

ESTUDIO GEOFISICO DEL SECTOR NORTE DE LAS SIERRAS DE SAN LUIS Y DE ULAPES - LAS MINAS, PROVINCIA DE LA RIOJA

Gabriela FERRACUTTI, José KOSTADINOFF y Ernesto BJERG

INGEOSUR - CONICET y Departamento de Geología-Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
Email: gferrac@uns.edu.ar

RESUMEN

Un lineamiento de anomalías gravimétricas relativas de Bouguer positivas (exceso de masa), de 60 km de longitud se extiende, con rumbo NNE, entre la localidad de San Francisco del Monte de Oro en la provincia de San Luis hasta el norte de las sierras de Ulapes - Las Minas en la provincia de La Rioja. En dicha faja las anomalías magnéticas tienen una magnitud similar a las halladas en los afloramientos de anfibolitas de las sierras de Socoscora, provincia de San Luis. Además, se presenta otro máximo relativo de gravedad entre Villa General Roca y la sierra de Las Minas, sobre el cual las anomalías magnéticas medidas son débiles (casi nulas) en concordancia con los valores de susceptibilidad magnética determinados en los afloramientos de granitos, milonitas y gneises de las sierras de Las Minas, Ulapes y Socoscora. Se determinó una marcada coincidencia entre una anomalía gravimétrica relativa de Bouguer positiva y una estructura (devónica?) con alteración hidrotermal al NE de la localidad de Ulapes.

Palabras clave: *Geofísica, Anomalías gravimétricas, Anomalías magnetométricas, Sierras Pampeanas, Argentina.*

ABSTRACT: *Geophysical study the northern sector of Sierra de San Luis and Ulapes-Las Minas, province of La Rioja.* A 60 km long N-NE alignment of relative positive Bouguer gravimetric anomalies (mass excess) has been recognized between the locality San Francisco del Monte de Oro in San Luis Province and the northern part of Sierra of Ulapes - Las Minas in La Rioja Province. In this belt the magnetic anomalies have magnitude similar to those measured on the amphibolite outcrops in the Sierra de Socoscora. Another gravimetric maximum appear between Villa General Roca and Sierra de Las Minas, which display weak magnetic anomalies (almost zero) in agreement with the magnetic susceptibility values obtained on granites, milonites and gneissic outcrops from Sierras of Las Minas, Ulapes and Socoscora. There is an excellent correlation between the relative positive Bouguer gravimetric anomaly in the NE of Ulapes locality and a known (Devonic?) structure with associated hydrothermal alteration.

Keywords: *Geophysics, Gravimetric, Anomalies, Magnetometric, Sierras Pampeanas, Argentina.*

INTRODUCCIÓN

Los afloramientos de las rocas ígneas y metamórficas del basamento de las provincias de San Luis y La Rioja son abundantes en la región de las sierras pero se desconoce su yacencia y relación por debajo de la cubierta sedimentaria de la planicie interserrana. Para elaborar un modelo geológico sobre la base de las observaciones de las anomalías gravimétricas y magnetométricas se confeccionaron mapas que permitieron evaluar las diversas estructuras, las cuales son analizadas en el presente trabajo. El área que se extiende en el sector sures-

te de la provincia de La Rioja y noreste de San Luis es una llanura de suave relieve cubierta con sedimentos neógenos que impide la identificación precisa de las rocas de basamento y su estructura (Fig. 1). Por lo tanto la geología del subsuelo entre las Sierra Grande de San Luis y las de Ulapes - Las Minas es casi desconocida, pero por cercanía, extensión y similitud puede ser considerada como una zona de transición dentro del sistema de las Sierras Pampeanas. Las características geológicas más destacables de estas sierras son la distribución de las rocas paleozoicas que se disponen en una faja con dirección norte - sur.

La sierra de Ulapes fue estudiada por Bodenbender (1911, 1912), Braccini (1946, 1948), Frengüelli (1946, 1949 y 1950) y Turner y de Alba (1968). Estudios posteriores realizados por Caminos (1979) elevan el conocimiento de la región con la publicación de un mapa geológico de las sierras de Las Minas.

Las posibilidades mineras de las sierras de Minas y Ulapes fueron investigadas por la *Metal Mining Agency* de Japón y la Subsecretaría de Estado de Minería de Argentina con subsidios de la *Japan International Cooperation Agency* (JICA 1993, 1994 y 1995).

