

PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA DE LAS ROCAS MÁFICAS-ULTRAMÁFICAS DEL ÁREA RÍO LAS ÁGUILAS - ARROYO DE LOS MANANTIALES, PROVINCIA DE SAN LUIS

Gabriela FERRACUTTI ^{a*}, Ernesto BJERG^a y Aberra MOGESSIE^b

^a INGEOSUR, CONICET - Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geología, San Juan 670, B8000ICN, Bahía Blanca, Argentina. E-mail: gferrac@uns.edu.ar

^b Institute of Earth Sciences, Department of Mineralogy and Petrology, University of Graz, Universitaetsplatz 2, A8010 Graz, Austria. E-mail: aberra.mogessie@uni-graz.at

RESUMEN

Dada la carencia de información de campo detallada, se efectuó el mapeo y muestreo de los cuerpos máficos-ultramáficos aflorantes entre el río de Las Águilas y el arroyo de Los Manantiales en la provincia de San Luis. La escasa información de campo, petrográfica y geoquímica de las unidades de éste área dificultaba la vinculación entre las rocas aflorantes y aquellas reconocidas en los testigos de perforación. Los cuerpos ígneos de interés se hallan en contacto con el basamento metamórfico a través de fallas de alto ángulo de buzamiento y/o contactos intrusivos. En Las Higueras y Virorco, se identificaron afloramientos de rocas máficas-ultramáficas con textura magmática primaria de tipo estratificada no-uniforme de regularidad intermitente. El estudio de estos cuerpos generó un desafío particular debido a los procesos de deformación, metamorfismo y alteración que los han afectado. Estos factores no solo modificaron la mineralogía de las rocas sino que además generaron bloques basculados reconocidos por la presencia de texturas de estratificación magmática cuya posición espacial no se corresponde con la magmática originaria.

Los patrones de los elementos de tierras raras normalizados a condrita permiten identificar un proceso de diferenciación, con mayor enriquecimiento en los contenidos de tierras raras en las rocas más evolucionadas. En base a los contenidos de tierras raras de las rocas ultramáficas, se infiere que la cristalización magmática estuvo controlada por la presencia de olivino y ortopiroxeno.

Palabras clave: *rocas máficas-ultramáficas, petrografía, geoquímica, San Luis.*

ABSTRACT: *Petrology and geochemistry of mafic-ultramafic rocks in the Las Águilas River-of the Manantiales stream area, San Luis.* Geological mapping was completed in the area between Las Águilas River and the Manantiales stream in San Luis province due to the absence of a detailed geologic map of the mafic-ultramafic bodies which occur in this region. Also the lack of petrographic and geochemical information constituted a draw back when attempting to relate surface and subsurface rocks. In this contribution a geological map of the area and the petrological-geochemical nature of the different igneous rocks are presented.

The mafic-ultramafic bodies are in contact with the metamorphic basement through high angle faults and sometimes by intrusive relationships. At Las Higueras and Virorco bodies it was possible to identify igneous rock outcrops with layered magmatic texture of the non-uniform and with intermittent regularity type. These bodies were affected by deformation-metamorphism and alteration processes. As a result not only in the mineralogy of the rocks was changed, but also spatial position of the units was affected as revealed by the disposition of the layering of the mafic rocks.

The rare earth patterns normalized to chondrite allow the identification of a magmatic differentiation process, with the largest rare earth enrichments corresponding to the most evolved rocks. The ultramafic rocks rare earth contents indicate that the magmatic crystallization was controlled by the formation of olivine and orthopyroxene.

Keywords: *mafic-ultramafic rocks, petrography, geochemistry, San Luis.*

INTRODUCCIÓN

Los afloramientos de rocas máficas-ultramáficas de interés en el presente trabajo corresponden a los denominados Las Águilas, Las Higueras, Virorco, Escuela Las Pircas y El Fierro (Fig. 1). Estos cuerpos se encuentran ubicados en el faldeo oriental de la sierra Grande de San Luis en la unidad morfoestructural de las Sierras Pampeanas, aproximadamente a 35 km al NE de la ciudad

capital, en cercanías de la localidad El Trapiche. Estos afloramientos constituyen parte de la faja de rocas máficas-ultramáficas que se extiende aproximadamente 100 km en sentido NE-SO con un ancho que oscila entre 3 y 5 km.

Según Sims *et al.* (1998) y Hauzenberger *et al.* (1996, 1997a-b, 2001), el basamento cristalino de la Sierra de San Luis está constituido por tres bloques principales separados por zonas de milonitas: 1) el bloque este

(Complejo Metamórfico Conlara) comprende gneises y migmatitas de alto grado; 2) el bloque central (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 tonalíticos-granodioríticos y pegmatitas y, 3) el bloque oeste (Complejo Me-

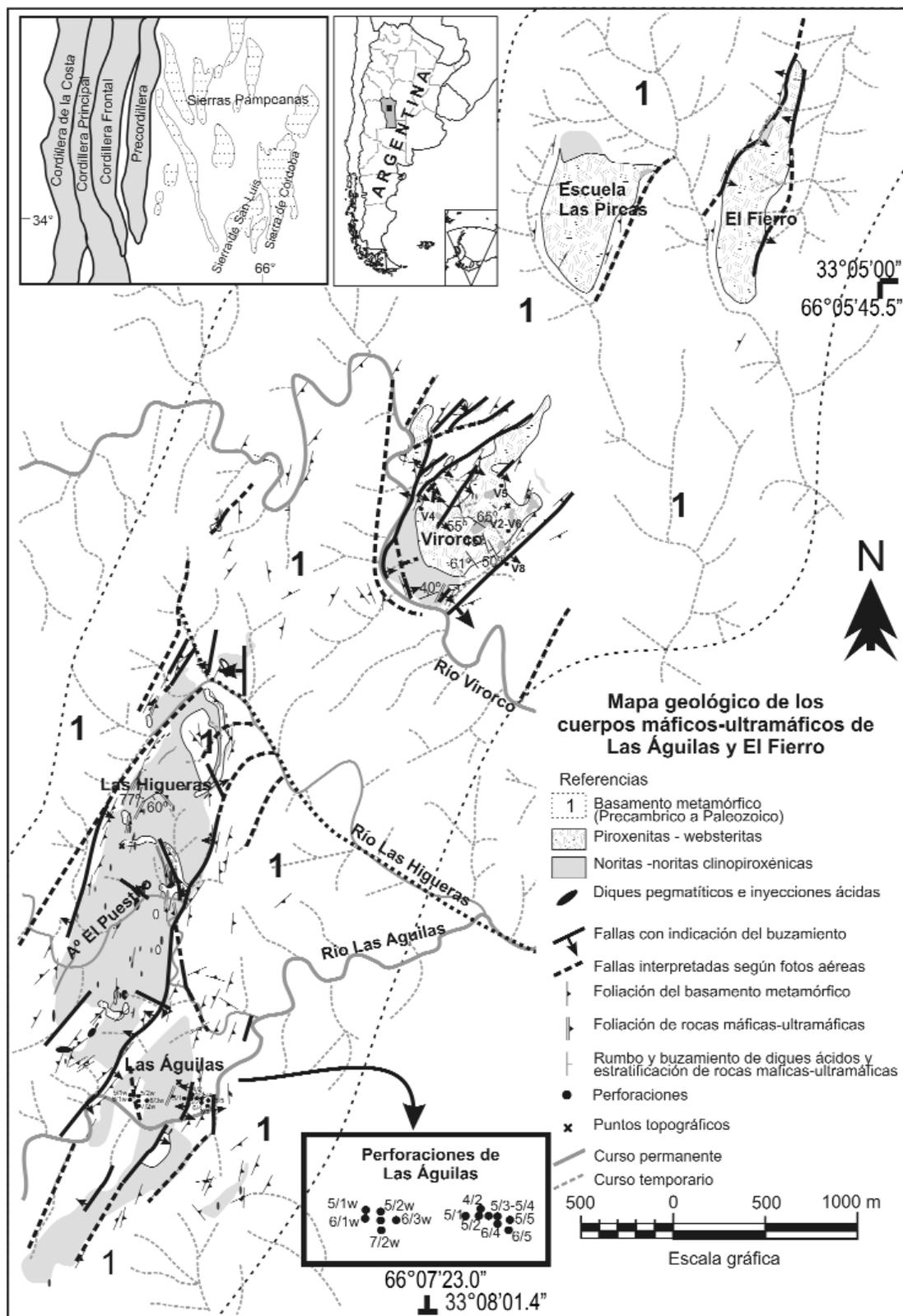


Figura 1: Mapa geológico de los cuerpos máficos-ultramáficos de Las Águilas y El Fierro. El recuadro superior con las unidades morfoestructurales fue extraído de Hauzenberger *et al.* (2001).

tamórfico Nogolí) formado mayormente por ortogneises migmatíticos y gneises de alto grado con lentes de anfibolitas.

