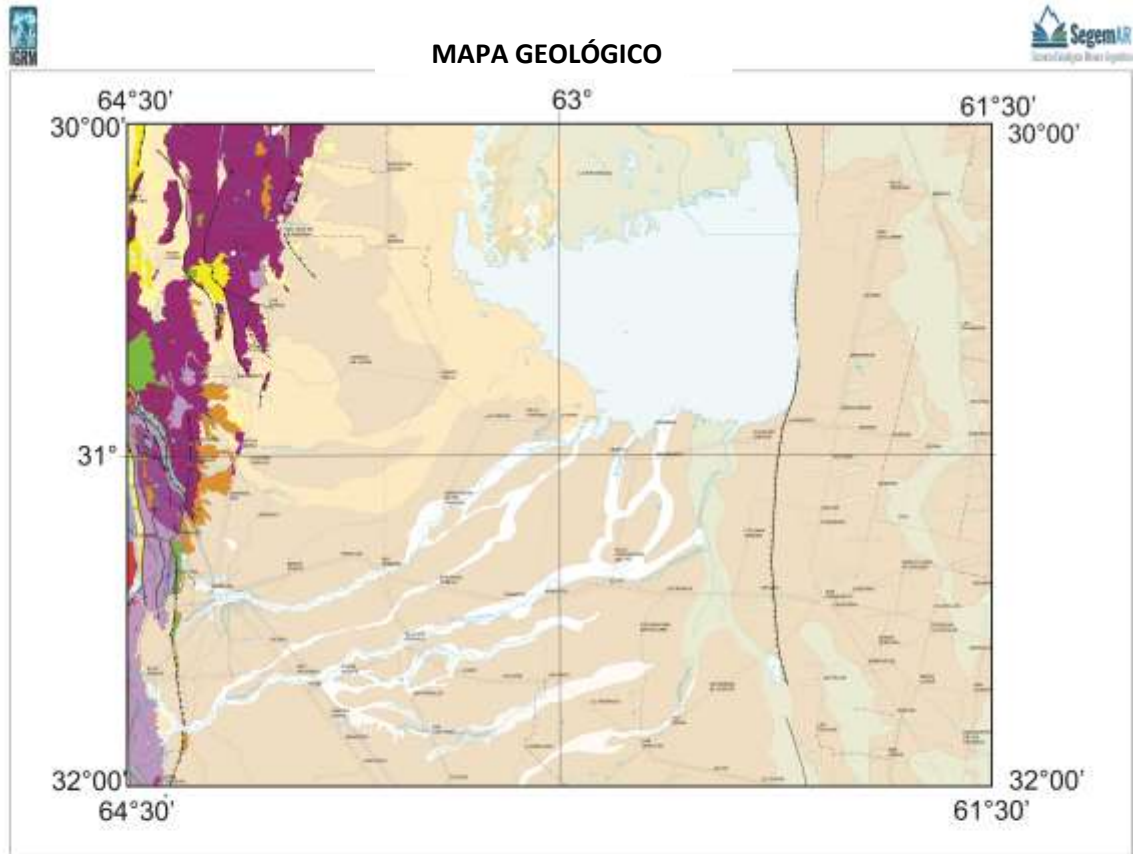


Figura 7: Mapa de Anomalía magnética reducida al polo (RTP, laguna Mar Chiquita) y mapa de Anomalía de Bouguer en donde se observa la correlación entre las anomalías gravimétricas y pseudogravimétricas.



Cartografía geológica a escala 1:500.000
Representación gráfica a escala 1:2.500.000

REFERENCIAS

Cuaternario

- Depósitos aluviales
- Depósitos eólicos
- Dep. fluvio lacustres
- Depósitos lacustres
- Depósitos de piedemonte
- Depósitos loésicos

Neógeno

- Depósitos aluviales

Paleógeno

- Depósitos aluviales

Cretácico

- Depósitos aluviales - Vulcanitas

Devónico - Carbonífero

- Complejo magmático de Achala

Ordovícico -> Carbonífero

- Zonas de cizalla

Ordovícico

- Granitoides famatinianos

Cámbrico

- Complejo magmático Ascocchinga

Cámbrico - Ordovícico

- Complejos metamórficos Sierra Chica

Figura 8: Mapa Geológico de la Carta 3163 – CÓRDOBA

INTERPRETACION DE UNA SECCION GRAVIMETRICA A LOS 31°31' LS (Perfil A-A')

A partir de la grilla de Anomalías de Bouguer se confeccionó un perfil gravimétrico O-E, aproximadamente a los 31° 31' de latitud Sur, cuya extensión es de alrededor de 280 km de largo. Para la construcción del perfil y el modelado geofísico se utilizaron los programas Oasis Montaj Standard Version 7.0.1 de Geosoft y Model Vision 10.0 de ENCOM.

