

# CARACTERIZACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN DE LAS ÁGUILAS BASADA EN INDICADORES LITOGEOQUÍMICOS Y RELACIONES ENTRE CU-NI Y ELEMENTOS DEL GRUPO DEL PLATINO

Gabriela FERRACUTTI<sup>1</sup>, Ernesto BJERG<sup>1</sup> y Aberra MOGESSIE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INGEOSUR, CONICET - Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geología, Bahía Blanca. E-mail: gferrac@uns.edu.ar

<sup>2</sup> Institute of Earth Sciences, Department of Mineralogy and Petrology, University of Graz, Graz, Austria.

## RESUMEN

El cuerpo máfico-ultramáfico Las Águilas, aflorante en las sierras de San Luis, es portador de una mineralización de sulfuros de Fe-Ni-Cu-Co y de minerales del grupo del platino (MGP). Dada la importancia que tienen los depósitos de elementos del grupo de platino (EGP) por su valor económico, resulta particularmente importante establecer si en este cuerpo sería de esperar una mineralización de los mismos de tipo *reef* o si tales elementos son accesorios dentro de una mineralización de sulfuros de Ni-Cu-(EGP). Los resultados obtenidos de los estudios efectuados sobre muestras de dos perforaciones de Las Águilas (6/4 y 5/3) sugieren que las probabilidades de encontrar una mineralización de este tipo en Las Águilas son escasas, ya que en el cuerpo habría tenido lugar una segregación temprana de sulfuros que extrajeron a los elementos del grupo de platino. Sin embargo, las relaciones Cu/Pd *vs.* Pd y Cu/Pt *vs.* Ni/Pd y el perfil litogeoquímico de Cu/Pd permitieron distinguir la presencia de rocas con relaciones similares a las encontradas en rocas de manto, lo cual indicaría que en Las Águilas sería de esperar la presencia de una mena de sulfuros masivos o semimasivos de Ni-Cu en la cual los elementos del grupo de platino constituyen un producto accesorio. La ausencia de mineralización de platino de tipo *reef* o la presencia de sulfuros magmáticos de Ni-Cu-(EGP) de bajo potencial en este cuerpo no excluye la posibilidad de encontrar alguna de dichas mineralizaciones en otros cuerpos máficos-ultramáficos de la faja de San Luis.

Palabras clave: *Cu/Pd, Elementos del grupo de platino, Segregación de sulfuros, Las Águilas.*

**ABSTRACT:** *Characterization of Las Águilas mineralization based on lithogeochemistry indicators and relationship between Cu-Ni and platinum group minerals.* The Las Águilas mafic-ultramafic body in the Sierras de San Luis carries a Fe-Ni-Cu-Co sulfide mineralization and platinum group minerals (PGM). Establishing if this body hosts a platinum group elements (EGP) reef mineralization or if these elements constitute accessory phases in a Ni-Cu-(EGP) sulfide mineralization is relevant due to the high market value of PGE's. Studies on samples from two drill cores from Las Águilas do not suggest the presence of platinum group elements reefs due to early segregation of sulfides which extracted those elements. However, Cu/Pd *vs.* Pd and Cu/Pt *vs.* Ni/Pd relationships and Cu/Pd lithogeochemistry profiles allowed the distinction of rocks with values similar to those of mantle rocks which suggest the possible presence of massive or semi-massive sulfide ore of Ni-Cu in which platinum group elements constitute an accessory product. The results shown by the Las Águilas body does not exclude the potential presence of this kind of mineralization in the remaining mafic-ultramafic bodies that constitute the 100 km long San Luis belt.

Keywords: *Cu/Pd, Platinum group elements, Sulfide segregation, Las Águilas.*

## INTRODUCCIÓN

El cuerpo máfico-ultramáfico de Las Águilas se encuentra situado a aproximadamente 30 km al NE de la ciudad de San Luis, Argentina, (Fig. 1). Los afloramientos de estas rocas han sido de interés desde hace años dado que son portadoras de una mineralización de sulfuros de Fe-Ni-Cu-Co y de minerales del grupo del platino (MGP). Son numerosos los estudios realizados so-

bre la mineralización asociada a las rocas máficas-ultramáficas de los cuerpos Las Águilas y Virorco. Entre ellos cabe destacar los aportes de Sabalúa *et al.* (1981), Sabalúa (1986), Malvicini y Brogioni (1992, 1993, 1996), Gervilla *et al.* (1993, 1994, 1997), Mogessie *et al.* (1995, 1996, 2000), Bjerg *et al.* (1996, 1997), Hauzenberger *et al.* (1997), Felfernig *et al.* (1997, 1999), Kostadinoff *et al.* (1998), Ferracutti (2005) y Ferracutti *et al.* (2007). Estos autores deter-

minaron que los cuerpos máficos-ultramáficos de Las Águilas y Virorco son portadores de una mineralización de sulfuros, que varía de diseminada a masiva, constituida por pirrotina, pentlandita y calcopirita, con cantidades menores de piritita, minerales del grupo del platino, molibdenita, bravoíta, oro-electro, violarita, mackinawita, cubanita, ilmenita y como accesorios magnetita, cromita, rutilo y grafito. Por otra parte, Sabalúa *et al.* (1981) fueron los

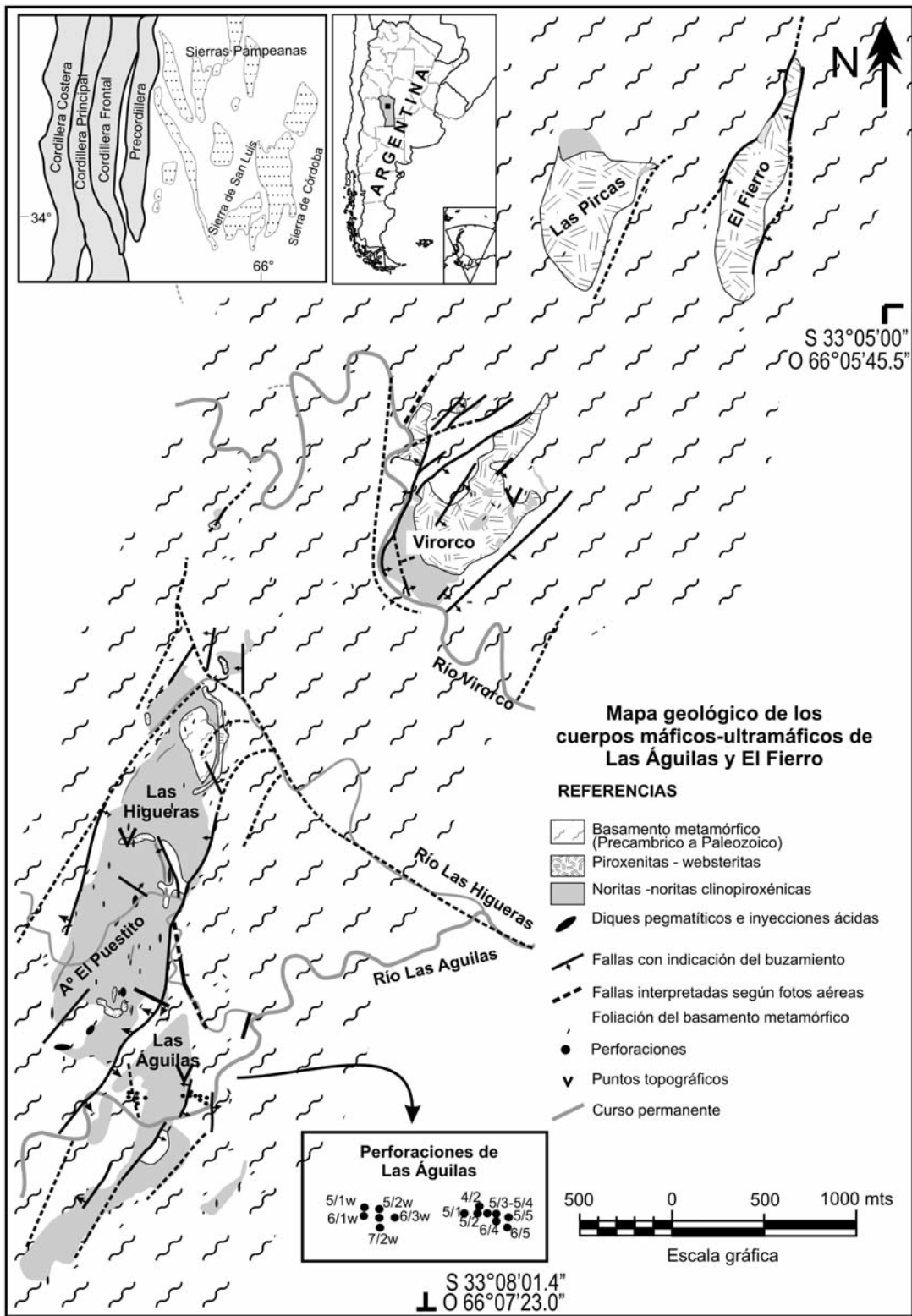


Figura 1: Mapa geológico de los cuerpos máficos-ultramáficos de Las Águilas y El Fierro. El recuadro superior con las unidades morfoestructurales según Hauzenberger *et al.* (2001).