Los complejos de rocas máficas-ultramáficas de interés pertenecen al Bloque Central y están constituidos por dioritas, noritas, pi-

roxenitas, gabros, melagabros, harzburgitas, dunitas, melanoritas, gabronoritas, broncitas y peridotitas (Kilmurray y Villar

1981, Gervilla *et al.* 1993, 1997, Brogioni 1992, 1994, 2001, Brogioni y Ribot 1994, Sabalúa *et al.* 1981, Sabalúa 1986, Mallimacci 1985, Malvicini y Brogioni 1992, 1993, 1996, Ferracutti *et al.* 2001).

Las rocas máficas a ultramáficas se componen principalmente de 1) ortopiroxeno (opx) + anfíbol (amph) + plagioclasa (pl) ± clinopiroxeno (cpx) ± biotita (bi) ± espinelo (spl) ± sulfuros ± minerales del grupo del platino (MGP) y accesorios como apatito y, 2) olivino (ol) + espinelo (spl) + sulfuros ± MGP (Hauzenberger *et al.* 1996, 1997 a-b, Felfernig *et al.* 1997, Mogessie, *et al.* 1994, 1995, Ferracutti 2005). Hauzenberger *et al.* (1996, 1997a-b) y Hauzenberger (1997) determinaron temperaturas de 750° a 850° C, a través de estudios de termometría basados en dos piroxenos. Por otra parte Ferracutti (2005) y Ferracutti *et al.* (2006) determinaron temperaturas de 710-725°C en base al par spl-ol.

El objetivo del presente trabajo es la presentación de un mapa con los cuerpos máficos-ultramáficos situados entre el río Las Águilas y el arroyo de los Manantiales en la provincia de San Luis y la caracterización petrográfica-geoquímica de las rocas que componen estos últimos. Asimismo, gracias a la disponibilidad de los testigos de ocho de las perforaciones efectuadas por la Dirección General de Fabricaciones Militares (DGFM) en el yacimiento Las Águilas, fue posible efectuar una evaluación petrológica-geoquímica de las unidades halladas en profundidad y su comparación con las rocas de superficie.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En gran parte de las sierras de San Luis predomina el basamento cristalino, que es un complejo ígneo-metamórfico. En el extremo sur de las sierras además de granitos yacen intrusivos de naturaleza máfica y ultramáfica, de dimensiones variables, concordantes con las rocas metamórficas. Estos intrusivos se presentan por lo menos en 10 áreas, que van desde El Durazno al sur hasta San Pedro al norte. Las unidades de mayor importancia forman cuerpos lenticulares elongados de dirección NNE y están constituidas por noritas-gabronoritas entre

las rocas del clan máfico y ortopiroxenitas-websteritas como rocas ultramáficas. En el sector austral de esta corrida se ha localizado un complejo máfico-ultramáfico (Las Águilas) que alberga en profundidad núcleos de sulfuros diseminados a masivos, portadores de mineralizaciones de piroтина, calcopirita y pentlandita con participación de minerales del grupo del platino.

Según Gordillo y Lencinas (1979) la geología regional del área se halla integrada por: **Basamento plutónico-metamórfico:** representado por metamorfitas de bajo a alto grado (filitas, micacitas, gneises, anfibolitas, granulitas) de probable edad precámbrica, intruidas en el Paleozoico inferior por stocks graníticos. Completan el basamento las fajas paralelas y discontinuas de intrusivos magmáticos máficos-ultramáficos de interés en el presente trabajo.

Sedimentitas continentales del Terciario superior: representadas por escasos afloramientos de areniscas en El Durazno y Potrero de los Funes.

Volcanitas del Terciario superior: son volcanitas traquíticas, lacíticas y andesíticas (generalmente englobadas bajo el nombre de traquiandesitas). Se localizan en la faja volcánica que a partir del cerro Tomolasta se continúa hacia el SE.

Sedimentitas aluvionales del Cuaternario: comprenden los aluviones aterrazados del Cuaternario inferior y depósitos modernos. Cabe agregar la presencia de reducidos afloramientos de basaltos en Pampa de las Invernadas.

METODOLOGÍA

En el sector que comprende los afloramientos de rocas máficas-ultramáficas de interés, los trabajos de campo para la confección del correspondiente mapa (Fig. 1) consistieron en la determinación de la posición de puntos estratégicos con equipos GPS (Sistemas de Posicionamiento Satelital) Garmin III plus y Garmin 12. Los datos obtenidos en cada punto posteriormente fueron graficados en escala $\cong 1:10.000$ tomando como base las cartas topográficas Trapiche (IX-00-05) y Los Tapiales (IX-00-00) de la Dirección Provincial de Catastro de la Provincia de San Luis (DPCPSL), en escala 1:20.000 y la cartografía obtenida de la Di-

rección General de Fabricaciones Militares. Las secciones delgadas de rocas fueron confeccionadas, estudiadas y fotografiadas en los laboratorios del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur. Los análisis químicos por elementos mayoritarios, trazas y tierras raras, fueron realizados por Actlabs (*Activation Laboratories*) en Canadá, para lo cual se aplicaron las siguientes técnicas: fluorescencia de rayos X (XRF), activación neutrónica (INAA) y espectrometría de masas de plasma acoplado por inducción (ICP-MS).

Las abreviaturas utilizadas en este trabajo para los silicatos y óxidos son las sugeridas por Kretz (1983).

PETROGRAFÍA DEL BASAMENTO METAMÓRFICO DE MEDIO-ALTO GRADO

El basamento adyacente a los cuerpos máficos-ultramáficos en el bloque central, está constituido por gneises miloníticos cuyo gradiente metamórfico se sitúa en la facies granulitas a esquistos verdes.

Los gneises miloníticos (Fig. 2a) se hallan compuestos por granate (grt) + cordierita (crd) + sillimanita (sil) + biotita (bt) + feldespato potásico (kfs) + plagioclasa (pl) + cuarzo (qtz) ± ortopiroxeno (opx), con opacos (óxidos y sulfuros), rutilo (rt) y zircón (zrn) como principales minerales accesorios.

Como se observa en la figura 1, las rocas que integran este conjunto poseen una distribución areal tan significativa que constituyen la litología dominante de la zona en estudio. Si bien se presentan mayormente rodeando y conformando la caja de los cuerpos máficos-ultramáficos, también pueden ser observadas como remanentes o relictos aislados de variadas dimensiones dentro de tales cuerpos ígneos (Fig. 2b). Estos relictos se encuentran bien expuestos en el área de Las Águilas y sur del arroyo El Puestito, en proximidades de los contactos entre ambas unidades o más estrechamente asociados a uno o ambos lados de las zonas de fracturas y fallas (Fig. 1).

La mineralización de sulfuros, aunque mayoritariamente asociada a las rocas máficas-ultramáficas, también ha sido reconocida en las rocas metamórficas (Ferracutti 2005).

Asimismo, en algunos sectores se han reconocido, clastos de diversos tamaños de rocas gabroides incluidos y deformados dentro del basamento metamórfico (Fig. 2c).

En cuanto a la estructura del basamento metamórfico que rodea a los cuerpos máficos-ultramáficos, en las figuras 1 y 3 se han representado los planos de foliación (S2), producto del evento deformacional T₂ (Delpino *et al.* 2001-2007). En la figura 3a, los datos de foliación se grafican como polos a planos, con dos máximos bien diferenciados y una orientación principal promedio de 291°/90°. Por otra parte, en la figura 3b se observa mediante un diagrama de rosa que la mayor frecuencia en los rumbos es de N 10° E, con lo cual claramente queda corroborado que el rumbo predominante de la foliación del basamento de alto a medio grado es NE.

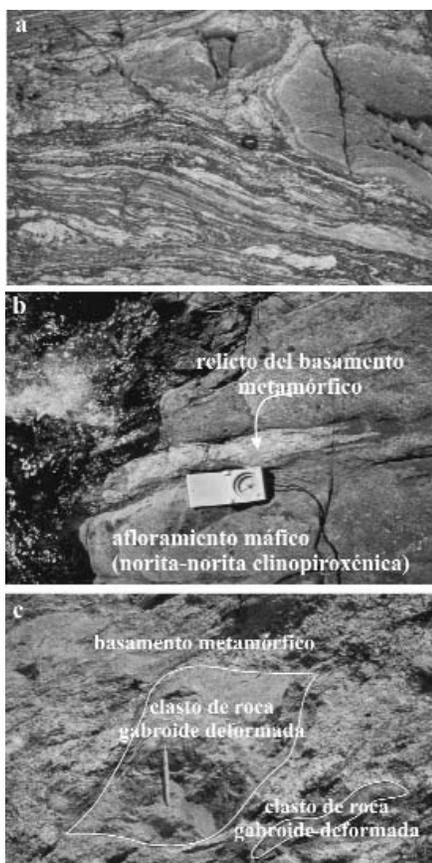


Figura 2: a) Basamento de alto grado metamórfico, b) relictos del basamento metamórfico dentro del cuerpo máfico de composición norita-gabronorita y c) clastos de rocas gabroides (norita-gabronorita) deformadas dentro del basamento metamórfico.

PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS MÁFICAS - ULTRAMÁFICAS

Rocas máficas

Sobre la base de la paragénesis mineral y a las proporciones modales, las rocas máficas halladas corresponden al grupo de los gabroides (Glosario de términos para la clasificación de las rocas ígneas-IUGS 1989) (Fig. 4). Este grupo de rocas fue representado en el mapa sin diferenciar las variedades, ya que la escala y las dimensiones de los afloramientos no permitían una clara representación. Sin embargo macro y microscópicamente han sido identificadas: gabroides, que comprenden noritas (s.s.) (opx+pl±hbl±opacos) y noritas clinopiroxénicas (opx+pl±cpx±hbl±opacos); metagabroides (opx±cpx+pl+hbl+bt) y milonitas máficas (opx+amph+pl+grt±bt).

Aunque esta familia de rocas se halla presente en afloramientos y en muestras de profundidad, es en el primero de los ambientes donde su distribución se halla mejor representada.

Noritas (s.s.): son las rocas más representativas y de mayor distribución areal entre las rocas ígneas mapeadas en superficie, aunque también se las ha observado en las muestras de testigos de perforación. Son de color gris oscuro y de tamaño de grano medio a fino con textura hipidiomórfica-granular. Son rocas compuestas mayormente por plagioclasa (cálcica) y ortopiroxeno con cantidades variables de hornblenda magmática (Fig. 5a-b).

Noritas clinopiroxénicas: siguen en abundancia a las noritas, tanto en superficie como en profundidad. Son rocas que dentro del grupo de los gabroides corresponden al subgrupo de las gabronoritas según clasificación de las rocas ígneas-IUGS 1989. La diferencia con las noritas s.s. reside únicamente en la aparición de cantidades subordinadas de clinopiroxeno como mineral magmático primario. La proporción de este mineral no da lugar a diferencias de color respecto a las noritas; de allí que la clasificación de esta roca como tal y la identificación de clinopiroxeno solo pueden efectuarse microscópicamente.

Metagabroides: corresponden a rocas noritas y noritas clinopiroxénicas que han sufrido metamorfismo, presentan hornblenda como mineral de formación secundario y poseen foliación disyuntiva (Twiss y Moores 1992). Son de color gris oscuro a negro compuestas por opx-pl-hbl±cpx-bt-op en un arreglo textural granular sin orientación preferencial. La textura hipidiomórfica-granular esta obliterada por la cristalización de hornblenda anhedral intersticial entre los cristales de pl-px (opx-cpx) pre-existentes. Se ha determinado la deformación intracristalina de los piroxenos (curvatura de las lamelas de exsolución del cpx en el opx y la extinción ondulosa a fragmentada debido al microfracturamiento en ambos piroxenos) y la plagioclasa (curvatura y homogenización de las maclas y extinción ondulosa a fragmentada de los cristales). Finalmente los cristales de biotitas están inhomogeneamente distribuidos en la roca, son

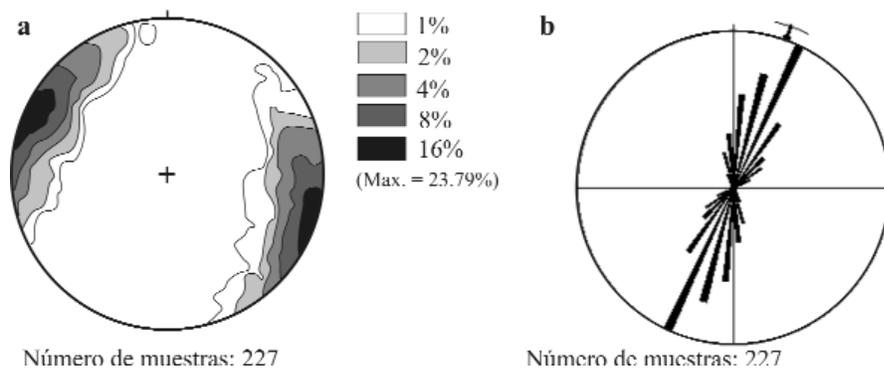


Figura 3: a) Diagrama de densidad de proyección de igual área de polo a plano para la foliación S2 de rocas del basamento metamórfico de alto a mediano grado, y b) diagrama de rosas indicando los rumbos predominantes para las rocas del basamento metamórfico de alto a medio grado.

intersticiales entre los minerales preexistentes (opx, pl, hbl) y no poseen orientación preferencial ni deformación intracristalina. Anfibolitas: En ocasiones, los anfíboles secundarios se presentan en proporciones

cercanas o superiores al 50%, en estos casos las rocas en realidad corresponden a anfibolitas cuyos protolitos fueron noritas y como tales fueron mapeadas.

Milonitas máficas: esta diferenciación

dentro de las rocas máficas surgió a partir de los estudios realizados sobre la deformación que afecta a las unidades estudiadas (Delpino *et al.* 2007). Corresponden a rocas con moderada a intensa foliación. Los porfiroclastos constituyen aproximadamente el 40% de la roca, poseen formas y tamaños variados y son de ortopiroxeno (9%), hornblenda (12%), plagioclasa (75%) y granate (4%). Dichos porfiroclastos se hallan rodeados por una matriz fina compuesta por cristales de opx-pl-hbl recrystalizados y por bt-opacos de neoformación. Asociados a los planos de foliación milonítica se presentan abundantes cristales de sulfuros y óxidos (<0,1 mm) y biotitas. La mineralogía y textura del protolito adyacente esta parcialmente preservada.

Este tipo de roca y en general rocas máficas con granate, han sido observadas en algunas zonas de contacto entre el basamento metamórfico y los cuerpos máficos.

Pegmatitas máficas: Se denomina así a algunos afloramientos en forma de pequeños diques de hasta 15 cm de ancho hallados en Virorco, aunque dadas sus dimensiones no constituyen unidades mapeables. Son afloramientos que poseen un marcado desarrollo de los cristales de plagioclasas y piroxenos, estos últimos de hasta 5 cm.

Rocas ultramáficas

Las rocas ultramáficas comprenden una familia de rocas, que en el área mapeada se hallan representadas por dos grupos litológicos: las peridotitas y las piroxenitas. Según la clasificación de las rocas ígneas de IUGS (1989), las rocas peridotíticas encontradas se clasifican como dunitas (ol+sulfuros+spl ±opx) y harzburgitas (ol+opx±cpx+ sulfuros+spl), en tanto que las piroxenitas son ortopiroxenitas (opx±pl±hbl±spl±sulfuros) y websteritas (opx+cpx±pl±spl±sulfuros) (Figura 6 a-b-c).

En el mapa (Fig. 1), se puede apreciar que la participación de las rocas ultramáficas es muy baja al sur de Las Águilas y prácticamente pasa a ser la litología dominante en El Fierro, al norte.

Aunque las rocas ultramáficas, al igual que las rocas máficas, se encuentran representadas en superficie y en los testigos de perforación, es en profundidad donde adquieren

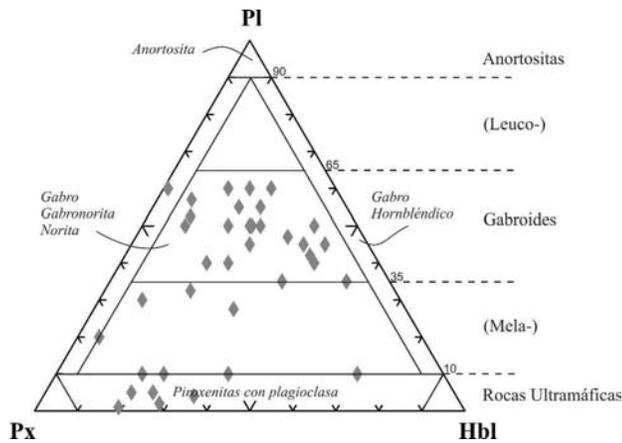


Figura 4: Clasificación según IUGS (1989), de los principales grupos de rocas ígneas afluorantes estudiadas en base a la proporción modal de sus minerales constituyentes.

