

Prospección geológica y geofísica de sulfuros en el área de Virorco-La Bolsa, provincia de San Luis

Jose KOSTADINOFF^{1,2}, Sergio DELPINO², Ernesto BJERG^{1,2}, Aberra MOGESSIE³, Ariel RANIOLO^{1,4}, Mónica ARRESE¹ y Gabriela FERRACUTTI^{1,2}

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

²Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, San Juan 670, B8000ICN Bahía Blanca. E-mail: gfkostad@criba.edu.ar

³Institute of Earth Sciences, Karl Franzens University, Universitätsplatz 2, A8010 Graz, Austria.

⁴Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Av. Alem 1253, B8000ICN Bahía Blanca.

RESUMEN. En los cuerpos máficos-ultramáficos del área de Virorco y La Bolsa, bloque central de la sierra de San Luis, se han detectado sulfuros polimetálicos en venillas y diseminados. Como herramienta de prospección geofísica se utilizó el método de autopotencial en combinación con estudios geomagnéticos. Los lentes máfico-ultramáficos están enmarcados por una caja gnéisica-migmatítica de alto grado. Una foliación milonítica de rumbo NNE y buzamiento de alto ángulo al ESE, afecta al basamento y también a los bordes de los cuerpos máfico-ultramáficos. Hacia el interior de estos últimos, alternan sectores que preservan las texturas granulares ígneas y una foliación buzante al oeste, con fajas de cizalla con foliación milonítica buzante al ESE. El estudio geofísico en Virorco indica una correspondencia entre los valores de autopotencial negativos (-150 mV) y los máximos de magnetismo terrestre (+350 nT). En la zona de La Bolsa se realizaron dos perfiles de autopotencial, los cuales muestran un núcleo de autopotencial negativo de entre -40 y -55 mV, ligeramente alargado y buzante al ESE. Sobre el margen oriental, un valor de -90 mV constituye el núcleo de una anomalía alargada y también buzante al ESE. La disposición espacial de estas anomalías es coincidente con la orientación de la foliación milonítica. La correspondencia establecida con esta nueva herramienta de prospección, sustenta la removilización y concentración de los sulfuros primarios diseminados durante el evento de milonitización, ya planteada previamente en base a otras técnicas de estudio.

Palabras clave: *Prospección, Sulfuros, Geología, Autopotencial, Magnetismo, Sierra de San Luis.*

ABSTRACT. *Geological and geophysical sulfide prospection in the Virorco-La Bolsa area, San Luis province.* In the Virorco and La Bolsa mafic-ultramafic bodies, central block of the Sierra de San Luis, polymetallic sulfides occur in veinlets and disseminated. The autopotential method in combination with geomagnetic studies, were utilized as geophysical prospection tools. The mafic-ultramafic lenses are surrounded by high-grade gneissic-migmatitic country-rocks. A penetrative mylonitic foliation NNE-trending and dipping with high angle to the ESE, affects the basement rocks and also the borders of the mafic-ultramafic bodies. Towards the interior of the mafic-ultramafic bodies, sectors which preserve the igneous granular textures and a foliation dipping to the W, alternate with shear bands with mylonitic foliation dipping to the ESE. The geophysical study in Virorco indicates a correspondence between the negative autopotential values (-150 mV) and maximum values of the magnetic field (+350 nT). In the La Bolsa zone two autopotential profiles show a nucleus of negative autopotential in the range between -40 and -50 mV, slightly elongated and dipping to the ESE. On the eastern margin, a value of -90 mV constitutes the core of an elongated anomaly also dipping to the ESE. The spatial orientations of these anomalies are coincident with the orientation of the mylonitic foliation. The established correspondence with this prospection tool, support the remobilization and concentration of the disseminated primary sulfides during the mylonitic event, previously suggested on the basis of other study techniques.

Key words: *Prospecting, Sulfides, Geology, Selfpotential, Magnetism, San Luis Hills.*

Introducción

El basamento cristalino de la sierra de San Luis está constituido por tres bloques principales (Sims *et al.* 1997; Hauenberger *et al.* 2001): 1) el bloque oriental (Complejo Metamórfico Conlara), 2) el bloque central (Complejo Metamórfico Pringles) y, 3) el bloque occidental (Complejo Metamórfico Nogolí) (Fig. 1).

Las rocas máficas-ultramáficas forman un conjunto de afloramientos discontinuos que se disponen a lo largo de una faja que ocupa el centro del bloque central. Esta faja se extiende en dirección NNE a lo largo de aproximadamente 70 km,

concordantemente con la estructura regional dominante en este sector de la sierra (Fig. 1). Los cuerpos más destacados corresponden, de S a N, a las localidades de El Durazno, Las Águilas, Las Higueras, Virorco, El Fierro, La Bolsa, Las Meladas, Piedra del Agua, Bam Bam, San José, San Pedro, Almacén El Puestito y La Jovita.

Numerosos entes estatales y privados orientaron sus estudios hacia la determinación de la factibilidad económica de explotación de los sulfuros polimetálicos (Cu, Ni y Co), minerales de Cr y las concentraciones anómalas de metales del grupo del Platino (Pd, Pt, Os, Ir y Rh) en la faja de rocas máficas-ultramáficas de la sierra de San Luis, particularmente en el área

