

# ELEMENTOS DEL GRUPO DEL PLATINO EN ALGUNAS ROCAS MÁFICAS Y ULTRAMÁFICAS DE LA REPUBLICA ARGENTINA

Luisa María Villar

CONICET, SEGEMAR, Email: [lvillar@arnet.com.ar](mailto:lvillar@arnet.com.ar)

Susana Juana Segal,

SEGEMAR. Email: [ssegal@mecon.gov.ar](mailto:ssegal@mecon.gov.ar)

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es presentar análisis de PGE de distintas zonas de rocas ultramáficas ofiolíticas paleozoicas y precámbricas y, del Complejo alcalino de Puesto La Peña en la Argentina. Los datos aquí presentados son un aporte más al conocimiento de los procesos geológicos de las distintas áreas.

## ANÁLISIS DE PGE

En la Tabla 1 figuran los análisis de PGE realizados en muestras seleccionadas en distintas partes de Argentina por XRAL Laboratorios de Canadá. Se llevaron a cabo con copelación de níquel y posterior análisis ICP- MS. En esta tabla figuran también los sitios de proveniencia de las muestras. El mapa de ubicación geográfica y geológica de las mismas se encuentra en la figura 1.

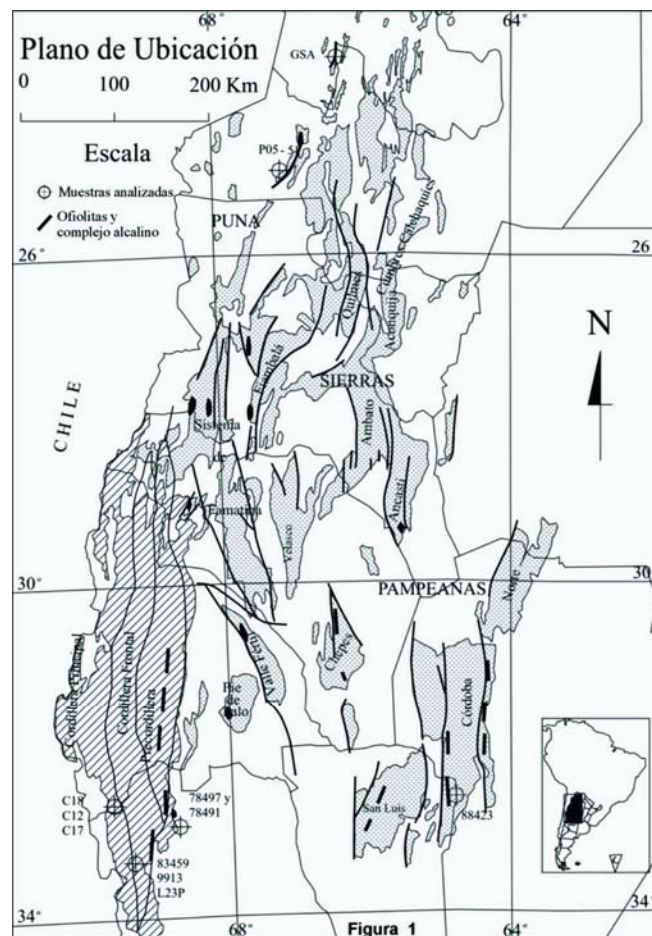


Figura 1 – Mapa de ubicación de muestras

## PETROLOGÍA, MINERALOGÍA Y TENORES DE PGE

### Ofiolita de la Precordillera de Mendoza

Las muestras C 18, C12 y C17 corresponden al complejo ofiolítico de la Sierra de Cortaderas provincia de Mendoza. Está constituido por tectonitas basales, piroxenitas, dunitas, gabros masivos y estratificados, rodingitas, plagiogranitos y diabasas metamorizadas. La ofiolita de la Precordillera de Mendoza, en la Sierra de Cortaderas y el Cordón de Bonilla fue estudiada por (Davis *et al.* 1999); Los mapeos geológicos estructurales y geocronológicos demostraron que la misma no conforma una sola unidad sino cuatro unidades que se encuentran yuxtapuestas a lo largo de cuatro zonas dúctiles de “shear” en el Devónico temprano a medio. Estas son: el complejo ultramáfico estratificado asociado con gneisses cuarzo-feldespáticos continentales sometidos a metamorfismo temprano (facies granulita); la sección ofiolítica máfica, y otras dos, representadas por coladas basálticas muy alteradas y sills diabásicos a microgábricos alojadas las primeras en un complejo metasedimentario/metavolcánico y las segundas en una unidad carbonática/metalimolítica. El complejo ultramáfico estratificado está formado por peridotitas serpentinizadas, cumulos ultramáficos y gabros estratificados que han sufrido metamorfismo en facies granulita lo mismo que la roca de caja (gneisses cuarzo feldespáticos). Davis *et. al* (1999) interpreta al complejo ultramáfico estratificado como corteza continental profunda en el margen este de Chileña; tiene un emplazamiento extensional; éste es congruente con la apertura ordovícica y la penetración de corteza oceánica. Las muestras C17, C18 y C12 pertenecen al complejo ultramáfico estratificado. Los contenidos de PGE son escasos entre 1 y 2 ppb de Pt, 02 a 07 de Ir y 3 ppb de oro estando los elementos restantes del grupo ausentes a causa del límite de detección del método (Tabla 1)