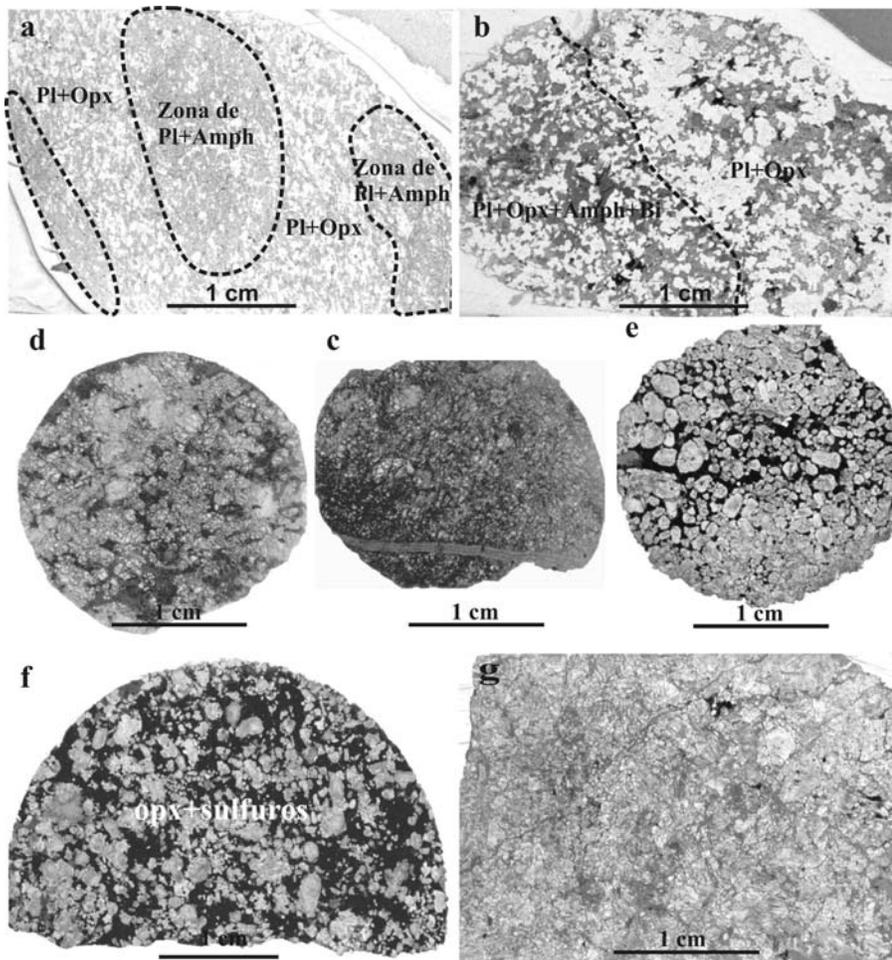


Figura 5: Clasificación según IUGS (1989), de los principales grupos de rocas ígneas afluorantes estudiadas en base a la proporción modal de sus minerales constituyentes.

mayor significación.

En general son rocas que poseen una textura hipidiomórfica-granular y de reemplazo pseudomórfico de sus constituyentes por minerales del grupo de la serpentina y de los anfíboles.

Dunitas: este tipo de roca solamente ha sido reconocido en las muestras provenientes de las perforaciones 4/2, 5/2, 5/3, 5/4, 6/4, y 7/4 de Las Águilas (Fig. 5c). Aunque la denominación y clasificación de la roca se efectuó en base al protolito, cabe destacar que en algunos casos y en base al grado de

alteración que afecta a los olivinos, sería más adecuado clasificada como serpentinita. Son rocas de grano medio y color negro, se caracterizan por la abundancia de la mineralización de sulfuros a ellas asociada y junto con las ortopiroxenitas, son las rocas más abundantes entre las obtenidas de los testigos de perforación.

Harzburgitas: únicamente han sido observadas en las muestras provenientes de las perforaciones que la DGFEM efectuó en el yacimiento Las Águilas. Los minerales constituyentes principales son olivino y

ortopiroxeno con escasa a nula participación de clinopiroxeno. Estos minerales (ol-opx-cpx) poseen formas subhedrales y un importante reemplazo pseudomórfico por minerales del grupo de la serpentina y los anfíboles. También se han observado sulfuros y espinelos. Estas rocas presentan una coloración oscura, casi negra, y un tamaño de grano medio (Fig. 5d).

Ortopiroxenitas: constituyen la litología dominante entre las rocas reconocidas en profundidad en Las Águilas y entre las rocas en afloramientos en el resto del área de trabajo (Fig. 5e-f). Se trata de rocas pardo oscuras cuya textura es hipidiomórfica granular y al igual que las demás rocas ultramáficas suelen poseer minerales de mena y espinelos asociados. Si bien los sulfuros mayormente se han reconocido en las muestras de roca de los testigos de perforación y solo ocasionalmente en aquellas provenientes de los afloramientos de superficie, los espinelos solo han sido identificados en muestras obtenidas de las perforaciones.

Websteritas: este tipo particular de roca se presenta tanto en muestras de afloramientos (Fig. 5g) como en las obtenidas de los testigos de perforación. Sin embargo, si bien su participación porcentual a nivel de afloramientos superficiales es reducida en las áreas de Las Águilas y Las Higueras, su proporción relativa aumenta en los afloramientos situados más al norte y en el subsuelo de Las Águilas (Fig. 6c).

Peridotitas: en afloramientos se han reconocido rocas cuyo grado de alteración y presencia de anfíboles, como minerales secundarios del reemplazo de los piroxenos, impiden la correcta clasificación de los protolitos. Sin embargo, tales litologías parecen haber correspondido a harzburgitas y/o lherzolitas.

Como se observa en la figura 6c, hay rocas que se hallan en el límite lherzolita-dunita y/o lherzolita-harzburgita, pero no se han reconocido rocas lherzoliticas propiamente dichas.

TEXTURA DE LAS ROCAS MÁFICAS-ULTRAMÁFICAS

En algunos sectores de Las Higueras y Vi-rorco, se identificó en los afloramientos de rocas máficas-ultramáficas una textura mag-

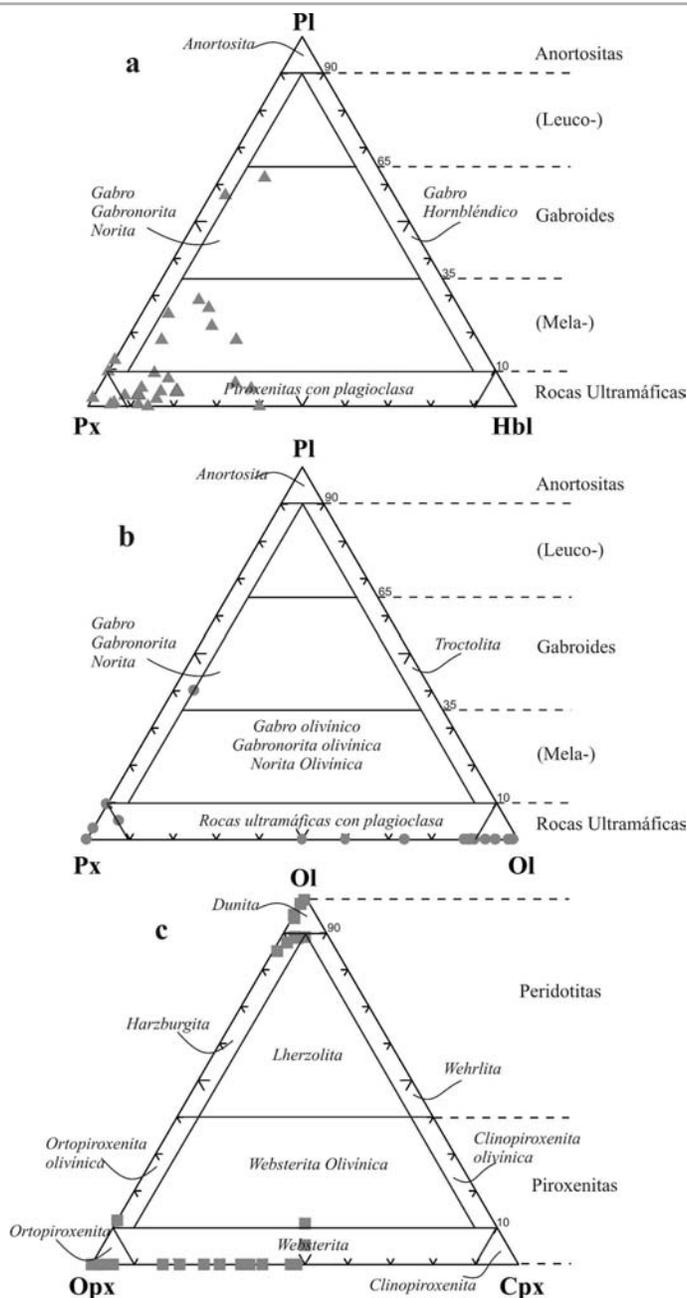


Figura 6: Clasificación según IUGS (1989), de los principales grupos de rocas ultramáficas identificadas en testigos de perforación a) nomenclatura según la proporción modal de plagioclasa (Pl), piroxeno (Px) y hornblenda (Hbl); b) según la proporción modal de plagioclasa (Pl), piroxeno (Px) y olivino (Ol), y c) clasificación según la proporción modal de Ol, ortopiroxeno (Opx) y clinopiroxeno (Cpx).

