"Prospección geofísica del Cerro Lonco Vaca, provincia de La Pampa"



Darío E. Dadán -2006-

Director: Dr. José Kostadinoff Codirectora: Lic. Elena E. de Elorriaga

Índice

Resumen	1
Capítulo I	2
Introducción	2
Metodología de trabajo	3
Capítulo II	5
Antecedentes	5
Marco Geológico	12
Capítulo III	15
Gravimetría	15
Procesamiento de los datos	15
Calculo de anomalías	15
Corrección por deriva instrumental	16
Corrección por mareas	16
Corrección por latitud	16
Corrección por altura o de Aire Libre (C _{AL})	16
Corrección por losa plana o de Bouguer (C _B)	17
Corrección topográfica (C _T)	17
Anomalías	18
Efectos gravimétricos de masas de forma simples	18
Separación de anomalías: regional y residual	20
Magnetometría	20

Prospección geofísica del cerro Lonco Vaca, provincia de La Pampa.

Capítulo IV	22
Interpretación de los datos gravimétricos	22
Anomalía gravimétrica simple de Bouguer	23
Anomalía gravimétrica regional	24
Anomalía gravimétrica residual de Bouguer	25
Cálculo del rechazo de falla	27
Capítulo V	30
Interpretación de los datos magnéticos	30
Capítulo VI	31
Modelo	31
Conclusiones	32
Bibliografía consultada	34
Anexo I	37
Tabla I: Densidades de las rocas de Lonco Vaca.	37
Tabla II: Susceptibilidad magnética de las rocas en la Sierra Lonco Vaca.	37

Resumen

La Sierra de Lonco Vaca se sitúa a la altura del kilómetro 556 de la ruta Nacional Nº 188, departamento de Rancul, provincia de La Pampa. Constituye un pequeño bloque de basamento cristalino, con características que lo permiten incluir dentro de la unidad geoestructural de las Sierras Pampeanas, que fue peneplanizado y posteriormente ascendido mediante una falla inversa de rumbo N20°E que lo limita por el oeste.

En general, el basamento se encuentra cubierto por sedimentos; en el área de la cantera, se exponen esquistos micáceos, que gradúan a gneises esquistosos, en algunos sectores foliados (ambas de orientación N20°E, 66°SE), que controlan la ubicación de los lentes de anfibolitas y las intrusiones de granitos y pegmatitas.

El fuerte gradiente gravimétrico que se desarrolla a partir del máximo de Rancul (+40 miliGales) hacia la cuenca de Nueva Galia (-52 miliGales) motivó esta investigación geofísica con el fin de mejorar la interpretación geológica de los afloramientos de Lonco Vaca.

Se realizó una campaña de prospección de datos gravimétricos y magnetométricos, con una alta densidad de estaciones, en la zona comprendida entre los $65^{\circ}00'$ - $65^{\circ}08'$ de longitud oeste y los $35^{\circ}00'$ - $35^{\circ}10'$ de latitud sur. Los datos fueron corregidos adecuadamente para hallar las anomalías de los campos gravitatorio y magnético y se construyeron los mapas que permitieron realizar correlaciones con los distintos tipos de rocas y suponer la conformación del basamento ígneo – metamórfico en los lugares donde se halla cubierto por sedimentos modernos.

La posición de la falla inversa es evidente en la alineación de las singularidades gravimétricas. En el este, los máximos gravimétricos responden al basamento aflorante o subaflorante (bloque elevado de la falla). Los mínimos gravimétricos del oeste de la falla se relacionaron con la cuenca de Nueva Galia y los del este, con una subcuenca o un intrusivo granítico. Considerando un perfil transversal a la estructura, se calculó que su rechazo es mayor a 600 metros.

Las anomalías locales residuales son superficiales y pueden ser correlacionadas con cuerpos rocosos de distinta características (composición y densidad).

La correspondencia entre los resultados gravimétricos y magnéticos no es obvia debido principalmente a la gran variabilidad magnética de los distintos tipos de rocas presentes, tanto en superficie como en profundidad, lo se relacionaría con la historia de múltiples eventos de deformación e intrusión ocurridos.

Capítulo I

Introducción

La Sierra de Lonco Vaca se sitúa en el departamento Rancul de la provincia de La Pampa, a la altura del kilómetro 556 de la ruta Nacional Nº 188 (FIGURA 1). Constituye un pequeño bloque de basamento cristalino que fue peneplanizado y posteriormente ascendido mediante una falla inversa de rumbo N20°E que lo limita por el oeste (Parica 1986).



FIGURA 1: Ubicación de la zona de estudio (modificado de González et. al. 2005)

La sierra se extiende por unos 8 km en dirección norte-sur y 2,5 km en dirección este-oeste y en el área de la cantera situada en la porción centro-occidental de la misma, se encuentra expuesto el basamento cristalino, en afloramientos no demasiado extensos, constituido por rocas metamórficas intruidas por rocas graníticas. La zona se halla en su mayor parte cubierta por depósitos sedimentarios recientes.

Linares *et al.* (1980), Parica (1986) y González *et al.* (2005) realizaron estudios geológicos, petrológicos y geocronológicos del basamento expuesto en la cantera de la sierra de Lonco Vaca y sus adyacencias.

Los perfiles realizados por de Elorriaga y Tullio (1998) en la región norte de la provincia de La Pampa muestran variaciones en profundidad del basamento y señalan la existencia de reactivación terciaria.

Los trabajos de Kostadinoff et al. (2001) y Kostadinoff et al. (2006) indican que este afloramiento se halla en una zona de fuerte gradiente gravimétrico, entre el alto de Rancul y la Cuenca de Nueva Galia, lo cual hace necesaria una densificación de estaciones geofísicas con el fin de hallar una interpretación estructural en correlación con los estudios geológicos existentes.

Este trabajo tiene por propósito establecer las características geofísicas propias de la sierra de Lonco Vaca, constituida por basamento tipo Sierras Pampeanas que se halla en su mayor parte cubierto por sedimentos y, a partir del tratamiento de los datos geofísicos registrados, esclarecer algunas de las características estructurales y la relación entre los distintos tipos de rocas.

Metodología de trabajo

Las mediciones geofísicas de magnetometría y gravimetría, se realizaron en forma simultánea, componiendo una red de alta densidad de estaciones distribuidas sobre el área de la Sierra de Lonco Vaca entre los $65^{\circ}00' - 65^{\circ}08'$ O y los $35^{\circ}00'$ - $35^{\circ}10'$ S. Se relevaron casi 100 datos, conformando una grilla irregular que cubre toda la comarca de un total de 255 km² (FIGURA 2). Considerando la separación entre las estaciones consecutivas (variable entre 500 a 1000 metros) se consiguió una densidad de estaciones promedio de una cada 3 km².



FIGURA 2: Imagen satelital del área. Los puntos indican los lugares de lectura.

Durante el desarrollo de las distintas campañas se utilizó como punto base la puerta de entrada principal de la escuela de Chamaicó donde se cuenta con un dato gravimétrico relativo de gravedad (979692.77 mGal) obtenido por Kostadinoff y Llambías durante el desarrollo del proyecto de investigación del CONICET Nº 2479/00. Esta estación base se la eligió a fin de correlacionar los datos locales de esta investigación con los resultados regionales hallados por Kostadinoff *et al.* (2001).

Para las observaciones de intensidad total del campo magnético terrestre se utilizó un magnetómetro de precesión nuclear Geometric G-826 y los datos de gravedad

se adquirieron con un gravímetro termoestatizado del tipo Worden, con una precisión de ± 0.02 mGal.

Con el fin de mantener suficiente exactitud en las cotas utilizadas para el cálculo de las anomalías gravimétricas, las estaciones se ubicaron tomando en consideración los mojones y puntos acotados de la carta "Casimiro Gómez" en escala 1: 50 000 del Instituto Geográfico Militar (IGM). El posicionamiento de las estaciones se realizó con equipos GPS Garmin.

Para el tratamiento de los datos se utilizó el programa Excel (Microsoft Office), el procesamiento y mapeo de datos se realizó, en un principio, con Oasis Montaj (Geosoft) en la Universidad Nacional de San Juan, y por último con Surfer[™] (Golden Software) con el que se elaboraron los mapas 2D y 3D.

Los valores de las densidades de las rocas del basamento aflorante fueron hallados en el laboratorio de Ensayos de Materiales del Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur (Anexo I, Tabla 1). Estas densidades son útiles para modelar las anomalías de gran longitud de onda (regionales). Las susceptibilidades magnéticas de las distintas rocas aflorantes en el área fueron medidas "in situ" con un inductor magnético marca Kappameter K-4 (Anexo I, Tabla 2).

