

Prospección geofísica del yacimiento Las Águilas, provincia de San Luis

Jose KOSTADINOFF^{1,2}, Ernesto BJERG^{1,2}, Aberra MOGESSIE³, Ariel RANIOLO^{1,4},
Guillermina ALVAREZ² y Emiliano SANTIAGO⁵,

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas CONICET, San Juan 670, B8000ICN Bahía Blanca, Argentina.

² Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, San Juan 670, B8000ICN Bahía Blanca, Argentina.

E-mail: gfkostad@criba.edu.ar

³ Institute of Mineralogy and Petrology, Karl Franzens University Graz, Universitätsplatz 2, A8010 Graz, Austria

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

⁵ Schlumberger GeoQuest, Av. Roque Saenz Peña 1149, 13th Floor, C1035AAG Buenos Aires, Argentina.

RESUMEN. El yacimiento de sulfuros Las Águilas se halla emplazado en el sector sur de las Sierras Grandes de San Luis. La exploración geofísica de este yacimiento presenta numerosos problemas debido a su estructura, al tipo de mineralización de las rocas ultramáficas y a su composición mineralógica. Los métodos de polarización inducida son eficientes en la ubicación de mineralizaciones de sulfuros polimetálicos, pero necesitan de la concurrencia de otras metodologías geofísicas para resolver el problema que puede conllevar la existencia de grafito como elemento indeseable en la evaluación de este yacimiento. Esta investigación se basa en la comparación de los resultados de las prospecciones de polarización inducida (PI) y las magnéticas. El análisis de los resultados de los perfiles indica que en zonas donde de las rocas tienen alta susceptibilidad magnética ésta es debida a la presencia de sulfuros (pirrotina). La presencia del grafito es irrelevante para la prospección magnética debido a su naturaleza diamagnética. Esta situación se ve también reflejada al comparar las anomalías magnéticas con los parámetros de polarización inducida (resistividad, factor metálico y al porcentaje de la Variación de la Resistividad por Efecto de la Frecuencia (PVREF)), siendo posible deducir que la pirrotina es la causante de las anomalías de (PI), asumiendo que en el yacimiento no coexisten el grafito y los sulfuros y que la magnetita no se encuentre en altas concentraciones.

Palabras clave: *Geofísica, Exploración, Polarización Inducida, Magnetometría, Sulfuros*

ABSTRACT. *Geophysical prospecting of the Las Águilas deposit, San Luis Province, Argentina.* The Las Águilas sulphide deposit is located in the southern part of the Sierra Grande of San Luis, Argentina. Geophysical exploration in this area is faced with several problems due to the geological structure and the varied mineral composition of the sulphides carried by mafic-ultramafic rocks. Induced polarization (IP) methods are very promising for the recognition of polymetallic disseminated sulphide mineralization, but they require the application of other geophysical methods to establish the influence of graphite, which clearly is an undesired element in evaluating the potential of a sulphide deposit. This contribution focuses on the evaluation and comparison of results obtained with both induced polarization (IP) and magnetic surveys. Our results show that, in the areas where the rocks have high magnetic susceptibility, it is due to the presence of the sulphide pyrrhotite. Graphite is irrelevant to magnetism because of its diamagnetic nature. When magnetic anomalies (total component) are compared with the results of the induced polarization method (resistivity, metallic factor and % frequency effect (PFE)) it is usually possible to deduce that the pyrrhotite is responsible for the magnetic anomalies, and pyrrhotite together with other sulphides are causing the IP anomalies, provided one assumes that the graphite and sulphides do not co-exist and, that there are no larger concentrations of magnetite.

Key words: *Geophysics, Exploration, Induced Polarization, Magnetism, Sulfides*

Introducción

Los métodos geofísicos potenciales, magnetometría y polarización inducida (PI), se encuentran entre los más utilizados en la prospección de sulfuros metálicos masivos y diseminados.

La magnetometría ha sido empleada en los últimos dos siglos, pero la metodología de polarización inducida se comenzó a usar a fines de la década de los 40 en forma extensiva para la investigación de los depósitos de

sulfuros diseminados. Durante la década de los 60 fue la técnica geofísica más ampliamente utilizada en la exploración minera. Información más detallada sobre la polarización inducida se encuentra en los trabajos de Madden y Cantwel (1967) y Summer (1985), como así también en los de Keller y Frischnecht (1966), Parasnis (1986) y Reynolds (1997).

Un yacimiento de sulfuros diseminado muy estudiado en las últimas décadas es el de Las Águilas, localizado en la faja de rocas máficas-ultramáficas de las Sierras Gran-

des de San Luis, figura 1. Son numerosos los trabajos publicados en revistas especializadas sobre la geología y geofísica de este yacimiento. En los últimos 15 años hubo un esfuerzo muy grande realizado por entes estatales y privados para determinar la factibilidad económica de la 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).

Es destacable la prospección minera hecha por la Dirección General de Fabricaciones Militares (DGFM) en esta faja de rocas máficas-ultramáficas, cuyos resultados se encuentran en informes técnicos basados en los resultados de los trabajos geológicos, geofísicos y el análisis de los testigos de 10.000 metros de perforación. De estos informes merece destacarse el de Sabalúa *et al.* (1981) sobre la importancia de la geofísica en la prospección de las mineralizaciones presentes en la región de Las Águilas.

Un informe técnico final sobre los resultados de la prospección geofísica y su relación con las mineralizaciones de Ni-Cu y Co en el área de Las Águilas fue realizado por Sabalúa (1986), informe que incluye un extensivo análisis de las mediciones de polarización inducida (PI).