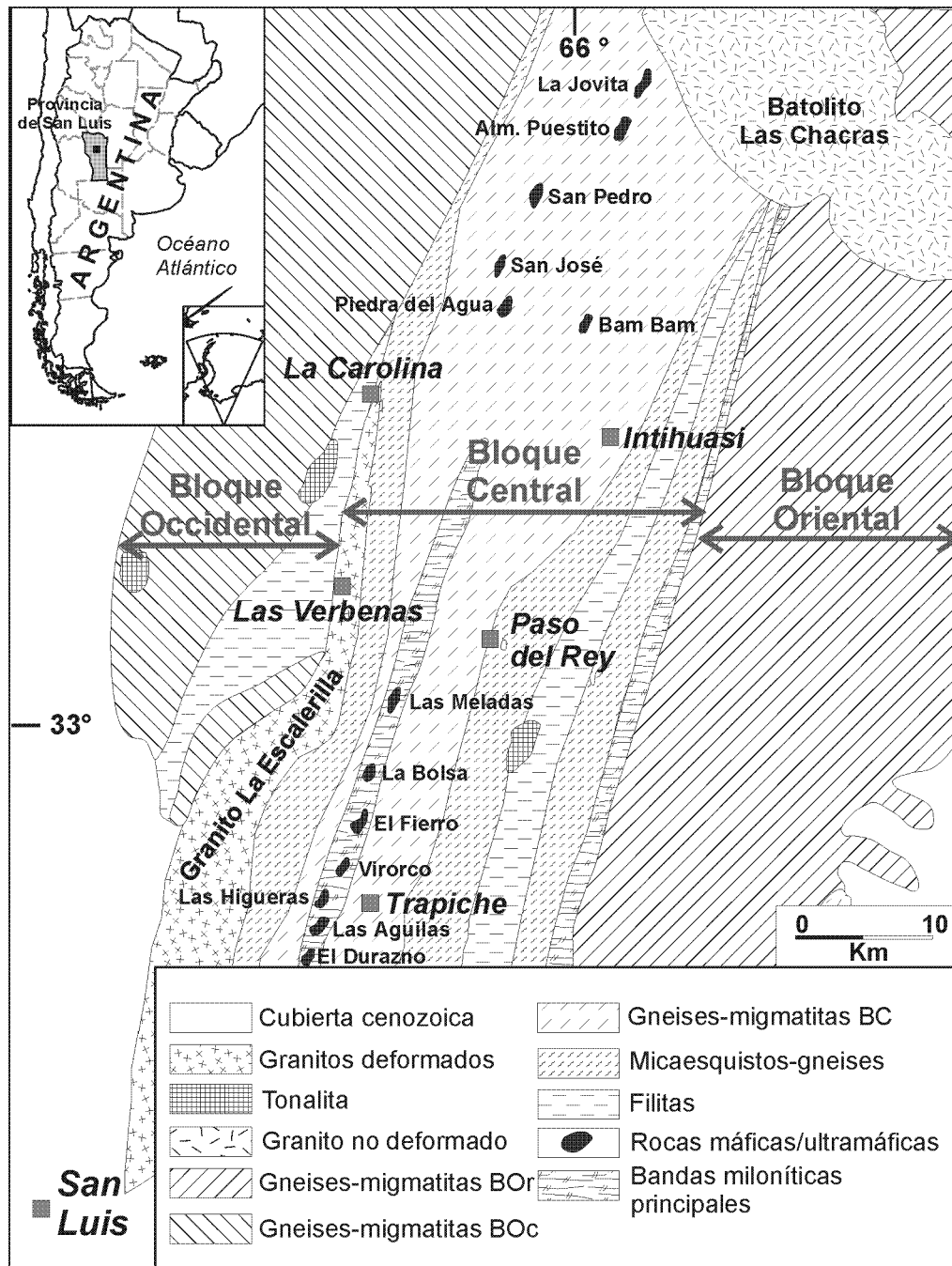


Figura 1: Mapa geológico de la sierra de San Luis mostrando la ubicación de las localidades investigadas.

de Las Águilas. Entre las investigaciones más relevantes caben destacarse los trabajos de la Dirección General de Fabricaciones Militares (DGMF) realizados en las décadas del '70 y '80, el Proyecto de Cooperación Argentino Australiano del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) para el mapeo geocientífico de las Sierras Pampeanas a fines de los '90, un proyecto de investigación financiado por el FWF de Austria y la prospección magnética y electromagnética a cargo de la empresa *Western Mining Company Incorporated*.

Un considerable número de investigadores del país y del exterior han realizado estudios geológicos y geofísicos sobre

las rocas máficas-ultramáficas y su entorno ígneo-metamórfico. Entre las publicaciones más sobresalientes caben mencionarse las contribuciones de Brogioni (1992), Malvicini y Brogioni (1992), Gervilla *et al.* (1993), Mogessie *et al.* (1994, 1995, 1996, 1998a-b, 2000), Bjerg *et al.* (1996, 1997), Bjerg y Sabalúa (1999), Hauzenberger *et al.* (1996, 1997a-b, 1998, 2001), Hoinkes *et al.* (1999), Felfernig *et al.* (1997, 1998, 1999a-b), Kostadinoff *et al.* (1998a-b), Delpino *et al.* (2001, 2002, 2005), Ferracutti y Bjerg (2001, 2002), Chernicoff y Ramos (2003) y Kostadinoff *et al.* (2004).

Debido a la potencialidad económico-minera que representa

la faja de rocas máficas-ultramáficas, se llevaron a cabo estudios geológicos y geofísicos en la zona de Virorco y La Bolsa, con el fin de determinar la localización de concentraciones de sulfuros significativas. El área seleccionada se encuentra sobre un alto gravimétrico donde Kostadinoff *et al.* (1998b) postularon la existencia de un cuerpo de rocas máficas-ultramáficas con una masa de $1,2 \times 10^{12}$ Tn y un volumen de 250 km^3 , intruyendo a las rocas metamórficas.

Como herramienta de prospección geofísica se utilizó el método de autopotencial, complementado con observaciones del campo magnético terrestre y mediciones de susceptibilidad magnética.

Metodología geofísica

Se realizaron observaciones del campo magnético terrestre en el área de afloramiento de las rocas máficas-ultramáficas, con el fin de hallar las anomalías magnéticas que producen algunos sulfuros como la pirrotina. Una vez dimensionados los cuerpos, se procedió a realizar perfiles de autopotencial para determinar las áreas con mayor voltaje negativo indicativo de altas concentraciones de sulfuros. Se complementó este trabajo con mediciones de susceptibilidad magnética de las rocas de la región (mineralizadas y de caja) para ajustar el cálculo de los modelos geológicos.

El método de autopotencial consiste en la medida en superficie del potencial eléctrico generado en el suelo por la acción electroquímica entre minerales específicos y las soluciones con las cuales están en contacto, sin aplicación de campos eléctricos externos (véase Sharma 1986, Telford *et al.* 1990).

Las anomalías de potencial son generadas comúnmente por concentraciones anómalas de sulfuros metálicos y polimetálicos, por algunos óxidos metálicos como la magnetita o por el grafito. Las anomalías más frecuentes están relacionadas a zonas con concentraciones importantes de sulfuros como piritita, calcopiritita, pirrotina, blenda y galena. Valores superiores a 200 mV son considerados interesantes en la exploración minera. Los autopotenciales que se producen por la existencia de estos minerales son siempre negativos.