Un estudio geofísico de alta resolución

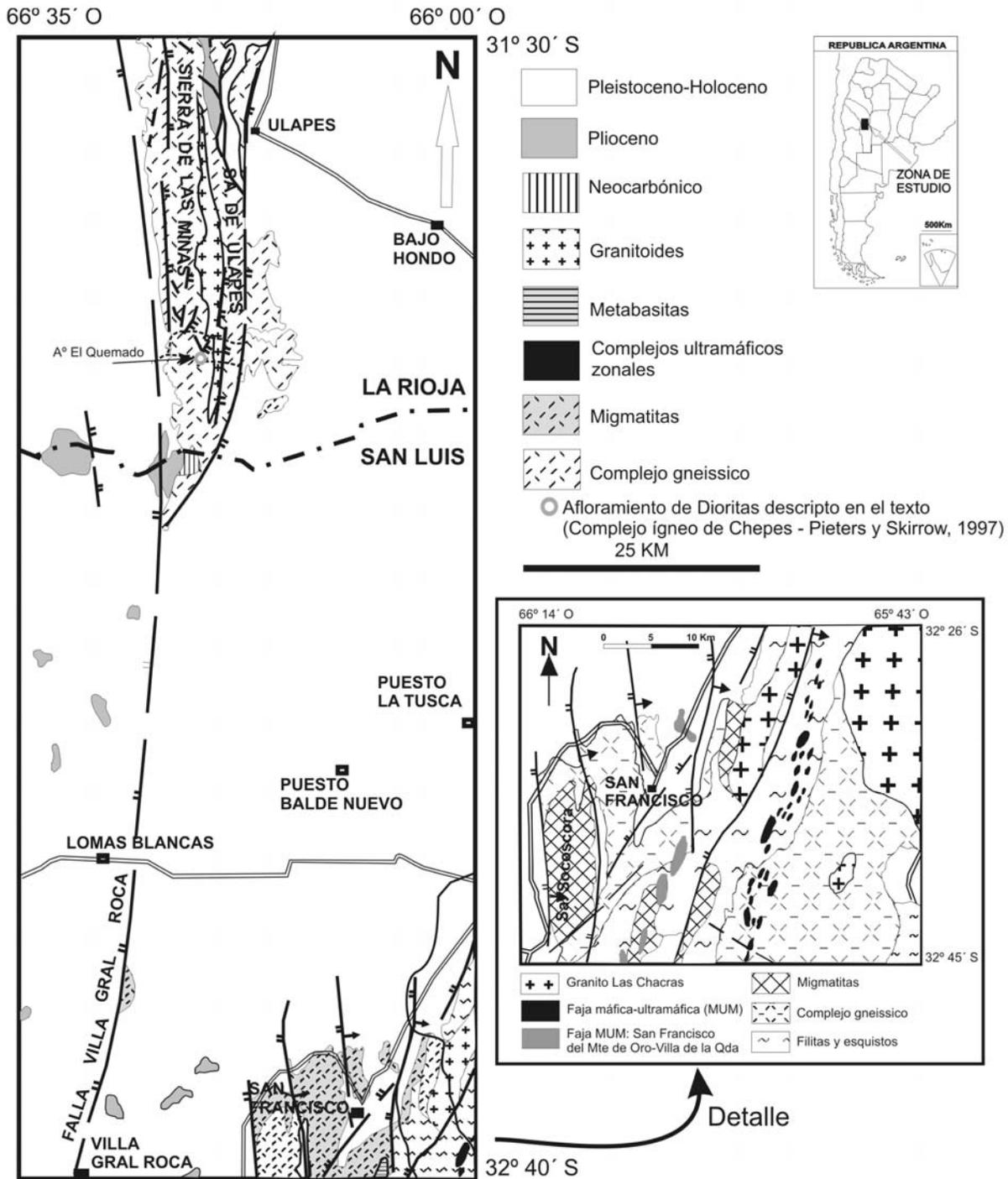


Figura 1: Ubicación geográfica y geología del área investigada (modificado de Yrigoyen 1981 y Kostadinoff *et al.*, 2003).

integrado a la geología fue realizado por AGSO y la DNSG en la especialidad de aeromagnetismo y radimetría en las sierras de Chepes, Las Minas y Ulapes (Pieters y Skirrow 1997). El sector occidental de las Sierras Grandes de San Luis fue investigado con mé-

todos gravimétricos y magnetométricos por Kostadinoff *et al.* (1998a y 1998b), su extensión al sur por Kostadinoff *et al.* (2001) y al norte en la Sierra de Socoscora por Kostadinoff *et al.* (2003). Para comprender la regionalidad de las estructuras que unen a la sierra de Socos-

cora a las de Ulapes - Las Minas fue necesario ampliar el área de trabajo a la planicie que une a las provincias de La Rioja y San Luis. Los parámetros físicos de densidad y susceptibilidad magnética de las rocas del basamento de ambas sierras fueron estu-

diadas por métodos geofísicos para hallar su relación con la estructura general de las Sierras Pampeanas. Los afloramientos rocosos que van desde El Abra en la sierra de Ulapes, provincia de La Rioja, hasta la latitud de San Francisco del Monte de Oro en la sierra de Socoscora, provincia de San Luis, fueron utilizados para dimensionar e inferir la vinculación geológica entre estas sierras.