También se analizaron los datos de litología y profundidad del basamento, obtenidos a partir de las perforaciones realizadas por la Administración Provincial del Agua (APA) de la provincia de La Pampa y se consideraron las secciones de refracción sísmica registradas por YPF en la zona.

Capítulo II

Antecedentes

Las rocas aflorantes en el área de la cantera Lonco Vaca constituyen uno de los mayores asomos de basamento cristalino de la provincia de La Pampa; su petrología y geocronología revelan una sucesión de acontecimientos metamórficos, ígneos y deformacionales que permiten incluirlas dentro de la unidad geoestructural de las Sierras Pampeanas.

La falla inversa de Lonco Vaca se encuentra mencionada en el trabajo de Stappenbeck (1913). Este autor interpreta la Sierra de Lonco Vaca como perteneciente al dominio Pampeano, siendo la extensión austral de las sierras de Córdoba y San Luis en la provincia de La Pampa.

Las primeras descripciones detalladas sobre la petrografía y dataciones de las rocas de esta sierra fueron realizadas por Linares et al. (1980), quienes analizaron la geología y geocronología de las rocas eruptivas y metamórficas de la provincia de La Pampa. Según estos autores, las rocas predominantes en la Sierra de Lonco Vaca son esquistos cuarzo-micáceos de edad Precámbrico superior, que gradualmente pasan a gneises, lentes de anfibolitas bandeadas y venas pegmatíticas, intruidos por granitos devónicos, que localmente y a pequeña escala han granitizado a los esquistos y anfibolitas. Estos autores, que definieron los limites de la provincia geológica de Sierras Pampeanas dentro de la provincia de La Pampa, consideraron que se distribuye en una franja de unos 80 Km de ancho, de rumbo aproximado N-S, que ocupa la parte central de la provincia y que se extiende desde la sierra de Lonco Vaca, en el extremo norte, hasta el río Colorado, en las cercanías de Pichi Mahuida, en su limite austral. Está caracterizada por un basamento metamórfico constituido por esquistos micáceos, gneises y anfibolitas del Precámbrico superior intruido por numerosos cuerpos graníticos con diferenciaciones pegmatítica y aplíticas, cuyas edades oscilan entre el Cámbrico superior y el Carbónico inferior. Hacia el este se hunde en forma suave hasta el borde de la cuenca de Macachín, donde lo hace abruptamente. Al oeste su delimitación no es clara y al sur tampoco es bien conocida, dado que sus afloramientos terminan abruptamente sobre el río Colorado. Hacia el norte se encuentra por debajo de la llanura que ocupa las regiones del sur de las provincias de Córdoba y San Luis.

Giai (1984) construye perfiles al sur de la zona estudiada, entre Telén - Eduardo Castex y El Odre - El Tropezón, en base a datos de perforaciones. El autor considera que, si bien los puntos de control son escasos y las relaciones regionales poco claras, en ambos perfiles se encuentran terrenos muy semejantes a los descriptos para las sierras de Córdoba. Por ello estima que los sedimentos rojos de Las Charas y las vulcanitas mesosilícicas de El Odre y Bajo del Carbón puedan correlacionarse con el Grupo Sierra de Los Cóndores (Cretácico) de Córdoba.

Parica (1986) reconoce una historia metamórfica polifásica relacionada con tres eventos. Según este autor, el primero, ocurrido durante el Precámbrico, produjo metamorfismo regional de alto grado (M_1) y una primera deformación (D_1) con el desarrollo de estructuras penetrativas. El segundo evento (M_2) , también regional, ocurrido a fines del ciclo Brasiliano y que alcanzó condiciones de grado medio, originó las estructuras esquistosa y foliada que caracterizan a las rocas metamórficas (D₂). En el Precámbrico superior se produjo el primer episodio magmático (G₁) representado por un cuerpo pegmatítico. El tercer evento de deformación (D₃) desarrolló las estructuras que permitieron el emplazamiento de los diques de granitos en el Ordovícico Inferior (G₂) y que concretó el tercer evento metamórfico de bajo grado (M₃). Durante el Carbónico inferior se llevó a cabo el tercer evento magmático (G₃) con emplazamiento de los diques de granitos por la cuarta etapa de deformación (D₄).

Estudios de gravimetría y magnetometría a escala regional del sector oriental de la provincia de La Pampa, fueron realizados por Kostadinoff *et al.* (2001). En el extremo norte del área relevada, los autores destacan la significativa presencia del alto gravimétrico de Rancul, que alcanza valores de + 20 miliGales¹ (FIGURA 3) y que, extendiéndose hacia la provincia de Córdoba, abarca un área de 2.400 km².

Hacia el oeste de esta singularidad se nota un marcado gradiente hacia valores negativos de gravedad (donde se ubica la falla de Lonco Vaca) que se desarrolla hacia la cuenca de Nueva Galia en la provincia de San Luis; hacia el sector este se observa también un gradiente negativo, a partir de la ciudad de Realicó, en coincidencia con la extensión sur de la cuenca de Laboulaye (Kostadinoff *et al.* 2001) que tiene su máximo desarrollo de la provincia de Córdoba (FIGURA 3).



FIGURA 3: Anomalías gravimétricas de Bouguer. Isolíneas cada 1 mlGal. (Kostadinoff et al 2001).

El alto de Rancul es el máximo gravimétrico de mayor amplitud en la provincia de La Pampa (más de +40 miliGales respecto de los valores circundantes) y sólo puede ser explicado por un exceso de masa de las rocas del basamento. Esta anomalía cubre un área de 60 por 50 km, desarrollándose entre Lonco Vaca y Realicó. Coincide con un área de baja susceptibilidad magnética, entre 0,000150 y 0,004500 SI, similar a la de las

¹ 1 mGal = 10^{-3} Gal = 10^{-5} m/s² o 1 Gal = 1 cm/s²

anfibolitas de Lonco Vaca. Otro parámetro físico que permite sospechar la presencia de grandes espesores de rocas máficas - ultramáficas es la baja radioactividad gamma de esta área, que registra valores menores a 25 cuentas/segundo.

Los modelos geofísicos indican que debería existir en su parte central un espesor de 3.500 metros de rocas de 3,1 g/cm³ de densidad; hacia los bordes, la disminución de los valores gravimétricos indicarían reducción de los espesores (FIGURA 4).



FIGURA 4: Modelo geofísico del basamento de la zona de estudio. Densidad 2,7 gneis, filitas y metamorfitas del Famatiniano; 3,1 máficas-ultramáficas de Lonco Vaca; 2,45 sedimentitas mesozoicas de la cuenca de Laboulaye (Tomado de Kostadinoff *et al.* 2001).

En la región donde se plantea este modelo, el único afloramiento es el de la Sierra de Lonco Vaca, cuyas rocas son similares a las del basamento cristalino de San Luis (Linares *et al.* 1980; Parica 1986). Está constituido por esquistos micáceos y lentes de anfibolitas, intruidos por granitos y pegmatitas. Las densidades de los primeros varían entre 2,86 a 3,15 g/cm³, pero, si se consideran las características generales (intercalaciones de poco espesor), la densidad global disminuiría. La presencia de anfibolitas favorecería la hipótesis de la existencia de rocas máficas-ultramáficas meteorizadas que justifiquen el máximo gravimétrico de Bouguer.

La anomalía que incluye al alto de Rancul, se extiende unos 130 km hacia el norte, en la provincia de Córdoba, hasta llegar a la ciudad de Vicuña Maquena (Miranda 1998). Unas decenas de kilómetros más hacia el este, se desarrolla otra anomalía gravimétrica, de igual extensión areal, que se relaciona con la cuenca cretácica de General Levalle. En una perforación profunda ejecutada con fines de exploración petrolera en esta cuenca, se han hallado 800 m de basalto (Chebli *et al.* 1999 y Webster *et al.* 2004) lo que indica una intensa actividad magmática basáltica. En este sentido, el positivo gravimétrico de Rancul podría correlacionarse con uno de los centros efusivos de este volcanismo. La baja susceptibilidad magnética podría explicarse porque las rocas máficas (basaltos o anfibolitas) tienen concentraciones menores del 1% de minerales ferromagnéticos.