El mecanismo de autopotencial en las zonas mineralizadas no ha sido aún completamente comprendido (véase Telford *et al.* 1990). Las primeras explicaciones consideraban la existencia de un cuerpo mineralizado que actúa como una pila cuya diferencia de potencial se genera entre la zona de oxidación (en la parte superior-polo positivo) y la inferior (polo negativo). Una de las teorías más aceptadas es la de Sato y Mooney (1960) que postula la existencia de dos celdas con reacciones electroquímicas de signo opuesto; una catódica por encima del nivel freático y la otra anódica en profundidad. En Telford *et al.* (1990), puede encontrarse una explicación completa sobre los mecanismos de oxidación, polarización y conducción eléctrica vinculados al autopotencial en zonas mineralizadas. Como valores de referencia pueden mencionarse los hallados por Yüngül (1950) en los depósitos de sulfuros de Sariyer, Turquía, con una diferencia de potencial de -120 mV y las anomalías mayores a -300 mV encontradas por Bergéy *et al.* (1958) en Temagami, Canadá, para depósitos de sulfuros con altos contenidos de minerales de Ni y Cu.

Las secciones magnéticas se realizaron con magnetómetros de precesión protónica del tipo Geometric y los perfiles de autopotencial con un equipo marca ABEM *Terrameter* SAS 300C. Este último equipo utilizó electrodos llenos de una solución de SO_4Cu saturada para evitar la polarización que perturbaría las mediciones. Las ubicaciones geográficas de los perfiles fueron establecidas con un GPS marca Garmin.

Para dimensionar las anomalías esperables en magnetometría y autopotencial se realizó un perfil, con una observación cada 10 m, sobre la zona de alteración de sulfuros expuesta en mina Virorco (Fig. 2). Se procedió posteriormente a la colocación de estacas con un espaciamiento de 50 metros en dirección NE como se indica en la figura 3, a lo largo de una extensión de 1.300 metros sobre los afloramientos de rocas máficas-ultramáficas cercanas a la mina. Se posicionaron las estacas con equipo GPS y se procedió a medir el campo magnético terrestre, restándosele el *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF) para obtener la anomalía correspondiente. Las mediciones de autopotencial se realizaron con una distancia entre electrodos no polarizados de 50 y 100 m, de modo de poder investigar el desarrollo en profundidad de las zonas mineralizadas con sulfuros.

De la misma manera se procedió en la zona de la cantera que expone las rocas máficas-ultramáficas en el sector de La Bolsa. Con el fin de obtener mayor definición del desarrollo en profundidad de las mineralizaciones se realizaron dos perfiles de 100 m de longitud, con un espaciado entre estacas de 10 m, separados entre sí por 25 metros.

Geología

Los cuerpos de Virorco y La Bolsa forman parte de una serie de afloramientos lenticulares que ocupan la parte sur de la faja de rocas máficas-ultramáficas del bloque central (Fig. 1).

Estos cuerpos están enmarcados por una caja gnéisica-migmatítica de alto grado que grada externamente en sentido E-O a micaesquistos y filitas. Toda la secuencia basamental presenta intensa deformación dúctil, desarrollada sobre el gradiente metamórfico previo atribuido al emplazamiento de los cuerpos máfico-ultramáficos (Delpino *et al.* 2002, 2005).

El basamento adyacente a estos últimos está constituido por gneises migmatíticos compuestos por Grt+Sil+ Bt+ Kfs+Pl+Qtz±Crd±Opx, más Zr+Rt+Op como minerales accesorios principales. La distribución inhomogénea de la deformación dúctil ha transformado a estas rocas en protomilonitas, milonitas y ultramilonitas, distribuidas en fajas alternantes.

Las protomilonitas son rocas de grano medio a grueso que preservan una textura gnéisica característica. Estas rocas desarrollaron una foliación disyuntiva anastomosada gruesa (Twiss y Moores 1992) debido al proceso de milonitización. Los dominios de clivaje están constituidos esencialmente por láminas de biotita, prismas aciculares de silimanita y minerales opacos. Los microlitones lenticulares o sigmoidales, frecuentemente con arreglos del tipo S/C, están compuestos principalmente por feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo, cordierita, granate, silimanita y biotita.

Las milonitas muestran alternancia de dominios leucocráticos y melanocráticos que dan lugar a una foliación

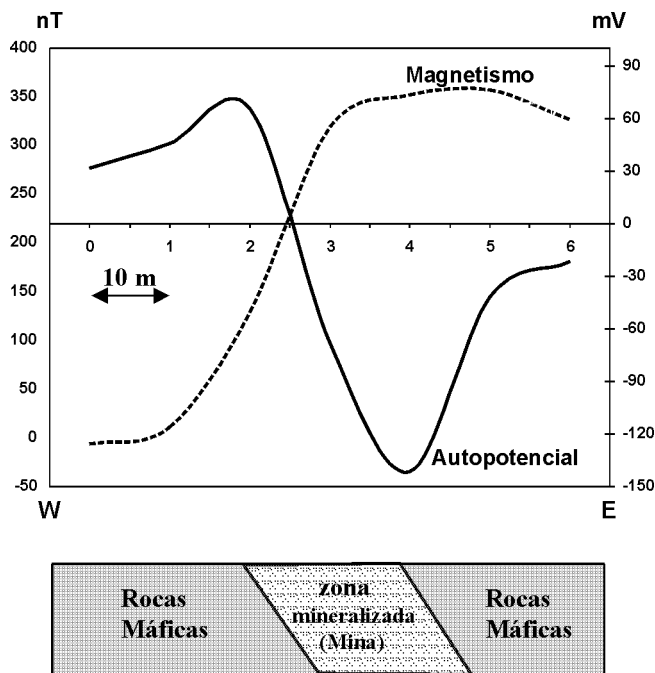


Figura 2: Perfil realizado sobre la zona mineralizada de la mina de Virorco. Distancia entre electrodos no polarizados 10 metros.

composicional bandeada (Twiss y Moores 1992). Los dominios melanocráticos están compuestos por una matriz biotítica de grano fino a medio, que engloba principalmente porfiroclastos individuales de granate, plagioclasa o feldespato potásico. Los dominios leucocráticos preservan una textura y composición mineralógica similares a las de las protomilonitas descritas anteriormente, o muestran una laminación fina dada por la alternancia de cintas de cuarzo y feldespatos.

Las ultramilonitas forman franjas estrechas, tienen tonalidad de conjunto muy oscura por el predominio de una matriz predominantemente biotítica que incluye porfiroclastos redondeados de granate pardo rojizo y feldespatos. Estos últimos suelen preservarse mayormente en finas bandas blanquecinosas donde se asocian a cintas de cuarzo.

La caja gnéissica-migmatítica adyacente a los cuerpos máfico-ultramáficos de La Bolsa y Virorco, se caracteriza por el incremento en la abundancia de neosomas en la medida en que nos acercamos a los cuerpos (Fig. 4a). En proximidades del cuerpo mayor de La Bolsa, alternan variedades con texturas estromáticas y nebulíticas. En estas últimas, son abundantes los sulfuros de hierro y cobre.