En la década de los 90 los trabajos efectuados por grupos de investigadores de nuestro país y del exterior ampliaron los conocimientos geológicos de este yacimiento y de las manifestaciones halladas en sus alrededores (Virorco, El Fierro, La Bolsa, La Melada, etc.) figura 1. Entre dichos trabajos se encuentran los 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), Delpino *et al.* (2001) y Ferracutti y Bjerg (2001-2002).

La prospección geofísica en la faja de rocas ultramáficas de las Sierras Grandes de San Luis fue realizada por varios grupos de investigadores. Bjerg *et al.* (1996) dan a conocer las dimensiones de la anomalía gravimagneto-métrica la cual integra a todos los afloramientos de rocas ultrabásicas de la zona (El Durazno, Las Águilas, Virorco, El Fierro, La Bolsa, etc., figura 1). Ramé e Introcaso (1997) describen la subcompensación isostática de la Sierra de San Luis; por su parte Kostadinoff *et al.* (1998a-b) correlacionan las anomalías gravimétricas con las magnetométricas indicando las áreas de posible mineralización de sulfuros y la identificación de rocas de manto; Kostadinoff *et al.* (1998b) calcularon el volumen (250 km^3) y masa del cuerpo de rocas ultramáficas que intruyen a las rocas metamórficas de la región ($1,2 \times 10^{12} \text{ Tn}$).

Basados en los trabajos antes mencionados y en función de nueva información obtenida en la región de Las Águilas, se logró dimensionar la mineralización en función de los resultados gravimétricos, magnetométricos y de PI.

Potencial inducido

A los efectos de facilitar la interpretación de los mapas que se elaboraron (resistividad aparente r_a , factor metáli-

co FM y porcentaje de la Variación de la Resistividad por Efecto de la Frecuencia (PVREF)), se efectúa una breve descripción de los principios de esta metodología. Para ello es necesario considerar que cuando una corriente eléctrica (I) pasa a través de una roca que no contiene minerales metálicos, la cantidad de corriente es función del potencial (V) y la resistencia óhmica (r_a) de las rocas involucradas. Cuando las rocas son portadoras de minerales metálicos, las corrientes se incrementan debido al intercambio iónico entre la superficie de contacto de los minerales y los electrolitos disueltos en los líquidos que ocupan los poros intergranulares, pero se debe tener cuidado en no generalizar este concepto pues el grafito, las arcillas y algunas rocas básicas producen también este fenómeno (Evans y Burley 1969). El intercambio electroquímico crea un voltaje que se opone al flujo de corriente a través del material siendo necesario elevar el voltaje inducido (sobrevoltaje) para superar dicha barrera. Cuando la corriente externa aplicada se interrumpe, el voltaje electroquímico inducido se disipa, pero no en forma instantánea. El tiempo de decaimiento del voltaje puede ser medido después de la interrupción del suministro de corriente. Precisamente la observación de este parámetro es la base de la técnica denominada potencial inducido.

La razón entre la amplitud de sobrevoltaje después de la interrupción de la corriente y la inducida anterior al corte, permite medir la concentración de minerales metálicos, grafito y arcillas cuando fluyen corrientes inducidas artificialmente.

Si una corriente alternada es inducida en el suelo, el sobrevoltaje observado decrece con la frecuencia debido a que la generación de la barrera de oposición requiere un periodo más largo entre los cambios de la corriente aplicada. Cuando la frecuencia de la corriente alterna se incrementa, el pico de sobrevoltaje es inducido a llegar a un valor máximo, siendo éste proporcionalmente menor que el generado por la corriente continua. La razón entre la resistividad aparente inducida por el paso de corriente alterna en alta frecuencia y la resistividad aparente inducida por corriente alterna en baja frecuencia, nos indica la concentración de minerales metálicos presentes en la trayectoria seguida por las líneas de corriente (factor metálico, FM). Dichas líneas de corriente se extienden entre los pares de electrodos (emisores y receptores) instalados en el campo a lo largo perfiles definidos por el usuario.

La fórmula que permite calcular el FM es la indicada por Parasnis (1962) y Evans y Burley (1969):

$$FM = 2 \pi 10^5 \cdot (\rho_{bf} - \rho_{af}) / (\rho_{af} - \rho_{bf})$$

donde ρ_{bf} es la resistividad aparente en baja frecuencia y ρ_{af} es la resistividad aparente en alta frecuencia. La constante $2 \pi 10^5$ se obtuvo utilizando los resultados de observaciones de laboratorio, Parasnis (1986).

El porcentaje de la Variación de la Resistividad por Efecto de la Frecuencia (PVREF) esta dada por la siguiente relación:

$$PVREF = [(\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 \cdot \rho_1)^{1/2}] 100\%$$

donde ρ_2 es la resistividad aparente medida a una frecuencia particular y ρ_1 es la resistividad aparente generada por otra frecuencia 10 veces más alta.