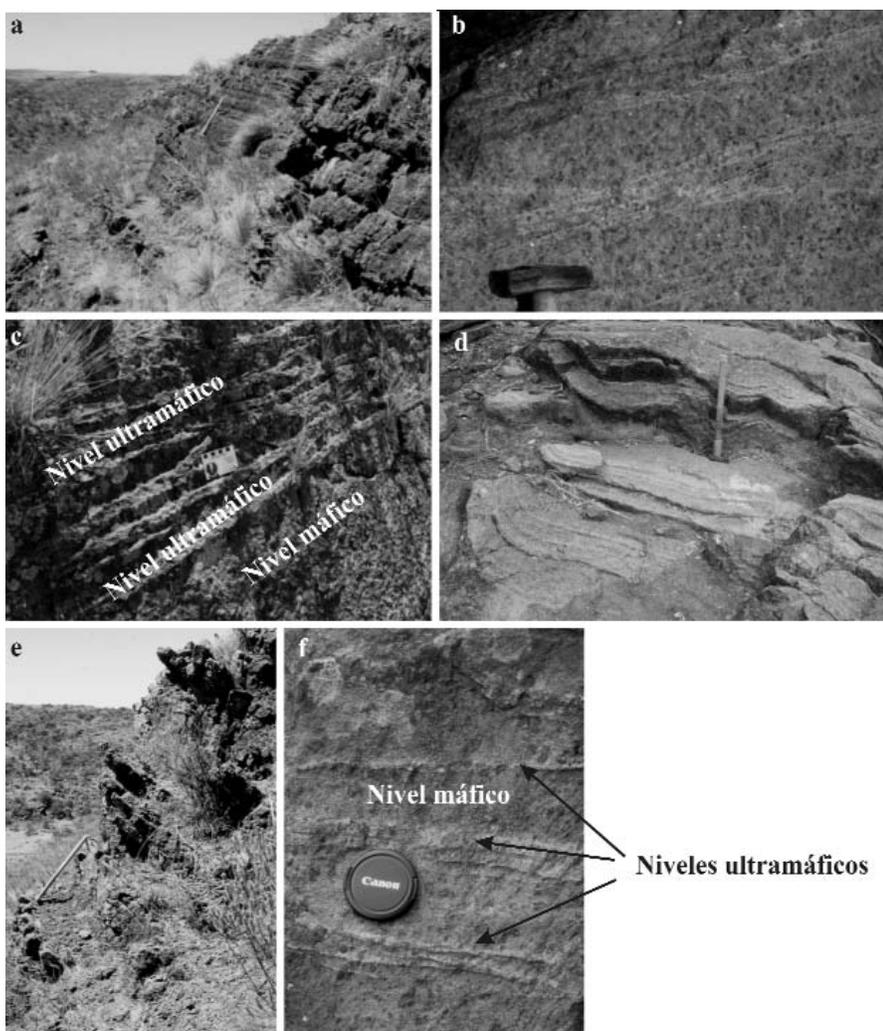


Figura 7: a-b-c-d-e-f) Afloramientos máficos-ultramáficos estratificados, presencia de bandeamiento composicional repetitivo en el cual las rocas gradan de ortopiroxenitas-websteritas (nivel ultramáfico) a noritas-noritas clinopiroxénicas (nivel máfico), d) indica la deformación dúctil de los cuerpos máficos-ultramáficos estratificados.

máfica primaria denominada tipo estratificada (*layered*), caracterizada por capas de distinta composición modal. Winter (2001) estableció que los cuerpos estratificados surgen como resultado de cambios en la mineralogía, textura o composición mineral y en base a ello efectuó una clasificación textural de los depósitos estratificados. Tal como se observa en la figura 7, las rocas poseen un marcado y repetitivo bandeamiento o estratificación de distinta composición modal, generándose rocas que gradan de piroxenitas (ortopiroxenitas o websteritas) a noritas y noritas clinopiroxénicas. Puede asimismo observarse (Fig. 7c-f) como las capas de rocas ultramáficas son más resistentes a los fenómenos de intemperis-

mo en comparación con las capas de rocas máficas, en las cuales resalta la mayor proporción de plagioclasas. Si bien en algunas capas delgadas de rocas ultramáficas con tamaño de grano fino los contactos son relativamente netos, en la secuencia general los contactos son transicionales. Cabe destacar que el fenómeno de estratificación observado implica un mayor grado de dificultad al efectuar una clasificación modal de las rocas, en particular aquellas obtenidas de los testigos de perforación, en base a cortes delgados, si no se tiene en cuenta o se conoce cual es la posición (dentro de la secuencia estratificada) de una determinada muestra de roca.

ESTRUCTURA DE LAS ROCAS MÁFICAS - ULTRAMÁFICAS

Si bien los cuerpos máficos-ultramáficos de interés corresponden a intrusivos magmáticos, se hallan en contacto con el basamento metamórfico no solo a través de contactos intrusivos sino también por fallas. Cuando el contacto es por fallas poco profundas, en el campo se ha reconocido la presencia de rocas brechadas, de jaboncillo de falla e incluso estrias de falla, mientras que las zonas de milonitización con formación de milonitas máficas con granates serían producto de fallas de mayor profundidad que involucran cambios mineralógicos.

Las fallas poseen ángulos de buzamiento de alto grado ya que superan los 75° y mayormente son superiores a 80°.

Tal como se ha indicado en la figura 1, los cuerpos ígneos poseen foliación en las zonas próximas al contacto con la roca de caja, el cual si bien en líneas generales es de rumbo NE como el basamento, presenta variaciones locales. Se ha identificado y mapeado la estratificación en algunos de los cuerpos ígneos estudiados. Sin embargo aunque este rasgo es de fundamental importancia para la interpretación de la yacencia y disposición de los afloramientos, la disposición espacial de los mismos varía en muy pocos metros y en ocasiones evidencian efectos de deformación dúctil (Fig. 7d), lo cual incrementa la dificultad de la interpretación estructural de los cuerpos.

GEOQUÍMICA DE LOS ELEMENTOS DE LAS TIERRAS RARAS

En la Figura 8 han sido graficadas las tierras raras, normalizados a condrita (Sun y McDonough 1989), correspondientes a las muestras analizadas para los cuerpos de Las Águilas (muestras de afloramientos y de testigos de perforación), Las Higueras, Virorco, y Escuela Las Pirca. Si bien se observa que en general los patrones de las distintas rocas analizadas son muy similares entre sí, presentan ciertas particularidades y por lo tanto han sido descriptas individualmente.