La característica estructural sobresaliente es la foliación milonítica de rumbo NNE y buzamiento de alto ángulo al ESE (S_m ; Figs. 4a, 4b, 5a y 6). Las lineaciones de estiramiento mineral (especialmente en feldespatos) sobre los planos de foliación, indican desplazamiento subparalelo a la dirección de buzamiento. Los indicadores cinemáticos a escala mesoscópica (estructuras S-C y porfiroclastos tipo ρ y σ), en cortes paralelos a la lineación y normales a la foliación, indican sentido de cizalla izquierdo en vista NNE, es decir, desplazamiento inverso con vergencia al ONO.

En inmediaciones de los cuerpos máfico-ultramáficos mayo-

res es notoria la abundancia de lentes máficos intercalados entre las migmatitas (Fig. 5a). Estos disminuyen en cantidad y tamaño en la medida en que nos alejamos hacia el E u O de los mismos. En los contactos entre los lentes máficos y la caja gnéissica-migmatítica, se observan con mucha frecuencia rocas graníticas compuestas por cristales de feldespato, cuarzo y granate, adquiriendo a veces aspecto pegmatítico por el gran desarrollo cristalino de estos minerales (Fig. 5a). Los lentes máficos presentan abundante inyección de venas pegmatíticas. Tanto los lentes máficos como las rocas graníticas, presentan una foliación interna concordante con la foliación milonítica de la caja adyacente. Esta última rodea los lentes máficos y granítico-pegmatíticos mayores acomodándose a sus contornos, por lo que en sus proximidades la foliación tiende por sectores a verticalizarse y hasta invertir la dirección de buzamiento, inclinando con alto ángulo al oeste. Este comportamiento se refleja también en proximidades de los contactos entre los cuerpos máfico-ultramáficos principales de La Bolsa y Virorco y la caja adyacente (véase Fig. 6).

Las rocas máficas, dominantes a nivel de afloramientos, están representadas por noritas, noritas clinopiroxénicas, gabronoritas y gabros ortopiroxénicos. La diferenciación de las distintas variedades que integran este conjunto de rocas no es sencilla en el campo debido al marcado bandeamiento composicional con variaciones muy notables en la proporción de plagioclasas y piroxenos a escala centimétrica. Las rocas ultramáficas comprenden dunitas, harzburgitas, ortopiroxenitas y websteritas. Si bien en los niveles de afloramiento su participación es escasa en relación con las rocas máficas, los testigos de perforaciones indican que su proporción relativa se incrementa en el subsuelo. Los sulfuros dominantes son pirrotina, calcopirita y pentlandita, mientras que los óxidos se encuentran diseminados y en muy baja proporción.

El evento milonítico afectó también intensamente a los bordes de los cuerpos máfico-ultramáficos mayores. En el interior de estos cuerpos, alternan sectores masivos con escasa de-

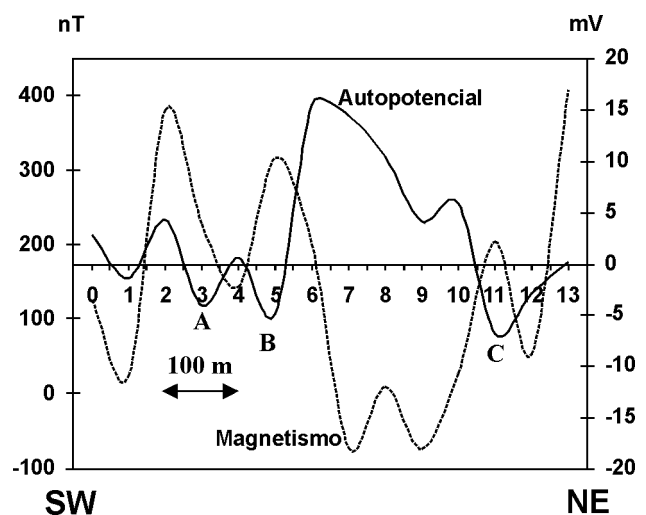


Figura 3: Perfil extendido de anomalías de autopotencial y del campo magnético terrestre en el sector de los afloramientos de rocas máficas-ultramáficas del área de Virorco. Distancia entre electrodos 50 metros.

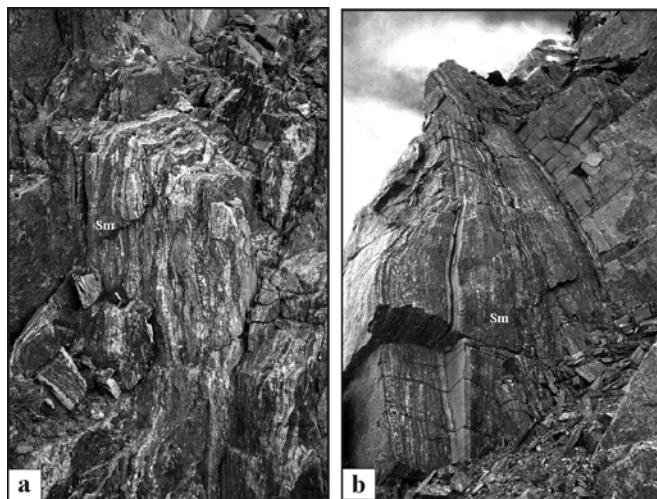


Figura 4: a) Migmatitas del entorno cercano a los cuerpos máfico-ultramáficos con abundantes proporciones de neosomas cuarzo feldspáticos; b) Fajas miloníticas-ultramiloníticas del mismo sector. Note el desarrollo de una matriz melanocrática por el predominio de biotita neoformada, que rodea porfiroclastos de feldspatos y cintas de cuarzo. S_m : foliación milonítica. Detalles en el texto.

formación que preservan las texturas granulares ígneas, con bandas de cizalla intensamente foliadas.

Mientras en los bordes y en las fajas de cizalla internas los cuerpos de La Bolsa y Virorco presentan una foliación concordante con la foliación milonítica de la caja, en los sectores menos deformados del centro de los mismos se observa una foliación de rumbo similar pero buzante al oeste. Las observaciones en muestras tomadas en afloramiento revelan que la mineralización de sulfuros es de carácter diseminado, pero incrementan su abundancia relativa en las zonas con deformación milonítica.

Estos cuerpos se encuentran atravesados por venas pegmatíticas (Fig. 5b) que muestran evidencias de deformación tal como sus encajantes máfico-ultramáficos y el basamento adyacente. Los cuerpos muestran por sectores un fracturamiento frágil e intensa alteración de bajo grado (tremolita-actinolita-serpentina-óxidos de hierro), que enmascara en parte las texturas desarrolladas previamente.