Las muestras C18 y C17 son gabros granulitizados constituidos por granate, plagioclasa muy alterada, piroxeno y anfíbol castaño, muestran una textura granoblástica gruesa y fracturación. Se observan granos idioblásticos de granate fracturado y otros de diópsido. Estos últimos predominan sobre una matriz de plagioclasa muy acidificada a minerales como sericita, titanita y epidoto. La roca no muestra recristalización aparente. El espectro total de platinoideos no se encuentra presente.

La muestra C12 de la Sierra de Cortaderas es una tectonita formada por un agregado de serpentina o sea una serpentinita de textura “mesh” con muy bajos contenidos de PGE. La presencia del espectro total de platinoideos de la muestra C12 es congruente con un origen oceánico y no continental. Presenta 5ppbde Pt, 4ppb de Ru, 6 de Pd y 2.3 de Ir, con solo 3 ppb de Au.

**Tabla 1- Elementos del grupo del platino y oro en rocas ultramáficas de la República Argentina**

Elementos analizados		Ir	Ru	Rh	Pd	Re	Os	Pt	Au
Unidad analítica	Localidades	Ppb	Ppb	Ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
<b>Límite de detección</b>		<b>0,1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
C18	Sierra de Cortaderas	0,7	-1	-1	2	-1	-3	2	3
C12	Sierra de Cortaderas	2,3	4	-1	6	-1	-3	5	3
C17	Sierra de Cortaderas	0,2	-1	-1	3	-1	-3	1	3
DUP-C18	Sierra de Cortaderas	0,3	-1	-1	2	-1	-3	4	4
83859	Novillo Muerto	3,5	5	-1	3	-1	-3	4	4
99-13	Mina La Barrera	2,6	4	-1	4	-1	-3	4	2
L23P	Mina La Barrera	1,3	2	-1	1	-1	-3	4	212
DUP-L23P	Mina La Barrera	1,4	2	-1	1	-1	-3	4	206
78497	Puesto La Peña	0,2	-1	-1	13	-1	-3	10	6
78497bis	Puesto La Peña	0,2	-1	-1	11	-1	-3	6	12
78491	Puesto La Peña	-0,1	-1	-1	2	-1	-3	-1	14
GSA-	Santa Ana	-0,1	-1	-1	3	-1	-3	-1	2
88423	C <sup>a</sup> San Lorenzo	0,1	-1	-1	2	-1	-3	-1	5
PO5	Salar de Pocitos	0,6	-1	-1	6	-1	-3	22	4
51	Salar de Pocitos	0,7	1	-1	13	-1	-3	5	5

Los minerales opacos predominantes en la muestra C12 son: agregados granulares de tamaño variable entre 40 y 150 micrones de magnetita subhedral, espínelos exsueños euhedrales y diseccionados. Los espínelos exsueños se observan como pequeños cuerpos dispersos en magnetita, esta última en algunos sectores están intercrecida con láminas de ilmenita y pequeños granos de ulvoespínelo. Existen escasos espínelos cromíferos diseminados en la muestra. Algunos pueden ser probablemente gahnita.