Como en la mayoría de los problemas inversos que se presentan en geofísica, la sola observación de las anomalías de gravedad no permite por sí misma determinar en forma unívoca al cuerpo causante, entonces se dice que el problema gravimétrico es ambiguo ([Introcaso, 2006](#)). Una infinita configuración de cuerpos puede causar el mismo efecto gravitatorio. Es por esto, que para la construcción del modelo geofísico se debieron utilizar otras observaciones y técnicas de manera de ir ajustando la elección de los parámetros óptimos. El conjunto de conocimiento de los objetos anómalos comprende saber su forma, dimensiones, profundidad de yacencia, etc.

La principal información de la llanura chacopampeana y su subsuelo proviene de perforaciones y datos de sismica de la exploración petrolífera realizada por YPF en la década del setenta.

A efectos de determinar la profundidad de la fuente de la anomalía se aplicó el método frecuencial sobre la base de datos.

En la [figura 9](#) se observa el espectro radial promedio de la carta de anomalía de Bouguer. Con el empleo de esta técnica, se estimó que las profundidades de las masas causantes de anomalías se distribuyen en tres niveles corticales cuyas profundidades varían entre 1 y 8 km aproximadamente, 12 km y a los 20 km de profundidad.

El siguiente paso fue estimar la profundidad a la que el basamento se encuentra por debajo de los sedimentos de la llanura chacopampeana. Para ello, se recurrió a un mapa de isobatas de basamento publicado por [Russo et al. \(1979\)](#). Con toda esta información, sumado a conocimiento de la geología regional, se procedió a elaborar el modelado geofísico a partir del perfil gravimétrico elegido.

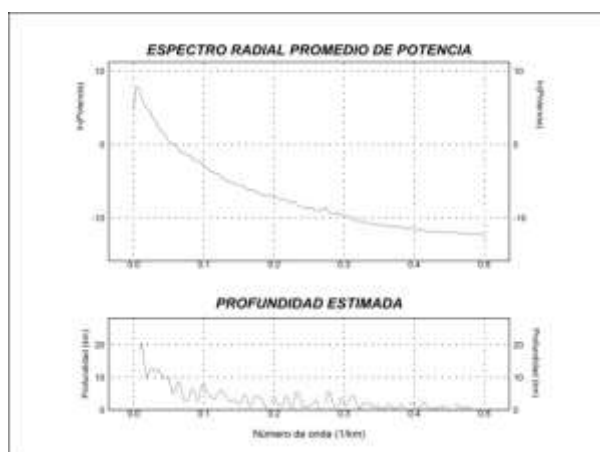


Figura 9: Espectro de potencia de la AB

Para realizar el modelado, se optó por utilizar la curva de anomalías residuales obtenida a partir de descontar la curva de AB regional (Prolongación ascendente de campos potenciales con altura de prolongación igual a 20 km) a la curva de AB observada. Fue modelada la primera porción de corteza hasta los 6 km de profundidad ([figura 10](#)) donde se