Geofísica

Sobre la zona de alteración de sulfuros de mina Virorco se observó que los valores de autopotencial negativos se corresponden con los máximos de magnetismo terrestre (Fig. 2). Allí se identificó una anomalía de autopotencial cercana a los -150 mV. La anomalía del campo magnético terrestre se eleva a +350 nT en ese sector (Fig. 2). Este comportamiento se correlaciona con las mediciones de susceptibilidad magnética realizadas sobre las rocas de caja y la zona de mineralización alterada. Para las rocas de caja se halló un valor promedio de 0,000400 SI, mientras que para el sector de mineralización alterada se obtuvo un valor promedio de 0,029000 SI. Una correlación similar entre anomalías magnéticas y de potencial inducido, fue observado por Kostadinoff *et al.* (2004), en este último

caso en zonas mineralizadas del yacimiento Las Aguilas.

El perfil de la figura 3 muestra tres mínimos de autopotencial (A, B y C). Los dos últimos se correlacionan con máximos de anomalías del campo magnético terrestre (CMT). El pico de anomalía magnética en el sector de la anomalía de autopotencial A se halla desplazado hacia el SO, probablemente debido a la inclinación del plano donde se hallan las rocas alteradas y/o mineralizadas.

En la zona de La Bolsa existe un destape realizado sobre un afloramiento de rocas máficas-ultramáficas (Fig 5b). Sobre este cuerpo se realizaron dos perfiles con la metodología de medición representada en la figura 7 y se obtuvieron las subsuperficies de anomalías de autopotencial mostradas en la figura 8.

En el perfil 1 (Fig. 8) se observan tres núcleos de autopotencial negativo de -50, -40 y -90 mV. Los núcleos con valores de -50 y -40 mV, parecen ser un núcleo único segmentado por una estructura o cuerpo no mineralizado buzante al oeste. Cabe destacar que el cuerpo máfico-ultramáfico se halla inten-

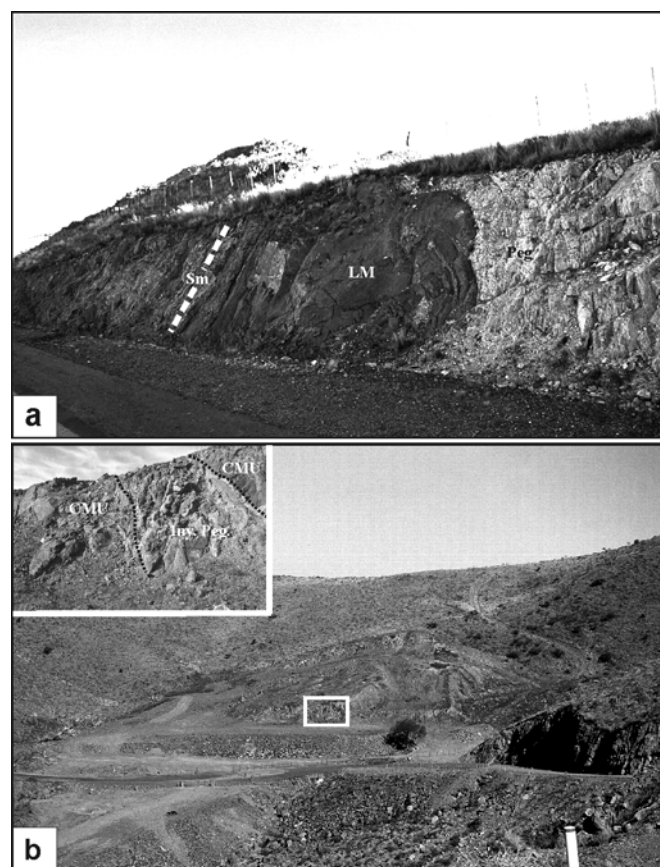


Figura 5: a) Lente máfico incluido en basamento gnéisico-migmatítico y deformados conjuntamente con este último, en inmediaciones del cuerpo mayor de La Bolsa. Note la presencia de rocas graníticas-pegmatíticas en el contacto entre los lentes y el basamento. A la izquierda de la fotografía puede apreciarse la orientación de la foliación milonítica (S_m), buzante con alto ángulo al ESE; b) Panorámica del cuerpo próximo a La Bolsa sobre el cual se efectuaron los perfiles mostrados en la figura 8. El recuadro en el extremo superior izquierdo, muestra un detalle del sector central del cuerpo donde aflora una faja de intensa inyección pegmatítica. Detalles en el texto.

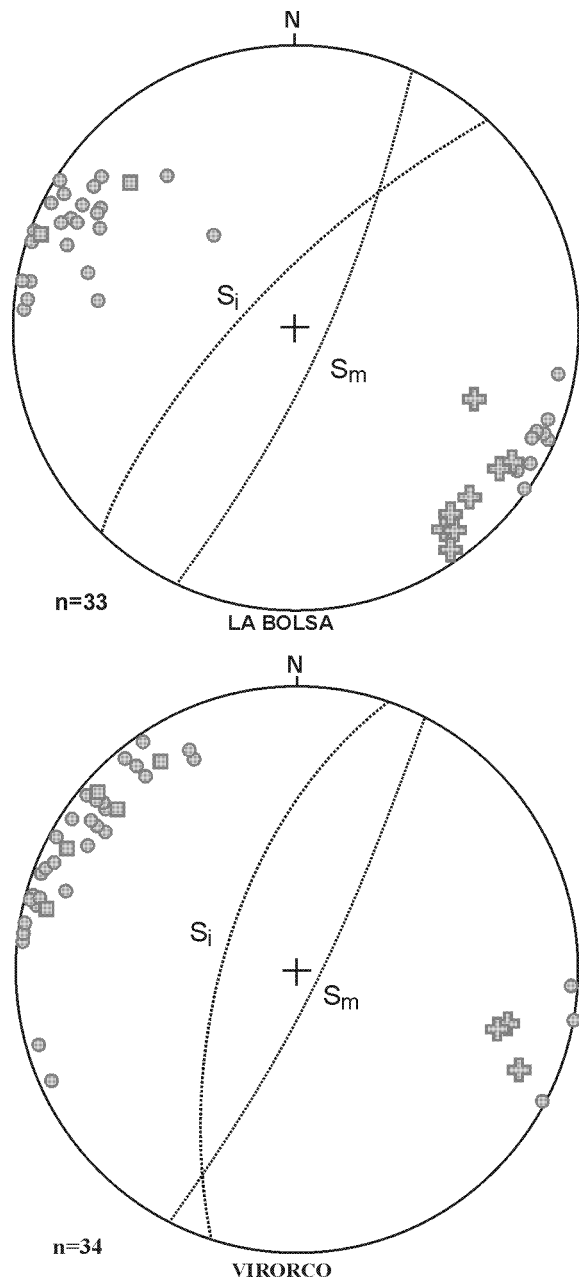


Figura 6: Diagrama polo a plano de los datos de foliación en cuerpos máfico-ultramáficos de Virorco y La Bolsa y su entorno basamental. Proyección equiareal, hemisfera inferior. Círculos: foliación milonítica (S_m); Cruces: foliación interna en cuerpos máfico-ultramáficos (S_i); Cuadrados: foliación en bordes de los cuerpos máfico-ultramáficos y bandas de cizalla internas (S_m).