METODOLOGÍA

Las mediciones geofísicas incluyeron determinaciones gravimétricas, magnetométricas, de densidad y susceptibilidad magnética. Los valores del campo gravitatorio se obtuvieron con un gravímetro Worden, cubriéndose el área con un reticulado de una estación cada 6 km. La selección de la ubicación de los puntos de medición y la altimetría necesaria para el cálculo de las anomalías de Bouguer se realizó con mapas del Instituto Geográfico Militar, en escala 1: 100.000, y de la Dirección de Catastro de la Provincia de San Luis en escala 1: 20.000.

Los valores de Intensidad del campo magnético total (total magnetic intensity) se determinaron con un magnetómetro de precesión protónica Geometric G-826. Para establecer las anomalías del campo magnético total se consideró la variación diurna geomagnética y el valor del *International Geomagnetic Reference Field*.

Se confeccionaron mapas y perfiles para la elaboración de un modelo geofísico-geológico de la región de trabajo. Las densidades de las rocas seleccionadas en el campo fueron determinadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Carreteras de la Universidad Nacional del Sur. La susceptibilidad magnética de las rocas se midió *in situ* con un susceptímetro de inducción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Gravimetría

El 60% del área investigada presenta anomalías de Bouguer superiores a -50 mGal (Figs. 2a y 3). De acuerdo a los trabajos

de Kostadinoff *et al.* (1998b, 2001, 2002 y 2004) realizados en áreas cercanas, en las sierras Grande de San Luis, del Padre y del Tala (en el sur) y Socoscora (en el norte); los valores mayores de -50 mGal podrían atribuirse a cuerpos de rocas máficas - ultramáficas intruidas en la corteza continental. En la figura 2a es posible ver que la sierra de Ulapes, la sierra de Socoscora y los afloramientos de granitos de Villa General Roca se correlacionan con estas anomalías. Hacia el norte de la ciudad de San Francisco del Monte de Oro se presentan dos anomalías de -45 mGal como una prolongación de la sierra de Socoscora las cuales se ubican en una planicie interserrana cubierta por sedimentos modernos. En la sierra de Socoscora, Kostadinoff *et al.* (2003) propusieron la existencia de un cuerpo de anfíbolitas de densidad de 2,97 gr/cm³ y un espesor de 500 m. Asimismo en dicho trabajo se evalúa la extensión de dichas rocas hacia la provincia de La Rioja.

Para poder elaborar un modelo geológico que satisfaga los valores de las anomalías geofísicas se confeccionó un perfil (Fig. 4). El análisis del gradiente regional de las anomalías de Bouguer, de sur a norte, muestra un incremento de 0,24 mGal/Km. lo cual implica una diferencia de +30 mGal desde San Francisco del Monte de Oro (San Luis) a Ulapes (La Rioja). Esta singularidad geofísica se desarrolla en sentido perpendicular al engrosamiento de la corteza continental que tiene lugar de este a oeste y se manifiesta con un gradiente regional negativo de las anomalías de Bouguer. Si la corteza continental fuera uniforme de sur a norte, estas se deberían manifestar como pequeñas oscilaciones de campo gravitatorio. Analizando la carta gravimétrica de la provincia de La Rioja elaborada por Martínez *et al.* (2000) se observa que este perfil se halla en el borde del alto gravimétrico de Chepes, el cual ocupa todo el extremo sur de la provincia (aproximadamente 5.000 km²). Eliminando este gradiente regional, producido por el exceso de densidad de cuerpos máficos intruidos en la corteza baja e intermedia de esta región,