primeros en indicar la presencia de platino como mineral nativo en el yacimiento de Las Águilas. Posteriormente Bjerg *et al.* (1996), Gervilla *et al.* (1997), Hauzenberger

*et al.* (1997), Mogessie *et al.* (1996, 2000), Ferracutti (2005) y Ferracutti *et al.* (2007) determinaron que los minerales del grupo del platino se asocian principalmente a los

sulfuros y en menor proporción a los espinelos y a los silicatos. Los estudios realizados por Mogessie *et al.* (2000) y Ferracutti (2005) establecieron que las muestras

ubicadas por encima y por debajo de la zona rica en espinelos y sulfuros no contienen minerales del grupo del platino.

El origen de la mineralización de sulfuros asociada a los cuerpos máficos-ultramáficos ha merecido distintas interpretaciones: a) magmática, originada a partir de un fundido de sulfuros inmiscible en la etapa de cristalización fraccionada del magma y posteriormente removilizada en el transcurso de la deformación y metamorfismo, con participación de fases fluidas (Sabalúa *et al.* 1981, Sabalúa 1986, Gervilla *et al.* 1993, 1994, 1997, Ferracutti y Bjerg 2002), y b) hidrotermal con escasa o nula participación magmática y vinculada al metamorfismo de cizalla regional de edad ordovícica (Malvicini y Brogioni 1992, 1993, 1996). Skirrow y Sims (1996) sostienen que los sulfuros de Ni-Cu-Co son predominantemente magmáticos y fueron emplazados con anterioridad o durante la deformación regional D1. Asimismo, varios autores (Mogessie *et al.* 1995, 1996, 2000, Bjerg *et al.* 1997, Hauzenberger *et al.* 1997, Felfernig *et al.* 1999), sugirieron que los procesos hidrotermales y los magmáticos tuvieron participación en la mineralización de los minerales del grupo del platino.

En lo que respecta a guías para la exploración de las mineralizaciones en Las Águilas, Ferracutti *et al.* (2005), basados en perfiles litoestratigráfico-geoquímicos de Las Águilas, determinaron una marcada correlación entre los contenidos de S, Ni, Co, Cu, Cr, Pt y Pd e indicaron la presencia de hasta tres niveles de mineralización en las unidades ultramáficas, los cuales asimismo son coincidentes con los niveles portadores de minerales del grupo del espinelo y del platino.

Por otro lado, basados en los patrones de elementos del grupo del platino, Ferracutti *et al.* (2006a) fueron los primeros en indicar la posibilidad de una segregación temprana de sulfuros responsable de la extracción de dichos elementos del magma. Los mencionados autores establecen que en los cuerpos con concentraciones más bajas de elementos del grupo de platino (EGP), dichos elementos fueron extraídos por un líquido sulfuroso el cual, en una etapa tem-

prana en la evolución de los cuerpos máficos-ultramáficos, se segregó extrayendo preferencialmente los elementos del grupo del Ir (IEGP).

Según Mogessie *et al.* (1998, 2000), Hauzenberger (1997), Hauzenberger *et al.* (1997), Ferracutti (2005) y Ferracutti *et al.* (2006b), los cuerpos presentes en la faja máfica-ultramáfica de San Luis corresponden a un ambiente de tectónica extensional y los mismos son cuerpos del tipo estratificado (*layered intrusions*).

En este trabajo se presentan resultados de trabajos aun en desarrollo con la finalidad de analizar si el cuerpo Las Águilas aloja una mineralización de sulfuros ricos en minerales del grupo del platino (*reef*) o si consiste en una mineralización de sulfuros magmáticos de Ni-Cu y elementos del grupo de platino. Dicha definición permitiría en el futuro determinar la posible localización de tales mineralizaciones.

## MARCO GEOLÓGICO

Según Hauzenberger *et al.* (1996, 1997, 2001) y Sims *et al.* (1998), el basamento cristalino de la sierra de San Luis está constituido por tres bloques principales separados por zonas de milonitas: 1) el bloque este (BE = Complejo Metamórfico Conlara) comprende gneises y migmatitas de alto grado; 2) el bloque central (BC = Complejo Metamórfico Pringles) cuyo grado metamórfico varía de facies esquistos verdes a anfibolita, y localmente a facies granulita en la vecindad de los cuerpos máficos, se compone de filitas, micaesquistos, gneises, migmatitas, intercalaciones de cuerpos máficos-ultramáficos, cuerpos tonalítico-granodioríticos y pegmatitas y, 3) el bloque oeste (BO = Complejo Metamórfico Nogolí) formado mayormente por ortogneises migmatíticos y gneises de alto grado con lentes de anfibolitas.

Los gneises miloníticos presentes en el bloque central se hallan compuestos por  $grt+crd+sil+bt+kfs+pl+qtz\pm opx$ , con opacos (óxidos y sulfuros), rutilo y zircón como minerales accesorios.

Las rocas máficas-ultramáficas se presentan como cuerpos lenticulares que confor-

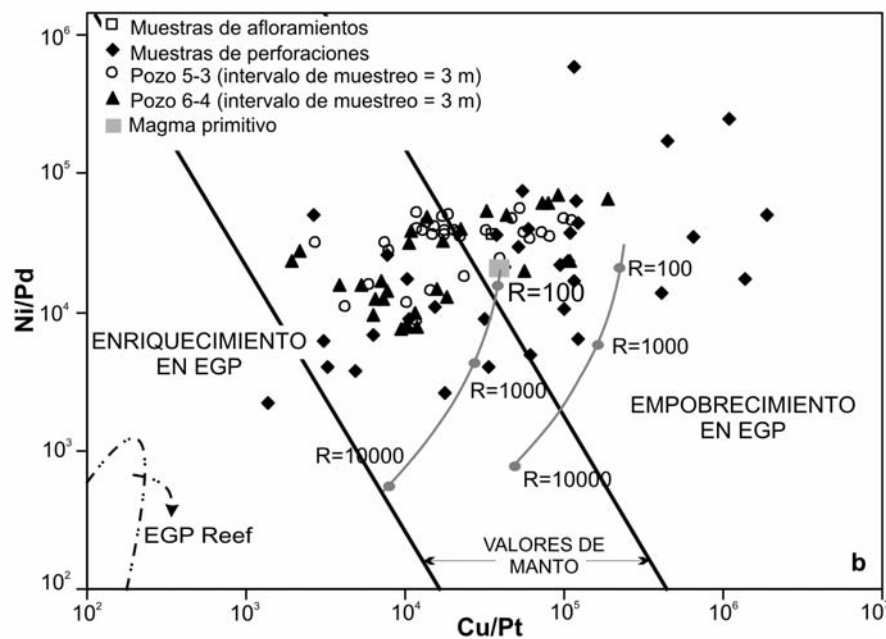
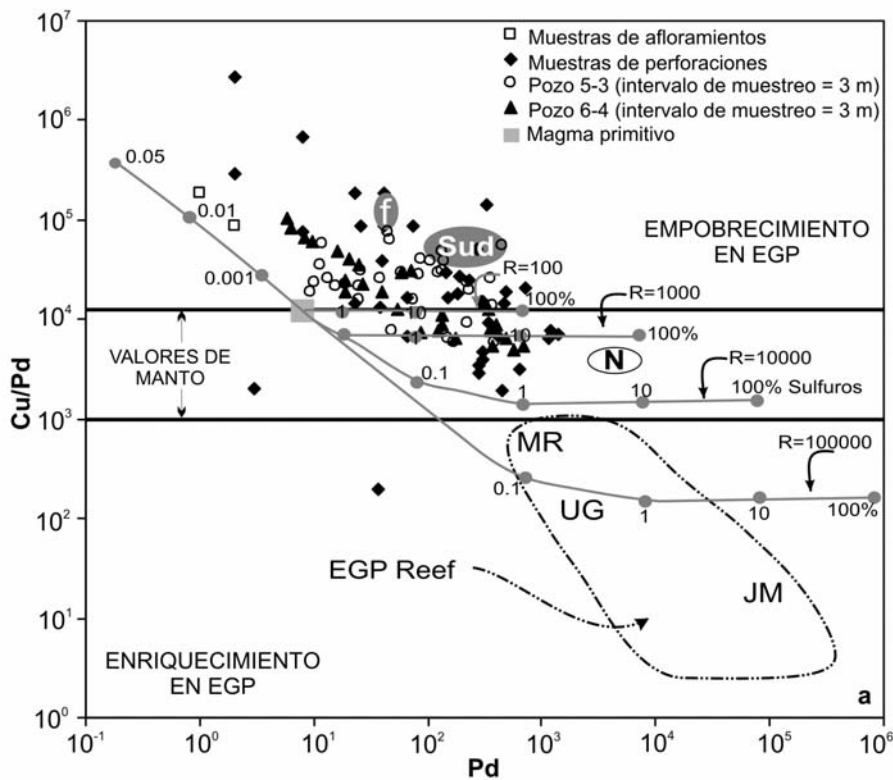
man en una faja de rumbo NE que se extiende por 100 km con un ancho de entre 3 y 5 km. El cuerpo de Las Águilas se sitúa en la parte sur de la faja (Fig. 1) y está constituido por noritas, piroxenitas y dunitas, a las cuales se asocia en profundidad una mineralización de sulfuros de metales base y de minerales del grupo del platino. La composición de las rocas máficas a ultramáficas comprende: 1)  $opx+hbl+pl\pm cpx\pm bi\pm spl\pm$  sulfuros  $\pm$  minerales del grupo del platino y apatito como mineral accesorio y, 2)  $ol+spl+$  sulfuros  $\pm$  minerales del grupo del platino (Mogessie *et al.* 1995, Hauzenberger *et al.* 1997, Felfernig *et al.* 1997).