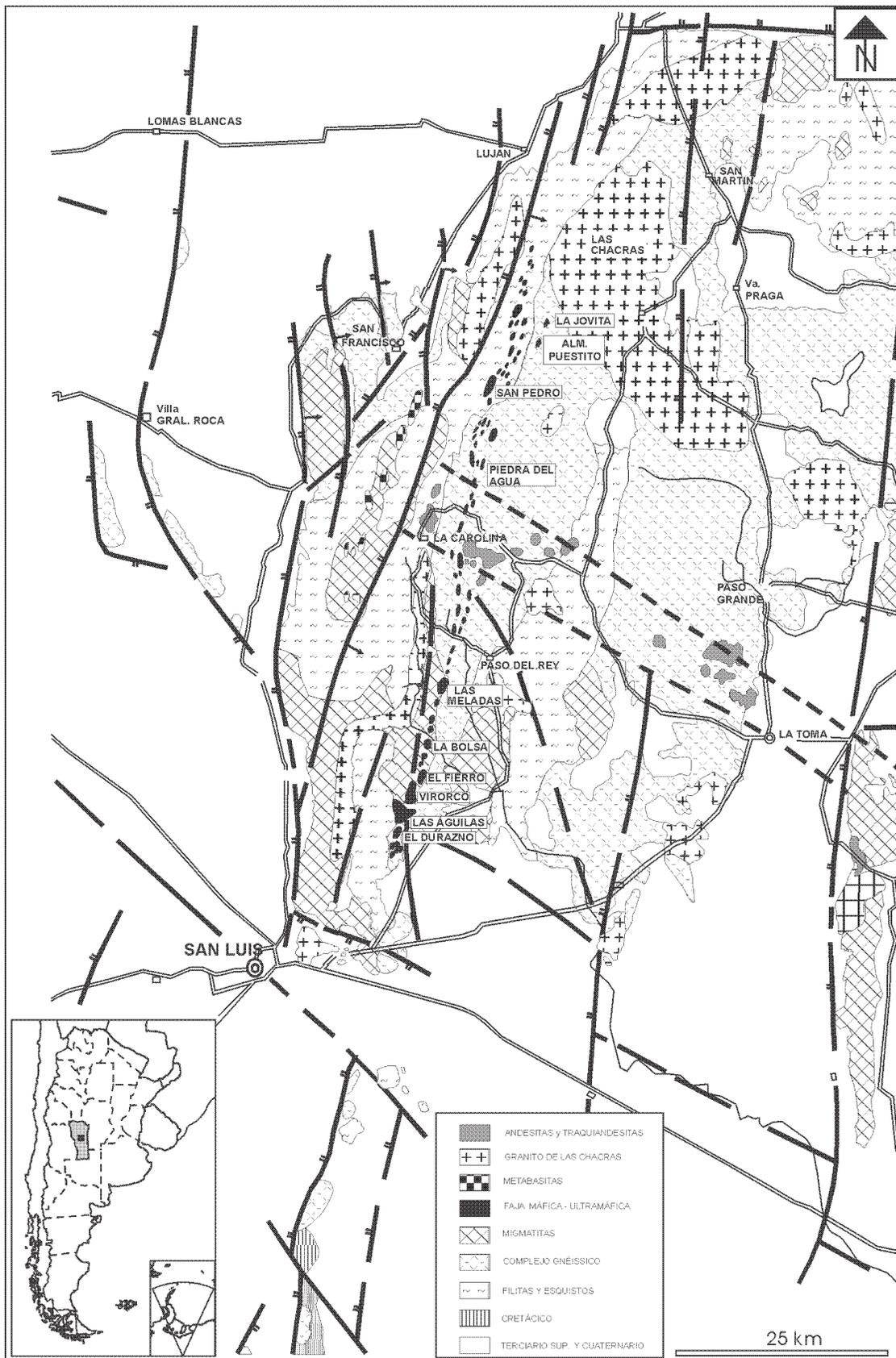


Figura 1: Mapa con la ubicación de la faja de rocas máficas-ultramáficas de la Sierra Grande de San Luis (modificado de Yrigoyen 1981).