quedan como resultado las anomalías positivas generadas por cuerpos ubicados en cercanías de la superficie. A partir del perfil de la Figura 4 se halló que estas anomalías (referidas al nivel regional) en la Sierra de Socoscora son de +12 mGal, en el sur de Corral de Isaac de +10 mGal y al noreste de la población de Ulapes de +5 mGal. Al sur de Corral de Isaac se midieron dos anomalías gravimétricas de 10 km de diámetro cada una, y una amplitud de 15 y 19 mGal respecto de los mínimos circundantes. Utilizando el programa Geolink™ se calculó que las anomalías positivas de más de +10 mGal podrían correlacionarse con rocas de mayor densidad (máficas - ultramáficas) localizadas a 300 m de profundidad, con un espesor de 1.200 m y una longitud de 7 km. Un poco más hacia el sureste (15 km) se encuentra otra anomalía de menor amplitud, identificada por el valor de -41 mGal, la cual es generada por rocas de composición, profundidad y dimensión semejantes a la singularidad geofísica anterior. Continuando con el análisis del perfil de la figura 4, al cruzar las sierras de Las Minas y Ulapes se observan pequeñas oscilaciones positivas de la gravedad, lo cual es atribuido a la presencia de rocas máficas muy cercanas a la superficie, como las noritas del Quemado, correspondientes al complejo ígneo de Chepes, estudiadas por Pieters y Skirrow (1997).

En la zona ubicada al sur de San Isidro en el arroyo El Quemado (Fig. 1, Sierra de las Minas), se tomaron muestras en afloramientos de dioritas, las cuales corresponderían al complejo ígneo de Chepes. Tales rocas están compuestas principalmente por anfíboles y plagioclasas (andesinas), participación menor de cuarzo y feldespatos potásicos y hasta aproximadamente un 10 % de minerales opacos. Estos últimos en su mayoría son óxidos (Il-He-Mg) con texturas de exsoluciones mutas (Il-He) y en mucha menor proporción cristales de sulfuros (pirrotina) reemplazada por magnetita a partir de los bordes. Son rocas que evidencian una importante alteración, con presencia