La edad de esta faja de rocas ígneas ha sido considerada como precámbrica (Sabalúa *et al.* 1981) y precámbrica superior a cámbrica (Gervilla *et al.* 1993). Por otro lado, Sims *et al.* (1997) concluyeron que las rocas del cuerpo Las Águilas son ordovícicas. Más recientemente, Sato *et al.* (2002) determinaron, en base a una isócrona Sm-Nd, una edad mesoproterozoica temprana ( $1502 \pm 95$  Ma) para las rocas máficas-ultramáficas del sector oeste de la sierra de San Luis.

## AMBIENTE TECTÓNICO Y ANTECEDENTES

El ambiente tectónico asignable a los cuerpos ígneos máficos-ultramáficos de San Luis ha tenido diferentes interpretaciones. Según Borrello (1969) estas rocas representan una asociación ofiolítica relacionada a la evolución de un geosinclinal. Posteriormente, se determinó que estos cuerpos evidencian patrones geoquímicos similares a los correspondientes a complejos estratificados (Mogessie *et al.* 1998, 2000, Hauzenberger 1997, Hauzenberger *et al.* 1997, Ferracutti 2005, Ferracutti *et al.* 2006b).

En lo que respecta al ambiente de emplazamiento de las rocas de San Luis, Ramos (1988), Brogioni (1994), Brogioni y Ribot (1994) y Malvicini y Brogioni (1996) lo asignan a una cuenca de retroarco extensional. Por otro lado, Kilmurray y Dalla Salda (1977) consideran que las mismas fueron



**Figura 2:** Diagramas: a) Cu/Pd vs. Pd (modificado de Barnes *et al.* 1993). N= Noril'sk; Sud= Sudbury; JM= JM Reef; UG= UG Reef; MR= Merensky Reef y f= La Force; b) Ni/Pd vs. Cu/Pt para muestras de Las Águilas (modificado de Thériault *et al.* 2000).

emplazadas durante el ciclo orogénico famatiniano. Por su parte, Ramos (1988) indica que el magmatismo tuvo lugar en un ambiente de retroarco durante el Proterozoico tardío y previo a la colisión continen-

te-continente, entre el terreno Pampeano y el cratón del Río de la Plata. Sin embargo, las rocas máficas-ultramáficas también han sido consideradas como parte del cinturón orogénico famatiniano representan-

do una sutura de arco islándico (Dalla Salda *et al.* 1992). Según Brogioni (1994) y Brogioni y Ribot (1994) el magmatismo se habría producido en una cuenca de retroarco ensiálica.

Los minerales del grupo del espinelo constituyen una importante fuente de información en relación al ambiente tectónico y a las condiciones magmáticas al momento de la cristalización. La presencia de estos minerales en los testigos de las perforaciones efectuadas por la Dirección General de Fabricaciones Militares (DGFM) en el cuerpo máfico-ultramáfico de Las Águilas durante la década del 80 ha sido mencionada por Gervilla *et al.* (1993), Hauzenberger (1997), Malvicini y Brogioni (1992), Felfernig (1999) y Mogessie *et al.* (2000). La composición de los espinelos permitió a Ferracutti *et al.* (2004, 2006b) y Ferracutti (2005) clasificar a Las Águilas como un intrusivo máfico-ultramáfico estratificado.

## METODOLOGÍA

Los resultados dados a conocer aquí fueron obtenidos a partir del estudio de muestras provenientes de dos testigos (5/3 y 6/4) de las perforaciones realizadas por la Dirección General de Fabricaciones Militares (DGFM) en la década del 70-80 y rocas de superficie provenientes de cuerpo máfico-ultramáfico de Las Águilas.

Para la confección de los perfiles litológicos se analizaron las rocas con una combinación de microscopía de luz reflejada, microsonda electrónica y microscopio electrónico de barrido (SEM). Los análisis minerales fueron llevados a cabo en el *Institute of Mineralogy and Petrology de la Karl Franzens University Graz*, Austria, con un microscopio electrónico de barrido (JEOL 6310 SEM) equipado con un sistema dispersivo de energía (EDX) LINK ISIS y un sistema dispersivo de onda (WDS) MICROSPEC.

Los sulfuros y minerales del grupo del platino han sido analizados usando un voltaje de aceleración de 20 kV y un tiempo de conteo de 100 segundos, calibrado sobre cobalto. Los patrones estándar empleados

para el análisis de los minerales de mena corresponden a sulfuros (pirrotina, calcopirrita, pentlandita, arsenopirrita), minerales del grupo del platino y metales puros. Los elementos del grupo del platino se analizaron por ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma-mass Spectrometer*) sobre 30 gramos de muestra. Los límites de detección para estos elementos corresponden a 1 ppb.

Los perfiles geoquímicos de las perforaciones 6/4 y 5/3 fueron obtenidos en base a un muestreo efectuado cada 3 metros el cual incluye rocas con y sin mineralización. Los datos geoquímicos de tales perforaciones fueron brindados por Marifil S.A.

## INDICADORES LITOGEOQUÍMICOS

Asociados a los intrusivos estratificados se pueden distinguir dos tipos de depósitos de sulfuros magmáticos (Naldrett 1981) a) *Reef* estratiformes pobres en sulfuros donde los elementos del grupo de platino son el principal producto y b) concentraciones relativamente pequeñas de sulfuros masivos o semi-masivos en cuerpos magmáticos dinámicos (magma en conductos o canales de lava) en los cuales el Ni y el Cu son los principales constituyentes.

La determinación del tipo de mineralización de un determinado intrusivo máfico-ultramáfico requiere de estudios litogeoquímicos de dos tipos, los cuales fueran resumidos y compilados por Maier y Barnes (2005) para distintos depósitos mundiales conocidos. Estos estudios comprenden: 1) determinación del grado de empobrecimiento en elementos calcófilos de la roca, indicativa del grado de saturación de sulfuros del magma original antes del emplazamiento. En este escenario, la formación de un depósito de mena puede tener lugar si la extracción del fundido sulfurado tuvo lugar a poca profundidad o bien, si el mismo fue retenido por el magma a una profundidad somera, y 2) evaluación del grado de contaminación cortical de las rocas, ya que la misma puede dar lugar a la saturación de azufre y de este modo generar un depósito de mena.