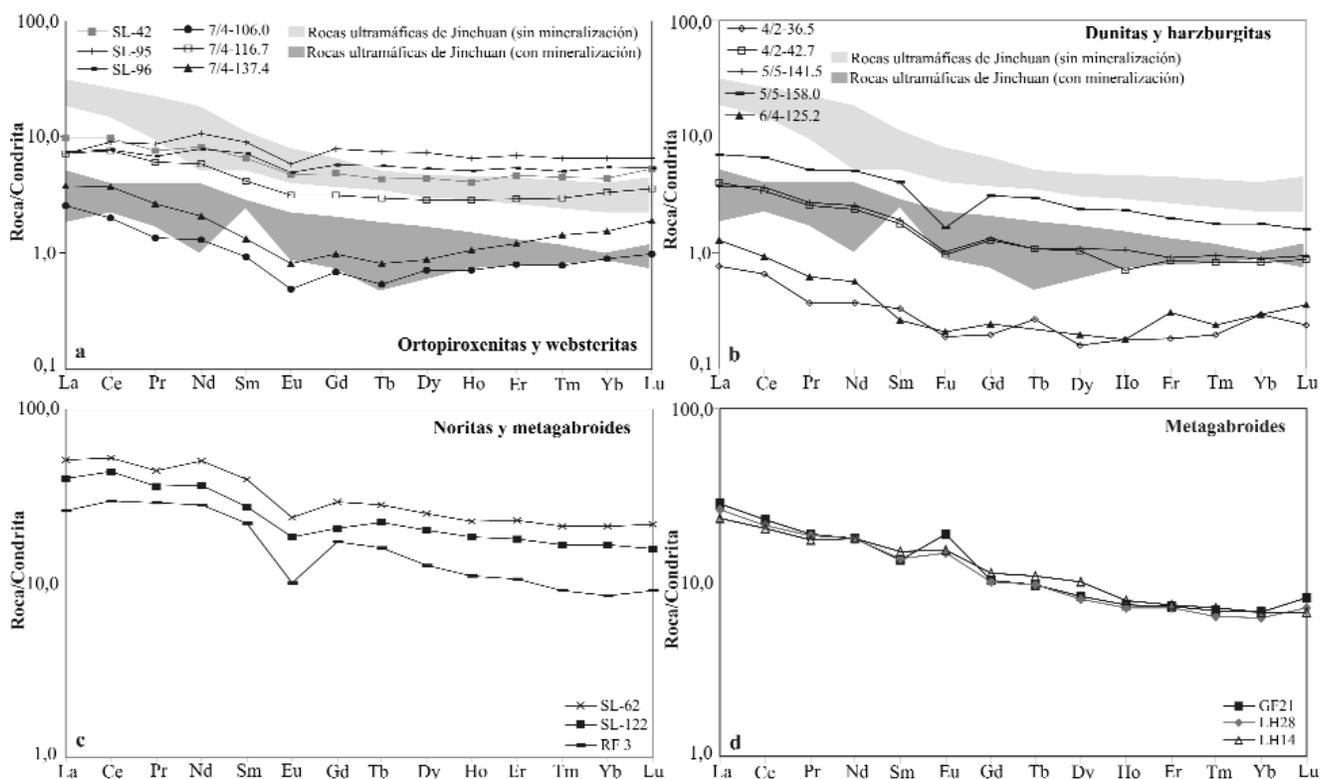


Figura 8: Diagramas de tierras raras normalizados a condrita (Sun y McDonough 1989). a) Ortopiroxenitas y websteritas, b) dunitas y harzburgitas, c) noritas y metanoritas, y d) metanoritas y anfíbolitas.

Ortopiroxenitas y websteritas

Aunque la mayoría de las muestras se hallan enriquecidas en el contenido total de tierras raras, en la figura 8a se observa que las tierras raras pesadas están algo empobrecidas respecto a las livianas, tal como lo muestra la relación La_N/Yb_N que varía de 1,11 a 2,87 (Cuadros 1 y 2). Una característica común para este conjunto de rocas son las anomalías negativas de Eu.

En el diagrama correspondiente a este grupo de rocas es posible identificar, en líneas generales, dos grupos de ortopiroxenitas-websteritas: un tipo caracterizado por patrones tipo "U o cóncavos", tenores de tierras raras medianas y pesadas muy similares a los valores de condrita y enriquecimientos moderados de livianas (muestras 137,4 y 106 correspondientes al pozo 7/4), portadoras de una importante cantidad de sulfuros (aproximadamente 35%) y carentes de evidencias que indiquen participación de procesos de alteración significativos. El otro grupo de ortopiroxenitas-websteritas,

que incluye gran parte de las muestras analizadas, posee mayor enriquecimiento de las tierras raras en general, caracterizándose por la alteración y la escasa mineralización de sulfuros.

Dunitas y harzburgitas

Los patrones obtenidos para este tipo de rocas (Fig. 8b) son muy similares a los determinados para las ortopiroxenitas-websteritas, con anomalías negativas de Eu y con un leve enriquecimiento de las tierras raras livianas respecto de las pesadas. Exceptuando dos muestras que se hallan empobrecidas en tierras raras y con patrones irregulares (6/4 125,2 y 4/2 36,5), todas las demás evidencian un enriquecimiento relativo. En el diagrama normalizado se observa una pendiente positiva dada por el fraccionamiento de las tierras raras livianas, tal como lo indica la relación La_N/Yb_N , con valores que fluctúan entre 2,58 y 4,87 (Cuadro 1). Las muestras empobrecidas son portadoras de minerales

de mena, en proporciones modales que oscilan entre el 20 y el 60%. Las restantes muestras se hallan alteradas y presentan evidencias de una significativa removilización de sulfuros.

Noritas y metagabbroides

Dado que entre las rocas máficas descritas las noritas y los metagabbroides son las rocas mas abundantes en superficie y profundidad, es por ello que se presentan dos diagramas (Fig. 8c-d) correspondientes a los análisis químicos de roca total de éstas litologías. La presencia de dos diagramas para estas rocas máficas se ha efectuado en base a algunas anomalías observadas. Sin embargo en ambos diagramas puede observarse que estas rocas presentan un mayor enriquecimiento de las tierras raras en general.

En la figura 8c, puede observarse que en las noritas y metagabbroides, portadoras de minerales hidratados (micas), el contenido de tierras raras es mayor que en las rocas ultramáficas descritas. Presentan patrones

CUADRO 1: Petrología y geoquímica de las rocas máficas-ultramáficas del área rio Las Águilas - arroyo de los Manantiales, San Luis, Argentina. Ferracutti G., Bjerg E. y Mogessie A.

Muestras de Perforaciones	4/2-36.5	4/2-42.7	5/5-141.5	5/5-158.0	6/4-125.2	7/4-106.0	7/4-116.7	7/4-137.4
Roca	Dunitas harzburgitas					Ortopiroxenitas-websteritas		
% en peso								
SiO ₂	17,36	29,62	33,98	35,09	25,87	27,31	50,60	37,28
TiO ₂	0,02	0,05	0,05	0,13	0,03	0,06	0,19	0,11
Al ₂ O ₃	0,43	1,45	1,18	2,95	0,61	1,38	4,14	2,55
FeO	36,68	24,96	18,70	17,05	27,99	33,15	12,71	27,29
MnO	0,11	0,17	0,22	0,20	0,16	0,16	0,23	0,21
MgO	16,43	26,54	33,03	32,42	26,55	0,06	25,88	20,02
CaO	0,16	0,59	1,57	1,88	0,30	0,67	2,37	0,95
Na ₂ O	0,00	0,06	0,06	0,13	0,03	0,06	0,19	0,10
K ₂ O	0,03	0,07	0,03	0,17	0,04	0,04	0,46	0,10
P ₂ O ₅	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02
LOI	11,87	10,52	6,36	4,61	8,80	6,10	0,74	3,86
S	16,00	6,57	2,85	2,03	11,80	15,56	1,19	10,30
Total	99,10	100,62	98,05	96,69	102,20	100,00	98,71	102,79
ppm - ** ppb								
Sc	1,00	4,00	9,00	13,00	4,00	15,00	37,00	26,00
Cr	1760,00	3870,00	3446,00	12032,00	2122,00	1541,00	1964,00	4614,00
Co	762,90	218,50	131,40	158,10	453,50	905,80	120,30	481,10
Ni	15400,00	3531,00	1681,00	2093,00	9135,00	26024,00	1212,00	8308,00
Zn	123,00	167,00	240,00	287,00	77,00	83,00	77,00	243,00
Rb	1,14	3,70	1,70	10,00	1,90	2,60	20,00	1,90
Sr	3,31	11,30	11,38	17,23	6,09	7,83	21,18	7,87
Y	0,30	1,50	1,60	3,40	0,50	1,20	4,70	1,80
Zr	7,31	8,40	6,60	8,50	3,50	5,10	10,10	9,20
Nb	0,42	0,90	0,90	1,30	0,50	0,50	1,10	0,70
Ba	7,26	9,60	10,40	26,80	4,70	20,40	29,10	11,50
V	28,00	55,00	62,00	149,00	35,00	82,00	144,00	134,00
La	0,18	0,95	0,89	1,67	0,30	0,60	1,71	0,90
Ce	0,40	2,08	2,23	4,08	0,56	1,21	4,68	2,25
Pr	0,04	0,24	0,26	0,49	0,06	0,13	0,58	0,25
Nd	0,17	1,10	1,19	2,37	0,26	0,60	2,72	0,96
Sm	0,05	0,27	0,29	0,61	0,04	0,14	0,64	0,20
Eu	0,01	0,05	0,06	0,09	0,01	0,03	0,18	0,05
Gd	0,04	0,26	0,27	0,63	0,05	0,14	0,64	0,20
Tb	0,01	0,04	0,04	0,11	<0.01	0,02	0,11	0,03
Dy	0,04	0,26	0,27	0,60	0,05	0,18	0,72	0,22
Ho	0,01	0,04	0,06	0,13	0,01	0,04	0,16	0,06
Er	0,03	0,14	0,15	0,33	0,05	0,13	0,48	0,20
Tm	0,00	0,02	0,02	0,05	0,01	0,02	0,08	0,04
Yb	0,05	0,14	0,15	0,30	0,05	0,15	0,56	0,26
Lu	0,01	0,02	0,02	0,04	0,01	0,03	0,09	0,05
Ta	0,02	0,06	0,04	0,06	0,01	0,03	0,06	0,03
Hf	0,24	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,30	0,20
Rh**	176,00	34,80	23,60	9,90	45,30	71,90	0,70	13,40
Pd**	1130,00	719,00	450,00	310,00	1420,00	1200,00	305,00	476,00
Ir**	71,00	11,00	8,30	4,20	24,00	8,90	0,50	6,50
Pt**	18,00	247,00	180,00	230,00	84,00	99,00	378,00	5,00
La/Yb _N	2,58	4,87	4,26	3,99	4,30	2,87	2,19	2,48

Análisis geoquímicos de roca total para muestras de perforaciones de Las Águilas. Elementos mayoritarios (% en peso de óxidos), elementos traza (ppm) y elementos del grupo del platino (ppb).

enriquecidos en tierras raras livianas con una relación La_N/Yb_N que varía entre 2,40 y 4,95 (Cuadro 2) y en algunos casos una leve anomalía negativa de Eu.