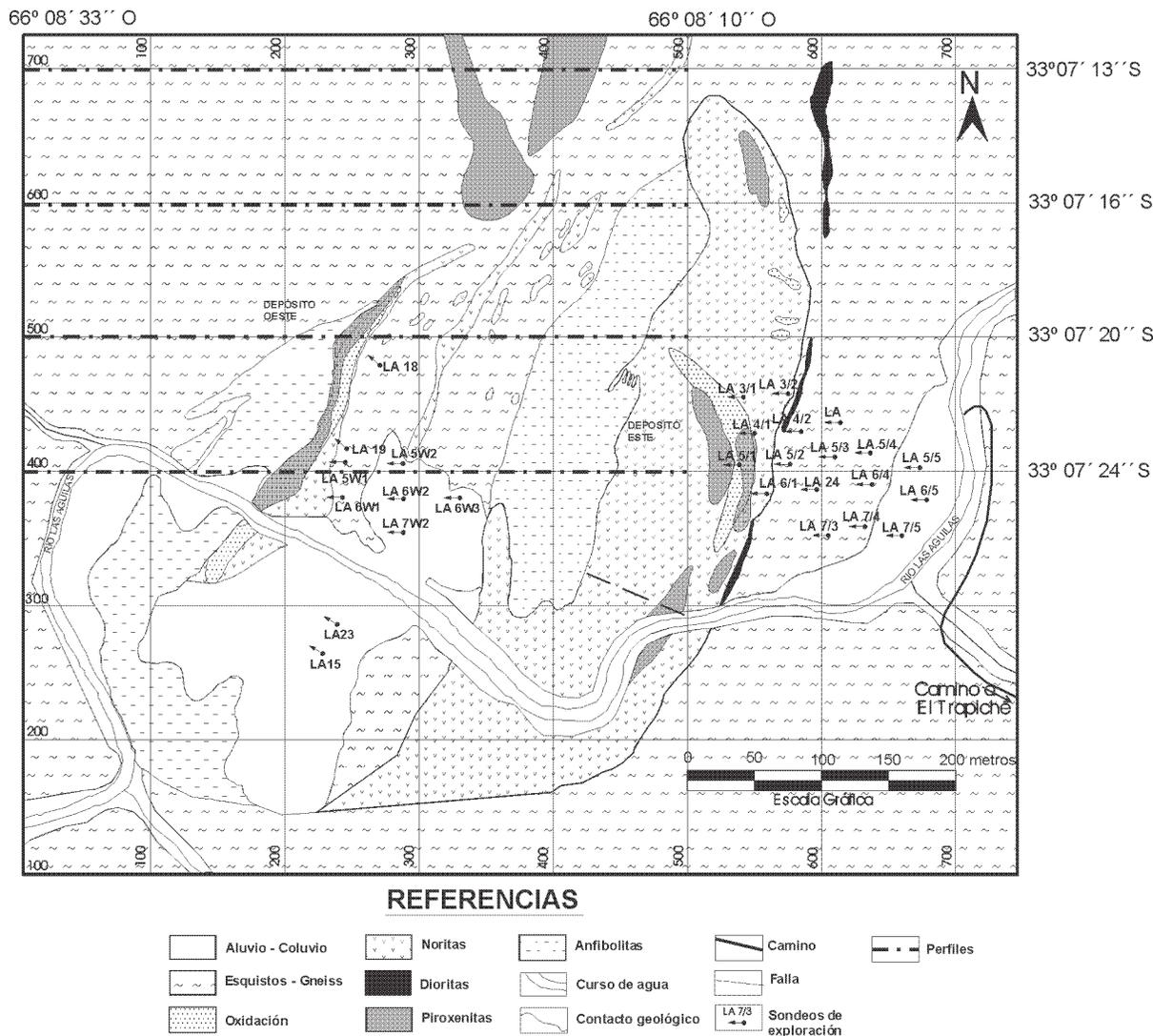


Figura 2: Mapa geológico (modificado de Bjerg y Sabalúa 1999) Perfiles realizados sobre el yacimiento de Las Águilas.

Metodología

Los valores del campo magnético terrestre fueron medidos en marzo de 2001, en la zona de los máximos gravimétricos de Las Águilas (Kostadinoff *et al.* 1998a-b) y sobre los perfiles de polarización inducida realizados por la DGFM (Sabalúa *et al.* 1981 y Sabalúa 1986). Se programaron 4 perfiles de 500 metros con una estación magnetométrica cada 50 metros (Fig. 2) y en forma simultánea se registró la variación diurna geomagnética con el fin de obtener las correcciones necesarias para una alta precisión en las determinaciones de las anomalías. El equipo utilizado para las observaciones magnéticas de campo fue un magnetómetro de precesión nuclear Geometric G-856 y en la estación base un instrumento similar modelo G-860. De esta manera la precisión de las mediciones se mantuvo dentro del rango de ± 1 nanoTesla (nT). Otra corrección aplicada, para suprimir los valores regionales aportadas por la corteza terrestre y obtener las anomalías

magnéticas locales, fue la del IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) 2000-2004. Toda la información calculada, las anomalías magnéticas y las de potencial inducido (p_a , FM y PVREF), se volcaron en perfiles que permitieron la correlación entre ambos métodos potenciales, figura 3a, b y c.

Las determinaciones de PI se realizaron con una fuente de dos electrodos que energizan el suelo con una corriente eléctrica y otros dos que miden el potencial que se produce a una cierta distancia. La configuración geométrica de los pares de electrodos se mantuvo constante (50 metros) variando la distancia entre par emisor al receptor n veces (50 metros) a fin de obtener datos en profundidad. El valor de n varió de 1 a 4 (50 a 200 metros).

De la figura 4 se puede inferir como se logró la obtención de los datos en profundidad, precisamente variando las distancias entre los pares de electrodos (Evans y Burley 1969).