Según Kostadinoff *et al.* (2002) los máximos gravimétricos que se extienden entre Arizona y Justo Daract (provincia de San Luis), forman parte de la faja de rocas máficas que se extienden desde esta última localidad hasta Valle Daza (La Pampa), representando la continuidad de las Sierras de Comechingones y del Yulto (Linares *et* *al.* 1980) y deben considerarse parte del dominio Pampeano (Neoproterozoico-Cámbrico Inferior). Las determinaciones realizadas por estos autores mediante mediciones geofísicas (gravimétricas, magnetométricas, de densidad y susceptibilidad magnética) permitieron establecer la continuidad de la faja de edad Pampeana que constituyen el límite este de las cuencas permotriásicas de Nueva Galia (que definen en el trabajo) y de Mercedes. Relacionan además estas cuencas con la de Quehué por el sur, la de Mercedes por el norte y la de Alvear por el oeste.

González *et al.* (2005) reconocen dos fases de deformación y un evento metamórfico que afectan al Complejo Metamórfico Lonco Vaca. La primera deformación (D₁) (> 718 Ma), es de tipo dúctil y se caracteriza por pliegues isoclinales (F₁) que afectan la foliación primaria (S₀) y foliación penetrativa (S₁), contemporánea con M₁, metamorfismo de alto grado (facies de anfibolita). La segunda (D₂), relacionada con la orogenia Pampeana (< 526 Ma), desarrolló clivaje de crenulación (S₂) y pliegues apretados a abiertos (F₂). Por último el complejo metamórfico y las intrusiones fueron afectados por la fase D₃, representada por las zonas de cizalla dúctil de orientación N-S y buzamiento al E y O, con pliegues de arrastre (F₃) y fábrica milonítica. Estos autores consideran que estas rocas tienen una historia similar al de las de Sierras Pampeanas de Córdoba, San Luis y San Juan (FIGURA 5).

Según Delpino *et al.* (2005), en base a la correspondencia de los tipos litológicos hallados, la tendencia estructural del basamento cristalino (fracturas regionales y esquistosidad) y las edades radimétricas calculadas, considera a las unidades aflorantes en la región centro-este de la provincia de La Pampa como la probable prolongación austral de las Sierras Pampeanas (Stappenbeck 1926; Harrington 1956; Linares *et al.* 1980; Parica 1986; Tickyj *et al.* 1999). Basados en las similitudes litológicas y edades del metamorfismo, Kostadinoff *et al.* (2001) indican que las metamorfitas del centro-este de la provincia de La Pampa podrían ser correlacionables con las de la Sierra de San Luis.

La presencia de un mínimo gravimétrico de Bouguer, estrecho y de gran desarrollo longitudinal, definido como cuenca de Nueva Galia, permite suponer que este sector se continúa en la cuenca de Quehué, desarrollada entre Victorica y el límite con la Provincia de Buenos Aires. Estas cuencas continúan su desarrollo hacia el norte conectándose con la de Mercedes y con la de Alvear hacia el oeste (FIGURA 6). La sedimentación en la Cuenca de Nueva Galia se habría iniciado al menos durante el Carbónico superior extendiéndose hasta el Triásico medio-superior.

	Litologia	Relación de Campo	Estructuras Di	Metamorfismo Mi	Estructuras D2	Estructuras Di	Edad*
ENJAMBRE LONGITUDINAL DE DIQUES	Pórfidos graníticos y aplitas	Cortan todas las rocas previas	Sin deformación dúctil Sin deformación dúctil. Metamorfismo de contacto en las rocas de caja dúctil N - S Foliación milonítica			K-Ar: granitos apliticos (bt- ms) 320 – 235 Ma	
DIQUE LONGITUDINAL RAMIFICADO	Granitos biotíticos y pegmatitas.	Cortan la fábrica Di - D2 de las metamorfitas de la caja			Fajas de cizalla frágil– dúctil N - S. Foliación milonítica concordante	Rb-Sr: granitos (wr) 473 ± 8 Ma. MSWD 0,3436 K- Ar: granites (wr) 520– 390 Ma	
PLUTÓN LAS DELICIAS	Granitos ms – grut y pegmatitas	Cúpula corta la fábrica Di - D ₂ de las metamorfitas de la caja	Sin deformación dúctil. Metamorfismo de contacto en las rocas de caja ya metamorfizadas del Complejo Metamórfico Lonco Vaca		con la faja e inclinación al E. Lineación milonítica con buzamiento al NE.	K-Ar: pegmatita (ms) 543- 287 Ma; (wr) 665 Ma	
	Ortogneises graniticos	Diques cortan a So y son concordantes con Sı	Foliación S1 N - S a NE - SO		Foliación S1 N - S a NE - SO	Cinemática: oblicua DESTRAL compresiva (bloque oriental monta	
COMPLEJO METAMORFICO LONCO VACA	Paragneises biotíticos (± grnt), escasos esquistos muscovítico- biotíticos, ortoanfibolitas cpx y metaandesitas	Metavolcanitas concordantes con So de las rocas silicoclásticas. Contactos netos	Pliegues Fi isoclinales y foliación ó esquistosidad Si N-S a NE- SO. Invección de venas graníticas	Facies anfibolita alta	Pliegues F2 apretados a abiertos y clivaje de crenulación S2	al occidental). Pliegues F3 de arrastre en ortoanfibolitas y dique longitudinal ramificado	Rb-Sr: esquistos (wr) 724 ± 18 Ma. MSWD 0,6388 K- Ar: esquistos (bt-ms) 403-302 Ma. Anfibolitas (hb) 814- 684 Ma y 455-296 Ma
Protolito del Complejo Metamórfico Lonco Vaca: sucesión de grauvacas pobres en aluminio y escasas pelitas de poco espesor, que definen el bandeamiento composicional So. Intercalaciones de rocas volcánicas básicas a mesosilicicas (basaltos a andesitas)					3		

FIGURA 5: Síntesis orogénica del complejo metamórfico Lonco Vaca según González et al. (2005).

Delpino *et al.* (2005), consideran que las rocas máficas y graníticas de Valle Daza tienen similitud petrológica y estructural con las descriptas para el sector occidental de la Sierra de Lonco Vaca. Sobre la base de la correspondencia estructural y la equivalencia en las características y condiciones físicas de desarrollo, consideran que los eventos metamórficos observados en el centro de la provincia de La Pampa pueden ser correlacionables con dos de los establecidos en el Bloque Central de la Sierra de San Luis. El primero asignado al final de la Orogenia Famatiniana en el Ordovícico Medio y el segundo relacionado al emplazamiento fisural de los granitoides post-colisionales en el Paleozoico Medio a Superior. La alineación NNE-SSO en concordancia con fajas de deformación dúctil de extensión regional (buzantes al E-SE y con vergencia O-NO) y el diseño discontinuo de las anomalías gravimagnetométricas, son características comparables con las establecidas en la faja de rocas máficas-ultramáficas del Bloque Central de las Sierras de San Luis. Las correlaciones estructurales, petrológicas y geofísicas halladas, constituyen un aporte a favor de la hipótesis de la continuidad de las Sierras Pampeanas Occidentales en la porción central de la provincia de La Pampa. Kostadinoff *et al.* (2006) analizaron la configuración geofísica-geológica del sector sur de la provincia de San Luis lo que permitió aportar nuevos datos sobre la constitución litológica y estructural del sector sur de la Provincia de San Luis y su vinculación con el sector norte de la Provincia de La Pampa, analizado por Kostadinoff *et al* (2001). Estos autores encuentran en las rocas arcósicas de la Estancia Los Cuatro Pozos (San Luis) clastos de rocas pegmatíticas no deformadas, similares a las que afloran en Lonco Vaca cuyas edades fueron determinadas por Parica (1986) e indican varios eventos de intrusividad que se extienden entre el Precámbrico y el Carbónico. También describen un mínimo gravimétrico que se extiende sin interrupciones entre Arizona y Justo Daract (ambos en la provincia de San Luis) que incluye la cuenca de Nueva Galia y los afloramientos rocosos de la Sierra de Lonco Vaca y de la Cantera Green (San Luis), formados por rocas similares.

La cuenca de Nueva Galia fue reconocida por Kostadinoff *et al.* (2006) por una singularidad geofísica representada por un mínimo de -52 mGal que se encuentra ubicado entre las localidades de Nueva Galia y Arizona. Esta anomalía tiene una longitud de 80 km y un ancho de 12 km y es determinada por un déficit de masa producido por sedimentos en una cuenca de tipo rift. En el sector norte, según estos autores, la cuenca se halla comprendida entre los afloramientos rocosos de las canteras de Lonco Vaca y Green, por lo cual se considera a los mismos como representativos parciales del basamento de la misma. Con respecto al relleno, el único elemento tangible que les permite inferir su composición es el afloramiento de la estancia Los Cuatro Pozos, localizada al NE de Arizona (FIGURA 6). En él reconocieron sedimentitas gris-moradas, suavemente plegadas, con rumbos variables entre N 270° y N 0° y buzamientos de bajo grado (35°-5°) al N, NE y E, depositadas en un ambiente de sectores proximales de abanicos aluviales que se relacionarían a bordes de cuenca, asociados a fallamiento directo.