### **Mina La Barrera**

En la ofiolita de la Cordillera Frontal de Mendoza (ver figura 1) se emplaza el complejo ultramáfico de la mina La Barrera formada por una brecha ultramáfica cementada por la mena masiva. Esta última se encuentra también diseminada. Los clastos de esta brecha (99-13) son principalmente cumulos de olivina serpentizados que muestran una textura pseudomórfica tipo “mesh” en parte interpenetrativa. Los minerales opacos en esta roca son agregados granulares diseminados pequeños de pirrotina, calcopirita y mackinawita. El intercrecimiento de mackinawita se observa como lamelas parcialmente orientadas en pirrotina y calcopirita. En algunos agregados con calcopirita se encuentran granos orientados de valleriita. Escasas microvenillas de awaruita cruzan la muestra. Los valores de PGE son 2.6 de Ir, 4ppb de Ru, 4 ppb de Pd, 4ppb de Pt y, 2 ppb de Au.

La mena masiva: (muestra L23P), está constituida por dos variedades de pirrotina. Una, de color oscuro, relacionada a procesos de mayor temperatura con peculiar laminación; y otra más clara que es producto de alteración de la anterior, llegando a constituir en sectores, el “producto intermedio” con la clásica textura en “flames”. Está moderadamente deformada y fisurada. La pirrotina clara tiene escasas desmezclas de pentlandita orientadas según clivaje. La calcopirita en menor proporción que pirrotina es de grano pequeño y está intercrecida con esta última. Los contenidos de PGE y Au son: 4ppb de Pt, 2ppb de Ru, 1 de Pd y 1,3 de Ir. El tenor de Au es de 206 a 221 ppb. Esta mena empobrecida en PGE, como todas las mineralizaciones de la Cordillera Frontal muestra contenidos de Ag y Zn. Estos cuerpos mineralizados, inicialmente de origen magmático son posteriormente removilizados con los aportes acuíferos de los plutones granítico-granodioríticos cercanos de Edad Gondwánica que se encuentran mineralizados con sulfuros de cobre (Donnari, inédito) lo que es consistente con la presencia de estos dos últimos elementos (Llambias *et al.*, 1993).

### **Novillo Muerto**

Dentro de la ofiolita de la Cordillera Frontal de Mendoza, se analizaron los elementos de grupo del platino en rocas ultramáficas metaperidotíticas constituidas por forsterita y diópsido de grano muy grueso. Los contenidos de PGE observados presentan el espectro completo: 3.5 ppb de Ir (el elemento más inmóvil), 5 ppb de Ru, 3, ppb de Pd, 4 ppb de Pt y, 4 ppb de Au. Los minerales opacos son pirrotina, pentlandita, cobalto pentlandita, calcopirita, oro, electrum, espínelos cromíferos, mackinawita, y como productos de reemplazo se observan violarita y bravoita.

### **El Complejo Alcalino de Puesto La Peña**

El complejo alcalino paleógeno Puesto La Peña, Precordillera de Mendoza, está constituido por dos facies ígneas fundamentales una de piroxenita y otra: la asociación malignita-borolanita. Está integrado por una estructura concéntrica formada por estas rocas y diques anulares y radiales de tipo traquítico. En la primera facies magmática se han determinado PGE en las piroxenitas finas y gruesas. Las piroxenitas son rocas de textura adcumular formadas por diópsido-hedenbergita (Villar y Zappettini, 2000). Están caracterizadas por 65 a 85% de cristales de piroxeno con opacos intersticiales principalmente magnetita; pueden tener biotita rica en la molécula annita en cantidades menores y, apatita. La melanita es el granate típico de este complejo. La apatita está englobada en los minerales opacos tales como magnetita, ilmenita y ulvoespínelo. Se han encontrado piroxenitas estratificadas donde el bandeado es modal y composicional; se alternan capas de clinopiroxenita adcumular con opacos y biotita intersticiales; con, otras más finas, formadas por clinopiroxeno con mineral opaco intersticial, sin biotita. La estratificación de estas rocas