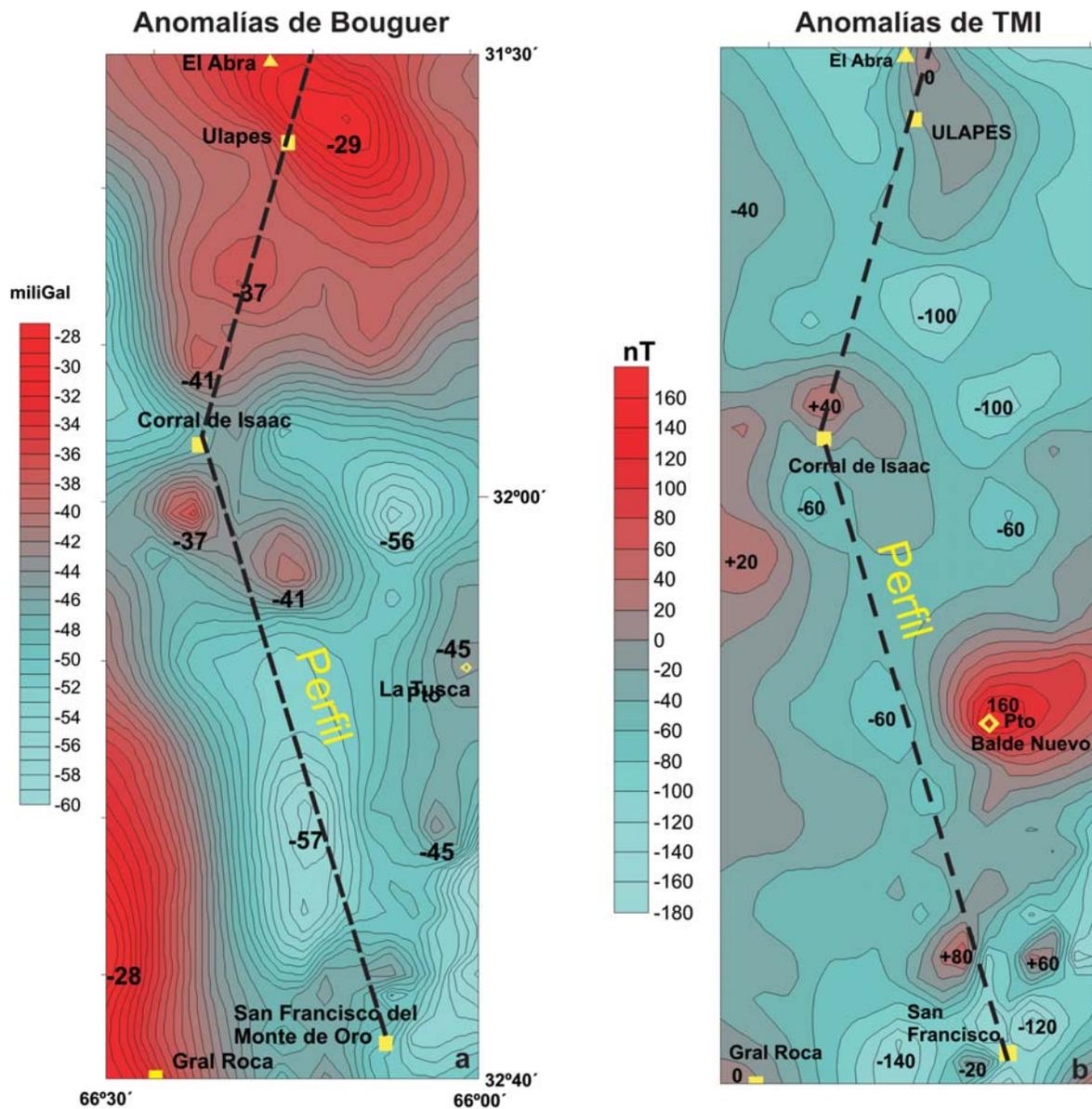


Figura 2: a) Mapa de anomalías gravimétricas de Bouguer con isolíneas cada 1 mGal y b) Mapa de anomalías del campo magnético terrestre con isolíneas cada 20 nT.

de epidoto y clorita. Estas rocas tienen valores de densidad de entre 2,95 y 3,02 g/cm³ y una susceptibilidad magnética que varía de 0,013000 a 0.084800 SI. El gradiente regional positivo del alto gravitatorio de Chepes tiene, de acuerdo al mapa elaborado por Martínez *et al.* 2000, un diámetro de 70 km. Esta longitud de onda estaría relacionada con la presencia de rocas de manto en la corteza continental. Si bien estas no se manifiestan en la superficie, incrementaron la densidad global de la corteza la cual se ve reflejada

como un exceso de masa en los mapas de anomalías de Bouguer.

Al este de la sierra de Ulapes y al noreste de la localidad homónima se detectó una anomalía gravimétrica de -29 mGal de forma elipsoidal y cuyo eje mayor mide 25 km (Figs. 2 y 3).

Con respecto al valor gravimétrico de corteza normal, la zona de -56 mGal corresponde a un exceso de masa de +27 mGal. De acuerdo al mapa geológico de Pieters y Skirrow (1997), el basamento se encontraría a una profundidad que oscila

entre los 200 y los 800 metros. Con los parámetros de la anomalía gravimétrica y la profundidad del basamento, fue posible inferir la existencia de un cuerpo con una densidad 2,92 g/cm³, un ancho de 11 km y un desarrollo en profundidad de 4 km, en las cercanías de la localidad de Ulapes.

Magnetometría

Estas no son de gran amplitud de acuerdo al mapa de anomalías magnéticas (Fig. 2b). Las mismas oscilan entre -140 a + 160