**CUADRO 1:** Análisis representativos de elementos del grupo del platino (EGP), Ni y Cu de muestras de perforaciones del cuerpo máfico-ultramáfico Las Águilas.

Muestra	Ni ppm	Os ppb	Ir ppb	Ru ppb	Rh ppb	Pt ppb	Pd ppb	Au ppb	Cu ppm
SL-96	25,2	1,0	7,0	1,0	5,0	6,0	1,0	252,0	18,9
SL-142	7,3	2,0	1,0	5,0	1,0	5,0	2,0	1,0	17,6
4/2-35.2	2420,0	20,0	49,0	39,0	89,0	5,0	485,0	17,0	930,0
4/2-36.5	1540,0	22,0	71,0	27,0	176,0	18,0	1130,0	55,0	745,0
4/2-42.7	353,1	44,0	11,0	86,0	34,8	247,0	719,0	61,0	1497,3
4/2-55.7	1194,2	2,0	6,6	70,0	12,1	5,0	347,0	100,0	327,9
4/2-98.8	73,9	2,0	1,0	5,0	5,6	56,0	284,0	26,0	100,1
4/2-115.0	39,3	2,0	0,5	5,0	1,3	32,0	23,0	12,0	33,2
5/3 66.80	250,7	2,0	1,0	17,0	1,3	22,0	150,0	11,0	250,8
5/3 80.00	572,4	2,0	1,0	11,0	3,3	190,0	650,0	160,0	201,8
5/3 91.6	850,0	2,0	5,6	5,0	10,0	42,0	192,0	25,0	510,0
5/3 98.40	239,2	2,0	1,0	12,0	2,0	30,0	67,0	1,0	112,0
5/3 103.0	1270,0	2,0	15,6	43,0	71,0	75,0	8,0	43,0	540,0
5/3 116.60	1653,4	42,0	10,0	60,0	29,0	17800,0	330,0	330,0	4762,5
5/3 116.0	50,0	2,0	0,1	5,0	0,2	5,0	2,0	19,0	550,0
5/3 116.5	50,0	2,0	0,1	5,0	0,8	5,0	8,0	7,7	60,0
5/4 94.4	2200,0	22,0	45,0	35,0	96,0	83,0	295,0	43,0	450,0
5/5 136.5	115,6	2,0	0,1	5,0	0,5	5,0	2,0	4,9	57,4
5/5 141.5	168,1	2,0	8,3	5,0	23,6	180,0	450,0	32,0	88,7
5/5 148.1	434,0	6,0	21,0	22,0	40,0	28,0	413,0	11,0	279,0
5/5 163.1	70,4	2,0	0,7	5,0	2,4	28,0	65,0	18,0	43,2
6/4 125.2	913,5	26,0	24,0	90,0	45,3	84,0	1420,0	56,0	1019,2
7/4 116.7	121,2	2,0	0,5	5,0	0,7	378,0	305,0	29,0	122,6
7/4 137.4	830,8	2,0	6,5	61,0	13,4	5,0	476,0	19,0	695,6
7/4 143.4	113,0	2,0	7,8	12,0	17,0	24,0	280,0	47,0	81,0
LAW 6/1 97.4	484,2	2,0	3,6	5,0	10,6	136,0	232,0	180,0	569,0
LAW 6/1 32.8	14,1	2,0	1,0	5,0	1,0	15,0	23,0	3,0	4,6
LAW 6/1 53.0	16,7	2,0	1,0	5,0	1,0	11,0	75,0	1,0	1,5
LAW 6/1 72.9	7,7	2,0	1,0	5,0	1,0	5,0	3,0	1,0	3,9

### Cu/Pd versus Pd

La relación Cu/Pd constituye una robusta herramienta para el modelado de los contenidos de EGP en depósitos de Ni y en los *reefs* (ricos en elementos del grupo de platino). La participación de estos elementos en un depósito está determinada por dos factores 1) cantidad de sulfuros presentes en la roca, dado que los cúmulos de silicatos y óxidos no contienen cantidades significativas de Cu y Pd y por lo tanto ellos no afectan a la relación Cu/Pd; y 2) contenido de metales en general en los sulfuros. El primero de los factores constituye el factor R (relación de masa entre el magma silicático líquido y el fundido sulfurado) establecido por Campbell y Naldrett (1979).

En el diagrama Cu/Pd vs. Pd (Fig. 2a y Cuadro 1) las líneas sólidas conectan líquidos silicáticos y sulfurados en equilibrio a

diferentes factores R (R varía de 0,001 a 100.000 según Campbell y Naldrett 1979). Los círculos grises rellenos en cada línea corresponden a contenidos de 0,1, 1, 10 y 100 % de sulfuros en la roca. La relación Cu/Pd cambia con cada factor R, cuando R= 100 los factores de enriquecimiento para el Cu y Pd son similares (entre 80 y 100), cuando R= 10.000, el factor de enriquecimiento del Pd es de aproximadamente 10.000 y el de Cu es de 1000. Esta diferencia en los factores de enriquecimiento se debe a que el coeficiente de partición para Pd en sulfuro es mucho mayor que para Cu. Altos factores de R resultan en bajas relaciones Cu/Pd del fundido de sulfuros, debido al fuerte enriquecimiento de Pd (Maier *et al.* 1996).

La relación Cu/Pd cambia con cada factor R, cuando R= 100 los factores de enriquecimiento para el Cu y Pd son similares. La

diferencia en los factores de enriquecimiento se debe a que el coeficiente de partición del Pd en sulfuro es mucho mayor que para Cu. Altos valores de R se corresponden con bajas relaciones Cu/Pd en el fundido sulfuroso, debido al fuerte enriquecimiento de Pd (Maier *et al.* 1996).

La relación Cu/Pd *vs.* Pd puede ser dividida en tres partes, una superior para las rocas tienen una relación Cu/Pd más alta que las de manto (deprimidas en Pd respecto a Cu), una sección media, para las rocas que tienen similares relaciones que las de manto, y una sección inferior para aquellas que tienen una relación Cu/Pd más baja que las de manto (enriquecidas en Pd respecto al Cu). En base a lo establecido, la mayoría de las muestras de testigos de perforación y de afloramientos de Las Águilas (Fig. 2a) tienen una relación Cu/Pd que se encuadra dentro de los valores de manto o por encima del mismo (donde la proporción de Cu es superior a la de Pd).

En la figura 2a se ve que las muestras cuya relación Cu/Pd yace en la zona de manto se agrupan entre valores de R 100 y R 10000 y aproximadamente entre 1 y 100% de sulfuros en las rocas. Las muestras en el campo deprimido se agrupan próximas a los campos de La Force (f) y de Sudbury (Sud) las cuales tienen una muy alta relación Cu/Pd, posiblemente como producto de una segregación de sulfuros más temprana y consecuente remoción de Pd (Barnes *et al.* 1993).

#### Ni/Pd *versus* Cu/Pt

El diagrama Ni/Pd *vs.* Cu/Pt (Barnes *et al.* 1987) es ampliamente utilizado en la prospección de depósitos de elementos del grupo de platino (Barnes 1990). Fue aplicado por Theriault *et al.* (2000) dado su aplicabilidad para evaluar los efectos que la fusión parcial, cristalización fraccionada y la segregación de sulfuros tienen sobre la composición de los sulfuros. Al igual que el diagrama Cu/Pd *vs.* Pd, permite definir el grado de enriquecimiento o empobrecimiento en elementos del grupo de platino de muestras incógnitas con respecto a los tenores del manto. Como se observa de la figura 2 y cuadro

1, las muestras del área de estudio yacen dentro de los campos con valores propios del manto y en el correspondiente a muestras empobrecidas en elementos del grupo de platino.

#### Relación Cu/Pd *versus* litoestratigrafía

La relación Cu/Pd es un indicador litogeoquímico utilizado en intrusivos estratificados para determinar si las intrusiones máficas-ultramáficas y los flujos de lavas pueden contener sulfuros de Ni-Cu-EGP de interés económico.

El análisis de dicha relación en las muestras correspondientes a dos perforaciones del cuerpo máfico-ultramáfico de Las Águilas (6/4 y 5/3, Fig. 3), permite establecer que en la perforación 6/4 los valores de Cu/Pd son similares a los establecidos para el manto primitivo (Barnes y Maier 1999), con dos niveles (147 y 174 m de profundidad) en los cuales el contenido de Cu aumenta y dicha relación se desplaza por encima de los valores del manto. Por otro lado, en la perforación 5/3 (Fig. 3b) los valores de la relación Cu/Pd se ubican mayoritariamente por encima de los valores de manto primitivo y con un marcado incremento a partir de

los 76 m de profundidad.