ultramáficas es macroscópica y microscópica. Las piroxenitas principalmente magnetíticas se han investigado por PGE. Los opacos son intersticiales intercumulares, (Brodtkorb, M en Villar *et al.*, 2004). Los minerales opacos de este Complejo constituyen un mosaico de magnetita con desmezclas de espinelo magnesiano. La magnetita está formada por granos idiomorfos a subidiomorfos en parte martitizada. Presenta desmezclas de ilmenita en forma de tablillas y en sus bordes se observan granos de espinelo magnesiano y de ulvoespinelo según arreglo cúbico y octaédrico. Este conjunto está surcado por venillas conformadas por magnetita y un espinelo posiblemente crómico. Escasa presencia de piritita y calcopirita. Se observó un grano de 30 micrómetros muy reflectivo que puede corresponder a una especie con níquel o aun platinoideo. Se observan muy pocas inclusiones de calcopirita. Estas rocas han sido detectadas por oro, paladio iridio y platino. La magnetita contiene 0.2 de Ir, 6 a 10 ppb de Pt, 11 a 13 ppb de Pd y, 6 a 14 de Au (Tabla 1).

### GABRO GSA de Santa Ana

El gabro de Santa Ana es parte de la ofiolita desmembrada de la Puna (Jujuy) (figura 1). Está alojado en pelitas ordovícicas. Es parte de un complejo ordovícico (Blasco, *et. al.*, 1996) constituido por un enjambre de cuerpos de gabros con piroxeno y plagioclasa de textura ofítica a poikilofítica. Al sur de estos cuerpos afloran los gabros estratificados de Santa Ana caracterizados por macitos alterados y plagioclasa. Estos están estratificados y metasomatizados con enriquecimiento en calcio, prehnita, titanita, epidoto, ilmenita. Son muy pobres en elementos preciosos; contienen 2 ppb de Au y 3 ppb de Pd.

### Salar de Pocitos (Formación Ojo de Los Colorados)

La serie estratificada del Complejo máfico ultramáfico Formación Ojo de Los Colorados en el Salar de Pocitos, forma parte de la ofiolita desmembrada de la Puna (Salta) (Blasco *et al.* 1996) (Zappettini *et al.* 1994). Está formada por el complejo gábrico estratificado de una secuencia ofiolítica ordovícica. En la misma se han reconocido una parte ultramáfica basal a la que se superpone una serie gábrica, ambas formadas por distintos cumulos. La muestra PO5 es principal mente diabásica y la 51 es una peridotita con fuertes características cumulares. Esto indica que la ofiolita ha tenido cámaras magmáticas poco profundas con escasa diferenciación, tal como en las fosas oceánicas marginales, el rifting del tipo Chilenia a fosas medio oceánicas angostas.

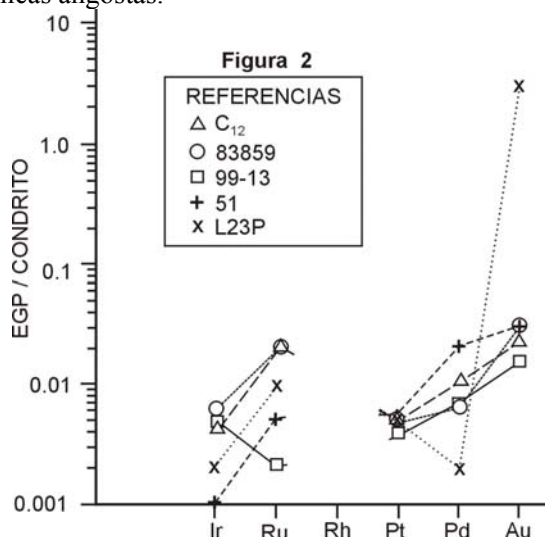


Figura 2 – Tenores de los PGE normalizados a condrito

La muestra PO5 se encuentra enriquecida en sulfuros y por ello fue seleccionada para estos primeros análisis. Presenta un enriquecimiento en Pt, dando 22ppb, además de 0.6 de Ir, 6 ppb de Pd y 4ppb de Au. Esta serie estratificada en la muestra PO5 nos muestra una roca de textura diabásica rica en piroxeno

altamente uralitizada. Está constituida por plagioclasa básica, tabular y escasa plagioclasa zonal de hábito corto, clinopiroxeno tabular, anfíbol con uralitización generalizada. El clinopiroxeno se encuentra en tablillas de gran tamaño largo o corto, maclado con algunas fracturas y bordes uralitizados; a veces presenta tendencias a textura radiada. Intersticialmente a los piroxenos aparece la plagioclasa básica en tablillas, maclada según Carlsbad. El mineral opaco anhedral acompaña la uralitización de los piroxenos, indica un origen hidrotermal favoreciendo su enriquecimiento en algún mineral de mena. Están presentes epidoto y cloritas (minerales verdes).