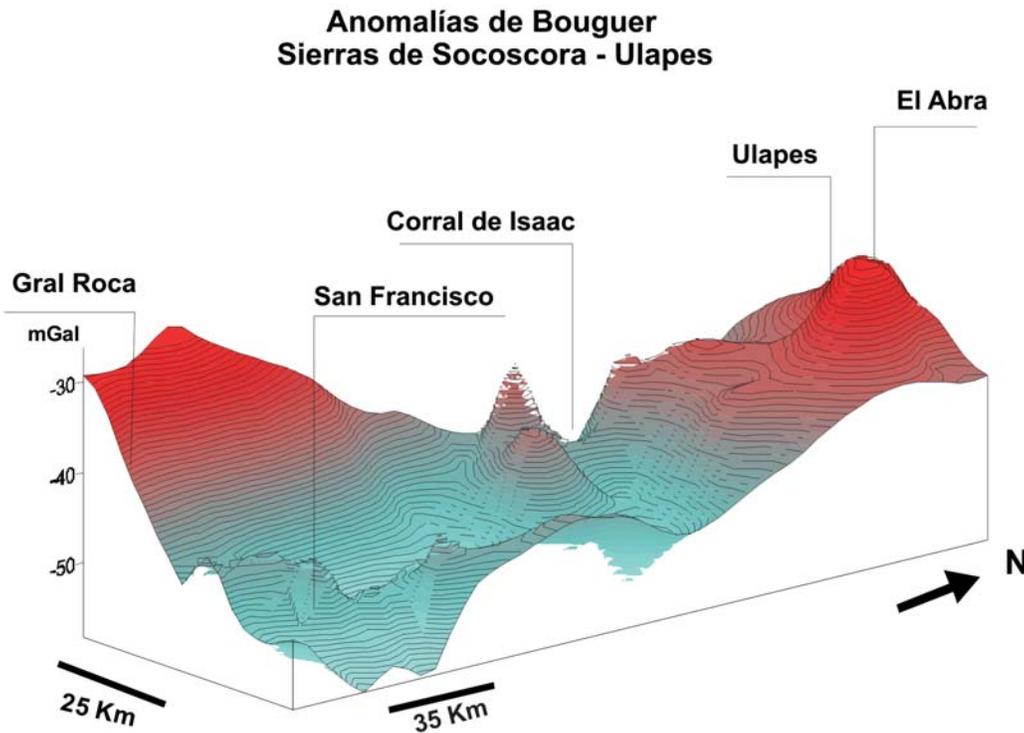


Figura 3: Mapa 3D de anomalías gravimétricas de Bouguer. Isolíneas cada 1 mGal.

nT. Esto se correlaciona con los bajos valores de susceptibilidad magnética medidos *in situ* en la zona de las sierras de Socoscora (0,000380 - 0,000530 SI) y Las Minas - Ulapes (0,000140 - 0,023500 SI). Por lo tanto, no es esperable encontrar en las rocas del basamento altas concentraciones de minerales como magnetita o sulfuros como pirrotina. Las anomalías magnéticas más destacables se ubicaron en: el extremo noreste de la sierra de Socoscora, sierra de Las Minas y al noreste de la localidad de Ulapes.

Hacia el noreste de la sierra de Socoscora, Kostadinoff *et al.* (2003), no detectaron anomalías magnéticas de importancia, pero al continuar esta investigación hacia el noreste, en cercanías del segundo máximo relativo gravimétrico de -45 mGal, se determinó una anomalía de +160 nT. Esta anomalía se halla ubicada en la zona del Puesto de Balde Nuevo, ubicada entre dos anomalías gravimétricas: una de -56 y otra de -45 mGal. Esta disposición induce a suponer que la anomalía magnética podría ser el resultado de una mineralización localizada en el contacto de un intrusivo plutónico en el basamento cristalino. Utilizando el programa Geolink™ se elaboró un modelo compuesto

por un cuerpo rocoso con una susceptibilidad magnética de 0,001000 SI el cual reproduciría la anomalía magnética observada. Los cuerpos en contacto serían uno granítico, determinado por una anomalía gravimétrica de -56 mGal, y otro anfibolítico, de -45 mGal (Puesto El Tusca).

La sierra de Las Minas se ubica en un máximo relativo gravimétrico, sierra que se caracteriza por ser amagnética (anomalías negativas y de baja amplitud magnética). Estos bajos valores se correlacionan con las observaciones de susceptibilidad realizadas en los afloramientos serranos, con valores comprendidos entre 0,000400 y 0,008000 SI.

Al noreste de Ulapes, en coincidencia con la mayor anomalía gravimétrica, se reconoce una pequeña anomalía magnética. La porción norte de esta anomalía coincide con el distrito minero de El Abra, donde Cravero y Ríos Gómez (1988) describieron un ejemplo de cizalla aurífera, objeto de intensos trabajos mineros. Según los resultados de los vuelos aeromagnéticos (Pieters y Skirrow 1997), en esa zona existiría una estructura (Devónica?) con alteración hidrotermal asociada a una cizalla, identificada en la res-

pectiva hoja metalogénica.

Radioactividad gamma

Se midieron en las sierras de Las Minas y Ulapes valores de radiación gamma comprendidos entre 120 a 150 cuentas por segundo, similares a los observados en las sierras de Socoscora y Grande de San Luis. Sobre las noritas (Pieters y Skirrow 1997) y dioritas de El Quemado (partes del Complejo ígneo de Chepes) se midieron 50 cuentas por segundo, valor que se correlaciona con los medidos en las rocas máficas y ultramáficas del basamento de Las Águilas y Virorco (provincia de San Luis).

CONCLUSIONES

Un lineamiento de anomalías gravimétricas relativas de Bouguer positivas (exceso de masa) se extiende desde las sierras de Socoscora hasta la sierra de Ulapes. Este se encuentra asociado a anomalías magnéticas similares a las halladas en los afloramientos de anfibolitas de las sierras de Socoscora. La línea de máximos relativos gravimétricos que se extiende desde Villa General Roca y pasa por la sierra de Las Minas se caracteriza por un magnetismo

