

Elementos del grupo del platino y sus minerales. Modelos de depósitos en la Argentina y en el mundo

Luisa M. Villar y Susana J. Segal



Capas de cromita platinífera de la serie peridotítica basal del Complejo Stillwater, USA.

***Elementos del grupo del platino y sus minerales.
Modelos de depósitos en la Argentina y en el
mundo***

Luisa M. Villar * y Susana J. Segal**

* CONICET ** SEGEMAR. IGRM

AUTORIDADES

PRESIDENTE DE LA NACIÓN

Dr. Néstor Kirchner

MINISTRO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

Arq. Julio De Vido

SECRETARIO DE MINERÍA

Ing. Jorge O. Mayoral

SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO

Presidente: Ing. Jorge O. Mayoral

Secretario Ejecutivo: Lic. Pedro Alcántara

INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES

Director: Lic. Roberto F.N. Page

DIRECCIÓN DE RECURSOS GEOLÓGICO-MINEROS

Director: Dr. Eduardo O. Zappettini

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Esta publicación debe citarse como:

Villar, L. y S. Segal, 2007. Elementos del grupo del platino y sus minerales. Modelos de depósitos en la Argentina y en el mundo. Contribuciones Técnicas N° 30. Instituto de Geología y Recursos Minerales, 41p., SEGEMAR, Buenos Aires.

ISSN 0328-2325

ES PROPIEDAD DEL INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES – SEGEMAR
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Origen e Historia	1
1.2. Usos	2
2. MINERALOGÍA DEL GRUPO DEL PLATINO	3
3. ROCAS MÁFICAS Y ULTRAMÁFICAS PORTADORAS DE EGP	4
3.1 Nomenclatura y Clasificación	4
3.2. Texturas usuales de las rocas cumulares portadoras de EGP y MGP	4
4. GEOQUÍMICA	5
4.1. Fraccionamiento de los elementos del Grupo del Pt	5
4.2. Ubicación preferencial de las menas	8
5. MODELOS DE DEPÓSITOS DE EGP	8
5.1. Magmatismo en áreas tectónicamente estables	9
5.1.1. Intrusiones estratificadas	9
5.2. Magmatismo en áreas tectónicamente inestables	10
5.2.1. Gabros de rift	10
5.2.2. Greenstone belts	10
5.2.3. Intrusiones emplazadas durante la orogénesis	10
5.2.3.1. Ofiolitas	10
5.2.3.2. Complejos ultramáficos zonales	11
5.3. Lateritas	12
5.4. Gossans	12
5.5. Placeres	12
5.5.1. Placeres de Au con EGP	13
5.5.2. Placeres de EGP con Au	13
5.6. Otros	13
5.6.1. Platino en lutitas negras	13
5.6.2. Carbonatitas	13
5.6.3. Pórfidos de Cu portadores de EGP	14
5.6.4. Menas de Cu hidrotermales y supergénicas	14
6. EXPLORACIÓN	14
6.1. Guías de exploración de depósitos magmáticos	14
6.2. Guías de exploración de depósitos hidrotermales	15
6.3. Exploración geofísica de menas	15

7. ASPECTOS ECONÓMICOS	15
8. EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO	17
9. COMPLEJOS MAGMÁTICOS Y DEPÓSITOS PORTADORES DE EGP EN LA REPÚBLICA ARGENTINA.....	17
9.1 EGP en rocas máficas y ultramáficas	17
9.1.1 Complejos estratificados	17
9.1.2 Ofiolitas	18
9.2. Otros yacimientos portadores de EGP	18
9.2.1 Depósitos hidrotermales	18
9.2.2. Placeres	18
9.3. Descripción de las yacencias	18
9.3.1. Complejos máficos-ultramáficos estratificados	18
a. Complejo estratificado de Fiambalá, provincia de Catamarca	18
b. Complejo estratificado de La Cocha, provincia de Córdoba	19
c. Cerro San Lorenzo, provincia de Córdoba	22
d. Yacimiento Las Águilas, San Luis	24
e. Complejo estratificado Tecka-Tepuel	27
9.3.2. Ofiolitas	27
a. Ofiolita Ojo de Los Colorados, provincia de Salta	27
b. Ofiolita de la Precordillera de Mendoza San Juan	27
9.3.3. Ofiolita de la Cordillera Frontal de Mendoza	29
9.3.4. Ofiolita de la Sierra Grande de Córdoba	30
9.4. Depósitos Hidrotermales con MGP	32
9.4.1. Mina Chire y Mina Las Asprezas, La Rioja	35
9.5. Complejo alcalino	35
9.5.1. Puesto La Peña , provincia de Mendoza	35
9.6. Placeres	36
9.6.1. Placer El Páramo, Tierra del Fuego	36
10. CONSIDERACIONES GENERALES	37
BIBLIOGRAFÍA	38

ELEMENTOS DEL GRUPO DEL PLATINO Y SUS MINERALES. MODELOS DE DEPÓSITOS EN LA ARGENTINA Y EN EL MUNDO

Luisa M. Villar * y Susana J. Segal**

* CONICET ** SEGEMAR. IGRM

PRESENTACIÓN

Este trabajo compendia y actualiza la metalogénesis de los elementos del grupo del platino (EGP) y sus minerales, los ambientes geológicos con los que se asocian los yacimientos así como su potencial geológico – minero en la Argentina.

Los seis elementos del grupo del platino (EGP): ruthenio, paladio, osmio, iridio, rodio y platino, y los minerales del grupo del platino (MGP) son en este momento uno de los grupos de más relevancia industrial y económica. Por lo tanto esta publicación adquiere importancia dado que ciertas manifestaciones descriptas pueden llegar a constituir « blancos » de exploración de interés para la industria minera y contribuir así al proceso de inversión en Argentina.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ORIGEN E HISTORIA

La ocurrencia natural del platino y las aleaciones ricas en platino se conocen desde hace mucho tiempo. Aunque el metal fue usado en épocas precolombinas, la primera referencia europea menciona la aparición del platino en 1557 en los escritos del humanista italiano Julius Caesar Scaliger (1484-1558) como una descripción de un misterioso metal encontrado en minas de América Central entre Darién (Panamá) y México (Platinum group-Wikipedia, 2006)

Aunque el platino se considera un metal «nuevo» en su forma actual, tiene una larga historia.

En 1748 el español Ulloa menciona la ocurrencia de «Platina» en sus viajes a Sudamérica. En 1750 se presentaron las propiedades del metal en la Real Sociedad de Londres.

El físico francés P.F. Chabaneau fue el que primero obtuvo platino maleable en 1789 con el objeti-

vo de fabricar un cáliz que se regaló al Papa Pío VI. Parece que fue el químico británico W. H. Wollaston la primera persona que obtuvo una muestra de platino puro a principios de 1800. Las técnicas usadas por Wollaston en la separación de los metales del grupo del platino son consideradas como la base de la metalurgia moderna del platino.

En cuanto a los otros elementos del grupo del platino, en 1805 se descubrieron el paladio y el rodio a partir del estudio de los residuos de platino. El iridio y el osmio fueron descubiertos en el mismo año y el ruthenio fue separado de impurezas por G.Osan en 1827 y purificado y descripto por Klaus en 1847.

Los primeros datos sobre el uso del platino en América del Sur se remontan a la época precolombina, en la cual los indios del Ecuador fabricaron artículos de platino.

La minería del platino en Colombia se inició en los placeres platiníferos del Chocó en 1778 y fue durante 34 años la única fuente de este metal en el mundo hasta que se descubrieron los placeres rusos en los montes Urales en 1822, transformando a Rusia en ese momento, en el primer productor mundial.

Durante la Segunda Guerra Mundial la disponibilidad del platino estuvo limitada puesto que fue declarado un material estratégico. El uso del platino en la mayor parte de aplicaciones fuera del ámbito militar fue prohibido. Tras la guerra, el consumo de platino aumentó debido a sus propiedades como catalizador. Este crecimiento de la demanda fue consecuencia del desarrollo de técnicas de conversión molecular en el refinado de petróleo.

Uno de los mayores obstáculos para un uso más extenso del platino a lo largo de su historia ha sido su limitada oferta. Los depósitos de platino económicos están concentrados en unas pocas áreas del mundo, principalmente en Sudáfrica, Rusia y Canadá que ha sido un productor importante desde 1936. En las últimas décadas se han abierto nuevas minas

y se han desarrollado nuevas técnicas para la minería de este elemento.

En Sudáfrica se conoció la existencia de EGP y MGP en el siglo XIX. En 1925 se encontró el primer yacimiento de Pt relacionado con el lopolito de Bushveld.

El hallazgo fue reportado en 1892 y en 1923 se hizo el primer descubrimiento de platino en la región de Trasvaal Central. La producción de platino y asociados a partir de minerales de níquel y cobre en los complejos de Bushveld se inició en 1925.

La principal producción mundial proviene de rocas máficas y ultramáficas, como así también de complejos sedimentarios y de placeres. Los elementos del grupo del platino se encuentran constituyendo numerosos minerales tales como sulfuros, arseniuros, seleniuros, telururos, antimoniuros, minerales de Bi y aleaciones formadas por distintos elementos del citado grupo junto con Cu, Ag, Au, Fe, Ni, Sn, Sb, As. Están también contenidos en los silicatos.

1.2. USOS

El platino, que es un metal raro, escaso y costoso, presenta ciertas propiedades físicas y químicas que lo hacen único. Al platino se le conoce como el metal del medio ambiente. En realidad, aproximadamente el 20% de los productos que se fabrican en el mundo contienen platino o se producen utilizando platino.

Las específicas propiedades químicas y físicas, su resistencia al ataque químico, sus propiedades eléctricas estables hacen que este grupo de elementos del platino sea de uso esencial en muchas aplicaciones ejemplificadas a continuación.

Su aplicación industrial más importante tiene relación con su extraordinaria actividad catalizadora, su inercia química a altas temperaturas y su alto punto de fusión. En algunas aplicaciones la combinación de dos o más de estas características hace que el grupo del platino sea insustituible en la industria.

En la industria química, el platino junto con el paladio y el rodio se usan como catalizadores en productos químicos y farmacéuticos, en la producción de ácido nítrico y en la fabricación de equipos alimentarios tales como conservante en alimentos como la manteca de maní.

El platino junto con el paladio y el rodio son los principales componentes de los catalizadores que reducen en los vehículos las emisiones de gases como hidrocarburos, monóxido de carbono u óxido de nitrógeno. Los catalizadores convierten la mayor par-

te de estas emisiones en dióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua que resultan menos dañinos. Este es el segundo sector de mayor uso de platino alcanzando el 21% de la demanda total de Pt en 1999.

En la industria del petróleo son usados catalizadores de platino, platino-iridio, platino-renio (en procesos de reformación) para incrementar el octanaje de las gasolinas y para producir benceno, tolueno y xileno para usos químicos. Además los catalizadores de platino también se utilizan en procesos de isomerización y producción de derivados del petróleo.

Las aleaciones de paladio-rodio se usan en algunas partes de los hornos para fundición de vidrio y como protectores de los moldes para fabricar vidrio óptico.

Los metales del grupo de platino son utilizados en la fabricación de una amplia variedad de objetos electrónicos y eléctricos.

Platino, paladio y aleaciones de Cu- Au y Ag se usan como materiales de restauración dental por su resistencia a la corrosión y al esfuerzo. Estas últimas cualidades sirven para disminuir el tamaño de muchas piezas de porcelana durante la fundición.

En medicina se emplean para cauterización en agujas hipodérmicas y marcapasos, formando parte de los aparatos de alta complejidad. También, y siempre dentro del uso médico, se utiliza en drogas anticancerígenas y en implantes. Es conocido su valor en joyería donde se lo procesa principalmente al 95% de pureza, tal como representa el sello en los diferentes productos mediante la marca Pt 950. El primer mercado mundial de joyería de platino es Japón. Posteriormente experimentó un fuerte crecimiento en China. Este grado de pureza contrasta con otros metales preciosos como, por ejemplo, el oro, cuya pureza se sitúa normalmente entre el 35 y el 75%.

El grupo EGP es imprescindible para otras muchas industrias : la producción de fibras sintéticas,

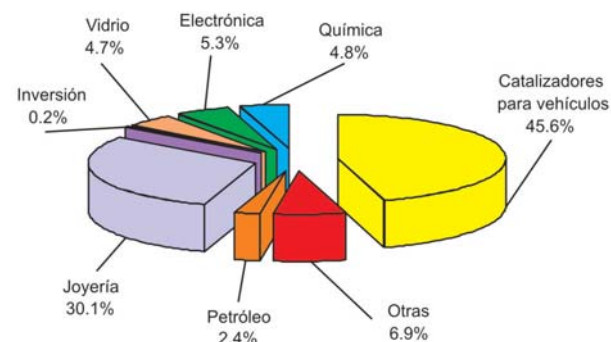


Figura 1: Demanda de platino por aplicaciones en 2005

Fuente: elaboración propia UNCTAD basado según estadística de Jonson Matthey platinum

construcción de motores de jet, sistemas galvánicos, para protección de barcos en oleoductos y en cohetes espacial.

El platino se usa en fertilizantes y explosivos como una gasa para la conversión catalítica de amoníaco en ácido nítrico. También se utiliza en la fabricación de siliconas para los sectores aerospacial, automotor y construcción. En el sector de la gasolina es empleado como aditivo de los carburantes para impulsar la combustión y reducir las emisiones del motor. Además, es un catalizador en la producción de elementos biodegradables para los detergentes domésticos.

2. MINERALOGÍA DEL GRUPO DEL PLATINO

Los EGP ocurren en la naturaleza como aleaciones naturales y constituyendo compuestos químicos. Las aleaciones son soluciones sólidas y tienen rangos tan amplios en su composición media como sus características cristalográficas lo permiten.

Los minerales del grupo del platino (MGP) en general se presentan como granos tamaño menor a 200 micrones y «nuggets» que representan un complejo de intercrecimiento multimineral. Los MGP son opacos por los que se los estudia mediante microscopía por luz reflejada. Una característica óptica importante de los minerales del grupo es que todos tienen una alta reflectividad superior al 45% con un rango variable entre 38 y 74%.

Son pesados, insolubles en la mayoría de los ácidos, funden a temperaturas comprendidas entre 1549° y 2700° C y su dureza oscila entre 4, 8 y más de 7 (tabla 1). El iridio es el metal más pesado y el osmio el más duro.

El tamaño por lo general pequeño de los minerales ofrece una limitación o complicación para su

método determinativo, ya sea mediante microscopía por reflexión, identificación por rayos X o microidentificación de su dureza.

En la Tabla 2 se agrupan los minerales del grupo del Pt constituidos por los elementos del grupo Pt (EGP) en su relación con diversos aniones u otros metales con los que están combinados constituyendo aleaciones.