Este hecho explica el alto gradiente gravimétrico observado entre Arizona y Lonco Vaca don de es aceptable suponer que una parte del relleno de la cuenca de Nueva Galia sean sedimentitas como las descriptas más arriba. Para de Elorriaga y Tullio (1998) estas rocas son de edad paleozoica y fueron consideradas equivalentes a la Formación Arata (Salso 1966) quien las asignó al Permo-triásico. Rocas pegmatíticas y micacitas con características muy similares a los clastos observados en la estancia Los Cuatro Pozos, se reconocen en la sierra de Lonco Vaca.

Estas sedimentitas permitieron a Kostadinoff *et al.* (2006) elaborar un modelo geológico para satisfacer esta anomalía gravimétrica. Para ello determinaron las densidades de todas las rocas halladas en la región: para las rocas graníticas de la cantera Green obtuvieron valores variables entre 2,60 a 2,63 g/cm³ y entre 2,41 a 2,57 g/cm³ en las arcosas de la cantera de la estancia Los Cuatro Pozos y promediando esos valores, consideraron un contraste de densidad 0,14 g/cm³. Para realizar el cálculo de la profundidad determinaron la diferencia de anomalía de Bouguer entre el máximo de la cantera Green y el mínimo de Nueva Galia, hallando un valor de 9 mGal. No evaluaron la diferencia con la cantera de Lonco Vaca debido a que se hallaba en una zona de gran gradiente gravimétrico y la composición rocosa es muy heterogénea lo que implica un gran rango de densidades, variable desde valores de 2,65 g/cm³ (rocas gnéisicas) a un máximo de 3,15 g/cm³ (máficas). Utilizando los parámetros anteriormente mencionados generaron un modelo prismático que indica que la cuenca tendría actualmente una profundidad menor a 1.650 m.



FIGURA 6: Ubicación de la cuenca de Nueva Galia y su relación con cuencas vecinas. Tomado de Kostadinoff *et al.* (2006)

Considerando datos superficiales y del subsuelo en el noreste de la provincia de La Pampa, de Elorriaga y Tullio (1998), reconocieron varias secuencias litológicas como basamento y cuatro paquetes sedimentarios con los que esquematizaron perfiles e infirieron esquemas estructurales del subsuelo. El perfil 1 (FIGURA 7) realizado por estos autores incluye la zona de trabajo, muestra el basamento aflorando en la Sierra de Lonco Vaca, las líneas de refracción y algunas perforaciones de relativa profundidad de distintos Organismos. En el paquete sedimentario I consideran las areniscas finas con intercalaciones arcillosas asignadas al Permo-Triásico (Formación Arata de Salso 1966) e incluyen las arcosas de la cantera "Los Cuatro Pozos". Estas últimas son muy duras y compactas por lo que le asignan velocidades mayores de 4200 m/s.

La línea de refracción N° 25024 en Nueva Galia registra una velocidad de 2360 m/s hasta los 48 m de profundidad y a partir de ahí 5475 m/s y la N° 25025, al oeste de la estación de ferrocarril Chamaicó, registra sedimentos de 1087 m/s hasta profundidades máximas de 95 m y una velocidad de 5445 m/s sobrepasando esa profundidad.



FIGURA 7: Perfil 1; variación del basamento en profundidad, tomado de De Elorriaga y Tullio (1998).

Marco geológico

El basamento que aflora en el sector centro-oriental de La Pampa, ha sido interpretado como la extensión austral de las Sierras Pampeanas Orientales (Tickyj *et al.* 1999). Ramos (1996) había sugerido su pertenencia en parte al terreno Pampia y en parte al terreno Chaco (Cratón del Río de la Plata). Chernicoff y Zappettini (2003) consideran la zona incluida dentro de Pampia. Kostadinoff *et al.* (2001) proponen una subdivisión en esta misma área sobre la base de datos geofísicos terrestres (gravimetría y magnetometría), interpretando un sector occidental (Bloque de Chadileuvú) dominado por unidades magmáticas permotriásicas y uno oriental, que en el límite con el anterior está caracterizado por una serie de altos gravimétricos interpretados como cuerpos ultramáficos en un ambiente de metamorfitas.

Considerando a Linares *et al.* (1980) los esquistos, expuestos en la cantera de Lonco Vaca, varían desde filitas a gneises, observándose en estos últimos inyecciones cuarzo-feldespáticas. Los granos más finos contienen abundante biotita alterada en clorita y moscovita-sericita. Las anfibolitas están constituidas por anfíbol (hornblenda) y plagioclasa (andesina cálcica), con textura granoblástica. Los granos de anfíbol se encuentran segregados en bandas, lo cual confiere a la roca un cierto grado de esquistosidad. Es poco frecuente la presencia de piroxeno y cuando este mineral aparece, se encuentra como relicto, a veces de los cristales de anfíbol. En general estas rocas están frescas.

Los granitos expuestos en el frente de la cantera Lonco Vaca (Linares *et al* 1980), forman diques y filones capa intruidos en los esquistos cuarzo-micáceos y anfibolitas del Precámbrico. Los diques de granito por sus contactos netos y rectilíneos, son de dilatación, por lo que puede inferirse un origen magmático para ellos. Algunos cuerpos tienen textura granosa hipidiomorfa de grano medio y otros son de textura

gráfica. Ambos tipos de granitos están frescos y en su composición se destaca la presencia de feldespato potásico y de moscovita.

Según Parica (1986), el basamento se compone de granitos, pegmatitas, esquistos micáceos y lentes de anfibolitas (FIGURA 8).

Los **esquistos micáceos** son de color castaño con marcada esquistosidad y en algunos sectores foliados, gradando a gneises esquistosos. Ambas estructuras presentan rumbo N20°E e inclinación 66° al sureste, ligeramente modificadas por las intrusiones graníticas.

Las **anfibolitas** forman un cuerpo lenticular, elongado en dirección norte-sur, emplazado dentro de los esquistos micáceos. Estas rocas se caracterizan por su color verdoso oscuro y estructura foliada, es característico también su intenso fracturamiento en bloques. Se transforman en esquistos verdes, en la cercanía de las fracturas o de los contactos con otras litologías, con color castaño-rojizo debido a su alteración. La foliación posee rumbo N20°E, como en los esquistos micáceos, y una inclinación promedio de 66° al este.

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	LITOLOGÍA
CENOZOICO	Cuaternario	Holoceno	Sedimentos arenosos, suelos, material de desmonte
	Carbónico	Inferior	Granito aplítico
PALEOZOICO	Ordovícico	Inferior	Granito
PRECAMBRICO	Panamericano		Pegmatita
SUPERIOR	Brasiliano		Esquistos micáceos a gneises. Anfibolitas.

FIGURA 8: Estratigrafía del área de la cantera Lonco Vaca, según Parica (1986)

Las **pegmatitas** constituyen un cuerpo lenticular de disposición NE-SO, aproximadamente concordante con la estructura de los esquistos micáceos a los que intruyó.

Los **granitos** constituyen un conjunto de diques emplazados a lo largo de una faja de fracturamientos, controlada por la estructura de las rocas metamórficas, que posee máxima expresión dentro de las anfibolitas. Los diques muestran un trazado irregular, aproximadamente paralelo a la estructura de las rocas metamórficas, con diseño ramificado a partir de un núcleo del que irradian con variable espesor. Muestran acuñamientos, emplazamientos en fracturas curvas y suelen rodear grandes bloques de anfibolitas a causa de su diseño ramificado.

Los **granitos aplíticos** forman un conjunto de diques discordantes emplazados en un sistema de fracturas que atraviesan a las restantes litologías con rumbo N75°E. Las fracturas que le permitieron su emplazamiento fueron reactivadas produciendo cataclasis general y localmente brechamiento con relleno de cuarzo. Son rocas de color gris a castaño rosado, de grano fino a medio.

La geología de la provincia de San Luis abarca íntegramente la unidad morfoestructural conocida como Sierras Pampeanas (Yrigoyen 1981, Miró *et al.* 2000). Las rocas más antiguas corresponden a un basamento cristalino Proterozoico superior a Cámbrico, expuesto en las Sierras de San Luis, Comechingones, El Gigante y otras sierras menores. La litología predominante es gneis, migmatita, anfibolita, esquisto y diversos tipos de granitoides. En el sector occidental, particularmente en la Sierra de El Gigante, se reconocen mármol, gneis y anfibolita. Las secuencias originales de los protolitos, han sido asignadas al Proterozoico superior, registrándose luego diversos episodios metamórficos, tectónicos y magmáticos, desde el Cámbrico hasta el Carbonífero inferior.