reconocieron diferentes unidades geológicas: Cratón del Río de la Plata (CRP) compuesto por un bloque masivo y relativamente estable, para el cual se adoptó una densidad promedio en corteza superior de $2,75 \text{ g/cm}^3$. Este basamento, tendría edad Paleoproterozoica (1900 – 2200 Ma), y fue datado mediante U – Pb SHRIMP en circones separados de distintas muestras extraídas de testigos corona obtenidos en perforaciones de YPF realizadas en los años setenta ([Rapela et al., 2007](#)). El Orógeno Pampeano (OP) es otra unidad reconocida en este perfil que se define como un arco magmático cámbrico, que incluye monzogranitos y granodioritas de tipo I, se le asignó una densidad promedio de $2,64 \text{ g/cm}^3$. La interpretación geológica está basada en diversos trabajos que describen a esta unidad tectónica con amplitud ([Lira et al., 1997](#); [Sims et al., 1998](#)). Además de los rasgos litológicos se cuenta con relevamientos aeromagnéticos ([SEGEMAR, 1996](#)) que dan a la interpretación del perfil una mayor continuidad lateral y en profundidad. Comprende un sector medio formado por bloques limitados por fajas de cizalla que separan niveles estructurales más profundos hacia el este y menos profundos hacia el oeste. Estas diferencias están evidenciadas por la variación lateral decreciente de las densidades en el sentido este a oeste (zona de gradiente). Regionalmente el OP es parte de un sistema orogénico de convergencia que ha sido reconocido a lo largo del margen proto-pacífico de Gondwana en una extensión de miles de kilómetros en los orógenos neoproterozoicos-eopaleozoicos de Saldania (Africa), Ross (Antártida) y Delamerian (Australia) según [Münker and Crawford \(2000\)](#). En Argentina el orógeno está compuesto por rocas metasedimentarias cuyos protolitos se asignan a la Formación Puncoviscana de edad ediacarana ([Aceñolaza y Toselli, 1981](#); [Willner, 1990](#); [Omarini y Sureda, 1993](#)). Hacia el oeste y en contacto a través de las fajas de cizallas inferidas, no aflorantes en este sector del perfil, limita con un bloque denominado Prisma de acreción Pampeano cuyas litologías se correlacionarían con los complejos metamórficos La Falda y Cruz del Eje definidos más al norte en la zona de afloramientos ([Sims, et al., 1997](#)). Límite tectónico entre el OP y el CRP: En el contacto entre el OP y el CRP se interpreta una zona de cizalla (LT) reconocida a lo largo de cientos de km ([Ramé y Miró, 2010 - 2011](#)), conformando un límite tectónico que separa ambos bloques. A esta lámina tectónica se le asigna una densidad de $2,83 \text{ g/cm}^3$. Este límite fue inferido por la gravimetría e involucra a toda la corteza. Habría sido generado por la partición del esfuerzo compresivo provocando una convergencia oblicua del OP hacia el cratón dando origen a una “lámina tectónica” en el sentido de [Hag y Davis \(2010\)](#). Esto es consistente con evidencias acerca del acople entre ambas unidades (OP y CRP) que tendría una fuerte componente oblicua ([Rapela et al., 2007](#)) provocando la formación de una zona con una intensa deformación transpresiva en el borde occidental del cratón donde habría sido absorbida parte de la energía de este acoplamiento ([figura 11](#)).

La cubierta sedimentaria (CS) se encuentra en la llanura chacopampeana, y por encima del CRP. Se le asignó una densidad promedio de $2,5 \text{ g/cm}^3$. Los espesores varían desde un mínimo de 500 hasta los 4000 metros. Es probable que las anomalías gravimétricas positivas se deban a la presencia de bloques de basamento sobre elevados en profundidad, más o

menos someros, interpretados como bloques levantados a través de fallas de alto ángulo, creando espacios para luego ser rellenados por sedimentos desde el Cretácico. La profundidad del límite basamento-sedimentos se ajusta en parte a las observaciones de YPF en el trabajo de [Russo et al. \(1979\)](#) y [Aceñolaza \(2007\)](#) entre otros. El modelo generado presenta un alto de basamento en el sector oriental que a través de un sistema de fallas se va profundizando hacia el oeste. Sobre él se depositaron las secuencias sedimentarias marinas y continentales pre y post volcánicas cretácicas de la Formación Serra Geral, de amplia extensión con espesores para esta última decrecientes de este a oeste, coincidentemente con lo sugerido por otros autores.