La mayor parte de los sulfuros ocurren como gotas («blebs») irregulares y granos intersticiales entre silicatos y/o óxidos. Muchos «blebs» son de granulación gruesa pero muy variables en tamaño. Oscilan entre 1mm hasta algunos centímetros. La mayor parte de los MGP tienden a ocurrir como inclusiones idiomorfas (braggita, cooperita, sperrylita y laurita) pero las aleaciones Pt-Fe, especialmente en aquellas áreas donde es un constituyente importante, ocurren finamente intercrecidos con los sulfuros de metales base (SMB) o más raramente con choperita; la braggita tiende a asociarse con pentlandita. Los sulfuros portadores de Pt y arseniuros exhiben fisuramiento en zonas donde han sido disturbados. Estos fracturamientos debido a su fragilidad, muchas veces están rellenos por sulfuros. Ejemplos mundiales presentan exsoluciones de iridiosmio en Pt como «nuggets» en forma de finas tablillas o granos (Craig, 1994).

Los EGP se concentran en los sulfuros de metales base (SMB) constituidos por pirrotina, pentlandita y calcopirita en orden de abundancia decreciente. Sulfuros subordinados son cubanita, mackinawita y piritita. También, en algunos depósitos del mundo se concentran en cromita desarrollando formas alotriomorfas y en otros óxidos de Fe, Ti, Mg.

Los EGP como producto de descomposición de arseniuros de platino o sulfuros tienen forma reniforme o forman masas concrecionales que exhiben una estructura concéntrica.

Nombre	N° Atómico	Peso Atómico	Densidad (20°C)	Dureza	Punto de Fusión (°C)	Punto Ebullición (°C)	Características
Platino	78	195,08	21,4	4,5	3827	1969	quebradizo
Iridio	77	193,1	22,65	6,5	2443	4500	quebradizo
Osmio	76	190,2	22,61	7	3045	5020	quebradizo
Rutenio	44	101,7	12,45	6,5	2310	4080	quebradizo, en frío maleable. Alta T°
Rodio	45	102,9	12,41	6	1960	3700	quebradizo en frío, maleable a altas T°
Paladio	46	106,7	12,02	4,8	1552	2900	Maleable y dúctil

Tabla 1. Propiedades físicas de los EGP

Elemento	Rutenio	Rhodio	Paladio	Osmio	Iridio	Platino
S	Laurita	prassoita	vysotslita	erlichmanita	xingzhongita	braggita
Se			oosterboschita - palladseita			
Te			keithconnita - kotulskita - merenskyita - telluropalladinita			moncheita
As	anduoita- ruthernarse nita		atheneita - majakita - stillwaterita	omeiita	iridarsenita	sperrylita
As S	Ruarsita	hollingworthita		osarsita	irarsita	platarsita
As Sb			arsenopalladinita- isomertieita			
Sb			stibiopalladinita-sudburyita			genkinita-geversita- stumpflita
Sb As			isomertieita			
Sb Te			borovskita - testibiopalladita			
Bi			froodita-polarita- sobolevskita			insizwaita
Bi Te			michenerita			masiovita
As Bi			palladobismutharseniuro			
Sn			atokita - paolovita - stannopalladinita			niggliita
Pb			plumbopalladinita			
Hg			potarita			
Hg Te			temagamita			
EGP binario				iridosmio	osmiridio- platiniridio	
EGP ternario	ruthenirid omio				ruthenosmiridio	
Cu						hongshiita
Fe						isoferroplatino
FeCu						tulameenita
Metal	rutenio	rhodio	paladio	osmio	iridio	platino

Tabla 2. Principales minerales del grupo del platino y aleaciones (Cabri, 1981)

En la Tabla 3 se detallan las principales características microscópicas de los EGP (Cabri, 1981), (Ramdohr, 1982)

3. ROCAS MÁFICAS Y ULTRAMÁFICAS PORTADORAS DE EGP

3.1 NOMENCLATURA Y CLASIFICACIÓN

A fin de poder comprender correctamente el tema es necesario exponer la petrografía de las rocas máficas y ultramáficas portadoras de EGP y MGP en forma modal y cumular.

Una clasificación modal en un sentido más práctico es la que se muestra en página 6 y que puede ser usada tanto en el laboratorio como en el campo a los fines de prospección y relevamiento.

3.2 TEXTURAS USUALES DE LAS ROCAS CUMULARES PORTADORAS DE EGP Y MGP

Los complejos estratificados máficos - ultramáficos y los alaskianos están constituidos por capas o estratos de distinta composición. Estas capas o estratos pueden ser dunitas, harzburgitas, piroxenitas, noritas, gabros, magnetitas y/ o cromitas. Muchas de ellas se forman por sedi-

Propiedades	Platino	Iridio	Paladio	Osmiridio	Osmio	Rodio	Rutenio
Color	blanco, lustre metálico	blanco	gris acero	blanco con tinte grisáceo	blanco con un tinte gris azulado	blanco brillante	blanco con un tinte crema
Cristalización	cúbico	cúbico	cúbico	hexagonal	hexagonal	cúbico	hexagonal
Pleocroísmo	-	-	-	-	es pleocroico	-	
Dureza	4-4,5	7	4,5 - 5		6 - 7	3.5	6.5
Reflectividad	muy alta	72%	70%	72%	61%	73.70%	
Anisotropía		isótropo	isótropo	isótropo	anisótropo con colores que varían del verde al naranja	isótropo	leve
Maclas	según (111) formadas por deformación mecánica						
Zonación	a veces se reconoce por diferencias en la dureza entre el núcleo y los bordes del cristal						
Estructura y textura	forma reniforme, inclusiones regulares, pequeños agregados, exsoluciones, como producto de reemplazo de sperrylita	similar al platino	crisales pequeños octaédricos, intercrecimiento con granos anhedral de Pt	tabillitas generalmente macladas. Granos idiomorfos en placeres. Como exsolución en aleaciones de Pt-Fe	crisales prismáticos euhedrales	granos subhedrales simples	granos tabulares
Minerales asociados		aleaciones Pt-Fe, aleaciones Pt-Ir, aleaciones Os-Ir-Ru, cromita			aleaciones de Pt-Fe, aleaciones de Os-Ir-Ru, algunos MPG. Cromita y sulfuros de Ni-Cu-Fe	Pt,Pd-Au, aleaciones Pt-Fe, telururos de PGE, sulfuros, arseniuros, pirita, calcopirita, pentlandita, cromita, grafito	aleación de Pt y rutenioiridiosmio
Observaciones				mezcla isomorfa hexagonal, a veces con cantides menores de rutenio. Desacreditado como mineral			

Tabla 3. Características ópticas de los EGP.

mentación magmática de cristales, o intrusión de nuevos magmas. Los cristales que se sedimentan se denominan primocristales y dan lugar a una nomenclatura de clasificación que se denomina *cumular*. Por ejemplo, una harzburgita es una roca compuesta modalmente por olivina y ortopiroxeno; si el primocristal que decantó es la olivina, en tanto el ortopiroxeno es un mineral formado por el líquido intersticial en el cual decantó la olivina, la nomenclatura nos dice que este es un cumulado de olivina y la clasificación modal nos indica que es una harzburgita. De este mismo modo supongamos que un gabro está formado por diópsido y plagioclasa siendo el primocristal la plagioclasa, que generalmente es euhedral, en tanto el piroxeno crece a partir del líquido residual del magma y es intersticial a la plagioclasa. La roca es modalmente un gabro pero es un cumulado de plagioclasa.

4. GEOQUÍMICA

4.1. FRACCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL GRUPO DEL PLATINO

Los EGP tienen la particularidad de particionarse en los sulfuros o cromitas de los distintos tipos de complejos de una forma diferente.

Para el análisis de la distribución de los contenidos de los EGP, éstos se normalizan al valor de los contenidos de los mismos elementos en el condrito tipo C1, (según Naldrett y Duke, 1980) es decir se dividen por los valores hallados en el mismo que son: 514 (Os), 540 (Ir), 690 (Ru), 200 (Rh), 1020 (Pt), 545 (Pd) y 152 (Au); estos valores se calculan para los contenidos en rocas o sulfuros, dando curvas características determinativas como puede observarse en los *spiders* de la Figura 2.

1. Rocas con olivina

1.a. DUNITA

olivina 95% + plagioclasa → **troctolita** (Bytownita 84%, olivina Fo 86 35%)

1.b. PERIDOTITAS

Harzburgita olivina+ortopiroxeno
(si la plagioclasa está presente en cantidad, la roca pasa → **noritas olivínicas** poco comunes)

Wherlita olivina+ clinopiroxeno
(si la plagioclasa está presente en cantidad, la roca pasa → **Picritas y gabros olivínicos**
labradorita 60%
Olivina 10%
Augita 27% (apatita y óxidos de titanio))

Lherzolita olivina + ortopiroxeno + clinopiroxeno
+ plagioclasa

2. Rocas sin olivina (PERKNITAS)

2.1. PIROXENITAS

2.1.1. Ortopiroxenitas

Enstatolita 95% Enstatita (si se suma plagioclasa pasa a ser norita)
Broncitita 95% Broncita (si se suma plagioclasa pasa a ser norita)
Hiperstenita 95% Hipersteno (si se suma plagioclasa pasa a ser norita)

2.1.2. Clinopiroxenitas

Diopsidita 95% Diópsido (si se suma plagioclasa pasa a ser gabro)
Diallagita 95% Diallaga (si se suma plagioclasa pasa a ser gabro)
Augitita 95% augita
+ plagioclasa → **gabros** An₇₉ 60% augita 23% hornblenda verde 12 %, sulfuros y apatita

Jacupirangita 95% aegirina (clinopiroxenita alcalina)

2.1.3. Clinortopiroxenitas

Websterita clino y ortopiroxenos intercrecidos
+ plagioclasa → **gabronorita**,
augita e hipersteno en igual cantidad + plagioclasa → **eucritas**

2.1.4. Piroxenitas con más de un 30% de otro mineral

Piroxenitas hornbléndicas
Piroxenitas biotíticas

2.1.5. Rocas con 95% de mena (óxidos)

Magnetita 95% de magnetita
Cromitita 95% de espinelos

Los spiders son los denominados «diagramas araña» por la forma característica que poseen.

Los gráficos de la Figura 1 muestran los valores de EGP contenidos en los *complejos alaskianos*, en las *cromititas podiformes de las ofiolitas* y en los *complejos estratificados*. Se encuentran normalizados a condrito y proyectados en diagramas donde las abscisas son los elementos del grupo del platino y

las ordenadas contienen la escala semilogarítmica de los valores obtenidos. Los perfiles son característicos de cada tipo de complejo ultramáfico.

En el diagrama A se observa un «spider» con puntos máximos que corresponde a dos anomalías en Ir y Pt respectivamente y dos mínimos en Ru y Pd. El diagrama B de este tipo de Complejos realizado sobre los placentes asociados coincide con el anterior pero muestra una ano-

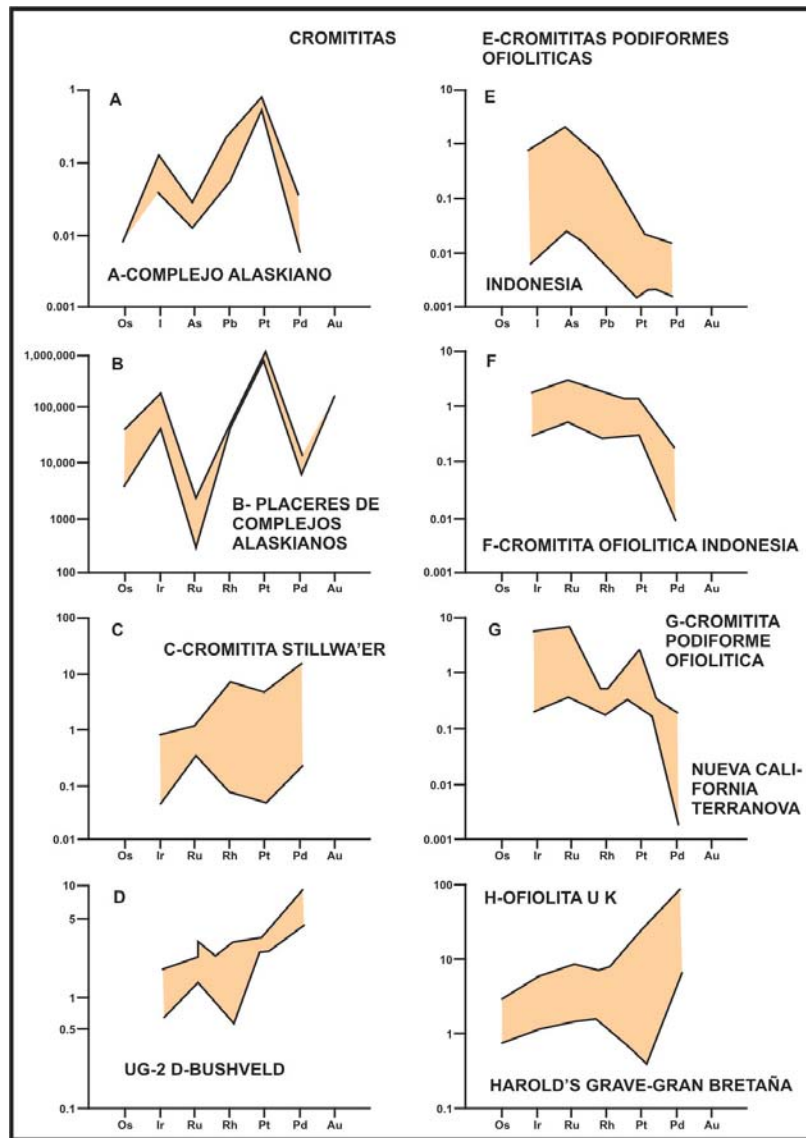


Figura 2. Tenores de los elementos del grupo del platino normalizado a condrito C1 de diversas ofiolitas del mundo

malía positiva en Au que acompaña, a la también positiva, de Pt. Este tipo de perfiles muestra una fuerte anomalía negativa de Rh.

El C2 (Stillwater), también es un complejo estratificado que presenta « spider» con pendiente positiva mostrando anomalías negativas en Ir y Ru, positivas en Rh y máximos en Pt y Pd.

En el diagrama D (Bushveld) se observan pendientes con tendencias positivas que corresponden a los Complejos estratificados y se caracterizan por anomalías negativas de Ir y Ru y positivas de Pt y Pd.

En el diagrama G (Ofiolita de Nueva California Terranova) el «spider» es característico de las cromititas de las ofiolitas que presentan curvas de pendiente negativa con anomalías positivas en Ir, Ru y Rh mostrando un descenso hacia el Pt y el Pd

Los perfiles descriptos demuestran que cada tipo de complejo ultramáfico tiene un perfil característico de los elementos del grupo del platino.