Por encima del basamento se encuentran remanentes de depósitos sedimentarios gondwánicos (Carbonífero-Pérmico). Durante el Cretácico se produjo la formación de cuencas continentales por una tectónica de rifting, donde se generaron depósitos sedimentarios que varían de abanicos aluviales hasta lagunares. En la parte superior de la pila sedimentaria existen intercalaciones basálticas alcalinas, las que se encuentran igualmente en el interior de la Sierra de San Luis. Finalmente, durante el Terciario (Oligoceno-Plioceno) se depositaron areniscas y conglomerados rojizos y grisáceos en cuencas de bolsones originadas en el basculamiento de los bloques serranos. Se encuentran además manifestaciones volcánicas triásicas, cretácicas y terciarias.

Capítulo III

Los métodos gravimétrico y magnético hacen uso de campos naturales, que incluyen variaciones locales o regionales relacionadas con las características geológicas de la corteza terrestre hasta cierta profundidad determinada por el alcance del método.

GRAVIMETRÍA

Las mediciones que se realizan son relativas, es decir consideran las variaciones laterales de la atracción gravitatoria de un lugar al otro puesto que en estas mediciones se pueden lograr una precisión satisfactoria más fácilmente en comparación con las mediciones del campo gravitatorio absoluto.

Los datos corregidos (reducidos) apropiadamente muestran las variaciones en la gravedad con respecto a lo normal (o teórico) para la zona.

Procesamiento de los datos

Cálculo de anomalías

El cálculo de anomalías se efectuó por las expresiones clásicas que se explican brevemente a continuación.

Una anomalía de gravedad es la variación de los valores medidos de la gravedad con respecto a la gravedad normal después de haber aplicado las correcciones necesarias, es decir que un valor corregido es el observado o leído en el lugar menos el valor previsto de la gravedad basándose en el modelo terrestre elegido.

Las correcciones o reducciones comúnmente aplicadas a los datos gravimétricos tomados en terreno son:

- a) Corrección por deriva instrumental
- b) Corrección debido a la influencia de las mareas terrestres
- c) Corrección por latitud
- d) Corrección por altura
- e) Corrección por losa plana
- f) Corrección topográfica

Corrección por deriva instrumental

Cuando se repite una medición por un gravímetro en el mismo lugar y bajo las mismas circunstancias varias veces en el día se obtienen distintas lecturas. Estas variaciones se deben a los componentes mecánicos internos (resortes de cuarzo) no perfectamente elásticos de los gravímetros, por efecto de la temperatura y a la influencia de las mareas. La deriva del instrumento se corrige observando los valores de gravedad correspondientes a la estación de base en intervalos determinados de tiempo, y durante todo el período de la campaña; la primera y la última medición se deben realizar en la estación base. Durante el relevamiento realizado para este trabajo al comenzar cada día de campaña de medición gravimétrica, se efectuaba la lectura de la gravedad en la puerta de entrada de la escuela Chamaicó, la que se repetía al finalizar el día de relevamiento.

Corrección por mareas

Debido a la sensibilidad de los instrumentos de medición, las lecturas son influenciadas por la atracción gravitatoria del sol y de la luna y registran las variaciones periódicas causadas por ellos. Estas fuerzas modifican los niveles de las aguas terrestres y la superficie terrestre sólida deformándola en forma similar pero menos significativamente (sólo algunos centímetros), haciendo variar la distancia de la estación con respecto al centro de la Tierra continuamente.

Los valores observados en las distintas estaciones tienen superpuestos el efecto de marea por lo que deben ser corregidas. Para ello, las variaciones que ocurren durante el transcurso de la campaña de medición, son registradas realizando lecturas con el gravímetro cada cierto lapso de tiempo en la estación de base y se grafican en una curva que refleja esos cambios de gravedad en función del tiempo. Para realizar la corrección, se elige un valor de referencia, por ejemplo la primera lectura observada en la estación de base, y a partir de ese punto se le resta al valor leído en una estación, la corrección (valor en la curva construida con los valores de la estación base) considerando el momento (hora) en que fue tomado el dato.

Corrección por latitud

Como la Tierra no es esférica, sino que presenta achatamiento en los polos y ensanchamiento en la zona ecuatorial, la gravedad será mayor en los polos (más cerca del centro de la Tierra) y menor en el Ecuador (más lejos); esto significa que el valor de "g" varía con la latitud. Existen numerosas fórmulas internacionales para considerar esa variación de la gravedad, para este trabajo se consideró la fórmula de Gravedad Teórica Normal para el Elipsoide de 1967 (g $_{\phi}$), que es la siguiente:

$$g_{\phi} = 978031,85 \times (1+0,0053024 \, sen^2 \phi - 0,00000587 \, sen^2 2\phi) \, [mgal]$$

Corrección por altura o de Aire Libre (C_{AL})

La intensidad de la gravedad varía en relación inversa al cuadrado de la distancia que existe entre el centro de la Tierra y la estación donde se realizó la observación, por lo que es importante llevar a todas las lecturas a una misma altura con respecto al nivel del mar. Las mediciones se corrigen por "efecto de aire libre" considerando la diferencia de altura entre el nivel de referencia y el nivel de la estación sin tener en cuenta las masas de rocas presentes o no entre ambos. La fórmula que se aplica es:

$$C_{AL} = +0,3086 \times h[mGal]$$

Donde h: altitud de la estación con respecto al nivel de referencia

Corrección por losa plana o de Bouguer (C_B)

La corrección de Bouguer considera el efecto del material que se encuentra entre el nivel de referencia y la estación de observación. La variación esperada se modela utilizando la hipótesis de que se puede aproximar a la influencia ejercida por una losa horizontal de dimensiones infinitas y de densidad uniforme, cuyo piso coincide con el nivel de referencia y cuyo techo está en el nivel de la estación de observación. La fórmula que se emplea es la siguiente:

$$C_{B} = 2 \times 3.14159 \times G \times \delta \times h[mGal]$$

- G = constante de gravitación = $6,67 \times 10^{-8}$ cm³/g s²,
- δ = densidad de las rocas ubicadas entre el nivel de referencia y el nivel de la estación de observación en g/cm³,
- h = diferencia de altura entre el nivel de referencia y el nivel de la estación de observación en metros.

Las masas de rocas aumentan el valor de atracción gravitatoria registrado en una estación situada a altura mayor que la estación de base, lo contrario ocurre cuando la estación de base está por encima del nivel de referencia.

Considerando una densidad de 2,67 g/cm³, la fórmula es la siguiente:

$$C_{B} = 0.1119 \times h[mGal]$$

Corrección topográfica (C_T)

Los accidentes topográficos tienen influencia en los valores observados debido a que ejercen una atracción directamente proporcional a su densidad. La componente vertical relacionada con alturas topográficas, estará dirigida hacia arriba y por consiguiente reducirá la gravedad correspondiente a una estación de observación cercana, una depresión actúa como una masa negativa, por lo que su componente atractiva vertical también estará dirigida hacia arriba. Por esto siempre se debe añadir el valor de esa componente vertical al valor de gravedad observada en la estación de observación. La corrección topográfica se realiza en sitios donde el relieve es importante.

Debido a las características del lugar donde se realizó la campaña, los datos no se corrigieron por topografía.

Anomalías

La anomalía de aire libre (A_{AL}) es el resultado de aplicar las correcciones debido a la influencia de las mareas y la deriva del instrumento de medición, incluidas en el valor de gravedad observada (g_o), a la latitud (g_ϕ) y a la altura (C_{AL}).

$$A_{AL} = g_{ob} \pm C_{AL} - g_{\varphi}[mgal]$$

La anomalía de Bouguer (A_B) se obtiene aplicando todas las correcciones consideradas en la anterior más la de Bouguer (C_B) .

$$A_B = g_{ob} \pm C_{AL} \mp C_B - g_{\varphi}[mgal]$$

Efectos gravimétricos de masas de formas simples

El cálculo de los efectos gravitatorios de modelos se utiliza para la estimación de magnitudes y formas de los cuerpos que producen anomalías gravimétricas. Generalmente se consideran cinco formas geométricas: esfera, cilindro horizontal, losa horizontal, prisma rectangular y cilindro vertical que, tomadas en forma individual o combinadas entre sí, permiten aproximar un gran rango de estructuras geológicas (Sharma 1986).