samente inyectado por venas pegmatíticas. La faja de autopotencial positivo con punto de partida en superficie desde el centro del perfil 1, coincide con el afloramiento de una banda con intensa inyección pegmatítica (Fig. 5b) y subparalela a la foliación interna de las rocas máficas (buzante al oeste, véase Fig. 6).

En el perfil 2 (Fig. 8) se observa un mínimo de autopotencial de -55 mV, en el centro de una anomalía ligeramente alargada, buzante al este. Debido a la cercanía entre los perfiles 1 y 2

(25 metros), es dable suponer que este último mínimo es continuación de los mínimos de -50 y -40 mV del perfil 1. Cabe destacar que el mínimo de -90 mV, constituye el núcleo de una anomalía alargada buzante al este y ubicada en el contacto entre el cuerpo máfico-ultramáfico mayor y los gneises migmatíticos de caja. Si bien el método geofísico no permite determinar cuantitativamente el valor del buzamiento, la disposición espacial de esta anomalía y la observada en el perfil 2 es coincidente con la orientación de la foliación milonítica presente en los bordes de los cuerpos y la caja adyacente (véase Fig. 6).

El análisis geoquímico realizado en una roca mineralizada en el sector donde se determinó un valor de autopotencial -90 mV indica contenidos de S de 1,76 % lo que implica concentraciones de sulfuros polimetálicos mayores.

Consideraciones finales

La correspondencia entre la deformación milonítica y la disposición espacial de la mineralización establecida con esta herramienta de prospección, sustenta la hipótesis de removilización y concentración de los sulfuros durante el evento de milonitización, como fuera planteado previamente a través de otras técnicas de análisis (Malvicini y Brogioni 1993; Bjerg *et al.* 1997, Felfernig *et al.* 1999, Delpino *et al.* 2002, 2005, Ferracutti y Bjerg 2002).

El método de autopotencial se ha revelado como una herramienta cualitativa de suma utilidad en la prospección superficial de sulfuros en el área de los afloramientos de rocas máficas-ultramáficas comprendido entre Las Aguilas-Virorco-La Bolsa. El valor cercano a -150 mV observado en la mina Virorco puede ser correlacionado con los valores encontrados para yacimientos de sulfuros masivos de otros lugares del mundo. Por ejemplo, las anomalías de autopotencial de -120 mV y -300 mV halladas por Yüngül (1950) y Bergey *et al.* (1958), respectivamente, para depósitos de Turquía y Canadá.

Asimismo, si se mide simultáneamente el campo magnético terrestre puede determinarse con bastante precisión la ubicación de las fajas miloníticas mineralizadas.

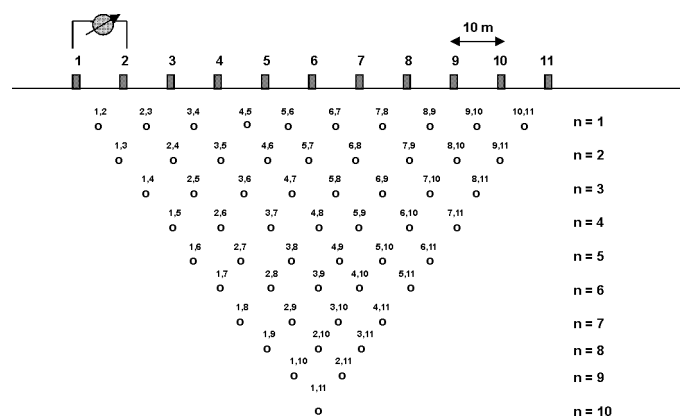


Figura 7: Esquema de disposición de los electrodos y ubicación de los subsuperficie de acuerdo a la distancia de la medición. Ejemplo: 1,7 significa que la distancia entre electrodos es de 60 metros y el punto se halla aproximadamente a 30 m de profundidad.

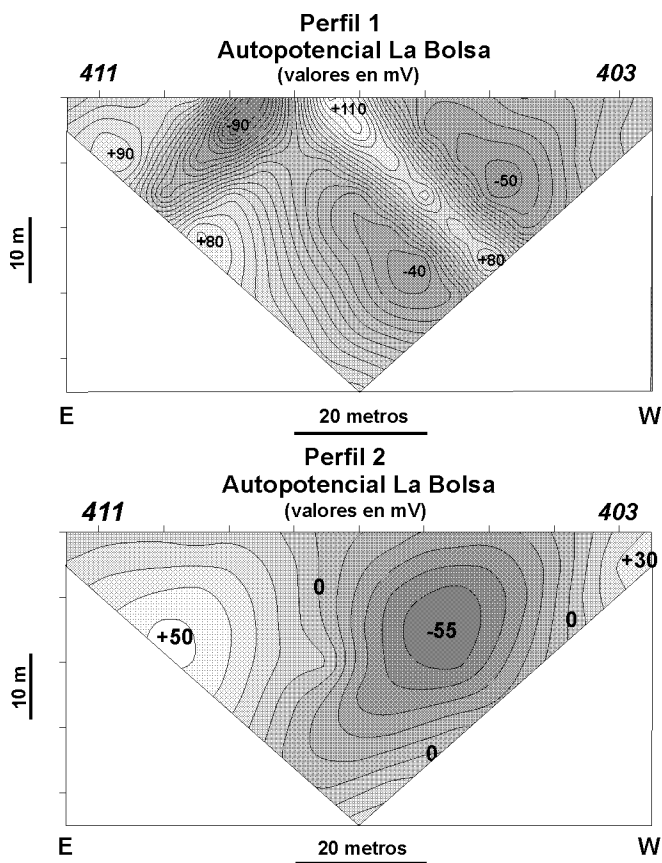


Figura 8: Perfiles 1 (sur) y 2 (norte) de las anomalías de autopotencial en el sector de los afloramientos de rocas máficas-ultramáficas del área de La Bolsa de acuerdo al esquema mostrado en la figura 7.