La muestra 51 que pertenece a la parte basal ultramáfica de la serie estratificada del Salar de Pocitos es un típico cumulado de olivina idiomorfa parcialmente serpentinizada, sobre todo en los bordes de los cristales con clinopiroxeno, netamente intercumular. El clinopiroxeno intercumular (diópsido) aparece en grandes y escasos individuos óptimamente continuos. Parte del material intercumular está formado por mafitos serpentinizados y cloritizados. Puede existir tremolita. Se observa hornblenda castaña que reemplaza al diópsido intercumular o cristaliza a partir de los grandes individuos de diópsido en continuidad. Existe mica castaña, plogopita, intercumular aparentemente muy titanada. Esta roca que en la clasificación general es aparentemente una wherlita, no muestra ortopiroxeno cuya presencia permitiría clasificarla como una lherzolita. Los opacos que se observan son idiomorfos, intercumulares, incluidos en la olivina. Se presenta una moderada proporción de titanomagnetita, agregados irregulares de magnetita arborescente intercrecidos con ilmenita. Es notable la presencia de ulvoespinelo resultante de un proceso de exsolución de óxidos de Fe-Ti y algunos espinelos cromíferos. Esta peridotita presenta el espectro general de los platinoides como es normal en una peridotita ofiolítica 5ppb de Pt, 5 ppb de Ru y 13 de Pd y 0.7 de Ir y, 5ppb de Au (Tabla 1).

### **Cerro San Lorenzo**

Este cuerpo de gabro estratificado de textura coronítica está relacionado con la ofiolita de la Sierra Grande de Córdoba de edad precámbrica. Es concordante. La estratificación es modal y composicional dada por la alternancia de capas de cumulatos de plagioclasa, olivina, ortopiroxeno, y clinopiroxeno con otras de color gris claro donde predomina la uralitización. La olivina forma cristales anhedrales con inclusiones de ulvoespinelo. Muestra coronas de reacción formadas por una zona interna de ortopiroxeno y una zona externa simplectítica de hornblenda y espinelo: El clinopiroxeno se encuentra en las coronas o en cristales simples que presentan laminación ígnea. Villar *et al.* 1993) La plagioclasa está determinada como anortita (Tosselli *et al.*, 1977) pero puede ser más ácida. Se encuentran otros cumulatos plagioclasa clinopiroxeno; plagioclasa; clinopiroxeno-olivina; andesina media y cuarzo intercumular. Los minerales opacos son pirita, calcopirita, pirrotina, pentlandita, valleriita, pentlandita, mackinawita, “producto, intermedio” y covelina intercumulares y diseminados (Villar *et al.*, 1993). El gabro coronítico del Cerro San Lorenzo presenta diseminaciones de escasos PGE 6 ppb: de Pd y 0.6 de Ir y 6 ppb de Au (Tabla 1).

### **Geoquímica y discusión**

En la figura 2 se han proyectado los perfiles de PGE y Au normalizados a condrito con los valores de Naldrett y Duke (1980). Estos se encuentran en perfiles discontinuos en el elemento Rh que puede estar presente en cantidades inferiores al límite de detección del método (Tabla 1). Las peridotitas provenientes de ofiolitas muestran perfiles primitivos con anomalías de Ru de tipo ofiolítico (C12-83859y 99-13). Tienen “spiders” alterados por metamorfismo parecen levemente empobrecidas en Pt y enriquecidas en Au, proceso, este último, que se produce durante la serpentinización (Leblanc 1990). Estas rocas contienen altos tenores de Ir lo que es consistente con la inmovilidad de este elemento. Se observa alto Ir en todas las peridotitas de tipo ofiolítico de la Cordillera Frontal de Mendoza y en los cuerpos mineralizados de Mina La Barrera. Las anomalías de Au de esta mena están relacionadas con la actividad de fluidos en sistemas ultramáficos portadores de Ni, Cu y PGE o con aportes de batolitos circundantes. La permanencia del Ir y del Ru puede relacionarse también con la existencia de los espinelos que se observan en los cuerpos ultramáficos. (Barnes y Maier, 1999).