El modelo de la losa horizontal es usado para aproximaciones en los efectos gravimétricos producidos por fallas. En el caso de una falla simple (FIGURA 9) el contacto entre capas de densidad $\delta 1$ y $\delta 2$, producido por el desplazamiento vertical (t) de la falla, produce una anomalía equivalente a una capa semi-infinita de espesor t y contraste de densidad $\Delta \delta$ ($\delta 1 - \delta 2$) directamente sobre la falla (x=0).

Para un falla pequeña (t=z) se puede considerar que la masa de la losa anómala está condensada en un lámina fina en el plano medio de la loza a profundidad z, por lo tanto, el exceso de masa es $\Delta\delta$ t por unidad de área.

El efecto gravitatorio es:

$$\Delta g = 2 G t \Delta \delta \phi$$

Cuando $\phi = 90^{\circ}$

$$\Delta g = 2Gt\Delta\delta\left(\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\frac{x}{z}\right)$$

 $\Delta g = 0.04191 t \Delta \delta$

$$t = \frac{\Delta g}{\Delta \delta 0.04191}$$

$$t[m] = \frac{\left(g_{\max} - g_{\min}\right)}{\left(\partial_2 - \partial_1\right) \times 0,04194} \frac{[mGal]}{[gr/cm^3]}$$
(a)



Prospección geofísica del cerro Lonco Vaca, provincia de La Pampa.

FIGURA 9: ARRIBA, efectos gravimétricos producidos por el contraste de densidades entre los distintos bloques de una falla. ABAJO, modelo de falla simple que produce el efecto de arriba.

El cambio total de la anomalía de gravedad a través de la falla es: $2 Gt \Delta S \phi$ (atracción de la gravedad de una losa infinita de espesor t) sin considerar la profundidad z de la losa. Para una falla vertical, el cambio en la gravedad sobre ambos lados de la traza de la falla es la mitad del valor total. El cambio es independiente de la inclinación de la cara lateral de la placa. El producto $t \Delta S$ puede ser directamente determinado desde la anomalía de gravedad. La profundidad z del plano medio de la losa es marcada por la distancia horizontal entre los valores de gravedad medio (g_{med}) y un cuarto ($g_{1/4}$) de la variación total.

Cuanto más profunda es z, más escarpada será la curva de anomalías de g. La aproximación de condensar la masa de la losa en una hoja delgada es sorprendentemente ajustada aún para los cuerpos de grosor considerable como cuencas sedimentarias profundas (Nettleton 1971). Esta particularidad, como se verá más adelante, es importante para el cálculo de la falla que margina el lado oeste de la sierra de Lonco Vaca.

Separación de anomalías: regionales y residuales

Una anomalía de gravedad se define como la variación de los valores medidos de la gravedad con respecto a la gravedad normal después de haber aplicado las correcciones necesarias.

Las anomalías de gravedad son consecuencia de estructuras geológicas relativamente pequeñas por lo que, como en el caso que nos ocupa, aparecen como distorsiones menores de las curvas de isovalores de los mapas obtenidos luego de realizar las correcciones. Cuando los efectos son perceptibles por grandes distancias, son llamadas "anomalías regionales" en contraste con las "anomalías locales" que reflejan estructuras de pequeña escala. Para poder separarlas, hay distintos métodos que se deben apoyar en el conocimiento geológico del área para un buen resultado.

El procedimiento para reconocer el efecto regional (es decir filtrar los efectos gravimétricos superficiales) es por lo general sencillo y se puede realizar tanto en forma gráfica como analítica. En un área pequeña (como en este caso), puede aparecer como una variación uniforme representada por contornos con espaciamiento constante y paralelos entre sí. Una vez obtenidas las curvas isovalores del efecto regional se procede a realizar la resta entre ellas y las anomalías de Bouguer, obteniéndose así las anomalías gravimétricas residuales sin la influencia de la tendencia regional.

El cálculo de las anomalías regionales se realizó, utilizando el método de prolongación ascendente (Pacino e Introcaso 1987), que incluye:

- a) reducción de las anomalías de Bouguer al nivel medio del mar
- b) prolongación ascendente del campo potencial a distintas altitudes y elección de la señal gravimétrica que filtre las pequeñas longitudes de onda.

MAGNETOMETRÍA

La magnetometría es, como la gravimetría, un método geofísico que mide campos naturales, relativamente simple de aplicar pero más complicado para interpretar. El campo magnético de la Tierra no es constante sino sufre variaciones con el tiempo y con respecto a su forma y afecta a los materiales que contienen minerales que se pueden magnetizar (con Fe), quienes producen un campo magnético inducido, es decir su propio campo magnético. Un magnetómetro mide las anomalías magnéticas en la superficie terrestre, las cuales podrían ser producto de un yacimiento.

En un lugar determinado, como todo vector tridimensional, el campo magnético de la Tierra tiene tres componentes: X, en la dirección N-S, Y, en la dirección E-O y Z en la dirección vertical (sentido positivo hacia abajo). El valor leído en el campo se constituye de las magnitudes correspondientes al campo geomagnético y al campo magnético anómalo generado por los distintos cuerpos enterrados. El efecto magnético total ejercido por estos cuerpos enterrados que se mide desde la superficie depende de la dirección del campo geomagnético en el lugar de observación y de la imantación inducida en este cuerpo paralela al campo geomagnético.

Para determinar el valor en cualquier momento y lugar de las distintas componentes del campo magnético considerado "normal" en algún lugar de la Tierra, se

utilizan programas como el IGRF (International Geomagnetic Reference Field) que utiliza mediciones realizadas en diversos lugares del mundo por las Estaciones magnetométricas. Argentina cuenta con varias estaciones, entre las que se pueden mencionar: Pilar (Córdoba), Las Acacias (Buenos Aires), Trelew (Chubut) y La Quiaca (Jujuy).

Para obtener el valor de intensidad magnética total del campo magnético del lugar relevado, se utiliza un programa al que se accede en gratuitamente desde la página http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/, de la Internacional Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA), con los valores de latitud, longitud y altura de la estación y la fecha del año en que se realizaron las mediciones.

Para este estudio, la corrección de variación diurna geomagnética se realizó considerando los magnetogramas de la estación geomagnética Las Acacias del Observatorio Astronómico de La Plata. A los valores de campo obtenidos se les restó el valor del Campo Geomagnético Internacional de Referencia o IGRF (International Geomagnetic Reference Field) obtenido de la página de la IAGA.

Se obtuvieron así los valores con los que se construye el mapa de anomalías magnéticas que permite delinear las variaciones del campo geomagnético relacionadas con las características de la región.

Capítulo IV

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GRAVIMÉTRICOS

Para la interpretación gravimétrica de las estructuras de la zona de estudio se elaboraron mapas del campo potencial para identificar anomalías de distinta longitud de onda y posteriormente filtrar las estructuras geológicas profundas (regionales) de las superficiales (residuales).

Según los antecedentes, la zona de estudio se encuentra en una zona de alto gradiente gravimétrico que se desarrolla entre el alto de Rancul (+21 mGal) que se encuentra en el sector este a pocos kilómetros de la zona de estudio y la cuenca de Nueva Galia (-59 mGal) por el oeste, debido a lo cual, los mapas de gravedad Bouguer (Kostadinoff *et al.* 2001 y 2006), no muestran variaciones notables en el área de Lonco Vaca (FIGURAS 10 y 11).



FIGURA 10: mapa de gravedad Bouguer donde se nota el gradiente regional producido por el alto de Rancul hasta la cuenca de Nueva Galia (Kostadinoff *et al.* 2001)



FIGURA 11: Configuración 3D de gravedad Bouguer donde se advierten las cuencas del sur de la provincia de San Luis (Modificado de Kostadinoff *et al.* 2006).

Anomalía gravimétrica Simple de Bouguer

El mapa de anomalía simple de Bouguer (FIGURA 12) para la zona estudiada se construyó con los datos corregidos tal como se explicó en la metodología.



FIGURA 12: Anomalía Simple de Bouguer

Al tratarse de un zona de gran pendiente gravimétrica, no fue posible reconocer y separar adecuadamente los distintos componentes (estructurales y litológicos) del lugar, aunque se pueden notar los sectores de cuencas (valores más bajos) y los altos del basamento, también es posible diferenciar los bloques hundido y levantado de la falla y variaciones abruptas muy locales, relacionados con cuerpos de distintas litologías.

Anomalía gravimétrica Regional

Según los datos registrados para este trabajo, se pudo comprobar que en la zona, el gradiente regional varía entre los -4 y los -34 mGal, incluyendo y atenuando los efectos de la falla de la Sierra Lonco Vaca y el de los cuerpos de distintas litologías que conforman la sierra.