La corriente emitida, en forma de pulsos de baja fre-

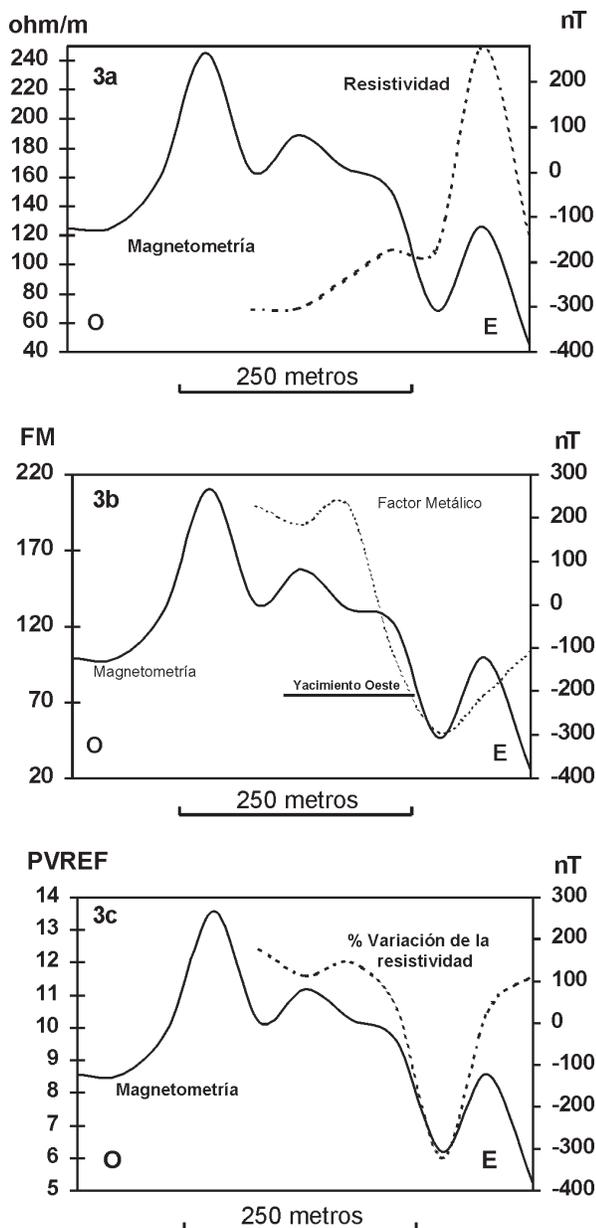


Figura 3: a, Perfil de comparación de las anomalías magnéticas con la resistividad; b, Perfil de comparación de las anomalías magnéticas con el Factor Metálico; c, Perfil de comparación de las anomalías magnéticas con el por ciento de la variación de la resistividad con la frecuencia. Los perfiles se hallan ubicados a la latitud 33°07'20" (Perfil 500).

cuencia, fue generada con un equipo Mc Phar 660 cuyas frecuencias de trabajo fueron 0,125, 0,3125, 1,25, 2,5 y 5 Hz.

Para obtener el porcentaje de decrecimiento de la resistividad con la frecuencia (PVREF) en una misma estación, se varió la frecuencia entre los valores anteriormente mencionados.

Se confeccionaron perfiles para comparar las de anomalías del campo magnético (F) con las de resistividad aparente (ρ_a), factor metálico (FM) y porcentaje de decrecimiento de la resistividad con la frecuencia (PVRAF). Los mismos se ubicaron en la latitud de 33° 07'13" (700), 33°

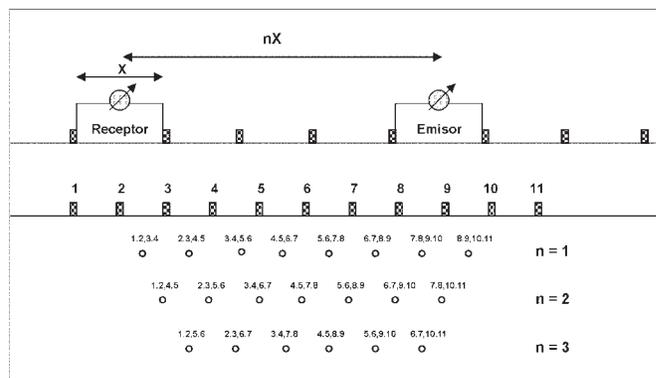


Figura 4: Diagrama dipolo-dipolo en la exploración realizada con Polarización Inducida. La distancia entre los polos (X) en el caso del receptor y del emisor son iguales. n : múltiplo de la distancia entre los polos (50 metros). \circ subsuperficie obtenida de posicionar los dipolos de emisión y recepción. Ejemplo: 1.2, 3.4 indica que el receptor está en la posición 1.2 y el emisor en la posición 3.4, separados por nX .

07'16" (600), 33° 07'20" (500) y 33° 07'24" (400), figura 2. Los perfiles elaborados por la DGFM en el área del yacimiento Las Águilas fueron 7 con una longitud total de 900 metros cada uno. De ellos se seleccionó el perfil denominado 500 con el objeto de tomarlo como base a los fines de sintetizar la discusión de los mismos (Fig. 2). Asimismo para poder inferir la concentración de sulfuros a diferentes profundidades se elaboraron mapas de FM utilizando para ello los perfiles que se marcan en la figura 2 y cuyo resultado se halla representado en la figura 5.

Resultados y discusión

Tomando los valores de factor metálico a diferentes niveles (25, 50 y 100 metros, Sabalúa 1986) y tal como se ve en la figura 5, las áreas reactivas al potencial inducido aumentan a medida que se aumenta la profundidad. Estos resultados indican el incremento del área de mineralización a medida que aumenta la distancia a la superficie. La comparación entre los mapas de resistividad (Fig.6), el factor metálico (Fig. 7) y el porcentaje de la variación de la resistividad con la frecuencia (Fig. 8) reflejan una evidente correlación a una profundidad aproximada de 100 metros. Así es posible observar que en las áreas donde la resistividad es baja (Fig. 6) se encuentran los valores más altos de factor metálico (Fig. 7) y los máximos de la variación de la resistividad con la frecuencia (Fig. 8). Esto es coincidente con los incrementos de la concentración de sulfuros diseminados hallados en los testigos de las perforaciones del yacimiento de Las Águilas en el sector denominado Oeste (Sabalúa 1986). En las áreas donde no existe control de pozos para correlacionar las concentraciones de sulfuros diseminados con el potencial inducido se hace difícil establecer cuando las anomalías son debidas a la existencia del grafito y cuando a concentraciones de sulfuros. Sin embargo, trabajos en ejecución indican que el grafito no está presente en las muestras de superficie (Ferracutti, comunicación verbal) y que sólo fue docu-