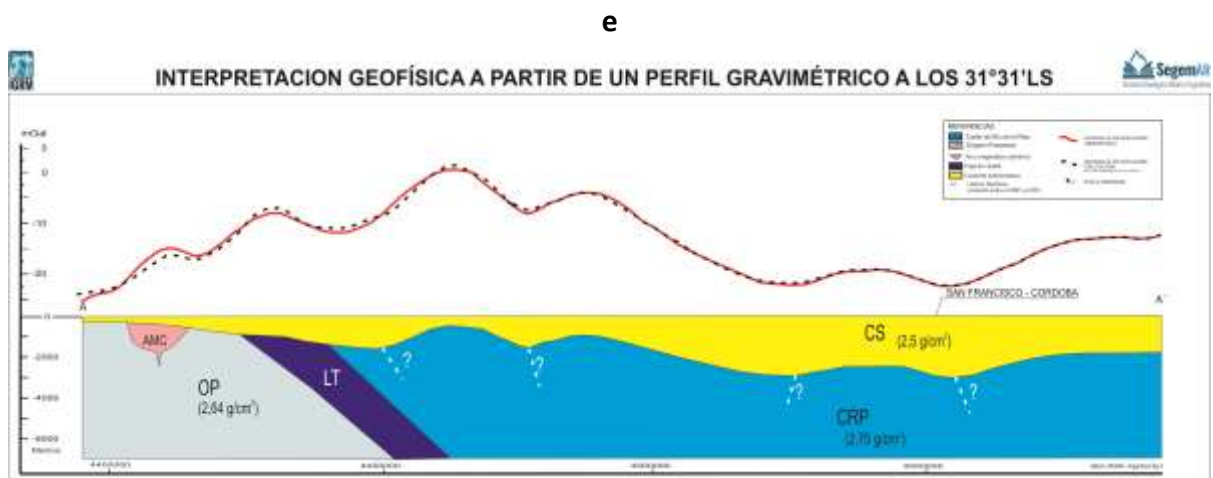


Figura 10: Interpretación de una sección gravimétrica a los 31° 31'LS

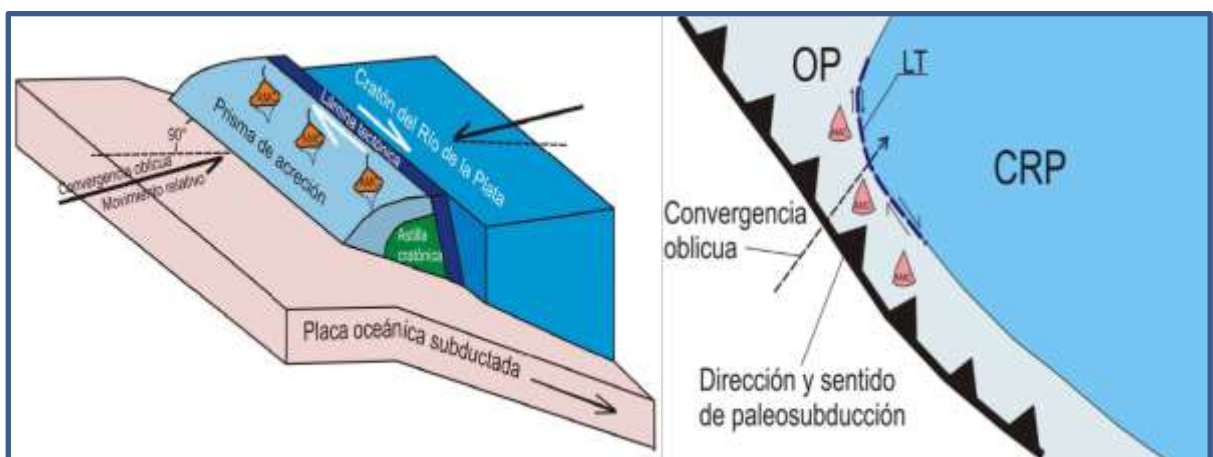


Figura 11: Esquema ilustrativo de la posición del CRP, la "lámina tectónica" en el sentido de [Haq and Davis \(2010\)](#), la astilla de cratón, el prisma de acreción y el arco magmático en un límite convergente no ortogonal (oblicuo).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS EN EL TEXTO

- Aceñolaza F.G., 2007. Geología y Recursos Geológicos de la Mesopotamia Argentina. Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO). Serie Correlación Geológica 22. 160pp. Tucumán.
- Aceñolaza, F.G. y Toselli, A. 1981. Geología del Noroeste Argentino. Publicación Especial, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, 1287, 212 pp.
- Baranov, V., 1957. A new method for interpretation of aeromagnetic maps: Pseudo-gravimetric anomalies: Geophysics, 22, 359-383.
- Briggs, I.C., 1974. Machine counturing using Minimum Curvature. Geophysics, Volº39 Nº1, pp:39-48.
- Candiani, J.C., Gaido, F., Miró R. y Carignano, C., 2010. Hoja geológica 3163-I, Jesús María. Escala 1:250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. Buenos Aires.
- Candiani, J.C., 2014. Carta geológica SH20 escala 1:1.000.000 (*ed. preliminar*). Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. Buenos Aires.
- Dalziel, I.W.D., 1997. Neoproterozoic–Paleozoic geography and tectonics; review, hypothesis, environmental speculation. Geological Society of America Bulletin 109, 16–42.
- Escayola, M. P. y Kraemer, P., 2003. Significado Geotectónico de las suturas de Sierras Pampeanas Orientales en la faja orogénica Córdoba: Posible correlación con orógenos brasileños. Revista Brasileira de Geociências, 33(1):69-76. Brasil.
- Gaido, M.F. y Sapp, M., 2015. Carta de Minerales Industriales, Rocas y Gemas 3163-III Córdoba, escala 1:250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. Buenos Aires.
- Haq, S.S. and Davis, D.M., 2010. Mechanics of fore-arc slivers. Insights from simple analog models. Tectonics, 29, 15-22.
- Introcaso A., 2006. Geodesia Física (Physical Geodesy). Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología, Volúmen especial número 1, pp.1 – 128. Rósario, 10-06-2006. ISSN 1666-115X.
- Lira, R., Millone, H. A., Kirschbaum, A. M. and Moreno, R. S., 1997. Calc-alkaline arc granitoid activity in the Sierra Norte Ambargasta ranges, Central Argentina. Journal of South American Earth Sciences v. 10:157-177.