#### CONTENIDO DE Ni EN OLIVINO

El contenido de Ni en olivino es considerado una herramienta útil para la determinación de la presencia de menas de sulfuros masivos de Ni-Cu-(EGP), dada la variación del valor de Fosterita (Fo) en función del contenido en Ni. Según Maier y Barnes (2005) los intrusivos sin mineralización están caracterizados por la presencia de olivinos deprimidos en Ni.

En la figura 4 se presenta la relación Ni *vs.* Fo en olivinos de Las Águilas (Cuadro 2) comparados con el cinturón de Ni de Vammala en Finlandia (Fig. 4a) y con los intrusivos mineralizados de Kabanga en Tanzania (Fig. 4b). Como se observa en la figura 4a en Las Águilas se han identificado dos grupos de olivinos, un grupo deprimido en Ni (situado por debajo del campo gris) dentro del cual algunas muestras tendrían una composición similar a los de Vammala y otro grupo cuyo contenido en Ni no se halla deprimido (situado dentro del campo de color gris, Fig. 4a).

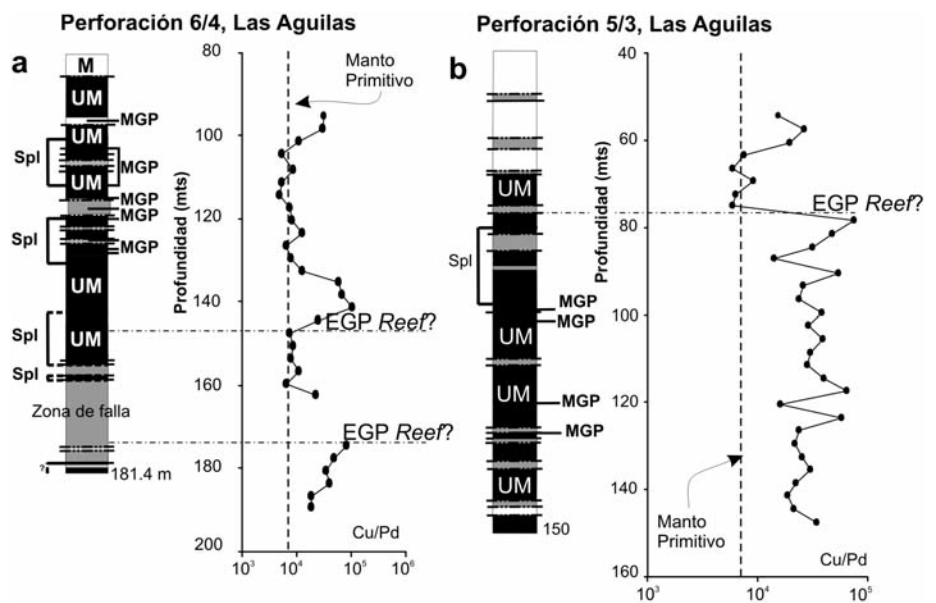
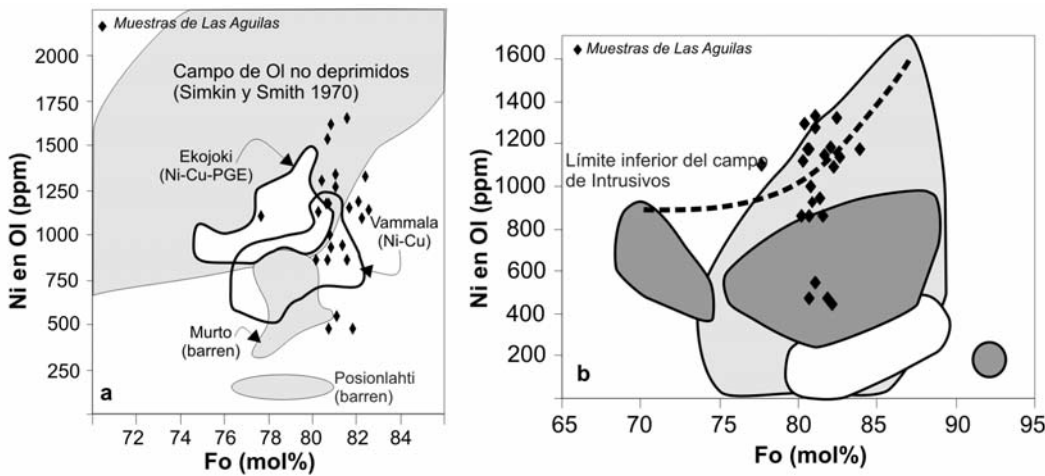


Figura 3: Perfiles litogeoquímicos con la relación Cu/Pd (según Maier y Barnes 2005) para las perforaciones 6/4 y 5/3 del cuerpo máfico-ultramáfico de Las Águilas. Las rocas ultramáficas (UM) están indicadas con color negro y las rocas máficas (M) con color gris. Los valores de manto primitivo son de Barnes y Maier (1999).



**Figura 4:** Diagramas Ni vs. Fo en: a) Vammala Ni belt del oeste de Finlandia, los olivinos se presentan con un patrón deprimido en Ni, sin embargo este intrusivo posee varios depósitos de mena pequeños, b) en olivinos de los intrusivos de Kabanga. El campo gris oscuro corresponde a las intrusiones que contienen un alto grado de sulfuros (Kabanga Norte y Kabanga Principal). El campo de color gris claro marca las intrusiones con grado medio de sulfuros y el campo blanco representa intrusiones de bajo grado de sulfuros (modificada de Maier y Barnes 2005).

**CUADRO 2:** Análisis representativos de olivinos de muestras de las perforaciones del cuerpo máfico-ultramáfico Las Águilas\*.

Muestra	7-4 103,85 1	7-4 103,85 4	6-4 101.8	6-4 103.0	6-4 104.1	6-4 109.6	6-4 157,8	5-4 98,2 5	5-4 98,2 7	5-5 160.1	5-5 161
SiO <sub>2</sub>	39,52	39,31	38,93	39,23	38,93	38,87	39,25	39,15	39,57	39,47	39,61
TiO <sub>2</sub>	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,07	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,03	0,04	0,11	0,01	0,02	0,02	0,02	0,12	0,01
FeO	18,00	17,81	17,65	17,19	17,43	15,56	16,58	16,91	18,41	17,41	17,93
MnO	0,23	0,26	0,28	0,28	0,15	0,20	0,25	0,24	0,29	0,22	0,21
NiO	0,12	0,16	0,07	0,06	0,21	0,15	0,17	0,15	0,15	0,12	0,15
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,10	0,12	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18
MgO	42,58	42,86	42,52	43,47	43,21	45,61	43,59	42,36	42,94	42,61	42,15
CaO	0,00	0,01	0,03	0,03	0,00	0,06	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,01	0,00	0,05	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,50	100,44	99,59	100,43	100,19	100,66	99,86	98,83	101,40	100,05	100,24
Fo	80,84	81,07	81,11	81,84	81,55	83,93	82,40	81,69	80,63	81,35	80,73
Fa	19,16	18,93	18,89	18,16	18,45	16,07	17,60	18,31	19,37	18,65	19,27

\*) % en peso.

Comparado con los olivinos de los intrusivos de Kabanga puede observarse que Las Águilas tiene olivinos que yacen sobre el campo color gris claro (Fig. 4b) cuya composición mayormente encuadra con el intrusivo de medio grado de Kabanga y un grupo mas pequeño de muestras situadas en el campo gris oscuro, que corresponde con los olivinos presentes en Kabanga Norte y Kabanga Principal, que son dos intrusivos con alto grado de sulfuros.

## DISCUSIONES

### Indicadores litogeoquímicos para la formación de reef

Maier y Barnes (2005) analizaron la rela-

ción Cu/Pd para los intrusivos conocidos de Munni Munni, Pantón, Sonju Lake, Stella y Bushveld, los cuales presentan desarrollo de mineralizaciones tipo reef (Fig. 5a). Según estos autores, la posición de la mineralización de elementos del grupo de platino tipo reef en el perfil litogeoquímico queda evidenciada por un marcado incremento en la relación Cu/Pd como resultado de la extracción preferencial de Pd (que es altamente calcófilo) del magma por segregación de un fundido sulfurado

En base a ello, en Las Águilas podrían encontrarse dos posibles zonas de reef en el pozo 6/4 y una en el 5/3. Sin embargo, y aunque se han encontrado minerales del grupo del platino en dichas perforaciones,

ninguna de ellas evidencia litológicamente la presencia de reefs propiamente dichos. Igual determinación queda de manifiesto si se observa las figuras 2a y b en la cual los análisis presentados se encuentran fuera de la zona propia para los reefs.