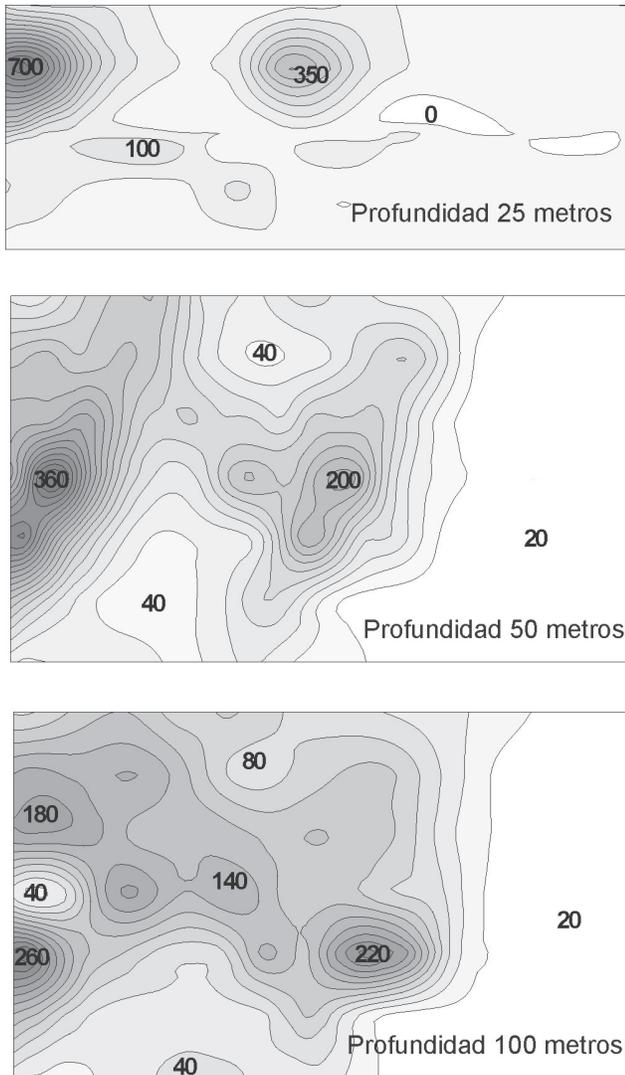


Figura 5: Factor metálico a diferentes planos de profundidad en el yacimiento Oeste de Las Águilas.

mentado (como individuo cuya máxima dimensión es 5 x 100 micrones) en una muestra de la perforación SL6/4 a una profundidad de 107,9 metros. Con el fin de dilucidar este problema se realizaron observaciones del campo magnético terrestre sobre las secciones más representativas elaboradas por la DGFM (perfiles de las figuras 3 a, b y c) en el sector denominado yacimiento Las Águilas Oeste.

En base a las propiedades magnéticas que tiene la pirrotina, cuya susceptibilidad es muy alta (1,25 SI) comparada con la correspondiente al grafito (0,0000001 SI, Telford *et al.* 1990) es posible adjudicar la totalidad de la anomalía magnética a los sulfuros. La magnetita es excluida de esta consideración pues las concentraciones halladas en los cortes petrográficos indican que la misma es muy baja (Felfernig *et al.* 1999a y Mogessie *et al.* 2000). Cuando se comparan las anomalías magnéticas con la resistividad aparente, figura 3a, en el sector oeste del perfil se observa que mientras las primeras se elevan, la resistividad disminuye. Esta particularidad geofísica es la

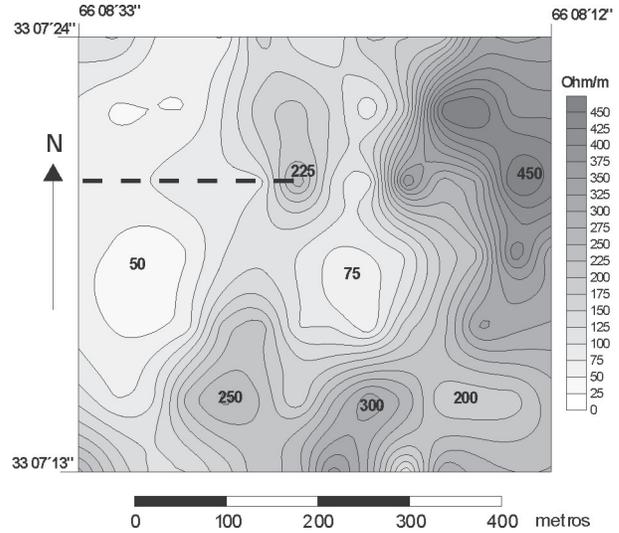


Figura 6: Plano de resistividad a la profundidad (aproximada) de 100 metros en el yacimiento Oeste de Las Águilas.

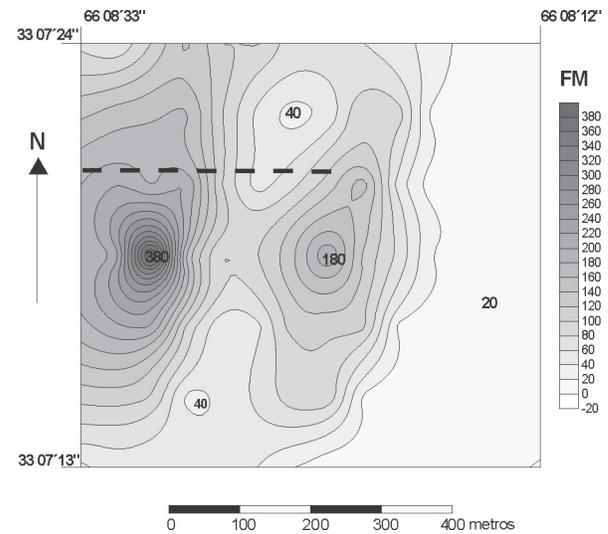


Figura 7: Plano de factor metálico a la profundidad (aproximada) de 100 metros en el yacimiento Oeste de Las Águilas.