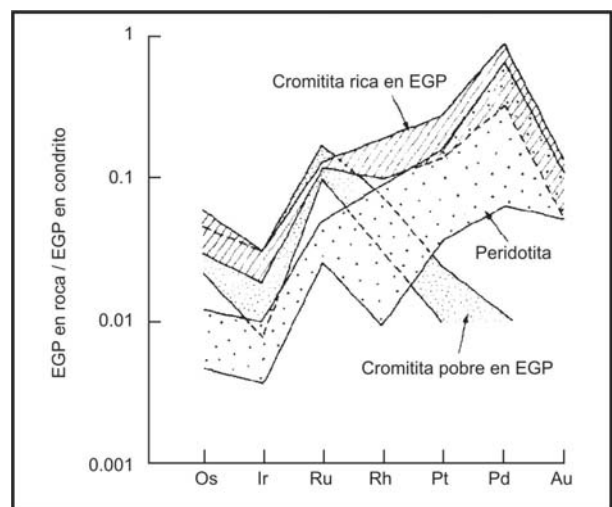


Figura 3. Perfiles de PGE en rocas de Bird River Sill (Ontario-Canadá). Los datos fueron normalizados a condrito con los valores usados por Naldrett y Duke (1980). El rango mostrado para las peridotitas está basado principalmente en el grupo inferior o subunidad 3 y algunos valores del grupo Disrupted Group; el rango de las cromititas pobres en PGE está basado en otras cromititas de otros Complejos (Talkington et al. 1983)

Básicamente el Ir y el Ru forman aleaciones que predominan en las cromititas y en general en las ofiolitas. Mientras el Pt y el Pd, forman compuestos con As, S, Sb, Bi que se asocian a la fase sulfurada de los complejos estratificados.

Inicialmente esto se explica porque en las ofiolitas predomina el Cr y en presencia de sus compuestos los elementos Ir y Ru son altamente inmóviles, tienen radio iónico menor del grupo de los EGP; mientras en Pd y el Pt son de mayor radio iónico y por lo tanto migran hacia la fase sulfurada dentro del magma (Barnes y Mayer, 1999).

Puede haber Ir y Pd en la olivina inicialmente formada. En este ambiente el contenido bajo de Pd implica la ausencia de inclusiones de sulfuros y la afinidad del Ir por la olivina.

Hay una fuerte correlación entre el Ir y el Cr en las olivinas inicialmente formadas, sugiriendo que las inclusiones de cromita son responsables de los altos contenidos de Ir de la olivina. Este último elemento no se encuentra ni en las plagioclasas ni en los clinopiroxenos.

La cristalización fraccionada del magma máfico empobrece sucesivamente al magma en Ir y probablemente en Ru y Os. El Pd y el Pt no se particionan en los silicatos tempranos, por lo menos no tanto como el Ir.

Los «spiders» anteriormente descriptos solo son exactos para los ambientes magmáticos. Dentro de los mismos, o en el contexto de la geología asociada se producen procesos hidrotermales que varían la traza de los perfiles produciendo remobilización general a distintas temperaturas lo que lleva a la variación en la concentración de los distintos elementos.

4.2. UBICACIÓN PREFERENCIAL DE LAS MENAS

La concentración de sulfuros magmáticos está relacionada y se asocia con:

- 1) variaciones abruptas en la asociación de minerales cumulares, incluyendo mayores cambios litológicos, cambios en el orden de cristalización, discontinuidades en los patrones del fraccionamiento mineral y las unidades cíclicas;
- 2) rocas cerca del contacto inferior de la intrusión que pueden contener xenolitos de la roca de caja y estar caracterizadas por variaciones irregulares en el tamaño del grano, mineralogía y textura;
- 3) rocas cerca de la base de una colada o
- 4) rocas pegmatoideas enriquecidas en minerales

que cristalizan tardíamente en los magmas silicatados.

Por lo tanto, para el desarrollo de un modelo portador de EGP y MGP las variables principales son la composición de las rocas encajantes, la abundancia y los distintas variaciones mineralógicas de silicatos y sulfuros y en menor extensión la composición mineral de los mismos.

En los casos donde los magmas son pobres en sulfuros como en las series cumulares de algunas ofiolitas, el espinelo crómico es el concentrador más importante de EGP incluyendo Ru, Os e Ir. Pero si se produce la saturación de sulfuro, como por ejemplo, en los *complejos estratificados*, hay una fuerte participación de los EGP en la fase sulfurada.

En las ofiolitas, por ejemplo, si la facie sulfurada es muy grande, la concentración de Pd e Ir es mucho mayor que en las cromititas.

La deformación y alteración puede remobilizar los sulfuros que contienen EGP en una brecha o mena brechada y segregar sulfuros en fracturas, planos de clivaje y venas asociadas a los complejos mineralizados, preferentemente estratificados. Los conjuntos mineralógicos remobilizados son relativamente más ricos en cobre que los que no lo están. Los grupos de sulfuros que han precipitado de fluidos a través de zonas de falla o diaclasas están dominados por la presencia de pirita.

5. MODELOS DE DEPÓSITOS DE EGP

Los elementos de grupo de platino (EGP) y minerales del grupo del platino (MGP) se encuentran asociados a:

1. Intrusiones o complejos máfico-ultramáficos en áreas tectónicamente **estables** (cratónicas) como los depósitos estratiformes.
 - 1.1. Grandes Complejos estratificados en cratones (ejemplos: Bushveld y Stillwater)
 2. En áreas tectónicamente **inestables** (no cratónicas). Las intrusiones que forman parte de esta clasificación son:
 - 2.1. Gabros de rift
 - 2.2. Greenstone Belts-Komatiitas
 - 2.3. Intrusiones emplazadas durante la orogénesis
 - 2.3.1. Ofiolitas. Yacimientos podiformes de cromita
 - 2.3.2. Complejos ultramáficos zonales (Alaskianos)
 3. Lateritas
 4. Gossans
 5. Placeres

6. Misceláneos u otros tipos de complejos no bien definidos en los grupos anteriores

7. Depósitos sedimentarios de platino

5.1 MAGMATISMO EN ÁREAS TECTÓNICAMENTE ESTABLES

5.1.1. INTRUSIONES ESTRATIFICADAS

Las intrusiones máfico-ultramáficas estratificadas en áreas tectónicamente estables forman complejos constituidos por capas o estratos, encapados o estratificados en horizontes de distinta composición petrográfica, intercalados con otros que concentran los MGP tales como: el Horizonte Merensky Reef en el Complejo de Bushveld en Sud África o J.M. Reef en el Complejo de Stillwater en el estado de Montana U.S.A.y, en los horizontes de cromitita como el UG2 (Busvheld) o los horizontes de cromitita de Stillwater.

Presentan mineralizaciones del siguiente tipo: En el Horizonte Merensky Reef (Complejo Bushveld) la mineralización está constituida esencialmente por: pirrotina, calcopirita, pentlandita, cromita, grafito, y los minerales del grupo del platino (MGP) son: braggita, choperita, kotulskita, vysotskita, sperrylita, moncheita y aleaciones.

Otros tipos de Complejos Estratificados son: los horizontes estratiformes de sulfuros de Ni-Cu. cuyas mineralizaciones consisten en: pirrotina, calcopirita, pentlandita, sulfuros de Co con subproducto de elementos del grupo del platino (EGP).

El horizonte cromítífero UG2 tiene un alto contenido en metales preciosos fuera de las cromititas de Bushveld. El espesor promedio de los horizontes es de 1, 22m, el promedio de contenido de Cr_2O_3 es de 43, 67%, y la relación Cr/ Fe es 1.35. El contenido de metales preciosos varía entre 5.24 y 9.64 ppm; estos valores incluyen 0, 2 a 1, 4 ppm de Au. El promedio de EGP+Au es usualmente oscilante entre 6 y 7 ppm. El horizonte es persistente.

Aunque la presencia de EGP en el horizonte UG2 se conoce desde largo tiempo atrás, éste pasó a ser de interés económico en los últimos 10 años como consecuencia del aumento de la demanda y de los altos precios de los EGP.

Estos datos combinados con los avances de la tecnología para extracción hizo posible la economicidad de los horizontes cromítíferos.

Un ejemplo del contenido de minerales preciosos en el horizonte Merensky de Sudáfrica se encuentra en Rustenburg con los siguientes valores: 8.1 ppm de EGP+Au. Otros valores son: 4.82 ppm Pt, 2.04 ppm Pd, 0.66 ppm Ru, 0.24 ppm Rh, 0.08 Ir, 0.26 Au.

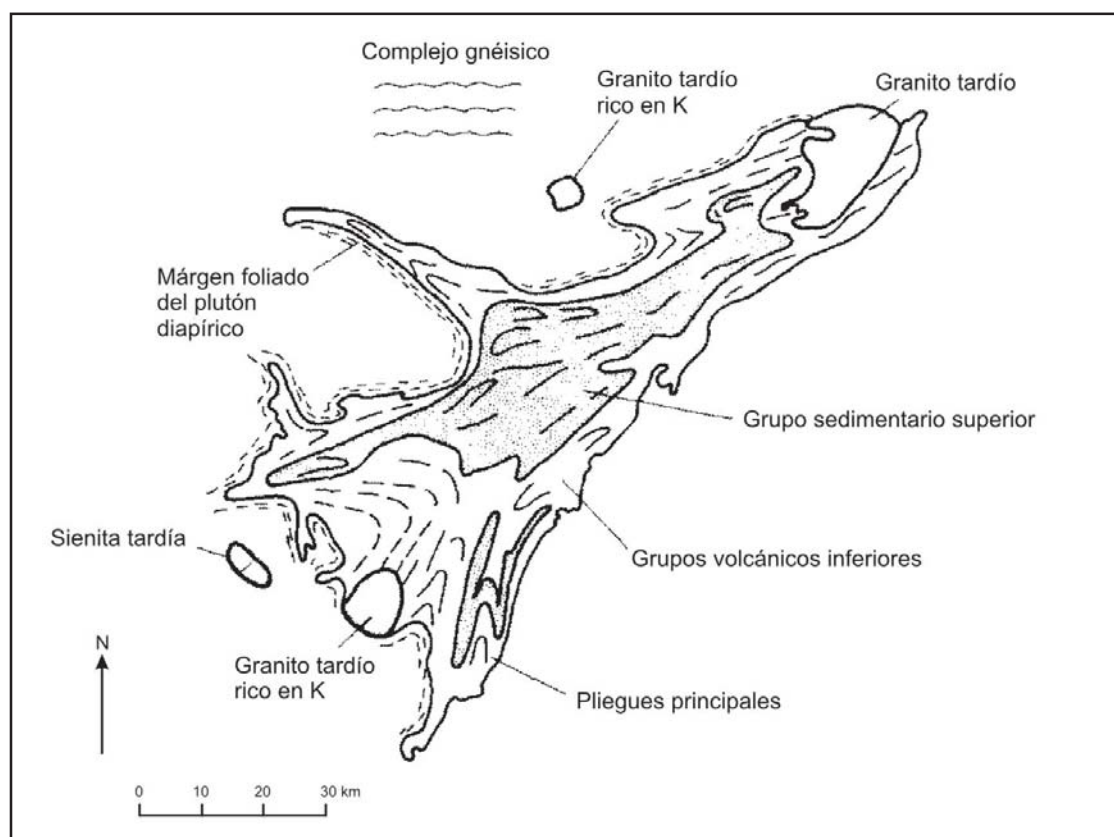


Figura 4. Rasgos geológicos característicos del «greenstone belt», Sudáfrica (Windley, 1997)

5.2 MAGMATISMO EN ÁREAS TECTÓNICAMENTE INESTABLES

5.2.1. GABROS DE RIFT

Los depósitos Noril'sk y Duluth son los más conocidos constituidos por rocas máficas y ultramáficas de rift que se forman a partir de inmensos volúmenes de basaltos de tipo plateau que intruyen discordancias tectónicas (rifts) producidos en áreas precámbricas de escudo. En el proterozoico medio a causa de la descompresión terrestre se observa una gran intrusión de basaltos de plateau que da lugar a las cámaras magmáticas. Su característica es la formación de múltiples cámaras magmáticas de diferente composición estratigráfica ígnea, en esto se diferencian de los complejos máfico ultramáficos estratificados que presentan una sola cámara magmática.

Un ejemplo es el **Complejo de Duluth** que aflora en el noreste del Estado de Minesota U.S.A. En Duluth los Complejos tienen un emplazamiento de 1.000 millones de años. Se extiende hasta el noreste de Kansas y llega al Lago Superior en Canadá

Se formó en dos etapas de intrusión de magma: una de tipo gábrico y otra de tipo anortosítico. Por último intruyeron gabros con olivina. A la pila de lava toleítica sobreyacen metasedimentos, formaciones de hierro bandeado y complejos graníticos. El magma primitivo es de tipo MORB

Las mineralizaciones diseminadas y masivas aparecen en la parte basal de estos complejos estratificados en peridotitas, piroxenitas, noritas, troctolitas y anortositas. Los minerales principales son: pirrotina, pentlandita, calcopirita, cubanita, minerales de platino y grafito

El Complejo de Noril'sk (USSR) está constituido por rocas intrusivas, gabros picríticos, noritas, gabros olivínicos. Presenta una mineralización de sulfuros diseminados y masivos constituida por pirrotina, pentlandita, calcopirita, cubanita, millerita, vallerita, pirita, bornita, gersdorffita, sperrylita, aleaciones de EGP, polarita, telururos de EGP, arseniuros y antimoniuros (Mogessie y Sainiedukat, 1992).

5.2.2 GREENSTONE BELTS

Los greenstone belts son asociaciones corticales ricas en series volcánicas que pueden estar constituidas por coladas komatiíticas hasta un 50%. Su edad es arqueana a proterozoico media habiéndose datado los más antiguos en 3 Ga.

Integran estos complejos volcánicos rocas intermedias a félsicas, inclusiones de sedimentos volcano-

clásticos, grauvacas, formaciones bandeadas de hierro y cherts con carbonato, cuarcita, arcosa, pizarra. Las series basálticas son IAB (basaltos de arco de islas) o CABI (basaltos calco-alcalinos). Son rocas con más de 40% de Mg

Las komatiitas forman coladas en las cuales se pueden identificar komatiitas *spinifex* caracterizadas por agujas de olivina o piroxeno en bases vítreas o peridotitas komatiíticas.

La mineralización de las komatiitas *spinifex* forma depósitos lenticulares, irregulares elongados a tabulares en forma de *pipe*. Los tipos de rocas que contienen los depósitos son dunita, piroxenita, basalto, komatiita, y basaltos komatiíticos.

Como ejemplo se describe un perfil vertical del greenstone belt de Barbeton. Comprende una parte basal formada por una intercalación cíclica de komatiitas y tobas basálticas denominada grupo máfico-ultramáfico al que sobreyace un grupo volcánico calcoalcalino formado por series que comienzan por peridotitas a las que sobreyacen basaltos y riolacitas; sobre esta se apoya un grupo sedimentario (Windley, 1997).

Los depósitos alojados en este tipo de rocas máficas ultramáficas tienen sulfuros de níquel como mena primordial, siendo los EGP subproductos (15 a 30 ppb de paladio en komatiitas). La mena se encuentra en la parte basal como masiva y hacia arriba como diseminada. Los sulfuros que la componen son pirita, pirrotina, calcopirita, pentlandita, EGP. Los contenidos de sulfuros varían de la base al techo del depósito, pasando a diseminados en esta sección. No se encuentran alterados. Los depósitos se encuentran en coladas que tienen un poco más de 10 metros en zonas donde hay aumento de textura *spinifex* cerca de las plumas de las coladas. Forman *gossans* y lateritas.

La exploración geoquímica de este tipo de depósitos se basa en el seguimiento de trenes de dispersión de Ni, Cu, Mg y EGP.