- Marengo, H., 2011. Mapa provincial de Santa Fe, escala 1:750.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. Buenos Aires.
- Münker, C. and Crawford, A. J., 2000. Cambrian arc evolution along the SE Gondwana active margin: A synthesis from Tasmania-New Zealand-Australia-Antarctica correlations. *Tectonics* v. 19:415-432.
- Omarini R. H. y Sureda R., 1993. Evolución geodinámica y configuración paleogeográfica en los Andes centrales del proterozoico superior al Paleozoico inferior: modelos, alternativas y problemas. En 12º Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires., Argentina, 3: 291-307.
- Pastore, F., 1932. Hoja Geológica 20i. Dirección de Minas y Geología. Bol. 36. Buenos Aires.
- Ramé, G.A. y Miró, R.C., 2010. Estudio gravimétrico del borde occidental del Cratón Río de la Plata. 6º Congreso Uruguayo de Geología. Actas en CD, trabajo 071: 6pp. Lavalleja, Uruguay.
- Ramé, G. A.; Miró, R. C., 2011. Modelo geofísico de contacto entre el Orógeno Pampeano y el Cratón del Río de La Plata en las provincias de Córdoba y Santiago del Estero. Serie Correlación Geológica, 27 (2): 108-120 Temas de Correlación Geológica I (1) Tucumán, 2011 – ISSN 1514-4186 – ISSN on-line 1666-9479.
- Ramos, V.A., 1988. Late Proterozoic-Early Paleozoic of South America: a collisional story, *Episodes* 11: 168-174.
- Ramos V. A. y Vujovich A. G., 1993. Laurentia – Gondwana connection: a SouthAmerican perspective. *GSA, Abstracts with Programs*, Boston. Vol 1.
- Rapela, C. W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Fanning, C.M., Baldo, E.G., Gonzalez Casado, J.M. and Dahlkist, J., 2007. The Río de la Palta craton and the assembly of SW Gondwana. *Earth Science Reviews* 83(1-2):49-82.
- Russo, A., Ferello, R. y Chebli, G., 1979. Llanura Chaco Pampeana. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, vol. I: 139-183. Córdoba. Argentina.
- Schwartz, J. J., Gromet, L.P. and Miró, R.C., 2008. Timing and duration of the Calc Alkaline Arc of the Pampean Aorogeny: Implications for the late Neoproterozoic to Cambrian evolution of Western Gondwana. *The Journal of Geology*, vol.116: 39-61. USA.
- SEGEMAR, 1996. Relevamientos aeromagnéticos del convenio AGSO. Versión digital inédita.
- Sigismondi, M., Martinez, P., Castiglione, B., Ruiz, F., Gimenez, M., 2011. Métodos de Prospección Geofísicos Aplicados al Análisis de Cuencas Sedimentarias. XVIII Congreso Geológico Argentino. Curso Pre-Congreso, Neuquen, Mayo de 2011.

- Sims, J., Stuart-Smith, P., Lyons, P. y Skirrow, R., 1997. 1:250.000 Scale Geological and Metallogenetic Maps. Sierras de San Luis and Comechingones, Provinces of San Luis and Córdoba. Final report. Geoscientific Mapping of the Sierras Pampeanas Argentine-Australia Cooperative Project. Australian Geological Survey Organization. SEGEMAR. 123 pp.
- Sims, J., Ireland, T. R., Camacho, A., Lyos, P., Pieters, P. E., Skirrow, R., Stuart-Smith, P. G., and Miró, R. C., 1998. U-Pb, Th-Pb, and Ar-Ar geochronology from the Southern Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the Paleozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin, in Pankhurst, R. J., and Rapela, C. W., eds., The Proto-Andean Margin of Gondwana, Geological Society of London Special Publication, p. 259-281.
- Swick, C. H., 1942. Pendulum gravity measurements and isostatics reductions. U. S. C.
- Willner, A.P., 1990. División tectonometamórfica del basamento del noroeste Argentino. En: Aceñolaza, F.G., Miller, H. y Toselli, A.J. (Eds.): El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino, pp.113-159. Serie Correlación Geológica 4, Tucumán.