esperada en el caso en que las concentraciones de pirrotina son altas. Por lo tanto se confirma que el sector oeste de Las Águilas este mineral se halla en forma diseminada y en pequeñas venillas. En el sector este, donde se encuentran las rocas de caja (gneisses), se hallan anomalías magnéticas más pequeñas pues su susceptibilidad promedio, medida en los afloramientos y testigos de perforaciones, es de 0,001200 SI. En la figura 3b es más notable la presencia de sulfuros polimetálicos (teniendo en cuenta que la magnetita es un componente minoritario en todas las muestras estudiadas y analizadas) pues ambas curvas, la de anomalía magnética y la de Factor Metálico (FM), se incrementan bruscamente al medirse ambos parámetros sobre la superficie de éste yacimiento. La figura 3c, que compara la variación de la resistividad aparente con la frecuencia (%P) y la anomalía magnética, mantiene

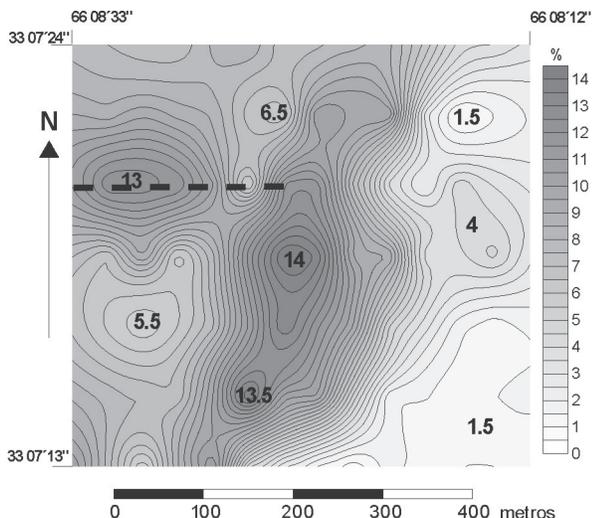


Figura 8: Plano de porcentaje de la variación de la resistividad con la frecuencia a la profundidad (aproximada) de 100 metros, en el yacimiento Oeste de Las Águilas.

las mismas características que el perfil de la figura 3b, por lo tanto se corrobora la presencia de esos minerales. Sin embargo es interesante indicar que el valor 14 en el porcentaje de decremento de la resistividad (%P), figura 8, indica concentraciones de sulfuros mayores al 10 % (Dobrin y Savit 1988) tal como se desprende del cuadro 1, donde se indica la variación (en %) de la resistividad con la frecuencia.

Del análisis de las figuras 3a, b y c, en donde no existen mediciones de potencial inducido, surge que la magnitud de las anomalías del campo magnético terrestre indican altos contenidos sulfuros magnéticos, como la pirrotina, con una irrelevante concentración de magnetita. La posición de esta anomalía permite suponer la extensión de los afloramientos de rocas ultramáficas (con mineralización de sulfuros) al oeste del área estudiada y al sur del área de Las Higueras.

Conclusiones

La magnetometría demuestra ser muy efectiva en la interpretación y evaluación de los resultados obtenidos con polarización inducida, en la prospección de sulfuros diseminados y concentrados. En el caso particular del yacimiento Las Águilas Oeste es notable la correlación de las anomalías magnéticas con los parámetros de resistividad, factor metálico y el porcentaje de la variación de la resistividad con la frecuencia. Se concluye que el grafito se puede eliminar como causa de anomalías del PI y a la magnetita como la que causa las anomalías del campo magnético terrestre pues en este yacimiento no se han determinado concentraciones significativas de grafito y de magnetita, en las muestras de superficie y de testigos de perforación estudiadas. Las anomalías magnéticas indican la presencia de mineralizaciones de sulfuros significativas al oeste del yacimiento Las Águilas.

Cuadro 1: Variación (en %) de la resistividad con la frecuencia (PVREF).

Tipo de roca	% Variación
Sulfuros masivos	>10
Cobre porfirico diseminado (2 a 10% de sulfuros)	5 a 10
Rocas con trazas de mineralización de sulfuros	2 a 5
Areniscas y basaltos	1 a 3
Granitos	0,1 a 0,5

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero brindado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional Sur (proyecto 24/H046). Nuestro reconocimiento al grupo de directivos y profesionales de la exDGFM por habernos brindado tan generosamente toda la información requerida. A los árbitros anónimos cuyas sugerencias permitieron mejorar esta contribución. Al Dr. R. B. Evans por sus valiosos comentarios y sugerencias.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

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

Bjerg, E., Kostadinoff, J., Mogessie, A., Hoinkes, G., Stumpfl, E.F. y Hauzenberger, C., 1996. Faja de rocas ultramáficas de las sierras de San Luis nuevo hallazgo de minerales del grupo del platino. Terceras Jornadas de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de rocas máficas y ultramáficas. Instituto de Recursos Naturales. Universidad Nacional de La Plata. Actas. Publicación 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. Octavo Congreso Geológico Chileno. Actas 2: 857-861. Antofagasta.

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

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

Dobrin, M.B. y Savit, C.H., 1988. Introduction to Geophysical Prospecting. McGraw-Hill Book Company. Chapter 18: 189. New York.

Evans, R.B. y Burley, A.J., 1969. Variable frequency induced polarization surveys in Western Swaziland. Institute of Geological Sciences, Geophysical Division, Geophysical Report No. GP/0/41, 1-36, London. (inédito).