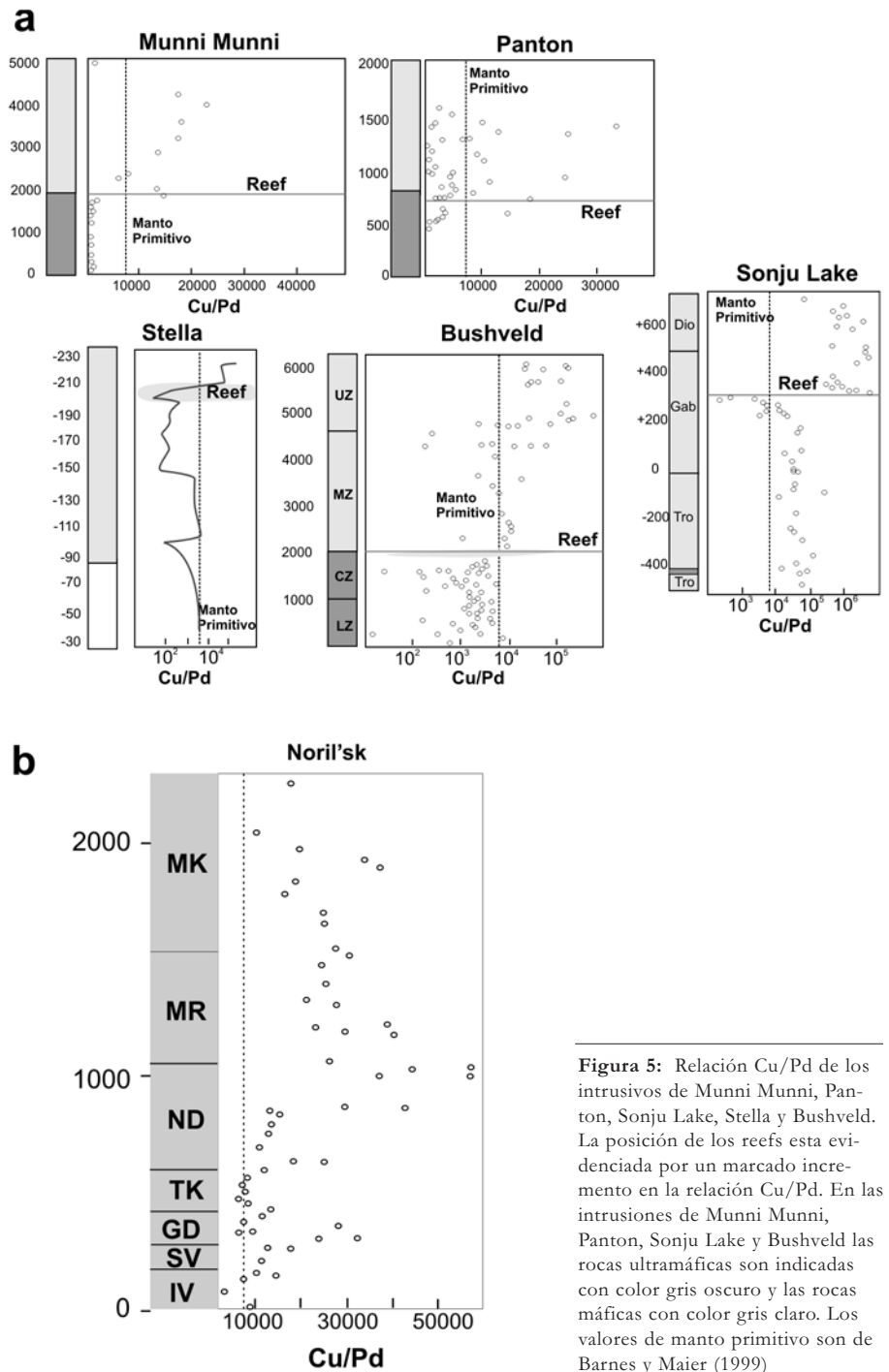
Si la relación Cu/Pd es mayor que los valores de manto primitivo a través de la intrusión, es probable que la extracción de elementos del grupo de platino y sulfuros haya tenido lugar en profundidad o bien que los mismos fueron retenidos en el manto durante la fusión parcial. Cualquiera sea el caso, el potencial de la intrusión para hospedar un depósito de estos elementos es baja (Barnes *et al.* 1993). Si la relación Cu/Pd se da a valores del

manto a través de la intrusión, es probable que la saturación de sulfuros nunca se alcanzó durante el ascenso y el emplazamiento y por ello, la presencia de un reef de igual modo es poco factible. En contraste, si la relación Cu/Pd en una intrusión muestra un rango de valores por debajo y encima del manto primitivo, puede haberse formado un reef (Maier y Barnes 2005).

A pesar de lo expresado, no puede descartarse la presencia de un depósito de elementos del grupo de platino tipo reef, como ocurre en el caso de Sonju Lake. Según Maier y Barnes (2005) la relación Cu/Pd en las rocas de éste depósito es significativamente mayor a los valores de manto primitivo a lo largo del intrusivo, inclusive en las rocas ubicadas por encima del reef (Fig. 5a). En dicho depósito existe una mineralización, la cual es de bajo grado (menos de 1 ppm por varios metros) y en este caso particular los autores sugieren que el magma era relativamente pobre en elementos del grupo de platino antes del emplazamiento (por una segregación temprana de sulfuros o retención de los elementos en el manto). Finalmente, Theriault *et al.* (2000) estudiaron el origen de la mineralización de sulfuros de Cu-Ni-EGP en la intrusión Río Partridge del Complejo Duluth. Según dichos autores, el magma del cual fueron segregados los sulfuros que dieron lugar a la formación de los depósitos de Dunka Road y Wetlegs, tenía una alta relación Cu/Pd, como ocurre con algunas muestras del depósito Las Águilas, que yacen fuera del rango esperado para rocas derivadas del manto (Fig. 2a). Esto sugiere que el magma segregó sulfuros en profundidad comenzando a deprimirse en Pd respecto de Cu debido a su alto coeficiente de partición en los sulfuros (100.000 y 2000 respectivamente, Peach *et al.* 1994, Barnes y Francis 1995).

**Indicadores litogeoquímicos para la formación de sulfuros magmáticos de Ni-Cu-(EGP)**

La relación Ni/Pd *versus* Cu/Pt es muy útil al momento de analizar los efectos



**Figura 5:** Relación Cu/Pd de los intrusivos de Munni Munni, Panton, Sonju Lake, Stella y Bushveld. La posición de los reefs esta evidenciada por un marcado incremento en la relación Cu/Pd. En las intrusiones de Munni Munni, Panton, Sonju Lake y Bushveld las rocas ultramáficas son indicadas con color gris oscuro y las rocas máficas con color gris claro. Los valores de manto primitivo son de Barnes y Maier (1999)

que los procesos magmáticos y de segregación de sulfuros tienen sobre la composición de la mineralización de un yacimiento. En la figura 2b se observa una correlación positiva entre Cu/Pt *vs.* Ni/Pd, con aproximadamente 50% de las muestras de Las Águilas dentro del campo empobrecido en elementos del grupo de platino y el otro 50% en el cam-

po correspondiente a los valores propios del manto.

En el caso del área de trabajo, las muestras con relaciones de Cu/Pt y Ni/Pd por encima de  $10^5$  y  $10^4$ , respectivamente, están más enriquecidas en Cu y Ni y consecuentemente empobrecidas en los elementos del grupo de platino. Esto es indicativo de una segregación temprana de



sulfuros, los cuales extrajeron dichos elementos y de allí el incremento relativo de los metales base. Es importante destacar que las muestras con relaciones Cu/Pd similares al manto pueden constituir depósitos de Cu-Ni a partir de los cuales los elementos del grupo de platino pueden ser recuperados como un producto accesorio (Barnes *et al.* 1993), lo cual es significativo a la hora de efectuar una evaluación económica del yacimiento Las Águilas.