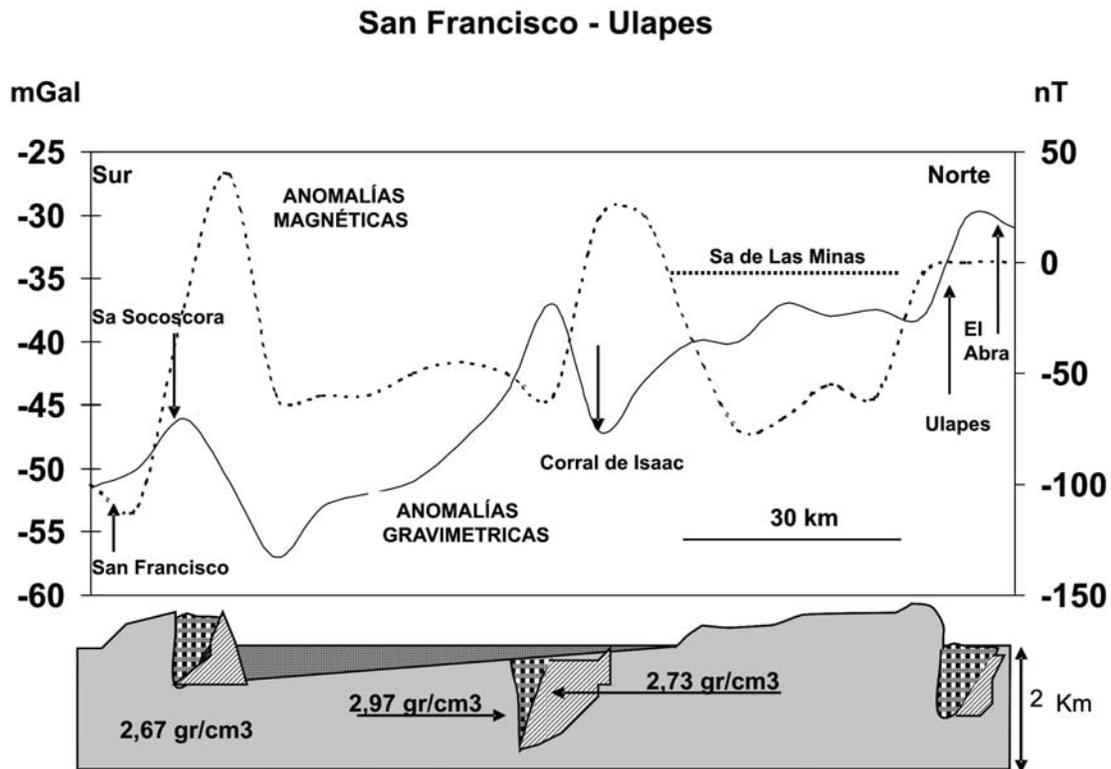


Figura 4: Perfil gravimagnetométrico (Norte - Sur) desde El Abra en la provincia de La Rioja a San Francisco del Monte de Oro en la provincia de San Luis.

muy débil (casi nulo) en concordancia con los valores de susceptibilidad magnética medidos en los afloramientos de granitos, milonitas y gneises de las sierras de Las Minas, Ulapes y Socoscora. Se halló una excelente correlación entre la anomalía gravimétrica de Bouguer positiva al NE de la localidad de Ulapes y la estructura (devónica?) con alteración hidrotermal reconocida por otros autores.

AGRADECIMIENTOS

A la Licenciada Guillermina T. Alvarez y al Agrimensor A. Raniolo por su colaboración en la elaboración de los perfiles geofísicos. A los Doctores Roberto C. Miró y Mario Jiménez por sus valiosas observaciones que contribuyeron a mejorar una versión previa del manuscrito. A la Secretaría General de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional Sur por el financiamiento otorgado al proyecto 24/H046.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bodenbender, G. 1911. Constitución geológica de la parte meridional de La Rioja y regiones limítrofes, República Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Boletín 19(1): 5-221, Córdoba.
- Bodenbender, G. 1912. Parte meridional de la provincia de La Rioja y regiones limítrofes. Constitución geológica y recursos naturales. Ministerio de Agricultura, Secretaría de Geología y Minería, Anales 7(3): 9-116.
- Braccacini, I.O. 1946. Los estratos de Paganzo y sus niveles plantíferos en la sierra de los Llanos (Provincia de La Rioja). Revista de la Sociedad Geológica Argentina 1(1): 19-61.
- Braccacini, I.O. 1948. Sobre la presencia del Carbonífero inferior en la sierra de los Llanos. Boletín de Informaciones Petroleras 26(281): 63-94, Buenos Aires.
- Caminos, R. 1979. Descripción geológica de las Hojas 21f, Sierra de Las Minas y 21g, Ulapes, Provincias de La Rioja, Córdoba, San Juan y San Luis. Secretaría de Estado de Minería, Servicio Geológico Nacional, Boletín 172, 56 p.