Existen cinturones proterozoicos orogénicos en el norte de Québec (Canadá) que contienen toleitas continentales a las que sobreyacen basaltos komatiíticos y basaltos P-MORB (basaltos de fondo oceánico enriquecido). Los diques relacionados con los basaltos komatiíticos están enriquecidos en sulfuros de Ni-Cu y elementos del Grupo del Platino (EGP).

5.2.3. INTRUSIONES EMPLAZADAS DURANTE LA OROGÉNESIS

5.2.3.1. Ofiolitas

Las ofiolitas son trozos de corteza oceánica que se generan en límites divergentes o convergentes de

placas y que por procesos tectónicos migran hacia los continentes, obductándose y produciendo acreciones de terrenos en la litosfera. Pueden formarse en bordes continentales durante procesos de adhesión de terrenos alóctonos.

Un perfil vertical clásico de una ofiolita es «el tipo Chipre», consta de una tectonita basal sobre la que sobreyace una serie de gabros estratificados sobre los cuales se apoya un complejo de diques que se encuentra cubierto por lavas almohadilladas y por último sedimentos pelágicos.

Los elementos del grupo del platino (EGP) se concentran en las tectonitas basales o en la serie estratificada, y también, en yacimientos podiformes de cromita asociados a las tectonitas basales y las series estratificadas. En esta última aparecen elementos del grupo del platino (EGP) asociados con sulfuros. También, importantes cantidades de EGP como subproducto se concentran en los yacimientos podiformes de cromita.

Los granos de cromita que cristalizan temprano en las cromititas podiformes recolectan los platinoideos en conductos (cuerpos podiformes) formando minerales de Os-Ir-Ru.

Las cromititas podiformes pueden ser pobres en EGP, (100–500) ppb (low spreading) o ricas en EGP 1 ppm (high spreading); los valores mayores están relacionados con la presencia de sulfuros intersticiales.

Los cuerpos de cromitas podiformes que se encuentran en la parte superior de las tectonitas de las ofiolitas son colectores de los elementos del grupo del platino (EGP), especialmente el Ir, Ru y Rh.

Estos depósitos son bolsones que se encuentran en la zona de contacto entre la tectonita y la parte basal de la serie estratificada.

Las texturas son de tipo: nodular, orbicular, gneísica, cumulática, «pull-apart». La mayoría de las texturas relicticas están modificadas o destruidas por flujo a temperaturas magmáticas.

Las edades de los cuerpos podiformes corresponden siempre a las edades de la ofiolita que las contienen, y se conocen cuerpos de edades precámbricas a terciarias.

La mineralogía básica es:

cromita±ferricromita±magnetita±aleaciones de Ru-Os-Ir ± laurita

El control de la mena está restringido a cuerpos de dunita en harzburgita tectonizadas o en la parte inferior de cumulos ultramáficos (Stowe, 1987).

En la sección cortical los EGP son fraccionados entre las rocas con aumento de la relación Pd/Ir desde dunita a gabro. El contenido muy bajo de EGP en

las lavas basálticas se debe a la separación del magma sulfurado antes de la extrusión de las mismas. En la base de la sección crustal se presentan los sulfuros ricos en EGP (en dunita rica en cromita o en piroxenita) o entre los gabros superiores.

Los procesos hidrotermales relacionados con la serpentización concentran principalmente Au (1–10) ppm en serpentinitas ricas en sulfuros o listwaenita (carbonatizada) o en serpentinitas silicificadas; donde los metales nobles están en sulfuros o arseniuros (Pritchard et al. 1986)

Los sistemas hidrotermales convectivos lavan la pila magmática y depositan en el océano:

- depósitos de sulfuros masivos (Tipo Chipre) que pueden ser ricos en Au (mayor de 1ppm)
- sedimentos metalíferos con ligeros enriquecimientos en Pt y Au.

Por último la meteorización y erosión puede concentrar EGP en lateritas y placeres asociados con las ofiolitas.

Los EGP económicamente importantes asociados al sistema ofiolítico (Coleman, 1977) se localizan en:

- 1) pods de cromitita (Os, Ir, Ru) que pueden ser ricos en Ru-Pt-Pd cuando hay sulfuros presentes;
- 2) serpentinitas ricas en sulfuros, serpentinitas carbonatizadas (listwaenitas) principalmente por Au;
- 3) rocas magmáticas portadoras de sulfuros (Ru-Pt-Pd);
- 4) sedimentos metalíferos exhalativos y
- 5) lateritas en placeres.

5.2.3.2. Complejos ultramáficos zonales (Alaskianos o uralianos)

Los complejos ultramáficos zonales tienen pequeña extensión areal, se disponen linealmente en cinturones orogénicos., en series de afloramientos a lo largo de kilómetros. Sus características petrológicas varían entre tholeíticas y alcalinas a subalcalinas. Presentan una zonación concéntrica con núcleos de dunita-peridotita y anillos de piroxenita olivínica hacia rocas menos máficas. Son importantes la piroxenita magnetítifera y la piroxenita hornbléndica porque concentran los EGP.

La sección ultramáfica puede formar el 90% (dunita, wherlita etc) del complejo.

El ortopiroxeno es muy escaso o se encuentra ausente. La plagioclasa cálcica se concentra en la zona externa está restringida al borde o a las pegmatitas de plagioclasa - hornblenda que cortan las rocas ultramáficas tempranas.

Se caracterizan por tener un anillo de gabro exterior a veces extensamente saussuritizado mas viejo que el interior de los cuerpos, y discordante respecto de los interiores.

Las pegmatitas hornbléndicas cortan al cuerpo y forman diques y venas que penetran las rocas gabroicas y pueden tener de 2, 5 cm a 60 m de espesor.

Hay presencia de aureolas metasomáticas y térmicas en la roca de caja que alcanza hasta facies granulita. El ortopiroxeno se halla típicamente ausente en estas rocas.

Como ejemplo, se mencionan los depósitos de Alaska que se originan en zonas de subducción en la base de un arco de islas. Los EGP en aleaciones y los sulfuros de Ni-Cu son típicos de estas zonas.

Algunos complejos están asociados con términos mas silíceos como diorita, granito y sienita. Este tipo de rocas contienen enriquecimientos económicos de Pt formando las menas principales.

5.3. LATERITAS

Las lateritas que pueden contener EGP se forman como suelos en o sobre los Complejos ultramáficos; afloran en zonas tropicales caracterizadas por una estación seca y una estación húmeda.

Las lateritas suelen constituirse sobre las secciones ultramáficas de las ofiolitas en límites de placas convergentes o en escamas alóctonas, en climas con predominio de lluvias intensas durante largos periodos de estabilidad tectónica. En esas superficies peridotíticas las lateritas están extensamente expuestas.

Los tipos de depósitos que dan origen a suelos lateríticos son cromitas podiformes, los placeres de platino y las serpentinitas mineralizadas con asbestos.

El mineral de níquel principal es la garnierita. Debido a que el contenido de Ni en algunas lateritas del mundo supera el 15%, estos yacimientos se explotan por tal metal constituyendo parte de la producción mundial de Ni.

En los diferentes horizontes de los suelos lateríticos, los EGP se concentran por solución conductiva, transporte y depositación. A medida que la meteorización se produce, las soluciones responsables de la laterización circulan a través de la laterita desde la parte superior hasta la parte ultramáfica inferior. La composición de estas soluciones ha causado un lavado químico de la zona meteorizada suficiente como para dar laterita o bauxita.

La cubierta densa de vegetación ha contribuido con coloides orgánicos en estas soluciones.

El transporte a través de la zona meteorizada es parte integral de este proceso y tiene que continuar con condiciones químicas adecuadas constantes hasta que concluya el mismo.

OsS₂ y RuS₂ pueden ser formadas a bajas temperaturas por un cambio en el Eh y Ph y el Os, Ir y Ru en solución pueden ser precipitados juntos como aleaciones. La presencia de hierro laterítico favorece la formación de Pt₃Fe y las aleaciones de Pt-Fe.

Los estudios teóricos han mostrado que el grupo de elemento del platino son móviles con condiciones muy ácidas ricas en ácido clorhídrico y alto Eh.

Este proceso produce transporte de oro con formación de «nuggets» en especial en presencia de los coloides orgánicos que son significativos para el movimientos de los EGP.

Las soluciones acuosas ricas en cloruros producen la concentración de níquel, oro, y elementos del grupo del platino en la capa enriquecida de las lateritas conformando una mena de bajo grado del grupo del platino y del níquel. Ni: 0, 5 a 2%

El platino se puede presentar como «nuggets» con superficies irregulares. El óxido de hierro es goethita y se encuentra en las cavidades de estos «nuggets» que contienen una gran cantidad de inclusiones de sulfuros de cobre, magnetita, hollingworthita, irasita, laurita, genkinita y stibiopaladinita. El osmio aparece como tablillas parcial o totalmente alteradas (Ejemplos: área La Gloria, Guatemala) (Cabri, 1981)

5.4. GOSSANS

Los contenidos de EGP en *gossans* son muy erráticos. Los valores de Pd e Ir en los *gossans* del oeste australiano formados sobre los depósitos de níquel son más elevados o similares a las rocas portadoras de sulfuros que se encuentran bajo los *gossans*. El enriquecimiento de Pd e Ir a partir de rocas ultramáficas lateritizadas con valores insignificantes de Ni es menor que en los *gossans* con níquel. (Cabri, 1981). Los «*gossans*» derivados de las komatiitas contienen 15 a 30 ppb de Pd y 5 a 10 ppb de Ir.

5.5 PLACERES

Los placeres de platino se originan más comúnmente a partir de las ofiolitas, de los complejos alaskianos, de rocas ultramáficas y de terrenos metamórficos de bajo grado.

Los depósitos de placeres contienen por lo general aleaciones del EGP en granos y raramente

en *nuggets* en gravas y arenas. Constituyen depósitos aluviales, de playa, eólicos y raramente glaciares.

Los placeres portadores de EGP se clasifican en dos grupos: Au con EGP y EGP con Au, según cual sea el metal predominante.

5.5.1. PLACERES DE AU CON EGP

Son comunes los depósitos en paleoplaceres, asociados a conglomerados terciarios asociados a zonas de fallas mayores y en áreas de escudo donde la erosión ha actuado durante mucho tiempo.

La mineralización consiste en oro, ferroplatino y osmio-iridio. Son comunes las anomalías asociadas de Ag, As, Hg, Sb, Cu, Fe, S y la presencia de minerales pesados asociados como magnetita, cromita, ilmenita, hematita, pirita, circón, granate y rutilo.

Ejemplos de este grupo son los yacimientos de Sierra Nevada (California) y Victoria (Australia)

5.5.2. PLACERES DE EGP CON AU

La composición de los líticos y de los minerales pesados en las gravas aluviales y conglomerados indican fuentes de rocas ultramáficas y terrenos metamórficos de bajo grado. El ambiente deposicional es marino costero, fluvial y eólico. La edad de los depósitos es terciaria a holocena. La mineralogía comprende aleaciones de Pt-Fe (isoferroplatino y tulameenita), platino-iridio, oro, osmio-iridio, magnetita, cromita e ilmenita.

La estructura de los depósitos se manifiesta como bolsones aplanados de bordes redondeados, laminares, las aleaciones y el oro son de granulometría muy fina, y comprende *nuggets* equidimensionales.

En cuanto a los controles de la mena son similares al grupo anterior. Es común su asociación con depósitos primarios alaskianos y con ofiolitas.

La geoquímica indica anomalías asociadas de Ag, As, Hg, Sb, Cu, Fe, S y Cr.

Ejemplos de este tipo de depósitos se encuentran en los Urales (Rusia) y en Goodnews Bay District (Alaska). El contenido medio de los concentrados de EGP en los placeres de este último distrito es de 73, 6% de Pt; 9, 9% de Ir; 1, 9% Os; 0, 15% Rd; 1-2% de Ru; 0, 34% Pd; 2, 1% Au y 10, 9% de impurezas.

Otros depósitos aluviales se encuentran en El Chocó (Colombia) y en el Distrito Tulamina (Colombia Británica)

5.6 OTROS

5.6.1 PLATINO EN LUTITAS NEGRAS

En algunas áreas restringidas de las lutitas negras que contienen los depósitos de Cu en Polonia, la lutita negra está reemplazada por calcáreos orgánicos (Kucha y Przybylowicz, 1999).

Los calcáreos organogénicos presentan un área rica en metales nobles estando los EGP asociados con querógeno y claustralita que se forma en el curso de la autooxidación catalítica del querógeno.

La dolomita subyacente contiene metales nobles en el límite con los calcáreos orgánicos.

La oxidación catalizada por los metales de transición y la desulfurización catalítica de la materia orgánica puede llevar al enriquecimiento en oro en valores arriba de 10 a 30 ppm y de Pd y Pt hasta 1 ppm en el parte basal de la lutita negra.

En los depósitos Kupferschiefer en Polonia se concentraron Cu- Ag-Pb-Zn-Fe y metales nobles además de otros elementos de transición por procesos de oxidación catalítica y desulfurización de la materia orgánica. Aparecen como varios horizontes bien definidos zonales desde la base hacia arriba: metales nobles, Cu, Pb, Zn y pirita.

Se han determinado contenidos en metales nobles en la matriz de las lutitas de hasta 1900 ppm de oro, 1900 ppm de Pd y 600 ppm de Pt (Kucha y Przybytouricz, 1999)

La distribución vertical de metales está controlada por las interfases de oxidación-reducción. En el lado reducido de la interfase que tiene hasta 0, 5 metros de grosor aparecen los siguientes minerales: una serie continua de Ag-Au; arseniuros y sufoarseniuros de Pd; sulfuros de Bi; tennantita; arseniuros de Co-Ni; caasteingita (sulfuro de Mo y Cu); tucholita; covelina y digenita. Del lado oxidado de la interfase que tiene hasta 1 m de espesor aparecen los siguientes minerales: Au muy fino; hematita; bismuturo de Pd; claustralita; Pb nativo; Oro con plomo; Pd nativo; grafito y relictos de materia orgánica. La porción oxidada de la interfase oxidación-reducción que contiene los metales nobles más bajos ocupa un área mayor que la contraparte reducida con sus altos valores metálicos.

5.6.2 CARBONATITAS

El Complejo de Palabora es un complejo magmático de 2030 Ma., concéntricamente zonal formado por piroxenita, sienita y carbonatita que se encuentra en cadenas de colisión paleoproterozoica

bien preservada en el este de África. Contiene un cuerpo mineralizado de Cu con contenidos de Au, Mn, Fe, metales básicos, Cr, EGP, tierras raras, apatita y vermiculita. El cuerpo de mena tiene forma de chimenea y alcanza 1.200 m de profundidad. Se explota a cielo abierto, siendo los principales *commodities* Cu-apatita y vermiculita. Es similar a otros complejos alcalinos como los de la península de Kola (Rusia).

En este complejo, por cada tonelada de Cu refinado producido se recuperan 654 g Pt, 973 g Rh y menos de 25 g de Pd.

5.6.3. PÓRFIDOS DE CU PORTADORES DE EGP

En los cobres porfíricos los EGP se encuentran en cantidades significativas y son recuperados en las etapas finales del refinamiento del Cu aunque su concentración en las menas sea extremadamente baja.