Agradecimientos

Al señor Hernan Stockman, estudiante de la Licenciatura en Ciencias Geológicas de la Universidad Nacional del Sur, por su dedicación y colaboración en las campañas geofísicas. Los autores agradecen a los árbitros por las atinadas observaciones y comentarios que permitieron mejorar sustancialmente su contenido. Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, proyecto PID 02479/00. EB agradece a la SCyT-UNS, proyecto 24/H066.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Bergey, W. R., Clark, A. R., Frantz, J. C., Kevill, N. B. and Smith, F. G. 1958. Discovery of copper-nickel ore bodies at the Temagami Mine Ontario. Methods and case histories in mining geophysics. Canadian Institute Mining Metallurgy: 168-165.

Bjerg, E., Kostadinoff, J., Mogessie, A., Hoinkes, G., Stumpf, E. y Hauzenberger, Ch. 1996. Faja de rocas ultramáficas de las sierras de San Luis nuevo hallazgo de minerales del grupo del platino. 3° Jornadas de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de rocas máficas y ultramáficas. Instituto de Recursos Naturales. Universidad Nacional de La Plata, Actas 5: 303-310, La Plata.

Bjerg, E., Delpino, S., Dimiere, L., Kostadinoff, J., Mogessie, A., Hoinkes, G., Hauzenberger, C. y Felfernig, A. 1997. Estructura y

mineralización del área Las Águilas - Virorco, San Luis. Argentina. 8° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 857-861, Antofagasta.

Bjerg, E. y Sabalúa, J. 1999. Yacimientos de Níquel, Cobalto y Cobre Las Águilas Este y Oeste; San Luis. En: Zappettini, E. (ed.): Recursos minerales de la República Argentina. SEGEMAR Anales 35(2): 312, Buenos Aires.

Brogioni, N. 1992. El cuerpo máfico-ultramáfico de Las Águilas, provincia de San Luis: Mineralogía de los silicatos. 1° Jornadas de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de rocas máficas y ultramáficas. Instituto de Recursos Naturales. Universidad Nacional de La Plata, Actas: 379-372.

Chernicoff, C. J. y Ramos, V.A. 2003. El basamento de la Sierra de San Luis: Nuevas evidencias magnéticas y sus implicaciones tectónicas. Revista de la Asociación Geológica Argentina 58(4): 511-524.

Delpino, S., Dimieri, L., Bjerg, E., Kostadinoff, J., Mogessie, A., Hoinkes, G., Hauzenberger, Ch. y Felfernig, A. 2001. Geometrical analysis and timing of structures on mafic-ultramafic bodies and high-grade metamorphic rocks, Sierras Grandes de San Luis, Argentina. Journal of South American Earth Science 14(1): 101-112.

Delpino, S., Bjerg, E., Ferracutti, G., Dimieri, L., Mogessie, A. y Kostadinoff, J. 2002. Upper-amphibolite facies mylonitization of mafic-ultramafic rocks and gneissic-migmatitic country rocks, Sierras de San Luis, Argentina: implications in the remobilization of ore sulphides. 6° Congreso de Mineralogía y Metalogénesis, Actas 123-126, Buenos Aires.

Delpino, S., Bjerg, E., Ferracutti, G. y Mogessie, A. 2005. Mylonitization and related geological processes in the Sierra de San Luis Central Block, Argentina: Implications for the tectono-metamorphic evolution of the region. Journal of South American Earth Sciences (en prensa).

Felfernig, A., Mogessie, A., Hauzenberger, C., Hoinkes, G., Bjerg, E., Kostadinoff, J., Delpino, S., y Dimieri, L. 1997. Petrology and mineralisation of the Las Águilas ultramafic body, San Luis province, Argentina. Terra Nova 9: 532-533, Strasbourg.

Felfernig, A., Mogessie, A., Hauzenberger, Ch., Hoinkes, G., Leutzenbauer, G., Bjerg, E., Kostadinoff, J., Delpino, S. y Dimieri, L. 1998. Petrologie und Platinum mineralisation im mafisch/ultramafischen Las Águilas-Komplex, San Luis Province, Argentinien. Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft B 143: 268-270.

Felfernig, A., Mogessie, A., Hauzenberger, Ch., Hoinkes, G., Leutzenbauer, G., Bjerg, E., Kostadinoff, J., Delpino, S. y Dimieri, L. 1999a. The role of fluid in platinum mineralization of the mafic - ultramafic Las Águilas complex, San Luis, Argentina. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 287-289, Salta.

Felfernig, A., Mogessie, A., Hauzenberger, Ch., Hoinkes, G., Bjerg, E. y Kostadinoff, J. 1999b. The mafic-ultramafic Las Águilas Complex, San Luis Province, Argentina: Genesis of Platinum group minerals. Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft. Beihefte zum European Journal of Mineralogy 11: 71, Stuttgart.

Ferracutti, G. y Bjerg, E. 2001. Estudio petrográfico-calcoográfico de las rocas máficas-ultramáficas del yacimiento Las Águilas, provincia de San Luis, Argentina. 11° Congreso Latinoamericano de Geología y 3° Congreso Uruguayo de Geología, Contribución 171: 6 p. (en CD-ROM), Montevideo.

Ferracutti, G. y Bjerg, E. 2002. Relación entre mineralización y deformación en rocas máficas-ultramáficas del yacimiento Las Águilas, provincia de San Luis, Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 17-22, Calafate.

Gervilla, F., Sabalúa, J., Carrillo, R., Fenoll Hach-Alí, P. y Acevedo, R. 1993. Mineralogy and mineral chemistry of the Las Águilas Ni-Cu deposit, province of San Luis, Argentina. En: Fenoll Hach-Alí, P., Torrez-Ruiz, J., Gervilla, F. (eds.) Current research in geology applied to ore deposits. Universidad de Granada, Servicio de publicaciones 461-464, Granada.

Hauzenberger, Ch., Mogessie, A., Hoinkes, G., Felfernig, A., Bjerg, E. y Kostadinoff, J. 1996. Granulite facies metamorphism in crystalline basement and ultramafic rocks in the Sierras Pampeanas Range, San Luis province, Argentina. Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft. Bd. M 141: 110-111, Viena.