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, C. A., Hoinkes, G., Leutzenbauer, G., Bjerg, E.A., Kostadinoff, J., Delpino, J. y Dimieri, L., 1998. Petrologie und Platin 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, C. A., Hoinkes, G., Leutzenbauer, G., Bjerg, E.A., Kostadinoff, J., Delpino, J. y Dimieri, L., 1999a. The role of fluid in platinum mineralization of the mafic - ultramafic Las Águilas complex, San Luis, Argentina. *Decimocuarto Congreso Geológico Argentino. Actas 2: 287-289*. Salta.
- Felfernig, A., Mogessie, A., Hauzenberger, C.A., Hoinkes, G., Bjerg, E.A. 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 Mineralogie (11):71*. Stuttgart.
- Ferracutti, G.R. y Bjerg, E.A., 2001. Estudio petrográfico-calcoográfico de las rocas máficas-ultramáficas del yacimiento Las Águilas, provincia de San Luis, Argentina. *XI Congreso Latinoamericano de Geología y III Congreso Uruguayo de Geología. Contribución 171: 6 pp (en CD-ROM)*, Montevideo.
- Ferracutti, G.R. y Bjerg, E.A., 2002. Relación entre mineralización y deformación en rocas máficas-ultramáficas del yacimiento Las Águilas, provincia de San Luis, Argentina. *XV Congreso Geológico Argentino, 23-26 Abril, Calafate, Santa Cruz. Actas II: 17-22*.
- Gervilla, F., Sabalúa, J.C., Carrillo, R., Fenoll Hach-Alí P. y Acevedo, R.D. 1993. Mineralogy and mineral chemistry of the Las Águilas Ni-Cu deposit, province of San Luis, Argentina. In: Fenoll Hach-Alí, P., Torrez-Ruiz, J., Gervilla F.(Eds.) *Current research in geology applied to ore deposits*. Servicio de publicaciones, Universidad de Granada: 461-464.
- 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, province de San Luis, Argentina. *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft. Bd. M 141: 110-111*.
- Hauzenberger, C.A., 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, Argentine. *Mineral deposits: Research and Exploration. Where do They Meet? Hekki Papunen (Eds.) Proceedings of the Fourth Biennial SEG Meeting. 439 -442*. Balkema /Rotterdam. Turku.
- 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. A. Felfernig, Bjerg, E. y Kostadinoff, J., 1998. Geochemistry of the mafic-ultramafic bodies of the Sierras de San Luis, Argentina *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft Bd. 143: 299-302*.
- Hauzenberger, C.A.; Mogessie, A.; Hoinkes, G.; Felfernig, A.; Bjerg, E.A.; 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. *Decimocuarto Congreso Geológico Argentino. Actas 1: 99-100*. Salta.
- Keller, G.V. y Frischnecht, F.C., 1966. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press. pp 517. London
- 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. *Cuarta Reunión de Mineralogía y Metalogénesis. Cuarta 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*.
- Madden, T.R. y Cantwel, T., 1967. Induced polarization: a review. *Mining Geophysics. Society of Exploration Geophysicists. Volumen 22: 373-400*. Tulsa.
- 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 Americano de Geología Económica. Acta: 93-102*. Córdoba.
- Mogessie, A., Hoinkes, G., Stumpfl, E. F., Bjerg, E. y Kostadinoff, J., 1994. The petrology and mineralization of the basement and associated mafic- ultramafic rocks, San Luis province, Argentina. *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft. Bd. 139: 347-348*.
- Mogessie, A., Hoinkes, G., Stumpfl, E.F., 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. *Mineral deposits, Pasaba, J., Kribe, B. & Zak, K. (Eds.) Proceedings of the Third Biennial SEG Meeting. Praga. 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 Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft Bd.141: 157-159*.
- Mogessie, A., Hoinkes, G., Hauzenberger, Ch., A. Felfernig, Bjerg, E., Kostadinoff, J., Delpino, S. y Dimieri, L., 1998a. Platinum mineralization in the Las Águilas body, San Luis province, Argentina. *8th International Platinum Symposium: 271 - 273*.
- 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. *Cuartas Jornadas de mineralogía y Petrografía, Metalogénesis de rocas Máficas y Ultramáficas: 285-289*. Bahía Blanca.
- Mogessie, A., Hausenberger, Ch., Stumpfl, E.F., 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 - 101*.
- Parasnis, D. S., 1986. *Mining Geophysics*. Elsevier. Amsterdam.
- Ramé, G.A. e Introcaso, A., 1997. Análisis isotópico preliminar de las sierras Grandes de San Luis, Argentina. *Décima Novena Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Geoacta: 196-199*. San Juan.
- Reynolds, J.M., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons: p.475. Cambridge.
- Sabalúa, J.C., 1986. El yacimiento de níquel-cobre-cobalto de Las Águilas, provincia de San Luis. *Informe Final de la Dirección General de Fabricaciones Militares: 32 páginas*. Mendoza. (Inédito).
- Sabalúa, J.C., 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. *Octavo Congreso Geológico Argentino. Acta 4:497 - 507*. San Luis.
- Summer, J.S., 1985. *Principles of induced polarization for geophysical exploration*. Elsevier. New York.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. y Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, 74 p., Cambridge.
- Yrigoyen, M.R., 1981. Mapa geológico de la provincia de San Luis y regiones circunvecinas. En: *Relatorio del VIII Congreso Geológico Argentino (Ed.: M. Yrigoyen, M.R.)*. Asociación Geológica Argentina, 1-366, Buenos Aires.

Recibido: 22 de junio, 2001

Aceptado: 30 de septiembre, 2003