Por otra parte, el grupo de metagabroides presentes en la Figura 8d, si bien también evidencian enriquecimiento general de las tierras raras como los gabroides antes descritos, la anomalía de Eu es positiva y el grado de fraccionamiento de las tierras raras dado por la relación La_N/Yb_N es superior ya que varía de 3,46 a 4,18 (Cuadro 2).

CONSIDERACIONES

Dado que las rocas ultramáficas de profundidad poseen una importante proporción de minerales de mena, tanto las ortopiroxenitas-websteritas como las dunitas tienden a tener bajas concentraciones de tierras raras (Fig. 8a-b), lo cual también fuera observado y establecido por Chai y Naldrett (1992) para el depósito de Jinchuan (China).

En la figura 8a-b se observa que las rocas ultramáficas evidencian dos diseños de tierras raras dependiendo de si las mismas se hallan mineralizadas con sulfuros o no. Las rocas portadoras de minerales de mena poseen patrones geoquímicos similares a las rocas carentes de sulfuros pero con concentraciones entre 5 y 30 veces menores de tierras raras. Este fenómeno es comparable a lo que fuera observado por Chai y Naldrett (1992) para las rocas ultramáficas en el depósito de Jinchuan (Fig. 8a-b). Dichos autores establecen que cuando las rocas poseen mineralización de sulfuros el diseño de los patrones es irregular ya que las concentraciones de tierras raras son muy bajas y próximas al límite de detección. Dado que en las muestras de Las Águilas los sulfuros son intersticiales respecto de cumulos de olivino y ortopiroxeno la abundancia de tierras raras refleja la composición del líquido silicático en un proceso de diferenciación controlado por el olivino y el piroxeno dado que prácticamente ninguno de tales minerales incorpora tierras raras en su estructura (Cox *et al.* 1979).

El enriquecimiento de tierras raras livianas ha sido relacionado (en rocas peridotíticas) a fenómenos de recristalización y/o deformación extensiva y vinculado a la abundancia de anfíbol (Dupuy *et al.* 1991), mineral

CUADRO 2: Petrología y geoquímica de las rocas máficas-ultramáficas del área rio Las Aguilas - arroyo de los Manantiales, San Luis, Argentina. Ferracutti G., Bjerg E. y Mogessie A.

Muestras de afloramiento	SL-62	SL-122	GF 21	RF 3	LH 14	LH 28	SL-42	SL-95	SL-96
Roca	Noritas-metagabroides						Ortopiroxenitas -websteritas		
% en peso									
SiO ₂	48,22	52,95	45,91	48,57	46,08	47,52	51,17	52,05	52,19
TiO ₂	1,74	0,62	1,33	0,70	0,48	0,45	0,33	0,35	0,31
Al ₂ O ₃	15,97	15,66	19,54	9,63	25,20	19,54	6,19	4,38	5,31
FeO	12,34	7,21	10,53	13,12	5,43	8,06	12,20	11,36	12,03
MnO	0,25	0,16	0,18	0,21	0,12	0,16	0,22	0,23	0,25
MgO	6,74	8,04	7,50	18,33	4,67	8,28	22,68	21,92	23,12
CaO	9,69	11,43	12,09	5,45	13,57	12,45	4,40	8,19	5,50
Na ₂ O	1,22	1,49	1,17	0,62	1,46	1,08	0,49	0,31	0,30
K ₂ O	0,44	0,59	0,34	0,87	0,15	0,22	0,44	0,11	0,14
P ₂ O ₅	0,20	0,07	0,14	0,04	0,06	0,04	0,02	0,01	0,02
S	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Total	96,97	98,61	100,45	99,43	98,53	99,47	98,76	99,14	99,43
ppm - ** ppb									
Sc	52,00	41,00	43,00	48,00	20,00	36,00	48,00	67,00	50,00
Cr	94,00	761,00	51,81	1220,00	38,14	36,86	1595,00	1262,00	1199,00
Co	45,90	37,60	31,41	69,27	18,00	28,17	83,50	76,40	86,30
Ni	29,00	26,00	< 20	252,75	39,76	< 20	273,00	217,00	252,00
Zn	18,00	8,00	134,13	110,40	47,98	81,60	10,00	9,00	7,00
Rb	15,39	3,69	< 2	32,18	2,23	< 2	12,27	3,10	2,93
Sr	250,99	95,06	258,26	59,56	371,01	262,35	38,96	22,15	32,42
Y	36,10	30,20	11,49	17,79	13,35	11,60	6,60	10,00	7,60
Zr	99,95	53,88	13,56	46,83	19,50	10,95	15,77	17,08	13,84
Nb	9,97	7,60	4,66	2,48	1,32	1,19	1,10	0,72	1,05
Ba	71,81	101,30	41,00	118,00	75,00	48,00	30,32	39,81	61,42
V	443,00	216,00	372,96	264,20	85,09	254,29	193,00	222,00	198,00
La	12,05	9,53	6,67	6,17	5,58	6,23	2,31	1,70	1,77
Ce	32,07	26,74	14,07	18,11	12,54	13,07	5,96	5,52	4,75
Pr	4,21	3,41	1,82	2,76	1,66	1,76	0,72	0,82	0,64
Nd	23,53	17,14	8,34	13,20	8,44	8,30	3,82	4,95	3,67
Sm	6,05	4,22	2,06	3,40	2,31	2,10	1,00	1,38	1,09
Eu	1,38	1,07	1,11	0,59	0,89	0,86	0,28	0,34	0,29
Gd	6,01	4,28	2,11	3,55	2,32	2,06	1,00	1,62	1,18
Tb	1,06	0,84	0,36	0,60	0,41	0,36	0,16	0,28	0,21
Dy	6,35	5,15	2,12	3,24	2,57	2,04	1,12	1,84	1,36
Ho	1,29	1,04	0,42	0,62	0,45	0,41	0,23	0,37	0,29
Er	3,82	2,99	1,21	1,76	1,24	1,18	0,77	1,15	0,89
Tm	0,55	0,43	0,17	0,23	0,18	0,16	0,12	0,17	0,13
Yb	3,60	2,83	1,15	1,45	1,15	1,07	0,75	1,10	0,93
Lu	0,56	0,40	0,21	0,23	0,17	0,18	0,14	0,17	0,14
Ta	0,69	1,04	0,37	0,17	0,34	0,12	0,08	0,04	0,07
Hf	2,57	1,56	0,78	1,67	0,73	0,57	0,54	0,64	0,51
Rh**	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Pd**	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ir**	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,20
Pt**	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5,00
La/Yb _N	2,40	2,42	4,17	4,95	3,46	4,18	2,21	1,11	1,37

Análisis geoquímicos de roca total para muestras de afloramientos de rocas máficas-ultramáficas en el área de estudio. Elementos mayoritarios (% en peso de óxidos), elementos traza (ppm) y elementos del grupo del platino (ppb). n.d. no determinados.

que en las muestras del área según Brogioni (2001) aparece asociado al metamorfismo. La intrusión de los cuerpos máficos según establecieron Hauzenberger *et al.* (2001) causa un metamorfismo de contacto en la facies granulitas (paragénesis mineral: grt-crd-sil-bt-ms-Kfs-pl-qtz-rt-ilm±opx, a 740 a 790 °C y 5.7 a 6.4 Kbar). Posteriormente, durante el enfriamiento de los cuerpos una zona milonítica retrograda la mayoría de las rocas en facies granulita a condiciones de facies anfibolita (paragénesis mineral: grt-bt-sil-pl-ms-qtz-rt±Kfs, a 590 a 650 °C y 5.4 a 6,0 Kbar). Sin embargo, a pesar de que los afloramientos de rocas máficas-ultramáficas han sufrido los fenómenos de deformación con formación de milonitas máficas en los contactos con el basamento metamórfico, foliación de las rocas máficas y deformación dúctil de las capas con estratificación modal tal como fuera descripto. Según Ferracutti *et al.* (2006) en su estudio de la composición de los espinelos de Las Águilas, los autores determinaron que las ortopiroxenitas poseen espinelos tipo I y dunitas-harzburgitas poseen espinelos tipo II, ambas clases de espinelos con una química diferente pero cuyos núcleos aun conservan características magmáticas primarias a pesar de arrojar valores termométricos para su cristalización de 710 a 725°C.