En esta consideración geoquímica se puede destacar que la secuencia más completa de PGE y Au se observa en las peridotitas de origen ofiolítico. El Pt y Pd son recolectados preferentemente por las mezclas más silicatadas a causa de su radio iónico menor y la disminución de su coeficiente de partición en el magma más sulfurado, sobre todo en presencia de Cu y Ni, en tanto, se concentran en gabros ( PO5 y San Lorenzo) estratificados o en complejos alcalinos. En el Salar de Pocitos (ofiolita desmembrada de la Puna ) el aumento en el contenido de Pt coincide con procesos de metamorfismo hidrotermal asociados a la serpentinización y uralitización de los gabros.

La muestra 51 (Salar de Pocitos) nos da una curva ascendente que coincide con los perfiles de las series estratificadas de las ofiolitas y confirma el origen de la misma.

Puesto la Peña, complejo alcalino en Mendoza concentra escaso Ir, y mayor Pd y Au, ya que sus extremos ultramáficos son piroxenitas. El Pd y el Au están asociados a la mineralización magnetítica presente.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Barnes, S. J., and Maier, W.D. (1999) The fractionation of Ni, Cu and noble metals in silicate and sulphide liquids. From Dynamic processes in magmatic ore deposits and their application in mineral exploration. Geological Association of Canada. Short courses. Volume 13. pp. 97-106
- Blasco, G., Villar, L. y Zappettini, E. O.(1996). El complejo ofiolítico desmembrado de la Puna Argentina, Provincias de Jujuy, Salta y Catamarca. XIII Congreso Geológico Argentino. Actas III. Pp 653-667.
- Davis, J. S., Roeske, S.M. , Kay, S. M. and McClelland, W. C. (1999). Closing the oceans between the Precordillera terrane and Chilenia : Early Devonian ophiolite emplacement and deformation in the southwest Precordillera, in Ramos, V.A. and Keppie, J.D., eds., Laurentia-Gondwana Connections before Pangea: Geological Society of America. Special Paper 336, pp. 115-118
- Leblanc, M. (1990). Platinum-Group Elements and Gold in Ophiolitic complexes. Distribution and fractionation from mantle to Oceanic Floor from Ophiolite Genesis and Evolution of the Oceanic Lithosphere. pp. 231-260. Proceedings of the Ophiolite Conference held in Muscat, Oman. Kluwer Academic Publishers.
- LLambias, E., Kleiman, L. E. y Salva redí, J. A. (1993) El magmatismo Gondwánico. Geología y Recursos Naturales de Mendoza. Ed. Victor Ramos. XII Congreso Geológico Argentino. Capítulo I-6. pp. 53-64
- Naldrett, A. J. and Duke, J.M. (1980). Platinum metals in magmatic sulfide ores. Science 208. pp. 1417-1424.
- Villar, L. M., Candiani, J. C, Miró, R. C, Segal, S.J., (1993), El gabro estratificado del Cerro San Lorenzo. Dto. Calamuchita, Córdoba. Su interés económico. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas, Tomo V. pp.175-181.
- Toselli, A. J., Rossi de Toselli, J.N. y Toselli, G.A. (1977). El gabro coronítico del Cerro San Lorenzo, Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Tomo XXXII. N°3. pp.161-175.
- Villar, L. M. y Zappettini, E.D. (2000) El complejo alcalino paleógeno de Puesto La Peña, Mendoza, Argentina. IX Congreso Geológico Chileno. Simposio Internacional N°2. Magmatismo Andino. Abstracts. pp. 697-701.
- Villar, L. M.; Zappettini, E. O. y Hernández, L. (2002). Mineralogía del complejo alcalino de Puesto La Peña, provincia de Mendoza, Argentina, 6to Congreso de Mineralogía y Metalogenia. Eds M. K. de Brodtkorb, M. Koukharsky y P.R. Leal. Universidad de Buenos Aires. pp. 453-460.
- Zappettini, E., Blasco, G y Villar, L.(1994) Geología del extremo sur del Salar de Pocitos. Provincia de Salta, República Argentina. 7º Congreso Geológico Chileno. Actas. Volumen 1, pp. 220-224.

## ***Agradecimientos***

*Este trabajo fue financiado por el Servicio Geológico Minero (SEGEMAR) (Proyecto PASMA) y PIP 02424. CONICET Se agradece al Proyecto PICT107-087241 SECYT.*