En la figura 5b se observa la relación Cu/Pd en un perfil litogeoquímico para el depósito de Noril'sk el cual, al igual que los dos perfiles efectuados para Las Águilas, evidencia una relación considerablemente mayor a los valores de manto (Brüggemann *et al.* 1993). Esto fue interpretado como resultado de una segregación temprana de sulfuros en la corteza superior y constituye una guía de exploración para las provincias basálticas en las cuales las menas de sulfuros masivos se encontrarían en los niveles basales de las intrusiones (Maier y Barnes 2005).

## CONCLUSIONES

Basados principalmente en los resultados de los análisis de las dos perforaciones de Las Águilas estudiadas (6/4 y 5/3) se puede asumir que, las probabilidades de encontrar una mineralización de elementos del grupo de platino tipo *reef* en este cuerpo son escasas dado que en el mismo habría tenido lugar una segregación temprana de sulfuros que extrajeron a dichos elementos.

Se desconoce si los sulfuros fueron retenidos en el manto o si la extracción de sulfuros tuvo lugar a profundidades someras; en este último caso existiría la posibilidad de que en otros niveles estratigráficos (diferente a los estudiados) se diera una concentración de elementos del grupo de platino, pero la misma probablemente constituiría una mineralización de bajo grado o con concentraciones en estos elementos inferiores a 1 ppm.

Sin embargo, las relaciones Cu/Pd *vs.* Pd y Cu/Pt *vs.* Ni/Pd así como también el

perfil litogeoquímico de Cu/Pd permitirían distinguir la presencia de rocas con relaciones similares a las encontradas en rocas de manto lo cual, como fuera descrito antes, indicaría que en el cuerpo máfico-ultramáfico de Las Águilas sería de esperar la presencia de una mena de sulfuros masivos o semimasivos de Ni-Cu en la cual los elementos del grupo de platino constituyan un producto accesorio. La ausencia de mineralización de estos elementos tipo *reef* o la presencia de sulfuros magmáticos de Ni-Cu-(EGP) de bajo potencial en este cuerpo no excluye la posibilidad de encontrar alguna de dichas mineralizaciones en otros cuerpos máficos-ultramáficos de la faja de San Luis, tal como ocurre la intrusión de Sonju Lake (mineralización tipo *reef*) o las menas de sulfuros en la provincia ígnea de Karoo (mineralización de Ni-Cu).

Cabe destacar que se requieren más estudios para arribar a una definición inequívoca de la génesis y localización de las mineralizaciones metalíferas en las rocas máficas-ultramáficas de San Luis, lo cual se dificulta dada la complejidad de los eventos acaecidos en esta región. Los mencionados estudios incluyen de geoquímica de isótopos y contaminación cortical y/o con la roca de caja. Asimismo sería importante efectuar el estudio detallado de las partes y formas de los cuerpos ya que las perforaciones estudiadas constituyen solo una pequeña parte de un gran intrusivo.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado a través de los proyectos 24/H085 SGCyT-UNS, y PIP 112-200801-02306 CONICET, otorgados a E. Bjerg. Los autores agradecen las observaciones y comentarios de los arbitros, Dras. Graciela Vujovich y Stella Poma.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Barnes, S. J. 1990. The use of metal ratios in prospecting for platinum group elements deposits in mafic and ultramafic intrusions.

Journal of Geochemical Exploration 37: 91-99.

Barnes, S.J., Boyd, R., Korneliusen, A., Nilsson, L.P., Often, M., Pedersen, R.B., y Robins, B. 1987. The use of Mantle Normalization and Metal Ratios in discriminating between the Effects of Partial Melting, Crystal Fractionation and Sulfide Segregation on Platinum-Group Elements, Gold, Nickel and Copper: Examples from Norway. En Geo-platinum 87 Prichard, H. M., Potts P. J., Bowles J. F. W. y Cribb S. (eds.) 113-134.

Barnes, S.J., Couture, J.F., Sawyer, E.W., y Couchaib, C. 1993. Nickel - Copper Occurrences in the Belleterre-Angliers Belt of the Pontiac Subprovince and the Use of Cu-Pd ratios in interpreting Platinum group element distributions. Economic Geology 88: 1402-1418.

Barnes, S. J. y Francis, D. 1995. The Distribution of Platinum Group elements, Nickel, Copper, and Gold in the Muskox Layered Intrusion, Northwest Territories, Canada. Economic Geology 90: 135-154.

Barnes, S.J., y Maier, W.D. 1999. The fractionation of Ni, Cu and the noble metals in silicate and sulphide liquids. En Keays, R.R., Leshner, C.M., Lightfoot, P.C. y Farrow, C.E.G. (eds.) Dynamic processes in magmatic ore deposits and their application to mineral exploration, Mineralogical Association of Canada, Short Course 13: 69-106.

Bjerg, E. A., Kostadinoff, J., Mogessie, A., Hoinkes, G., Stumpf, E. F. y Hauzenberger, Ch. A. 1996. Faja de rocas ultramáficas de las Sierras de San Luis: nuevos hallazgos de minerales del Grupo del Platino. 3º Jornadas de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de rocas máficas y ultramáficas, Actas 5: 303-310, La Plata.

Bjerg, E. A., Delpino, S., Dimieri, L., Kostadinoff, J., Mogessie, A., Hoinkes, G., Hauzenberger, Ch. A. y Felfernig, A. 1997. Estructura y mineralización del área Las Águilas-Virorco, San Luis, Argentina. 7º Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 857-861, Antofagasta.

Borrello, A.V. 1969. Los Geosinclinales de la Argentina. Dirección Nacional de Geología y Minería. Anales 14: 1-188, Buenos Aires.

Brogioni, N. 1994. Petrología de la Faja de Rocas Máficas y Ultramáficas de la Sierra de San Luis, Argentina. 7º Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 967-971.