Se estima que cada 35 toneladas de Cu refinado produce 1 onza de elementos de EGP. El estado de Arizona contribuye con más del 70% del Pt recuperado en los concentrados de Cu obtenidos de los Cobres porfíricos.

En los depósitos de Cu-Mo porfíricos localizados en el pequeño Caucaso (Armenia) las menas contienen 0,01 a 0,08 ppm de Pd y hasta 0,018 ppm de Pt.

5.6.4 MENAS DE CU HIDROTERMALES Y SUPERGÉNICAS

En New Rambler Mine (Wyoming) la mineralización de Cu aparece en lentes y «pods» irregulares en zonas de cizalla precámbrica cortando complejos gábricos metamorizados. De los 6.000- 7.000 t de concentrados de Cu-Ni producidos se obtuvieron 451 onzas de Pd y 170 onzas de Pt. Los EGP aparecen como pequeños granos de minerales en la etapa principal de la formación de la mena calcopirita-pirrotina. También la piritita hipogénica temprana contiene 60 ppm de Pd en solución sólida.

En el Complejo de Sudbury, Canadá, hay vetas asociadas enriquecidas en Cu-Ni-EGP-Au-Ag-Bi y Te.

La mineralización de sulfuros consiste en pirrotina, pentlandita y calcopirita con menores cantidades de piritita y magnetita. La relación Cu-Ni es menor de 1 con un incremento irregular hacia el contacto. Los contenidos de Pt-Pd y Au en los sulfuros es de: 0,1 a 4 g/t Pt; 0,05 a 9 g/t Pd y 0,01 a 0,3 de Au respectivamente.

Para la formación de estos depósitos hidrotermales es importante el cloro en solución.

6. EXPLORACIÓN

Las guías de exploración para depósitos de EGP magmáticos e hidrotermales se sugieren de acuerdo a la génesis, mientras que otras se originaron por observaciones empíricas.

6.1. GUÍAS DE EXPLORACIÓN DE DEPÓSITOS MAGMÁTICOS

- a. **Afinidad magmática:** Los datos de Pt de los que se disponen hasta el momento indican que no todos los magmas son igualmente potenciales portadores de valores altos de EGP. Mientras los basaltos de fosas medio-oceánicas son pobres; los basaltos de coladas continentales tienen altas concentraciones de Pd y Pt, por lo tanto en estos pueden esperarse asociaciones de sulfuros ricos en EGP.
- b. **Presencia de diferenciados máficos/ Intrusiones ultramáficas:** Los depósitos de sulfuros magmáticos están producidos por procesos de diferenciación. Particularmente o no la presencia de una estratificación ígnea es un requisito para la mineralización estratiforme. Los depósitos significativos ocurren en las más grandes intrusiones, y también, las zonas marginales de las mismas son aptas para el hallazgo de depósitos de EGP.
- c. **Presencia de sulfuros magmáticos:** Los principales sulfuros magmáticos en los que se determinan presencia de EGP son: pirrotina, calcopirita y pentlandita que se encuentran en los yacimientos más ricos del mundo formando el 3% de las rocas portadoras.
- d. **Presencia de cromita o espinelos cromitíferos:** Los espinelos cromíferos en muchos depósitos de EGP magmáticos son anormalmente ricos en TiO₂ con concentraciones superiores al 12% o más.
- e. **Texturas pegmatíticas o de granulación muy gruesa:** La textura pegmatítica es una de las características diagnósticas de la existencia de horizontes ricos en Pt en todos los estratificados de tipo Merensky y Stillwater y están asociadas con las cromititas.

- f. **Disrupción en capas sinmagmáticas:** La deformación plástica y frágil afecta las capas ígneas (comúnmente cromititas) que alojan concentraciones de EGP en un gran número de intrusiones (Bill River Sill, Canadá).
- g. **Presencia de grafito:** La presencia de grafito en depósitos estratiformes magmáticos es indicadora de la posible presencia de EGP
- h. **Relación Se/S:** Los depósitos ricos en EGP tienen relaciones de Se/S mayores que los del manto terrestre. Por contraste los sulfuros magmáticos que tienen bajo contenidos de EGP tienen relaciones de Se/S inferiores a las del mismo.
- i. **Brechas masivas de contacto o venas de sulfuros:** En los contactos intrusivos o en las paredes yacentes se encuentran segregaciones ricas en Cu que están enriquecidas en EGP y Se.

6.2. GUÍAS DE EXPLORACIÓN DE DEPÓSITOS HIDROTERMALES

Para depósitos hidrotermales las guías de exploración son:

- a. **Frentes de oxidación-reducción:** En los frentes de oxidación-reducción se concentran los EGP donde hay actividad hidrotermal.
- b. **Frente de serpentización:** En teoría los fluidos de los poros de un frente de serpentización tienen la habilidad de movilizar el Pt-Pd y Au en cantidades significativas
- c. **Fallas y zonas de cizallas en rocas máficas y ultramáficas:** Puede haber un enriquecimiento de EGP en fallas y zonas de cizalla por removilización y redepositación de los sulfuros magmáticos de las mismas
- d. **Enriquecimiento en Se:** Como en el caso de los depósitos magmáticos ciertas mineralizaciones hidrotermales de EGP están caracterizadas por cantidades anómalas de Se.

6.3. EXPLORACIÓN GEOFÍSICA DE LAS MENAS

La interconexión de los sulfuros produce zonas eléctricamente conductoras que pueden ser localizadas con polarización inducida, y relevamiento elec-

tróicos y magnetotelúricos.

Algunos de estos depósitos pueden ser identificados por magnetometría porque contienen abundante magnetita y pirrotina.

Las masas más grandes de menas de sulfuros pueden ser ubicadas por refracción sísmica.

Las concentraciones de sulfuros así como las rocas alojantes máficas-ultramáficas pueden estar asociadas con exceso de masa identificables con gravimetría. Los sensores remotos pueden ayudar a identificar áreas en que la mena está presente

7. ASPECTOS ECONÓMICOS

Los depósitos de EGP en el mundo se diferencian de los de Au porque cada uno de los elementos que forman parte de los EGP son valuados económicamente en forma separada con valores mayores en 1 a 3 veces que el Au para el caso del Pd, 1 a 2 veces que el Au para el caso del Pt y en más de 3 que el Au para el caso del Rh.

La relación Pt:Pd tiene un efecto profundo en el valor económico del depósito. El Rh constituye el 8% de los EGP en el horizonte UG-2 de cromita (Bushveld) que es una de las reservas más grandes de este elemento en el mundo.

Las minas Stillwater y Boulder en el estado de Montana son las únicas minas que producen EGP en los Estados Unidos. En el 2003 se produjeron alrededor de 820.000 t de mena y se recuperaron alrededor de 18000 kg de Pd y Pt.

En general, se recuperan pequeñas cantidades de EGP como subproducto a partir del refinamiento del cobre y se reciclan alrededor de 6.000 kg de EGP a partir de las colas.

Los depósitos individuales en el Complejo Bushveld contienen algunos millones a decenas de millones de toneladas de mena explotable. Como ejemplo, el depósito Lac des Iles, Ontario, Canadá tiene una reserva geológica de 6 millones de toneladas.

Las reservas en el mundo de EGP fueron estimadas en alrededor de 100 millones de toneladas. Las reservas mayores son las del Complejo Bushveld en Sudáfrica. En el 2003 existían 10 minas en Bushveld produciendo EGP; 9 de ellas ubicadas en el Horizonte Merensky Reef y en UG2 horizonte de Cromita y 1 mina de Platreef en el límite norte del Complejo.

Más del 90% de la producción mundial de platino se concentra únicamente en dos áreas: Sudáfrica y Rusia. Además, solamente hay unas diez importantes empresas mineras de platino en el mundo.

PRODUCCION	Platino		Paladio		EGP	
	2002	2003	2002	2003	Reservas	Reservas Base
USA	4,39	4,1	14,8	14,6	900.000	2.000.000
CANADA	7	7	11,5	11	310.000	390.000
RUSIA	35	36	84	74	6.200.000	6.600.000
SUDAFRICA	134	135	64	64,8	63.000.000	70.000.000
OTROS	3,4	5	6,9	7	800.000	850.000
TOTAL	184	187	181	171	71.000.000	80.000.000

Tabla 4. Valores de reservas de los distintos complejos en explotación

La principal área de producción de platino es el Complejo Bushveld en Sudáfrica, con la empresa AMPLATS como líder de esta industria. La otra área de gran producción es la región de Norilsk en Rusia. Este último país es el único que mantiene reservas significativas de Pt, aunque se cree que su nivel ha descendido. Las políticas de exportación del gobierno ruso han influido de forma considerable en la volatilidad de la oferta de platino.

El Pt también se extrae en depósitos menores de Estados Unidos, Canadá y Zimbabwe. Según algunas estimaciones, si la minería de Pt cesara en estos momentos, las reservas existentes durarían aproximadamente un año. Sin embargo, para poder responder a la creciente demanda, la mayor parte de las empresas mineras están desarrollando planes de expansión.

El platino se considera una atractiva inversión y una buena forma de cobertura de activos contra la inflación. La preferencia por el platino como inversión se está extendiendo por todo el mundo, y se basa en la relativa escasez del metal, la evolución histórica de su precio y sus fundamentos únicos. La inversión en platino se puede producir tanto en forma de futuros y opciones como en barras, lingotes y monedas como *American Eagle*, *Australian Koala* o *Canadian Maple Leaf*, entre otras.

Los altos precios del platino harán que la demanda del metal precioso descienda en 2006, mientras que la producción de mina crecerá, haciendo que la oferta del metal supere a la demanda por primera vez desde 1998.

La demanda de platino en 2005 fue de 7,53 Moz (7,61 Moz en 2004), un declive justificado en un menor consumo del sector joyero de China, el mayor mercado.

Con los precios por encima de los US\$1.000/oz., la demanda del platino retrocederá en 2006.

Pero este descenso será eclipsado por una mayor demanda en el sector autocatalítico, el cual participa con un 50% de la demanda global (especialmente desde el sector diesel europeo).

Consecuentemente, el platino volverá a un excedente por primera vez desde 1998.

Para 2005 se había predicho un excedente de 200.000 oz., pero una menor producción de mina del principal país productor (Sudáfrica), hizo que ese excedente se transformara en un déficit de 42.000 oz.

La oferta mundial de platino creció por quinto año consecutivo en 2005, llegando a 7,48 Moz, y en este año llegaría a los 8 Moz.

Los analistas predicen que el precio del metal precioso se mantendrá en el rango de US\$980/oz.-

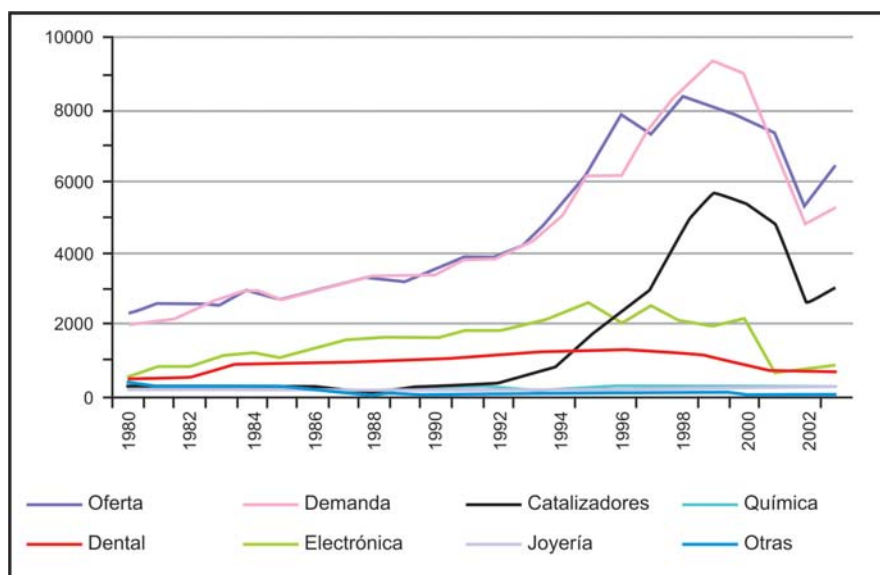


Figura 5. Demanda y oferta de platino, demanda por aplicaciones (en miles de onzas)

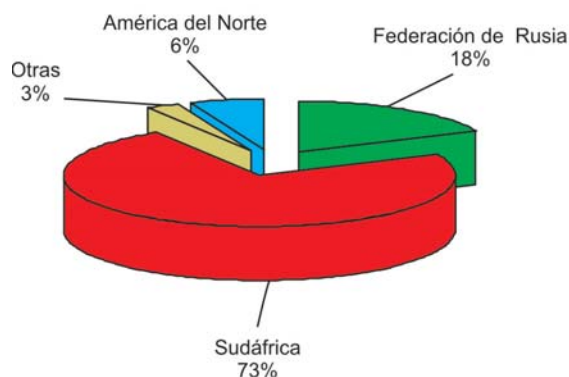


Figura 6. Oferta de platino por áreas geográficas, media de 1999 a 2003 Fuente: *Elaboración propia UNCTAD basado según estadística da Johnson Matthey platinum*

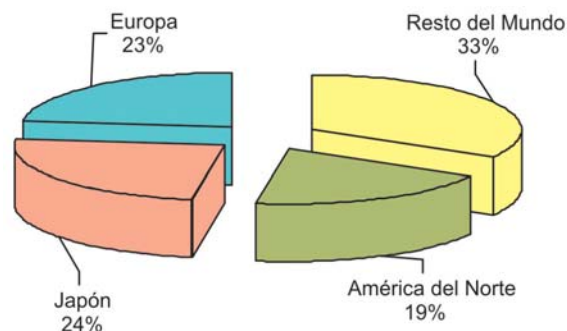


Figura 7. Demanda de platino por áreas geográficas, media de 1999 a 2003 (Fuente: *Elaboración propia UNCTAD basado según estadística da Johnson Matthey platinum*)

US\$1.250/oz. en lo que resta de 2006. El platino alcanzó un máximo histórico de UJS\$1.130/oz. durante el mes de marzo de 2006.

8. EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO

La minería del Pt se realiza usualmente de manera subterránea, aunque también hay minería a cielo abierto. Luego de los procesos de trituración y molienda, los minerales MGP se separan por flotación alcanzando en esta etapa concentraciones entre 100 y 1.000 gramos por tonelada. El material no flotado generalmente es reprocesado volviendo al circuito de molienda y flotación

El concentrado obtenido por flotación, una vez seco, se funde en un horno eléctrico a temperaturas que pueden superar los 1500° C. Los metales de valor se separan de los no deseados. Mediante convertidores con inyección de aire se separa Fe y S. El contenido de metales del grupo del platino resultante de los convertidores es superior a 1400 gramos por tonelada.

En la refinación de metales de base se separan el Ni, Cu y Co de los EGP por medio de técnicas electrolíticas estándar. En el proceso se obtienen residuos en los que los EGP están muy concentrados. La última fase de la producción requiere la separación y la purificación de los EGP y del Au. Esta es la parte más difícil y minuciosa del proceso, en la que se combinan las técnicas de extracción de solvente, destilación e intercambio de iones. Finalmente, se obtienen los metales solubles, que se disuelven en ácido hidrocórico y cloro gaseoso: primero se obtiene el Au y luego el Pd y Pt. Los metales insolubles son los últimos que se extraen.