- Hauzenberger, Ch., Mogessie, A., Hoinkes, G., Bjerg, E., Kostadinoff, J., Delpino, S. y Dimieri, L. 1997a. Platinum group minerals in the basic to ultrabasic complex of the Sierras de San Luis province, Argentina. *Mineral Deposits: Research and Exploration*. En Hekki Papunen (eds.) *Where do They Meet?*: 439-442, Balkema, Rotterdam.
- Hauzenberger, Ch., Mogessie, A., Hoinkes, G., Bjerg, E., Kostadinoff, J., Delpino, S. y Dimieri, L. 1997b. Granulite facies metamorphism of the basement of the Sierras de San Luis, Argentina-An Anticlockwise P-T path. *Terra Nova* 9: 678, Strasbourg.
- Hauzenberger, Ch., Mogessie, A., Hoinkes, G., Felfernig, A., Bjerg, E. y Kostadinoff, J. 1998. Geochemistry of the mafic-ultramafic bodies of the Sierras de San Luis, Argentina. *Mitteilungen der Osterreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, Bd. 143: 299-302, Viena.
- Hauzenberger, Ch., Mogessie, A., Hoinkes, G., Felfernig, A., Bjerg, E., Kostadinoff, J., Delpino, S. y Dimieri, L. 2001. Metamorphic Evolution of the Sierras de San Luis, Argentina: Granulite Facies Metamorphism Related to Mafic Intrusions. *Mineralogy and Petrology* 71: 95-126.
- Hoinkes, G., Hauzenberger, Ch., Mogessie, A., Felfernig, A., Bjerg, E., Kostadinoff, J., Delpino, S. y Dimieri, L. 1999. Granulite facies metamorphism of the central part of the Sierras de San Luis, Argentina. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 99-100, Salta.
- Kostadinoff, J., Bjerg, E., Delpino, S., Dimieri, L., Raniolo, A., Mogessie, A., Hoinkes, G., Hauzenberger, Ch. y Felfernig, A. 1998a. Anomalías geofísicas en rocas máficas-ultramáficas de las Sierras Grandes de San Luis, Argentina. 4° Reunión de Mineralogía y Metalogénesis. 4° Jornadas de Mineralogía y Petrografía, Metalogénesis de rocas Máficas y Ultramáficas: 139-146, Bahía Blanca.
- Kostadinoff, J., Bjerg, E., Delpino, S., Dimieri, L., Mogessie, A., Hoinkes, G., Hauzenberger, Ch. 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., Mogessie, A., Raniolo, A., Alvarez, G. y Santiago, E. 2004. Métodos geofísicos utilizados en la prospección geofísica del yacimiento de Las Águilas, provincia de San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59(1): 121-128.
- Malvicini, L. y Brogioni, N. 1992. El yacimiento hidrotermal de níquel, cobre y metales del "Grupo del Platino", Las Águilas Este, provincia de San Luis, Argentina. Congreso Latinoamericano de Geología Económica, Actas: 93-102, Córdoba.
- Malvicini, L. y Brogioni, N. 1993. Petrología y génesis del yacimiento de Ni, Cu y Platinoideos Las Águilas Este, provincia de San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 48(1): 3-20.
- Mogessie, A., Hoinkes, G., Stumpfl, E., Bjerg, E. y Kostadinoff, J. 1994. The petrology and mineralization of the basement and associated mafic-ultramafic rocks, San Luis province, Argentina. *Mitteilungen der Osterreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, Bd. 139: 347-348, Viena.
- Mogessie, A., Hoinkes, G., Stumpfl, E., Bjerg, E. y Kostadinoff, J. 1995. Occurrence of platinum group minerals in the Las Águilas ultramafic units within a granulite facies basement, San Luis province, central Argentina. En Pasaba, J., Kribek, B. y Zak, K. (Eds.) *Mineral Deposits* 897-900, Balkema, Rotterdam.
- Mogessie, A., Hausenberger, Ch., Hoinkes, G., Felfernig, A., Bjerg, E. y Kostadinoff, J. 1996. Platinum group minerals from the Las Águilas ultramafic unit, San Luis province, Argentina. *Mitteilungen der Osterreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, Bd.141: 157-159, Viena.
- Mogessie, A., Hoinkes, G., Hauzenberger, Ch., Felfernig, A., Bjerg, E., Kostadinoff, J., Delpino, S. y Dimieri, L. 1998a. Platinum mineralization in the Las Águilas body, San Luis province, Argentina. 8° International Platinum Symposium: 271-273, South Africa.
- Mogessie, A., Hauzenberger, Ch., Hoinkes, G., Felfernig, A., Bjerg, E. y Kostadinoff, J. 1998b. Origin of platinum-group minerals in the Las Águilas mafic-ultramafic intrusion, San Luis province, Argentina. 4° Jornadas de mineralogía y Petrografía, Metalogénesis de Rocas Máficas y Ultramáficas: 285-289, Bahía Blanca.
- Mogessie, A., Hausenberger, Ch., Stumpfl, E., Hoinkes, G., Felfernig, A., Bjerg, E. y Kostadinoff, J. 2000. Origin of Platinum Group Minerals in the Las Águilas mafic-ultramafic unit, San Luis province, Argentina: Textural, Chemical and Mineralogical evidence. *Mineralogy and Petrology* 68: 85-114.
- Sabalúa, J., Chabert, M. y Santamaría, G. 1981. Mineralizaciones de sulfuros de Hierro, Cobre y Níquel en el cuerpo básico de Las Águilas, provincia de San Luis. 8° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 497-507, San Luis.
- Sabalúa, J. 1986. El yacimiento de níquel-cobre-cobalto de Las Águilas, provincia de San Luis. Informe Final de la Dirección General de Fabricaciones Militares, (inérito) 32 p., Mendoza.
- Sims, J., Ireland, T., Camacho, A., Lyons, P., Pieters, P., Skirrow, R., Stuart-Smith, P. y Miró, R. 1998. U-Pb, Th-Pb and Ar-Ar geochronology from the southern Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the Palaeozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin. En Pankhurst, R. y Rapela, C. (eds.) *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society of London, Special Publication 142: 259-281.
- Sharma, P. 1986. *Geophysical Methods in Geology*. Prentice Hall, Chapter 6: 290-292, New Jersey.
- Telford, W., Geldart, L. y Sheriff, R. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, Chapter 6: 293-297, Cambridge.
- Twiss, R. y Moores, E. 1992. *Structural Geology*. W. H. Freeman and Company, 532 p., New York.
- Yüngül, S. 1950. Interpretation of spontaneous polarization anomalies caused by spherical ore bodies. *Geophysics* 15: 237-246.

Recibido: 1 de diciembre, 2004

Aceptado: 27 de mayo, 2005