Brogioni, N. y Ribot, A. 1994. Petrología de los

- corpores La Melada y La Gruta, faja máfica-ultramáfica del borde oriental de la Sierra de San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 49(3-4): 269-283.
- Brügmann, G.E., Naldrett, A.J., Asif, M., Lighthfoot, P.C., Gorbachev, N.S., y Fedorenko, V.A. 1993. Siderophile and chalcophile metals as tracers of the evolution of the Siberian Trap in the Noril'sk region, Russia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57: 2001-2018.
- Campbell, I.H. y Naldrett, A.J. 1979. The influence of silicate: sulfide ratios on the geochemistry of magmatic sulfides. *Economic Geology* 74: 1503-1505.
- Dalla Salda, L., Cingolani, C. y Varela, R. 1992. Early Paleozoic orogenic belt of the Andes in southwestern South America: result of Laurentia-Gondwana collision? *Geology* 20: 617-620.
- Felfernig, A., Mogessie, A., Hauzenberger, Ch. A., Hoinkes, G., Bjerg, E. A., Kostadinoff, J., Delpino, S. y Dimieri, L. 1997. Petrology and mineralization of the Las Águilas ultramafic body, San Luis province, Argentina. *Terra Nova* 9: 532-533.
- Felfernig, A., Mogessie, A., Hauzenberger, Ch. A., Hoinkes, G., Bjerg, E. A., Kostadinoff, J., Delpino, S. y Dimieri, L. 1999. The role of fluids in platinum mineralization of the mafic-ultramafic Las Águilas complex, San Luis, Argentina. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 287-293, Salta.
- Ferracutti, G. 2005. Geología y mineralizaciones asociadas a la faja de rocas máficas-ultramáficas de la Sierras Pampeanas de San Luis. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur, (inédito), 260 p., Bahía Blanca.
- Ferracutti, G. y Bjerg, E.A. 2002. Platinoideos en el yacimiento Las Águilas, San Luis, Argentina. 6° Congreso de Mineralogía y Metalogénesis, Actas: 135-138, Buenos Aires.
- Ferracutti, G., Bjerg E.A. y Mogessie, A. 2004. Cromo espinelos de Las Águilas, provincia de San Luis, como indicadores tectónicos. 7° Congreso de Mineralogía y Metalogénesis, Actas: 321-326, Río Cuarto.
- Ferracutti, G., Bjerg E.A. y Mogessie A. 2006a. Segregación temprana de sulfuros en la extracción de elementos del grupo del platino de las rocas máficas-ultramáficas de Las Águilas y alrededores, San Luis, Argentina. 8° Congreso de Mineralogía y Metalogénesis, Actas: 347-350, Buenos Aires.
- Ferracutti, G., Bjerg E. y Mogessie A. 2007. Metales base y preciosos en Las Águilas, Argentina: génesis y evolución. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62(3): 434-446.
- Ferracutti G., Mogessie A. y Bjerg E.A. 2005. Chemical and mineralogical profile of the Las Águilas mafic-ultramafic drill core, San Luis Province, Argentina. *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft* 151: 40
- Ferracutti, G. Mogessie, A. y Bjerg, E.A. 2006b. Chrome spinels from the Las Águilas mafic-ultramafic intrusion, San Luis province, Argentina. *Neues Jahrbuch für Mineralogie* 183 (1): 63-77.
- Gervilla, F., Sabalúa, J., 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). En Fenoll Hach-Alí, P., Torres-Ruiz, J., y Gervilla, F. (eds.) *Current research in geology applied to ore deposits*, p. 461-464, Granada.
- Gervilla, F., Fenoll Hach-Alí, P., Acevedo, R. D., Carrillo, R. y Sabalúa, J. 1994. Minerales de Pd, Pt y Au del Yacimiento de Ni-Cu de Las Águilas (Provincia de San Luis). 2° Jornada de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de Rocas Ultrabásicas. Publicación 3: 517-521, La Plata.
- Gervilla, F., Sánchez-Anguita, A., Acevedo, R. D., Fenoll Hach-Alí, P. y Paniagua, A. 1997. Platinum-group element sulpharsenides and Pd bismuthotellurides in the metamorphosed Ni-Cu deposit at Las Águilas (province of San Luis, Argentina). *Mineralogical Magazine* 61: 861-877.
- Hauzenberger, Ch. 1997. The Sierras de San Luis, Central-Argentina- metamorphic, metallogenic, and geochemical investigations. Tesis Doctoral, University of Graz, 200 p., Graz.
- Hauzenberger, Ch., Mogessie, A., Hoinkes, G., Felfernig, A., Bjerg, E. A. y Kostadinoff, J. 1996. Granulite facies metamorphism in crystalline basement and ultramafic rocks in the Sierras Pampeanas Range, Province os San Luis, Argentina. *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft* 141: 110-111.
- Hauzenberger, Ch., Mogessie, A., Hoinkes, G., Bjerg, E. A., Kostadinoff, J., Delpino, S. y Dimieri, L. 1997. Platinum group minerals in the basic to ultrabasic complex of the Sierras de San Luis, Argentine. En Papunen, H. (ed.) *Mineral Deposits: Research and Exploration-Where Do They Meet?*, 439-442, Brookfield.
- Hauzenberger, Ch., 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.
- Kilmurray, J.O. y Dalla Salda, L. 1977. Caracteres estructurales y petrológicos de la región central y sur de la Sierra de San Luis. *Obra del Centenario del Museo de La Plata* 4: 167-178, La Plata.
- Kostadinoff, J., Bjerg, E. A., Delpino, S., Dimieri, L., Mogessie, A., Hoinkes, G., Hauzenberger, Ch. y Felfernig, A. 1998. Gravimetric and magnetometric anomalies in the Sierras Pampeanas of San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 53(4): 549-552.
- Maier, W.D. y Barnes, S.J. 2005. Application of litho-geochemistry to exploration for PGE deposits. En Mungall, J.E. (ed.) *Exploration for Platinum-group Element Deposits Mineralogical. Association of Canada, Short Course* 35: 309-342.
- Maier, W.D., Barnes, S.J., De Klerk, W.J., Teigler, B. y Mitchell, A.A. 1996. Cu/Pd and Cu/Pt of silicate rocks in Bushveld Complex: implications for platinum-group element exploration. *Economic Geology* 91: 1151-1158.
- Malvicini, L. y Brogioni, N. 1992. El depósito hidrotermal de Ni, Cu y metales del "Grupo del Platino", Las Águilas Este, Provincia de San Luis. 4° Congreso Nacional y 1° Congreso Latinoamericano de Geología Económica, Actas: 93-102, Córdoba.
- Malvicini, L. y Brogioni, N. 1993. Petrología y génesis del yacimiento de sulfuros de Ni, Cu y platinoideos Las Águilas Este, Provincia de San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 48(1): 3-20.
- Malvicini, L. y Brogioni, N. 1996. Las Águilas Este Deposit: shear zone hosted hydrothermal Cu-Ni sulfide and platinum-group elements mineralization in the mafic-ultramafic complex of San Luis Range, Argentina. *Geology and Ore Deposits of the American Cordillera, Symposium Proceedings*: 1475-1485.

- Mogessie, A., Hoinkes, G., Stumpfl, E. F., Bjerg, E. A. y Kostadinoff, J. 1995. Occurrence of platinum group minerals in the Las Águilas ultramafic unit within a granulite facies basement, San Luis province, central Argentina. En Pasava, J., Kribek, B. y Zak, K. (eds.) Mineral Deposits: from Their Origin to Their Environmental Impact, p. 897-90, Brookfield.
- Mogessie, A., Hauzenberger, Ch., Hoinkes, G., Felfernig, A., Stumpfl, E.F., Bjerg, E.A. y Kostadinoff, J. 1996. Platinum-Group minerals from the Las Águilas ultramafic units, San Luis Province, Argentina. *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft* 141: 157-159.
- Mogessie, A., Hauzenberger, Ch., Hoinkes, G., Felfernig, A., Stumpfl, E.F., Bjerg, E.A. y Kostadinoff, J. 2000. Genesis of platinum-group minerals in the Las Águilas mafic-ultramafic rocks, San Luis Province, Argentina: textural, chemical and mineralogical evidence. *Mineralogy and Petrology* 68: 85-114.
- Mogessie, A., Hauzenberger, Ch., Hoinkes, G., Felfernig, A., Bjerg, E. A., Kostadinoff, J., Delpino, S. y Dimieri, L. 1998. Platinum mineralisation in the Las Águilas Body, San Luis province, Argentina. 8° International Platinum Symposium, Abstracts: 271-273, South Africa.
- Naldrett, A.J. 1981. Platinum-group element deposits. En Cabri, L.J. (ed.) *Platinum-group elements: Mineralogy, Geology, Recovery*. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special volume 23: 197-232.
- Peach, C.L., Mathez, E.A., Keays, R.R. y Reeves, S.J. 1994. Experimentally determined sulfide melt-silicate melt partition coefficients for iridium and palladium. *Chemical Geology* 117: 361-377.
- Ramos, V.A. 1988. Late Proterozoic-Early Paleozoic history of South America: A collisional history. *Episodes* 11: 168-174.
- Sabalúa, J. 1986. Yacimiento Las Águilas. Mineralización Ni-Cu-Co, Departamento Pringles, Provincia de San Luis, República Argentina. Informe final, Dirección General de Fabricaciones Militares, Subdirección de Desarrollo Minero, Centro de Exploración Geológico Minero, ( inédito), 32 p., Mendoza.
- Sabalúa, J., Chabert, M. y Santamaria, G. 1981. Mineralización 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.
- Sato, A.M., González, P.D. y Sato, K. 2002. First indication of Mesoproterozoic age from Western Basement of Sierra de San Luis, Argentina. 3° Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, Actas CD-ROM, Pucón.
- Sims, J., Stuart Smith, P., Lyons, P. y Skirrow, R. 1997. Informe Geológico y Metalogénico de las Sierras de San Luis y Comechingones, provincias de San Luis y Córdoba. Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 28: 1-148.
- Sims, J. P., Ireland, T. R., Camacho A., Lyons, P., Pieters, P. E., Skirrow, R. G., Stuart-Smith, P. G. y Miró R. 1998. U-Pb, Th-Pb and Ar-Ar geochronology from the southern Sierras Pampeanas, Argentina. En Pankhurst, R. y Rapela C. (eds.) *Implications for the Paleozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin, implications for the Proto-Andean margin of Gondwana*, The Geological Society, Special Publication 142: 259-281, London.
- Skirrow, R. G. y Sims, J. P. 1996. Mineral deposit styles and settings in the southern Sierras Pampeanas, Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 3: 137.
- Thériault, R.D., Barnes, S.J. y Severson, M.J. 2000. Origin of Cu-Ni-PGE Sulfide Mineralization in the Partridge River Intrusion, Duluth Complex, Minnesota. *Economic Geology* 95: 929-943.

Recibido: 22 de septiembre, 2009.

Aceptado: 5 de julio, 2010.