El platino se puede recuperar de gran diversidad de residuos después de su consumo. No hay ninguna técnica universalmente aplicable para reciclar y

generalmente la técnica utilizada depende de la proporción de Pt que haya en los residuos. La mayor parte del platino reciclado proviene del sector de catalizadores para automóviles. Normalmente, para fusionar el sustrato del catalizador y disolver los EGP, se funde a muy alta temperatura con Fe o Cu. De la aleación resultante se disuelven el cobre o el hierro y se extrae el concentrado de EGP, que se refina en un proceso similar al descrito anteriormente.

9. COMPLEJOS MAGMÁTICOS Y DEPÓSITOS PORTADORES DE EGP EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

Los EGP se encuentran presentes en Argentina asociados a complejos máficos ultramáficos que afloran como parte de los basamentos proterozoicos y paleozoicos en el centro-oeste del país y mesozoicos en la precordillera patagónica.

Asimismo han sido identificados en depósitos secundarios de placer y, en concentraciones menores de interés mineralógico, en sistemas vetiformes polimetálicos.

9.1. EGP EN ROCAS MÁFICAS Y ULTRAMÁFICAS

De acuerdo a su emplazamiento geotectónico los complejos máficos y ultramáficos portadores de EGP en Argentina pueden ser clasificados en:

9.1.1. COMPLEJOS ESTRATIFICADOS

- Complejo estratificado de Fiambalá (provincia de Catamarca);
- Gabros estratificados en Sierras Pampeanas (Córdoba)

- c. Complejo estratificado en ambiente extensional ensiálico en Sierras Pampeanas (Complejos Las Aguilas y Virorco, San Luis)
- d. Complejo alcalino extensional de retroarco (Puesto La Peña, Mendoza)
- e. Complejo estratificado en las sierras de Tecka y Tepuel (Chubut)

9.1.2. OFIOLITAS

- a. Ofiolita de la Puna (Santa Ana y Formación Ojo de los Colorados, Jujuy y Salta)
- b. Ofiolita de Precordillera (La Rioja, San Juan y Mendoza)
- c. Ofiolita de Cordillera Frontal y Bloque de San Rafael (Mendoza)
- d. Ofiolita de las Sierras Pampeanas
 - i. Sierra Chica y Grande de Córdoba
 - ii. Ofiolitas de las Sierras Pampeanas occidentales (Sierra de Maz, Sierra del Toro Negro y Cerro Cuminchango, La Rioja)

9.2. OTROS YACIMIENTOS PORTADORES DE EGP

9.2.1 DEPÓSITOS HIDROTERMALES

- a. Yacimientos hidrotermales polimetálicos de Umango (La Rioja)

9.2.2 PLACERES

- a. Placeres marinos de la costa de Tierra del Fuego

9.3 DESCRIPCIÓN DE LAS YACENCIAS

9.3.1. COMPLEJOS MÁFICOS-ULTRAMÁFICOS ESTRATIFICADOS

a. Complejo estratificados de Fiambalá, provincia de Catamarca

En la Sierra de Fiambalá, entre las quebradas de Cuestanzune y la Quebrada del Salto aflora el plutón gabronorítico de Fiambalá, ubicado en el Distrito Minero Agua del Salto en el flanco oriental de la sierra.

El complejo diferenciado estratificado de arco fue encontrado en 1969 durante un programa de prospección para yacimientos minerales en rocas máficas y ultramáficas desarrollado por el Servicio Minero Nacional de Argentina (Figura 7) El área fue mapeada y prospectada por el Plan NOA 1 y luego estudiado petrológicamente por

SEGEMAR- CONICET- Universidad de Stanford (USA).

El plutón gabronorítico tiene 12 km de longitud con un máximo de 6 km de ancho de afloramiento y está alargado con rumbo NW-SE.. La datación de edad realizada por Sm /Nd es Cámbrica (401 ± 21 m.a. Grissom et al. 1991). El plutón está intruido en un complejo metamórfico formado por. Anfibolitas, esquistos y mármoles (metapelitas) cuyo grado metamórfico alcanza facies granulita. Los metasedimentos calcosilicáticos contienen diferentes asociaciones metamórficas que consisten de granate, diópsido cuarzo, microclino, albita, wollastonita, escapolita, zoicita, titanita, hornblenda circón y apatita.. Los minerales de alteración son zeolitas y prehnitas (Villar y Segal, 1988).

En el contacto sudoeste, hay una brecha compuesta de clastos de gabros, en una matrix de metasedimentos calcosilicáticos. Se ha sugerido que representa intrusiones, sills que se encuentran en los bordes del plutón, previos al cuerpo principal deformados por boudinage. La intrusión gábrica principal tiene una estructura estratificada y esta constituida por una capa basal de dunita que infrayace a capas ultramáficas y máficas, forma la base sudoeste del plutón.

La unidad ultramáfica está integrada por dunitas, lherzolitas, wherlitas y websteritas.

La presencia de cumulos, texturas ígneas y un tren de diferenciación ígnea continua desde las rocas gabroicas hasta las ultramáficas (contenido MgO entre 12 y 6%) así como la presencia de xenolitos metasedimentarios y una aureola metamórfica, indican que la gabronorita es un cuerpo intrusivo y no una ofiolita desmembrada (Villar et al. 1991b).

Las perforaciones de exploración realizadas permitieron identificar tres diferentes tipos de mineralización; una en las rocas ultramáficas, otra en la gabronorita, y una tercera consistente en una mineralización hidrotermal ubicada en los metasedimentos calcosilicáticos debajo del plutón.. El primer tipo consiste en cromita, magnetita, heazlewoodita y oro. El segundo tipo, en la gabronorita consiste en pirrotina, calcopirita, pentlandita, ilmenita, mackinawita, grafito y piritita. La mineralización hidrotermal, finalmente, aparece en los metasedimentos calcosilicáticos donde el grado metamórfico decrece de facies granulita a anfibolita ; está compuesta de calcopirita, pirrotina, galena, bornita, digenita covelina, oro y grafito. La mineralización hidrotermal comprende el 40% de la roca donde el contenido de cobre es 3% o mayor. El contenido de EGP de la unidad ultramáfica se muestra en la tabla 1.

Las lherzolitas y websteritas muestran pendientes positivas similares a las de los complejos estratificados con enriquecimientos en Pd y Pt relativos al Ru y Rh.

Las perforaciones N° 2 y 3 atravesaron la serie estratificada contenedora de la mayor cantidad de EGP concentrados en la parte basal de la serie estratificada dentro de la zona de las rocas cumulares de lherzolita y websterita donde ha existido la mayor proporción de sulfuros magmáticos del Complejo (Villar y Segal, 1993, 1996, 1998)

El contenido de EGP de la unidad ultramáfica se muestra en la Tabla 6.

Las lherzolitas y websteritas muestran pendientes positivas similares a las de los complejos estratificados con enriquecimientos en Pd y Pt relativos al Ru y Rh. La unidad gabroica contiene una mineralización magmática con 150 ppb de Pt y 14 ppb de Pd.

Se analizaron 93 muestras de testigos mediante espectrografía de masa con copelación previa en los Laboratorios del Servicio Geológico de los Estados Unidos (Office Of. Mineral Resources Branch of Geochemistry del U.S.-Lakewood Colorado): 17 corresponden a sedimentos calcosilicáticos y no contienen Pt. Sobre algunos gabros y muestras de rocas ultramáficas no se encuentra el espectro completo de EGP.

En las Figuras 8 a, b, c y d se observan los perfiles de los EGP normalizados a los valores de Naldrett (1980).

En la 8a se observa el rango de los valores de las dunitas espinelíferas que constituyen un perfil muy primitivo con una figura levemente descendente que se asimila a las de las ofiolitas, con aumento de Ir, Ru, Rh y disminución de Pd y Pt. Los perfiles de la 8b son planos descendentes o erráticos lo que indicarían variaciones por hidrotermalismo y metamorfismo sobre estas rocas.

En el perfil de la Figura 8, que es de la capa basal, se encuentran las unidades ultramáficas de la capa estratificada que muestran curvas ascendentes típicas de las series estratificadas y coinciden con la capa de sulfuros que contiene la mayor cantidad de

Pt en las lherzolitas. La Figura 8d corresponde a los metagabros de la serie estratificada con concentraciones erráticas de hasta 150 ppb de Pt que indican procesos de concentración secundarios (hidrotermalismo o metamorfismo.)

Las curvas de fraccionamiento de los EGP de las lherzolitas del plutón gabroide de Fiambalá son características de los Complejos estratificados o encapados tipo Bushveld o Stillwater.

Las rocas portadoras de la mayor cantidad de EGP, que son las lherzolitas y websteritas, ploteadas en el gráfico Ni/Cu en función de Pd/ Ir (Figura 9 a) caen en el campo de los horizontes platiníferos de los Complejos estratificados (Villar y Segal, 1996).

Los mismos valores representados en el gráfico Cu/ Ir en función de Ni/ Pd (Figura 9b) caen en el campo de intrusiones en capas estratificadas. Ambas Figuras son concluyentes en la clasificación petroectónica del gabro de Fiambalá y sus menas (Villar y Segal, 1996)

El gabro de Fiambalá de acuerdo a los estudios realizados por De Bari (1994) es un complejo estratificado de arco. Pero de acuerdo a Villar et.al. (2001) que investigaron los espinelos desde el punto de vista petroectónico Fiambalá estaría relacionado con una fosa centro oceánica.

b. Complejo Estratificado de La Cocha, provincia de Córdoba

El Complejo aflora a 8 km el sur del Observatorio Astronómico de Alta Gracia, Bosque Alegre, cerca de varios cuerpos ultramáficos pertenecientes a la Ofiolita de la Sierra Chica de Córdoba,

Está formado por secuencias estratificadas de diferente espesor muy marcadas y replegadas junto con el basamento. Presenta una estratificación rítmica muy fina en la cual se han distinguido distintos ciclos; se presenta con disposición vertical a subvertical y buzamiento hacia el O- NO. Las capas pueden formar paquetes de 1 a 2 metros (Pugliese y Villar, 2002 y 2004).

A grandes rasgos este Complejo se caracteriza por una serie ultramáfica basal singularizada por la

tipo de facies	dunitas	lherzolitas	websteritas	metagabros y metagabronoritas
Platinoideos	ppb	ppb	ppb	ppb
Pt	1 a 9,7	4,2 a 21	17	0,9 a 150
Pd	1 a 6,3	4,5 a 32	20	<0,8 a 3,4
Rh	<0,5 a 1,8	<0,5 a 1,4	1	<0,4 a 1,0
Ru	1,2 a 8,3	<0,5 a 3,2	2,6	<0,5 a 5,5
Ir	0,6 a 5,5	<0,5 a 1,4	0,9	<0,5 a 8,0

Tabla 6. Contenido de EGP en el Complejo estratificado Fiambalá

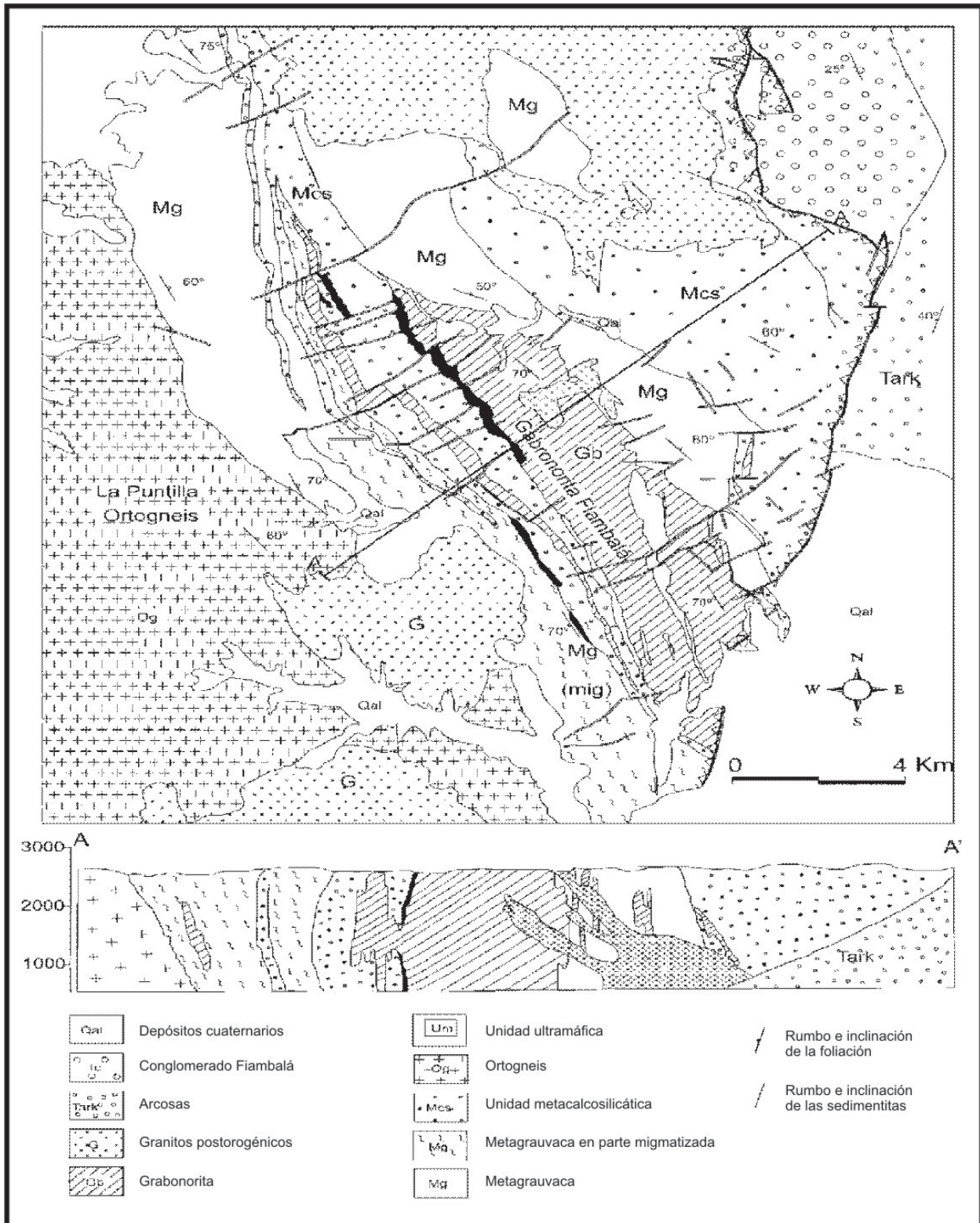


Figura 8. Mapa geológico de la faja máfica- ultramáfica Fiambalá (según de Bari, 1994).

presencia ubicua de ortopiroxeno, hipersteno cumular y la ausencia de clinopiroxeno; hacia el contacto oeste aparece una parte media caracterizada por gabros y rocas con plagioclasa intercalada con cumularos ultramáficos, la parte media y superior se singulariza por la presencia de orto y clinopiroxeno cumulares. El anfíbol es cumular en la zona de los

gabros, intercumular en la zona basal y ambos intercumular y cumular en la parte media y superior (Pgliese y Villar, 2002).