CONCLUSIONES

Los cuerpos máficos-ultramáficos corresponden a intrusivos magmáticos que se encuentran alojados en rocas del basamento metamórfico de medio a alto grado cuyo rumbo dominante es NE. El contacto entre ambos grupos litológicos es a través de fallas, en ocasiones con formación de milonitas máficas con granates (características heredadas del basamento metamórfico), o a través de contactos intrusivos. Las fallas principales que limitan los cuerpos ígneos del basamento metamórfico poseen ángulos de buzamiento de alto grado ya que superan los 75° y mayormente son superiores a 80°, tanto al este como al oeste. En general, en los afloramientos las rocas del clan máfico se encuentran mejor representadas y tienen mayor distribución areal, en tanto que en subsuelo las rocas ultramáficas se presentan con mayor frecuencia. Sin

embargo, ambos clanes de rocas han sido reconocidos en los dos ambientes mencionados. En los cuerpos del norte (Escuela Las Pircas, Virorco y El Fierro) la proporción de rocas ultramáficas se incrementa en comparación con los situados al sur, lo cual estaría indicando la presencia de niveles estructurales más profundos al norte. En los afloramientos las rocas ultramáficas identificadas comprenden ortopiroxenitas y websteritas, en tanto que en subsuelo han sido identificadas además dunitas y harzburgitas. Por otra parte, las noritas son las rocas máficas más abundantes, seguidas por noritas clinopiroxénicas.

En algunos sectores de Las Higueras y de Virorco, se identificaron afloramientos de rocas máficas-ultramáficas con textura magmática primaria de tipo estratificada no-uniforme, que según la estructura y fábrica corresponde al tipo de "estratificación modal" de regularidad intermitente. Estructuralmente, la estratificación de los cuerpos es buzante en diversas direcciones, ya que los mismos integran bloques basculados. Dada la falta de continuidad de los afloramientos con estratificación resulta muy difícil determinar la posición original de los distintos bloques.

Los patrones de los elementos de las tierras raras normalizados a Condrita permiten identificar un proceso de diferenciación, con enriquecimiento de los contenidos de tierras raras según el grado de evolución de las rocas, es decir, desde dunitas y harzburgitas, hasta noritas y metagabroides (estas últimas como miembros más evolucionados). Considerando que la composición de los núcleos de los espinelos de las rocas ultramáficas asociados a las dunitas y ortopiroxenitas es de tipo magmática primaria y los contenidos de tierras raras observados en ortopiroxenitas-websteritas y dunitas-harzburgitas, es posible inferir que la cristalización magmática estuvo fundamentalmente controlada por la presencia del olivino y el ortopiroxeno.

El enriquecimiento de tierras raras livianas en las rocas máficas-ultramáficas estudiadas se interpreta como un resultado de los fenómenos de recristalización y/o deformación y metamorfismo.

Finalmente, el depósito Las Águilas y cuerpos aledaños se asemejan a depósitos mun-

diales tales como Jinchuan (China), que corresponden a complejos estratificados, asociados con ambientes tectónicos dominados por procesos extensivos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado a través del proyecto 24/H066 otorgado por la SGCyT-UNS otorgado a E. Bjerg. G. Ferracutti agradece al CONICET por una beca de posgrado de 4 años y a la SGCyT-UNS por el otorgamiento de una beca externa cumplida en el Institute of Earth Sciences, Department of Mineralogy and Petrology, University of Graz, Austria. Los autores agradecen las oportunas sugerencias y comentarios de las correctoras Dras. Diana Mutti y Stella Poma.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Brogioni, N. 1992. El cuerpo máfico-ultramáfico de Las Águilas, Provincia de San Luis. Mineralogía de los silicatos. 1º Reunión de Mineralogía y Metalogénesis y 1a Jornada de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de Rocas Ultrabásicas, Actas 379-392. La Plata, Argentina.
- 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. 2001. Petrología de los cuerpos Virorco y El Fierro, faja máfica-ultramáfica del borde oriental de la sierra de San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina 56(4): 535-547.
- Brogioni, N. y Ribot, A. 1994. Petrología de los cuerpos 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.
- Chai, G. y Naldrett, A. 1992. The Jinchuan Ultramafic Intrusion: Cumulate of a High-Mg Basaltic Magma. Journal of Petrology 33: 277-303.
- Cox, K. G., Bell, J. D. y Pankhurst, R. J. 1979. The interpretation of igneous rocks. George Allen and Unwin, 450 p., London.
- Delpino, S. H., Dimieri, L., Bjerg, E. A., Kostadinoff, J., Mogessie, A., Hoinkes, G., Hauzenberger, Ch. A. y Felfernig, A. 2001. Geometric analysis and timing of structures

on mafic-ultramafic bodies and high grade metamorphic rocks in the Sierras Grandes of San Luis Province, Argentina. Journal of South American Earth Sciences 14(1): 101-112.

- Delpino, S. H., Bjerg, E. A., Ferracutti, G. R. y Mogessie, A. 2007. Counterclockwise tectonometamorphic evolution of the Pringles Metamorphic Complex, Sierras Pampeanas of San Luis (Argentina). Journal of South America Earth Science 23: 147-175.
- Dupuy, C., Mevel, C., Bodinier, J. y Savoyant, L. 1991. Zabargad peridotite: Evidence for multistage matasomatism during Red Sea rifting. Geology 19: 722-728.
- 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, Strasbourg.
- 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, Bahía Blanca, Argentina, (inérita), 260 p., San Luis.
- Ferracutti, G.R y Bjerg E.A. 2001. Estudio Petrográfico-Calcográfico de las rocas máficas-ultramáficas del yacimiento Las Águilas, Provincia de San Luis, Argentina. 11º Congreso Latinoamericano de Geología y 3º Congreso Uruguayo, Trabajo 171 en CD-ROM, Montevideo.
- Ferracutti, G., Mogessie, A. y Bjerg, E.A. 2006. Chrome spinels from the Las Águilas mafic-ultramafic intrusion, San Luis province, Argentina. Neues Jahrbuch für Mineralogie (en prensa).
- 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, Universidad de Granada, 461-464, Granada.
- Gervilla, F., Sanchez-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.

- Gordillo, C. y Lencinas, A. 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. En Turner, J.C.M. (ed.) *Geología Regional Argentina*, Academia Nacional de Ciencias 1: 577-650, Córdoba.
- Hauzenberger, Ch. 1997. The Sierras de San Luis, Central-Argentina- metamorphic, meta-logenic, and geochemical investigations. Tesis Doctoral, (inédita), 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 of 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. 1997a. Platinum group minerals in the basic to ultrabasic complex of the Sierras de San Luis, Argentina. En: *Mineral Deposits: Research and Exploration-Where Do They Meet?* En Papunen, H. (ed.), A. A. Balkema Publishers, 439-442, Brookfield.
- Hauzenberger, Ch. A., Mogessie, A., Hoinkes, G., Bjerg, E. A., 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.
- 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.
- IUGS 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. En Le Maitre, R. W. (ed.) Blackwell Scientific Publications, 193 p., Oxford.
- Kilmurray, J. O. y Villar, L. M. 1981. El basamento de la Sierra de San Luis y su petrología. En Yrigoyen, M. (ed.) *Geología y recursos naturales de la provincia de San Luis*, 8° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 33-54, San Luis.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 68: 277-279.
- Mallimacci, H. S. 1985. Informe de prospección sector rocas básicas, Provincia de San Luis. Informe, Dirección General de Fabricaciones Militares, Centro de Exploración Geológico-Minera (CEGM), (inédito), PAGINAS.
- 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., Stumpf, E. F., Bjerg, E. A. 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* 139: 347-348.
- Mogessie, A., Hoinkes, G., Stumpf, 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. and Zak, K. (eds.) *Mineral Deposits: from Their Origin to Their Environmental Impact*, Balkema Publishers 897-900, Brookfield.
- Sabalúa, J. 1986. Yacimiento Las Águilas. Mineralización Ni-Cu-Co, Departamento Pringles, Provincia de San Luis, República Argentina. Informe final, DGM, Subdirección de Desarrollo Minero, Centro de Exploración Geológico Minero, (inédito) 32 p., Mendoza.
- Sabalúa, J., Chabert, M. y Santamaría, 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.
- 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*, Geological Society of London, Special Publication 142: 259-281.
- Sun, S. y McDonough, W. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. En Saunders A.D. y Norry M.J. (eds.) *Magmatism in ocean basin*, Geological Society, Special Publication 42: 313-345, London.
- Twiss, R. J. y Moores, E. M. 1992. *Structural Geology*. W. H. Freeman and Company, 532 p., New York.
- Winter, J. 2001. *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall, 699 p.

Recibido: 9 de octubre, 2006
 Aceptado: 15 de abril, 2007