Para realizar el mapa de regional se utilizó el programa Oasis Montaj. Se probaron varios valores y el que mejor mostró la variación del regional fue el de prolongación analítica a h=30 km de altura.

El mapa regional resultante (FIGURA 13) muestra en general, y especialmente en la parte central, una pendiente relativamente uniforme de poca importancia, lo que induce a pensar que las anomalías son superficiales.



FIGURA 13: Anomalía Regional

Se pudo inferir la presencia de una falla profunda cuya ubicación es evidenciada solo por la utilización de filtros de gran longitud de onda. Esta se ubica en el sector oeste, y corresponde sólo a un pequeño tramo de una falla relacionada con la cuenca de Nueva Galia que posiblemente continúe su desarrollo en la provincia de San Luis.

Anomalía gravimétrica residual de Bouguer

El mapa de anomalías residuales de Bouguer, permite reconocer una falla de rumbo NNE que separa dos configuraciones gravimétricas diferentes, la del sector oeste donde las anomalías principales son negativas y la del este donde son positivas (FIGURAS 14 y 15).

En la parte occidental de la zona de trabajo los mínimos gravimétricos muestran valores menores a –6 mGal y la anomalía más desarrollada tiene una longitud de 18 km y un ancho de 8 km. La zona está caracterizada por un déficit de masa, lo que se ajusta a la ubicación del bloque hundido de la falla.



La zona oriental se caracteriza por la presencia de altos gravimétricos con valores superiores a 3 mGal. Se pueden reconocer diferentes singularidades, cuya alineación y distribución hacen pensar que corresponden al bloque elevado de la falla. La superficie ocupada por las anomalías es de aproximadamente 36 km².

El análisis de las anomalías locales (FIGURAS 14 y 15), de carácter superficial, muestra una alternancia entre los picos máximos y mínimos que corresponde posiblemente a variaciones laterales de densidad entre los diferentes tipos litológicos.



FIGURA 15: Anomalías Residuales en una vista 3D.

Cálculo del rechazo de la falla

Para la caracterización estructural de la falla se esquematizaron varios perfiles perpendiculares a ésta, en distintas ubicaciones, pero, debido a las anomalías locales (FIGURA 15) no fue posible concretar una pendiente común en todos.

El perfil A-A' que mostró las mejores características para calcular el rechazo de la falla, se ubica en la parte media de la zona de estudio (FIGURA 16).

Según los antecedentes (Linares *et al.* 1980, Parica 1986 y González *et al.* 2005), la falla de Lonco Vaca es inversa con el bloque elevado ubicado al este de su traza. Esto es confirmado por los resultados de este trabajo.

A partir del corte transversal y considerando las densidades del anexo I se pudo calcular un desplazamiento o rechazo para esta estructura.

Se estima, según el corte transversal A-A', que la falla posee una expresión de 6,5 mGal, con una Δ Gmáx de -9 mGal y una Δ Gmín de -15,5 mGal (FIGURA 17).



El modelo propuesto considera un contraste de densidades de 0,25 g/cm³, asignándole una densidad de 2,7 g/cm³ a las rocas graníticas y metamórficas basales del Paleozoico y de 2,45 g/cm³ para los sedimentos del Mesozoico de la cuenca de Nueva Galia (arcosas de la cantera de la estancia Los Cuatro Pozos) (Kostadinoff *et al.* 2006). Considerando la fórmula correspondiente (a)², con estos datos, es posible calcular para la falla un rechazo de aproximadamente 620 m.

² Capítulo III, página 19.



FIGURA 17: Corte transversal perpendicular al desarrollo de la falla

Si se incluyen las anfibolitas en el modelo, el contraste de densidad seria de 0,65 g/cm³ y el rechazo de falla seria de 238 metros. No se creyó conveniente considerar este modelo ya que las anfibolitas en superficie presentan densidades variables y escasos espesores, lo que no permite inferir un modelo real.

Capítulo V

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS MAGNETOMÉTRICOS

La interpretación de las anomalías magnéticas no arroja resultados comparables a los datos aportadas por la gravimetría. La falta de correlación entre los dos tipos de datos estaría relacionada con la presencia de distintos tipos de rocas y a la variación de las propiedades magnéticas en cada una de ellas.

Según los datos aportados por Kostadinoff (com. per. 2006) la susceptibilidad magnética de las anfibolitas de Lonco Vaca poseen valores variables entre 0 y 0,0030000 nT (Anexo I, Tabla II). Los cambios en los datos superficiales de susceptibilidad magnética se producen tanto en estas rocas como en metamorfitas e incluso en los calcáreos que se encuentran en la zona, por lo que no se pueden precisar valores más o menos convincentes para cada una de ellas.

La variación en el mapa magnético de la zona (FIGURA 18), puede deberse a la presencia de intrusiones y fajas de deformación de distinta magnitud en profundidad, por lo que no es posible contrastar las mediciones magnetométricas con la geología de superficie.



FIGURA 18: Distribución, en una vista 3D, de las anomalías magnetométricas

Capítulo VI

MODELO

En la zona de estudio, de Elorriaga y Tullio (1998) interpretan en la localidad de Nueva Galia, a partir de datos de refracción sísmica, "basamento" a muy poca profundidad. Los datos de gravimetría indican la presencia de una subcuenca perteneciente a la cuenca de Nueva Galia en el mismo sector. Se podría pensar entonces que lo interpretado en un principio como basamento por su alta velocidad, correspondería al relleno sedimentario de la cuenca. Tal como lo refieren de Elorriaga y Tullio (1998), las altas velocidades serían compatibles con las características de las rocas que se encuentran en la cantera Cuatro Pozos ubicada en la provincia de San Luis y las consideradas por Giai (1984) como los sedimentos rojos correlacionables con el Grupo Sierra de Los Cóndores. Esta consideración permite reinterpretar la configuración del basamento, por lo menos en la zona de estudio.

En la zona de la sierra de Lonco Vaca, se considera que el bloque bajo, ubicado al oeste de la falla, se correspondería con la extensión este de la cuenca de Nueva Galia donde se encontraría un relleno de 600 metros de sedimentitas equivalentes a las encontradas en la cantera de la estancia los Cuatro Pozos. Hacia el este, el bloque alto de la falla se corresponde con el cerro Lonco Vaca.

La interpretación resultante de este estudio, no es posible considerarla más allá de la superficie relevada debido principalmente a la falta de datos, tanto de perforaciones, líneas sísmicas o estudios magneto-gravimétricos de detalle, que permitan inferir el modelo del basamento en profundidad.

CONCLUSIONES

Observando el mapa de anomalía de Bouguer, es posible observar dos mínimos gravimétricos de importancia. El primero se encuentra en el sector suroeste del área de estudio y se corresponde con la extensión oriental de la cuenca de Nueva Galia. El segundo se encuentra en el sureste pudiendo pertenecer a una subcuenca o bien indicar la ubicación de un intrusivo.

La zona oriental se caracteriza por la presencia de altos gravimétricos, donde se pueden reconocer dos singularidades más importantes. Su carácter gravimétrico corresponde a valores superiores a 3 mGal y se relaciona con la zona donde el basamento de encuentra aflorante o subaflorante, es decir el bloque elevado de la falla.

La alineación y distribución de los mínimos y máximos marcan la posición de la falla inversa que ha levantado el bloque de basamento correspondiente a la sierra de Lonco Vaca. Considerando un perfil transversal, se calculó para la falla un rechazo de más de 600 metros.

A través del análisis de las anomalías locales, se pudo interpretar que:

- Los mínimos y máximos pueden ser correlacionados con cuerpos rocosos de distinta composición, emplazamiento de intrusivos graníticos (menor densidad), esquistos (densidad intermedia) y cuerpos anfibolíticos (alta densidad) por lo que las variaciones laterales de gravedad, corresponderían a las zonas de contacto entre ellos.
- 2. Las anomalías locales son superficiales.

La falta de correlación entre los datos magnéticos y los gravimétricos se debe a la gran variabilidad en cuanto a propiedades magnéticas que se registra en los distintos tipos de rocas presentes tanto en superficie como en profundidad. Este factor estaría relacionado principalmente con la historia de múltiples eventos de deformación e intrusión ocurridos.

Agradecimientos

- Al Dr. José Kostadinoff y a la Lic. Elena E. de Elorriaga por facilitarme el instrumental, por su paciencia y todos sus consejos y correcciones para este trabajo.
- A la Facultad de Ciencias Naturales de la UNLPam por la ayuda económica brindada. A la Universidad Nacional del Sur y Universidad Nacional de San Juan por el material aportado.
- Al Dr. Eduardo Mariño y al Dr. Gustavo Bertotto por sus valiosas correcciones.
- A mis amigos que estuvieron siempre a mi lado. Especialmente a Martín Lorda por su ayuda en el trabajo de campo que se realizo para esta tesina.
- A Eva y Alfredo por brindarme un lugar en su familia.
- A Majo por llevarme de la mano en la vida sin soltarme.
- A mis abuelos por sentar las bases de lo que soy hoy.