Entre los minerales opacos se han observado: magnetita en granos subidiomorfos de 0,5 mm y hasta 4 mm, ilmenita en granos subidiomorfos con desmezclas de magnetita de hasta 300 micrones. La magne-

tita puede encontrarse también en dos generaciones, una incluida en las olivinas, piroxenos y anfíboles y, otra en los clivajes de los minerales máficos. Se encuentra magnetita arborescente en las rocas serpentinizadas.

Los espinelos aparecen en menor proporción que la magnetita, los granos de espinelos cromíferos subidiomorfos alcanzan entre 30 y 100 micrones, predominan los espinelos ricos en cromo. Pueden presentar halos de magnetita (cromitas zonales) que lo

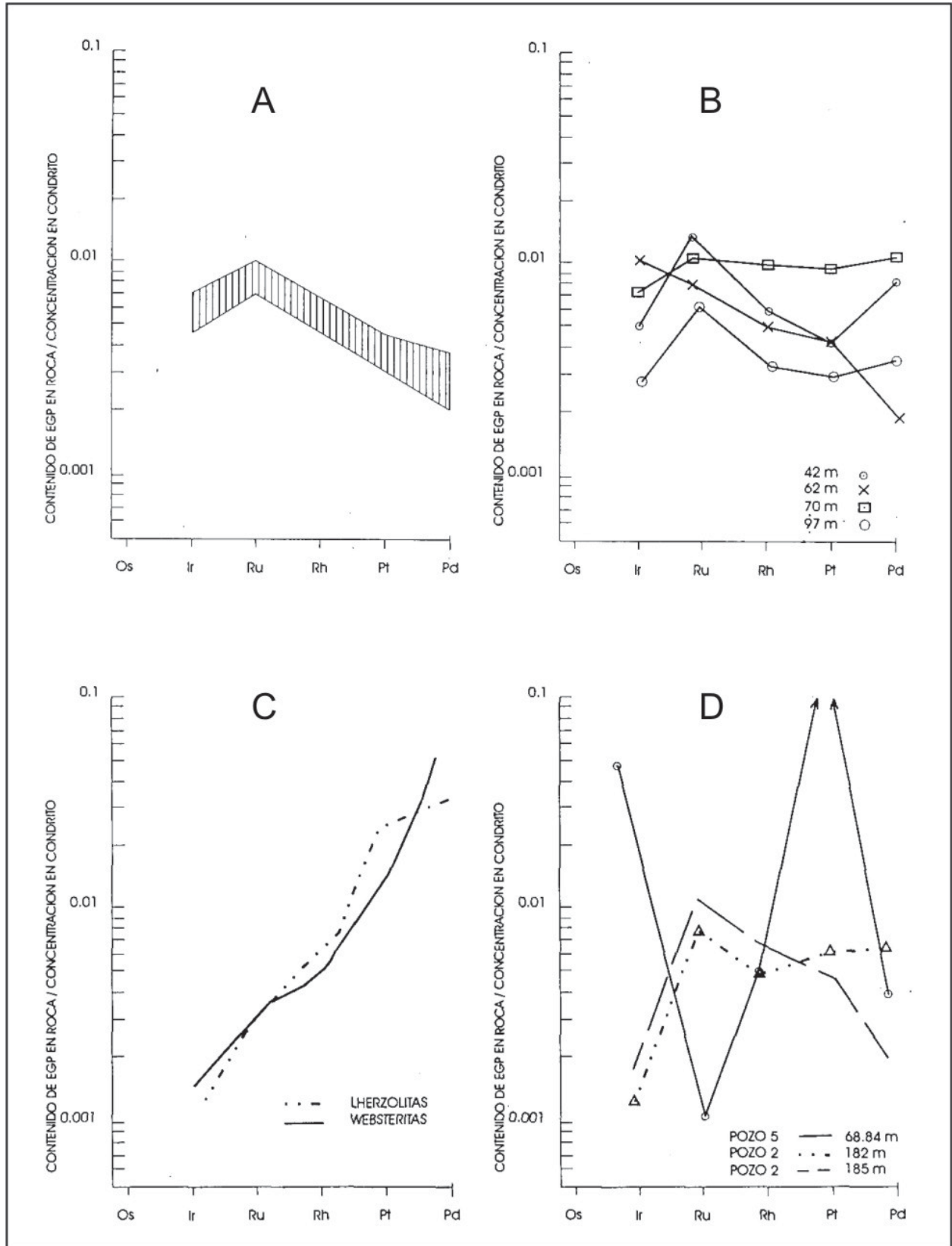


Figura 9. Patrones de EGP en muestras del Complejo estratificado de Fiambalá

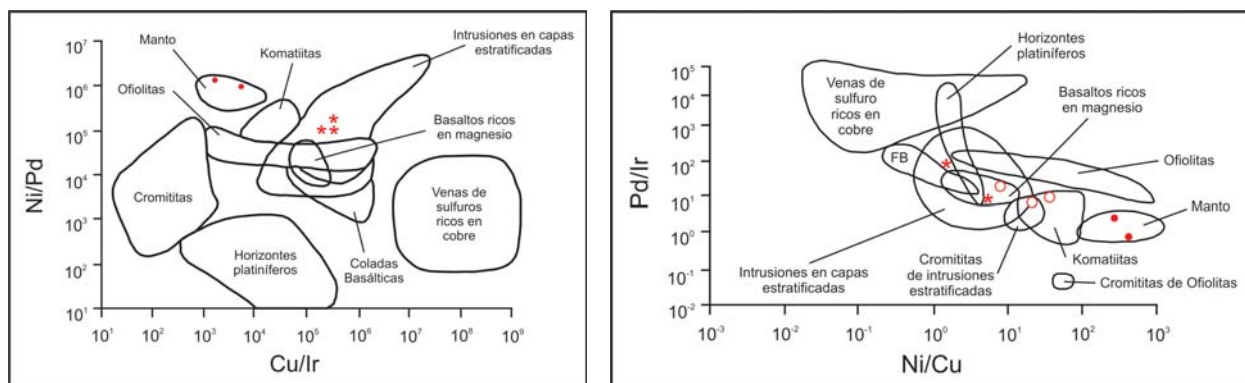


Figura 10 a y b. Relaciones Ni/Pd- Cu/Ir y Pd/Ir- Ni/Cu en el Complejo estratificado de Fiambalá

reemplazan centrípetamente y formar una textura gráfica con el ortopiroxeno.

Se observaron especialmente en la zona de contacto pirrotina con desmezclas de calcopirita, blenda asociada, con inclusiones de pentlandita parcialmente alterada en limonita, chispas de oro y, pirita de posterior formación. Esta última alcanza hasta 2 mm.

Los contenidos en EGP son en general bajos (Tabla 7). En los cumulos ultramáficos los valores de EGP normalizados a condrito dan curvas planas lo que indicaría un magma parental muy primitivo (Barnes 1985).

Proyectando los valores normalizados a condrito de Ir, Rh, Ru, Pd, Pt, determinados en los gabros hornblendíferos se observan perfiles de pendiente positiva típicos de los complejos estratificados que no han sufrido grandes alteraciones hidrotermales.

En este Complejo predominan el Ir y Ru observándose una disminución del Pd. La abundancia de espinelos produce el fraccionamiento del Ir, y Ru en el Complejo y la fuga del Pd

c. Cerro San Lorenzo (Córdoba)

Este cuerpo de gabro estratificado de textura coronítica está relacionado con la ofiolita de la Sie-

rra Grande de Córdoba; de edad precámbrica, es concordante.

La estratificación es modal y composicional dada por la alternancia de capas de cumulos de anortita, olivina, ortopiroxeno y clinopiroxeno con otras de color gris claro donde predomina la uralitización. La olivina forma cristales anhedrales con inclusiones de ilvoespinelo. Muestra coronas de reacción formadas por una zona interna de ortopiroxeno y una zona externa simplectítica de hornblenda y espinelos. El clinopiroxeno se encuentra en las coronas o en cristales simples que presentan laminación ígnea (Villar *et al.* 1993). Los componentes minerales mencionados forman otros tipos de cumulos. Los minerales opacos son pirita, calcopirita, pirrotina, pentlandita, valleriita, mackinawita, «producto intermedio» y covelina intercumulares y diseminados (Villar *et al.*, 1993). El gabro coronítico del Cerro San Lorenzo presenta contenidos escasos EGP 6 ppb: de Pd y 0.6 de Ir y 6 ppb de Au.

Hasta el presente, las investigaciones de este Complejo estratificado indican que se caracteriza por capas pocos desarrolladas en cámaras magmáticas poco profundas lo cual confirma la ausencia de gran mineralización en los estrato magmáticos investigados.

número de muestra	Ir	Ru	Rh	Pd	Pt	ppb
28	4,7	7,7	1,2	1,6	10	21,1
181	2,6	5,5	0,8	1,1	4,6	14,6
183	4	6,5	1,1	1,6	8,7	20,3
184B	2,2	3,7	0,8	2,4	1,8	14,7
1147	1,9	4	0,6	3,6	4,8	14,9
132	16	25	2,8	1	22	81,7
805	5,2	10	1,9	>0,5	8,8	25,9
1025	1	1,8	>0,5	1,1	1,4	17,9
1027	1	9,2	>0,5	2,6	1	13,8
185A	1,5	2,5	>0,5	0,8	2,3	7,1

28: piroxenita magnetítica, 181, 183, 184B, 805, 1025, 1027: harzburgitas, 1147, piroxenta y 185 A hiperstenitas, 132 dunita

Tabla 7. Contenido de EGP de rocas del Complejo Cerro La Cocha (Pugliese y Villar, .2004)

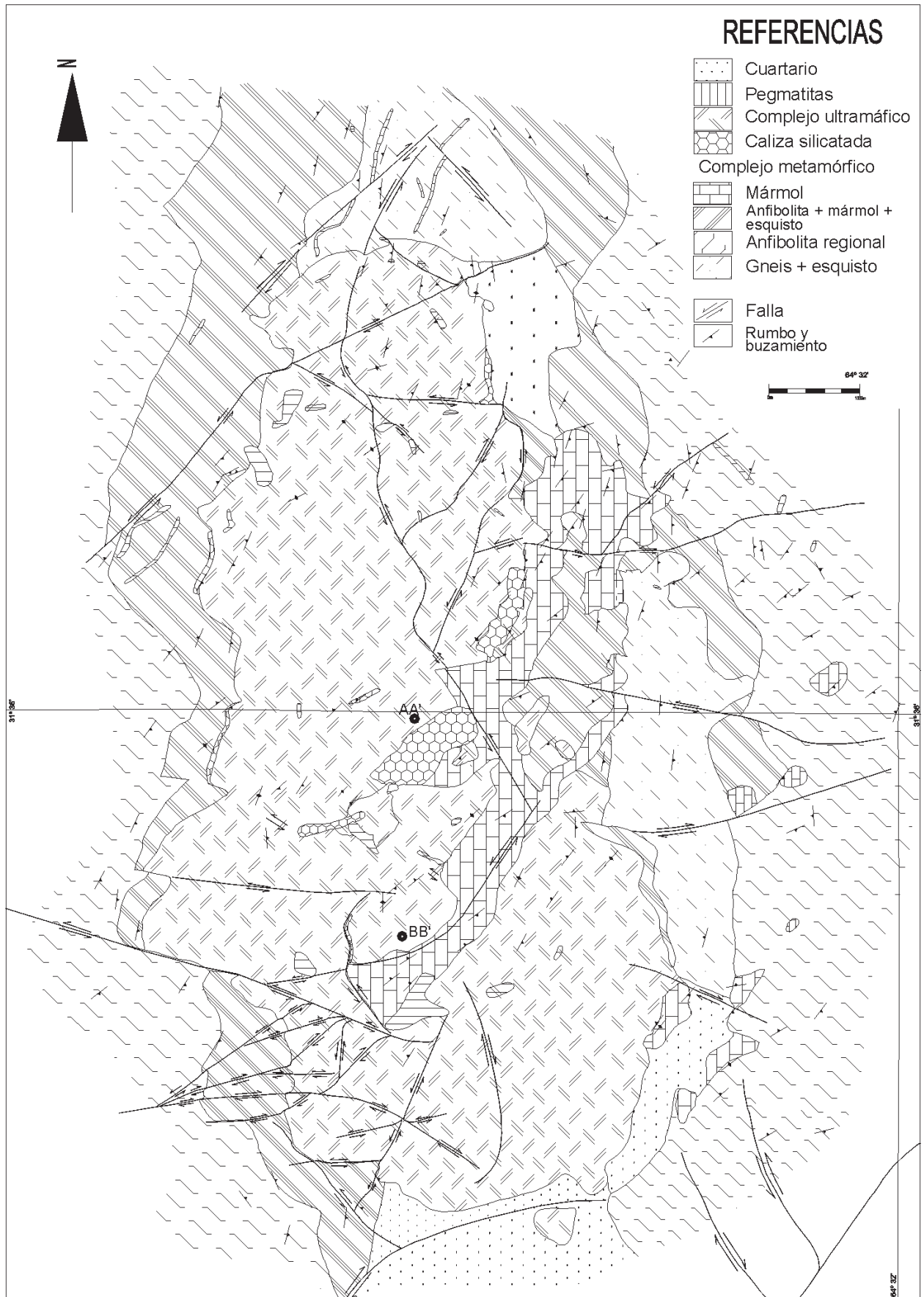


Figura 11. Geología del cuerpo principal del Complejo Cerro La Cocha (Pugliese y Villar, 2002)

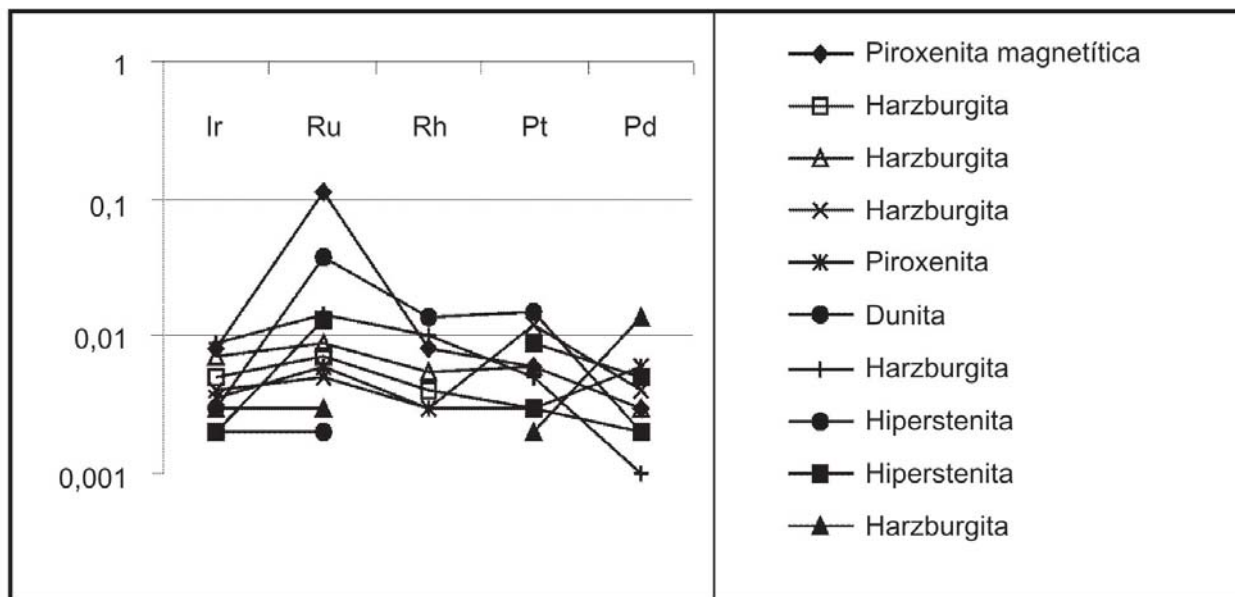


Figura 12. Perfiles de EGP normalizados a condrito del Complejo La Cocha (Pugliese y Villar, 2004)

d. Yacimiento Las Águilas, San Luis

El depósito Las Águilas se ubica 30 km al noroeste de la ciudad de San Luis en las cercanías de la localidad de El Durazno.