- Cravero, O.V. y Ríos Gómez, J.A. 1988. Distrito minero El Abra, provincia de La Rioja: Un ejemplo de zona de cizalla aurífera (shear zone) en nuestro país. 3° Congreso de Geología Económica, Actas 3: 129-140, Córdoba.
- Frengüelli, J. 1946. Consideraciones acerca de la serie de Paganzo en las provincias de San Luis y La Rioja. Revista Museo de La Plata. Serie Geológica 2(18): 313-376, La Plata.
- Frengüelli, J. 1949. Acerca de un nuevo descubrimiento de plantas en los Estratos del arroyo Totoral en la sierra de Los Llanos de La Rioja. Revista de la Asociación Geológica Argentina 4(1): 153-164.
- Frengüelli, J. 1950. Icnites del Paleozoico superior del oeste argentino. Revista de la Asociación Geológica Argentina 5(1): 136-148.
- JICA-MMAJ 1993. Informe sobre la exploración de minerales del área oeste de la República Argentina - Fase I. Japan International Cooperation Agency, Metal Mining Agency of Japan, Report 93-043, 167 p.
- JICA-MMAJ 1994. Informe sobre la exploración de minerales del área oeste de la República Argentina - Fase II. Japan International Co-

- peration Agency, Metal Mining Agency of Japan, Report 93-040, 111 p.
- JICA-NMAJ 1995. Nota explicatoria sobre la geología y depósitos minerales en el área oeste de la República Argentina. Japan International Cooperation Agency, Metal Mining Agency of Japan, February 1995.
- Kostadinoff, J., Bjerg, E., Delpino, S., Dimieri, L., Raniolo, L.A., Mogessie, A., Hoinkes, G., Hauzenberger, C. y Felfernig, A. 1998a. Anomalías geofísicas en rocas máficas y ultramáficas de las Sierras Grandes de San Luis, Argentina. 4° Reunión de Mineralogía y Metalogénesis, 2° Jornadas de Mineralogía y Petrografía, Metalogénesis de rocas máficas y ultramáficas, Universidad Nacional del Sur, Actas 139-146, Bahía Blanca.
- Kostadinoff, J., Bjerg, E., Delpino, S., Dimieri, L., Mogessie, A., Hoinkes, G., Hauzenberger, C. y Felfernig, A. 1998b. Geophysical anomalies in the Sierras Pampeanas of San Luis, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 53(4): 549-552.
- Kostadinoff, J., Bjerg, E., Gregori, D., Delpino, S., Dimieri, L., Mogessie, A., Hoinkes, G., Hauzenberger, C. y Felfernig, A. 2001. Geophysical anomalies in the Sierra del Padre and Sierra del Tala, San Luis province, Argentina: evidence of buried mafic - ultramafic rocks. *Journal of South American Earth Sciences* 14 (3): 271-276.
- Kostadinoff, J., Gregori, D., Bjerg, E. y Raniolo, L.A. 2002. La prolongación austral de la sierra de San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 57(4): 359-364.
- Kostadinoff, J., Bjerg, E., Raniolo, L.A. y Santiago, E. 2003. Anomalías del campo gravitatorio y magnético terrestre en la sierra de Sococora, provincia de San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58(4): 505-510.
- Kostadinoff, J., Bjerg, E., Raniolo, L.A., Alvarez, G.T. Santiago, E. y Mogessie, A., 2004. Prospección geofísica del yacimiento Las Aguilas, provincia de San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59(1):121-128.
- Martinez, P., Giménez, M., Introcaso, A., Ruiz, F., Hünicken, M. e Introcaso, B. 2000. Carta gravimétrica de la Provincia de La Rioja (1999). Anomalías Simples de Bouger, Univesidad Nacional de San Juan, Publicación del Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. Séptimo Volponi, San Juan.
- Pieters, P. y Skirrow, R. 1997. Informe geológico y metalogenético de las sierras de Chepes, Ulapes y Las Minas, Provincia de La Rioja. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 26: 23, Buenos Aires.
- Turner, J.C. y de Alba, E. 1968. Rasgos geológicos de las sierras de Chepes y Ulapes, provincia de La Rioja. 3° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 1: 173-194.
- Yrigoyen, M.R. 1981. Mapa geológico de la Provincia de San Luis y regiones circunvecinas. En Yrigoyen, M.R. (ed.) *Geología y Recursos Naturales de la provincia de San Luis*, 8° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 1-366, Buenos Aires.

Recibido: 7 de noviembre, 2008

Aceptado: 2 de junio, 2009