Bibliografía mencionada en el texto

- CHEBLI, G. A., MOZETIC, M. E., ROSSELLO, E. A. Y BUHLER, M., 1999. Cuencas Sedimentarias de la Llanura Chacopampeana. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29 (20): 627-644, Buenos Aires.
- CHERNICOFF, C.J. y ZAPPETTINI, E.O., 2003. Delimitación de los terrenos tectonoestratigráficos de la región centro-austral Argentina: evidencias aeromagnéticas. Revista Geológica de Chile, 30 (2): 299-316.
- **DE ELORRIAGA, E.E. y TULLIO, J.O., 1998.** Estructuras del Subsuelo y su Influencia en la morfología en el Norte de la Provincia de La Pampa. X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica. Actas III: 499-506, Buenos Aires.
- **DELPINO, S., FERRACUTTI, G., KOSTADINOFF, G. y BJERG E., 2005**. La prolongación austral de las Sierras Pampeanas en la provincia de La Pampa: evidencias geofísicas y geológicas. Revista de la Asociación Geológica Argentina 60 (3): 535-551.
- **GIAI, S., 1984.** Ambiente de las Sierras Pampeanas en el subsuelo de La Pampa. Revista Pampa Geológica 3: 2-4. Santa Rosa.
- GONZALEZ, P.D., SATO, A., BASEI, M.A., LLAMBIAS, E., SPROESSER, W. y PAEZ, G., 2005. Early Cambrian high-grade metamorphism at Sierra de Lonco Vaca: southern extension of the Pampean orogen from Sierras de Córdoba, Argentina. In: Pankhurst, R. and Veiga, G. (eds.). Gondwana 12: Geological and Biological Heritage of Gondwana, Abstracts, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina, p. 179.
- HARRINGTON, H., 1956. Argentina. Handbook of South American Geology. Geology Soc. American, W. F. Jenks (Ed.), Memoir 65: 129-165. Nueva York.
- KOSTADINOFF, J., LLAMBÍAS, E., RANIOLO, L. y ALVAREZ, G., 2001. Interpretación geológica de los datos geofísicos del sector oriental de la provincia de La Pampa. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 56 (4): 481-493.
- KOSTADINOFF, J., GREGORI, D., BJERG, E. RANIOLO, A. y ÁLVAREZ G., 2002. La prolongación austral de las Sierras de San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina 57 (4): 359-364.
- KOSTADINOFF, J.; GREGORI, D.; RANIOLO, A.; LÓPEZ, V. y STRAZZARE, L., 2006. Configuración geológica-geofísica del sector sur de la provincia de San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina 61 (2): 03-18.

- LINARES, E., LLAMBÍAS, E. y LATORRE, C., 1980. Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 35 (1): 87-146.
- MIRANDA, S., 1998. Análisis e interpretación de la estructura profunda de la sierra de Córdoba (Argentina) a partir de datos de gravedad. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario. 130p. (inédito).
- MIRÓ R., IVKOVIC K.I., KINGHAM R., LAWRENCE C., CHARTRES C.J., DAMIANI O.A., FERRÉS C., GARCÍA E., GIANNI R.N., POBLETE M., RODRÍGUEZ J.A., RODRÍGUEZ R., SÁNCHEZ V., SIRI J., TORRES C., WETTEN C., ZAVALIA E. SR. y ZAVALIA E. JR., 2000. Evaluación de posibilidades físicas y económicas de riego con aguas subterráneas en la provincia de San Luís. Informe correspondiente a la Fase 1 del Proyecto. Los Recursos Hidrológicos Subterráneos de La Provincia de San Luís. Cooperación Técnica Argentino-Australiano (Australian Bureau of Rural Sciences y SEGEMAR). Informe N°6.
- **NETTLETON, L.L., 1976.** Gravity and magnetics in oil prospecting. Ed. Mc Graw Hill. New York, 464 pp.
- **PACINO M. C., INTROCASO A., 1987.** Regional anomaly determination using the upwards continuation method. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 29 (114): 113-122.
- PARICA, P., 1986. Petrología y geocronología del sector central de la Sierra de Lonco Vaca, La Pampa. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 41 (3-4): 270-289.
- RAMOS, V., 1996. Evolución tectónica de la Plataforma Continental. In Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina (Ramos, V.A.; Turic, M.A.; editores). Asociación Geológica Argentina/Instituto Argentino del Petróleo, p. 385-404. Buenos Aires
- SALSO, J. 1966. La cuenca de Macachín, provincia de La Pampa. Revista de la Asociación Geológica Argentina 21 (2): 107-117.
- SHARMA, P.V., 1986. Geophysical Methods in Geology. Prentice Hall, Inc.
- STAPPENBECK, R., 1913. Investigaciones hidrogeológicas de los valles de Chapalcó y Quehué y de sus alrededores (Gobernación de La Pampa). Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Boletín 4, Serie B (Geología): 1-55, Buenos Aires.
- **STAPPENBECK, R., 1926.** Geologie und Grundwasserkunde der Pampa. Sttugart. Geología y aguas subterráneas de la Pampa. Traducción argentina, 1978, Córdoba. Ediciones Pangea Argentina.
- TICKYJ, H., BASEI, M., SATO, A. y LLAMBÍAS, E., 1999. U-Pb and K-Ar ages of Pichi Mahuida Group, crystalline basement of south-eastern La Pampa province,

Argentina. 2º South American Symposium of Isotope Geology, Actas: 139-144, Villa Carlos Paz.

- WEBSTER, R.E., CHEBLI, G.A. y FISCHER, J.F., 2004. General Levalle Basin, Argentina: A Buried Lower Cretaceous Rift
- **YRIGOYEN, M., 1981.** Síntesis, en Geología y Recursos Naturales de la provincia de San Luis. 8º Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 7-32.

Anexo I

Tabla I:	Densidades de las rocas	de Lonco V	/aca (valores en	g/cm^3)
				0

Rocas de Lonco Vaca	Densidad
LV–1(Anfibolita)	3.16
LV–3(Anfibolita)	2.98
VD-1-1(Anfibolita)	3.07
VD-1-2(Anfibolita clara)	2.89
VD-1-3(Anfibolita)	2.84
VD-2-2(Anfibolita con oxidos)	3.05
M–01030702(ANFIBOLITA CPX-TIPO A)	2.80
M–02030702(ANFIBOLITA CPX-TIPO B)	2.95
M-08030702(ANFIBOLITA HBL-PL-TIPO B)	3.02
M–01040702(ANFIBOLITA CPX-TIPO B)	3.03
M–02040702(ANFIBOLITA CPX-TIPO B)	2.84
VD–11(FÉLSICA)	2.64
VD–19(ANFIBOLITA HBL-PL-TIPO A)	2.89
VD–22(ANFIBOLITA-IDEM 0104)	3.05
G–1(GRANOBLASTITA CPX)	2.95
M–07030702(GRANITO MILONÍTICO)	2.50

Tabla IISusceptibilidad magnética de las rocas aflorantes en la Sierra Lonco Vaca
(valores en nT)

Rocas de Lonco Vaca	Susceptibilidad
LV-1(Anfibolita)	0.003000
LV–3(Anfibolita)	0.006220-0.013000
VD-1-1(Anfibolita)	0.030000
VD-1-2(Anfibolita clara)	0
VD-1-3(Anfibolita)	0.000250
VD-2–2(Anfibolita con oxidos)	0.023000
M–01030702(ANFIBOLITA CPX-TIPO A)	0.01740
M–02030702(ANFIBOLITA CPX-TIPO B)	0.001020 - 0.000750
M-08030702(ANFIBOLITA HBL-PL-TIPO B)	0.017400 - 0.006220
M–01040702(ANFIBOLITA CPX-TIPO B)	0.000420 - 0.000530
M–02040702(ANFIBOLITA CPX-TIPO B)	0.012300 - 0.015600
VD-19(ANFIBOLITA HBL-PL-TIPO A)	0.000450 - 0.000220
VD–22(ANFIBOLITA-IDEM 0104)	0.038300 - 0.0358
G–1(GRANOBLASTITA CPX)	
VD–11(FÉLSICA)	0.000400 - 0.000460
M-07030702(GRANITO MILONÍTICO)	0.000280 - 0.000320