La geología regional corresponde a la de las Sierras Pampeanas representada por un basamento plutónico- metamórfico que comprende metamorfitas de bajo a alto grado intruida por stocks graníticos y una serie de complejos máfico- ultramáficos que forman parte de un cinturón constituido por varios cuerpos que se encuentran en el flanco oeste de la Sierra a lo largo de 50 kilómetros. La edad de los mismos es ordovícica, y forma parte de un evento famatiniano.

El cuerpo principal mineralizado con EGP y MGP es el de Las Águilas (Figura 14). Las Cañas sigue en importancia ya que en este Complejo ubicado al NE de la Sierra de San Luis se ha descubierto sperrylita en las rocas ultramáficas (Ortiz Suárez et.al., 2001).

Existe un cuerpo denominado Virorco con manifestaciones de Cu y Fe.

Las rocas máficas – ultramáficas que constituyen estos cuerpos lenticulares son dunitas, harzburgitas, piroxenitas (broncinitas), noritas, dioritas, gabros y anfibolitas derivadas de gabros hornblendíferos

El cuerpo de Las Águilas ocupa una superficie de 3 km² presentando septos de metamorfitas de tal manera que se diferencian dos sectores: uno oriental de 500 m de largo por 300 m de ancho máximo y otro occidental de 400m de largo por 150 m de ancho máximo, denominados respectivamente depósitos Este y Oeste.

La variada litología forma una zonación ígnea.

La estructura regional está dada por fases de plegamiento en la cual los cuerpos intrusivos ocupan una mesoestructura sinforme con dunitas y harzburgitas en los núcleos y piroxenitas y dunitas hacia los sectores marginales.

El cuerpo Este del intrusivo máfico- ultramáfico se aloja en piroxenitas, harzburgitas y dunitas y es un clavo que tiene la forma de un cono truncado.

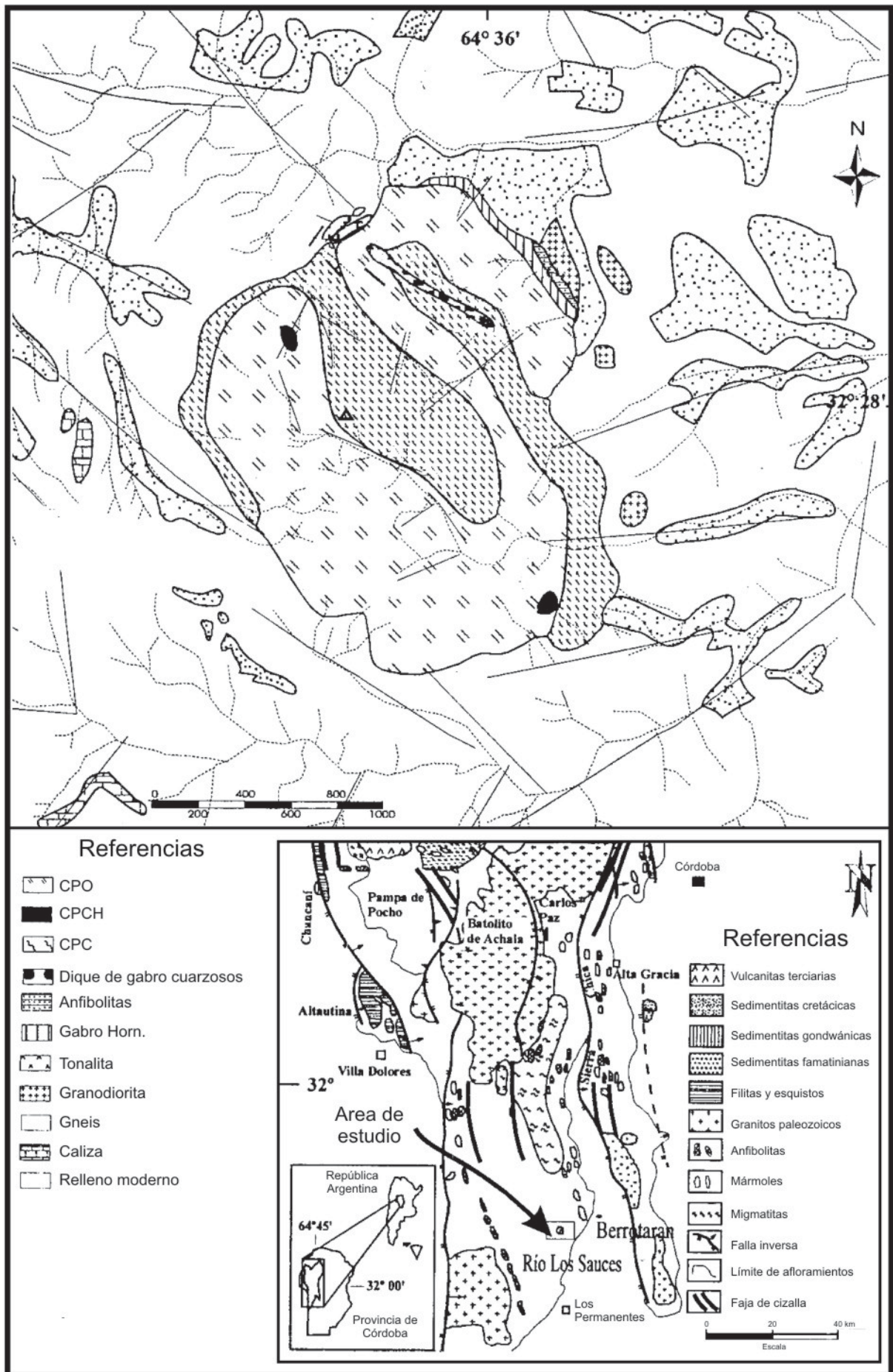
El cuerpo Oeste que se encuentra en piroxenitas y noritas tiene forma tabular y se acuña al norte y al sur. Estos cuerpos tienen una dimensión mayor entre 100 y 200 metros.

Los minerales primarios son sulfuros de Fe, Ni, Cu y Co fundamentalmente pirrotina, pentlandita y calcopirita, mackinawita, oro, electrum, melonita, cubanita, cobaltita con cantidades menores pirita, cromitas zonales y homogéneas

Los minerales supergénicos y de oxidación son bravoita, grieguita, marcasita, pirita, goethita, hematita, violarita, covelina, digenita, bornita godlevskita, óxidos de Cu (tenorita) y sales de níquel (amabergita) y de cobalto (eritrina).

Según Felferning et al. (1999) hay tres diferentes tipos de MGP, principalmente arseniuros de Platino (sperrylita), bismutoteleruros de Pd (merenskita, michenerita, moncheita, melonita) y sulfoarseniuros de Ir-Ro (irarsita-hollingworthita). A diferentes profundidades se observaron molibdenita, hesita y electrum.

Según Malvicini (1992-1993) los MGP que se observan en las muestras calcográficas ocurren como cristales tabulares muy delgados (0, 21 mm de largo) en calcopirita y como lamelas de 0, 09 mm de longitud dentro de cromita. Merenskyta y otros



teluros de Pd-Pt-Ni fueron determinados por Gervilla et. al. (1993) en las Águilas como minerales ubicuos en la asociación de mena.

Proyectados los valores de Pd/Ir en función de Ni/Cu los depósitos de MGPde Las Águilas entran en el campo de las intrusiones estratificadas (Figura 14).

En el gráfico de la Figura 15 se encuentran proyectados los perfiles que tienen los promedios de los contenidos de EGP roca-condrito en función de los elementos del grupo. Se destacan en el mismo las curvas de pendientes positivas que corresponden a Complejos de distinto origen pero todos estratificados. El Complejo de Las Águilas muestra un patrón consistente con el resto de los complejos estratificados.

En Las Águilas se destaca la riqueza en Pt – Pd como se puede observar en las tabla 8 de muestras analizadas de las perforaciones.

De acuerdo a las investigaciones sobre los espinelos realizadas por Ferracuti et.al. 2004 la faja de San Luis constituye un complejo estratificado desmembrado de tipo continental originado en un magma de naturaleza toleítica. Esto está confirmado por las muestras proyectadas en el gráfico del informe de Mogesie, et. al. (2000) y Lencinas (2001)

Basado en la copelación limitada para Pt y Pd los valores o los grados estimados del total de EGP

Perforación	Pt	Pd
LA 18 / 37-39 m	0.309 g/t	0.360 g/t
LA 1 / 38-39 m	100 ppb	410 ppb
LA 10 / 124-25 m	500 ppb	470 ppb
LA 4/1 / 42-43 m	0.205 g/t	750 ppb
LA10 121-22m	1900 ppb	230ppb
LA4/1 42-43m	2050 ppb	750ppb

Tabla 8. Contenidos en Pt y Pd en muestras de perforaciones del yacimiento Las Águilas

podrían variar en un rango de 0, 3 a 1, 2 g/t en menas de sulfuros cuyo grado excede 0, 3% NiE. Este tipo de depósito de Pt pertenece al grupo de Sulfuros-EGP.

Las texturas sugieren que los silicatos fueron reemplazados por los minerales de mena. El reemplazo se desenvuelve comúnmente a lo largo de los bordes de los granos, el clivaje y las fracturas de los granos de los silicatos. Se observan además texturas de reemplazo en venillas.

La susceptibilidad de los silicatos al reemplazo parece estar relacionada al grado de alteración hidrotermal. Los sulfuros están íntimamente intercrecidos con minerales de alteración propilítica, especialmente clorita y calcita.

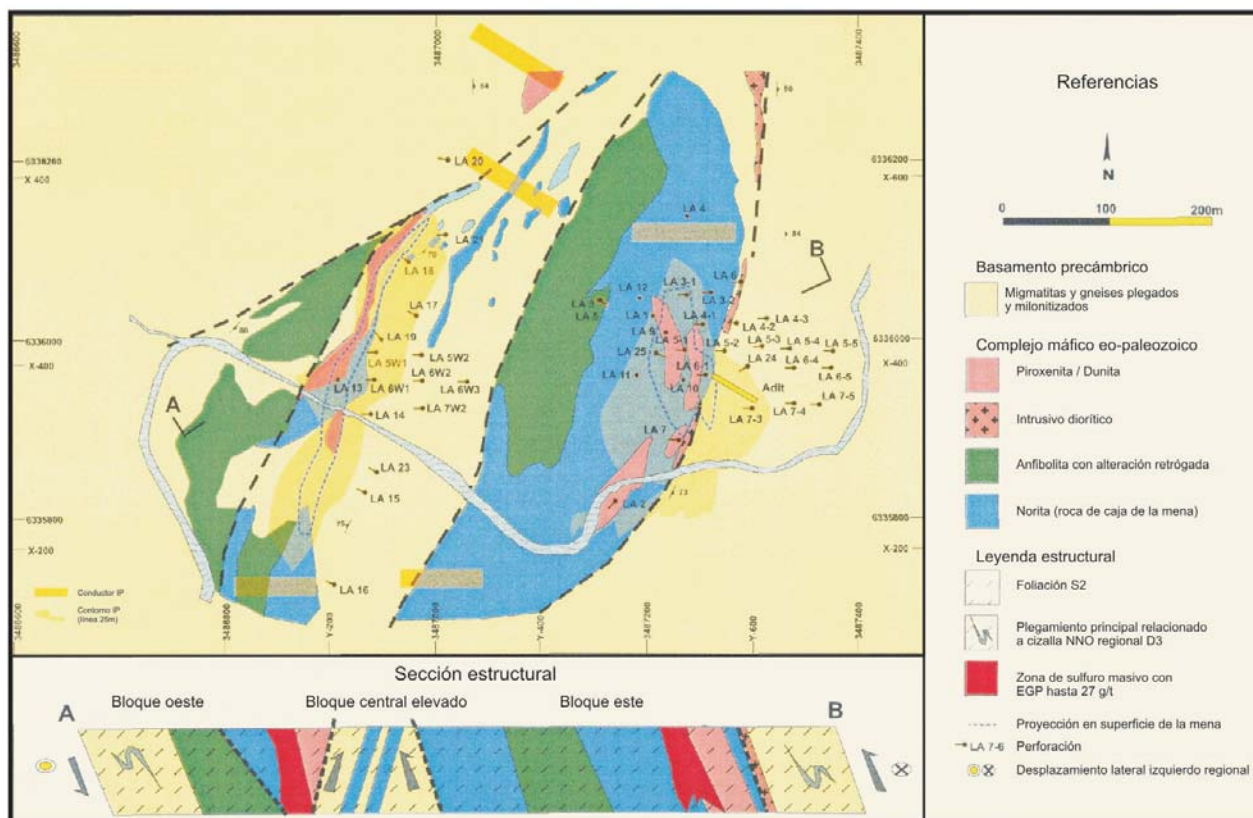


Figura 14. Geología del yacimiento Las Águilas, San Luis (Felfernig et.al.1999)

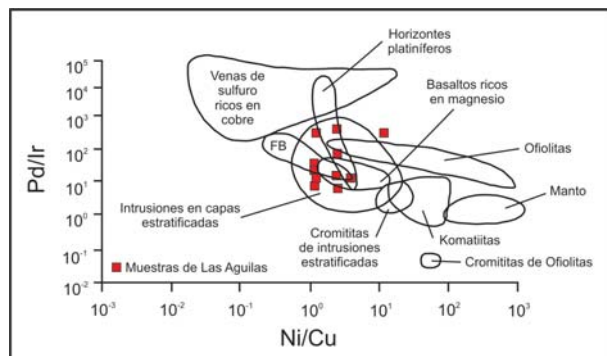


Figura 15. Diagrama Pd/Ir- Ni/Cu para muestras del yacimiento Las Águilas

El origen de los MGP en Las Águilas se debe a una combinación de procesos hidrotermales y magmáticos. Las únicas fases originadas por procesos magmáticos fueron los telururos de Pd-Bi y los arseniuros de Pt.

La segunda ocurrencia de sperrylita se encontró en las rocas ultramáficas de Las Cañas al NE de la Sierra de San Luis, a unos 17 km al oeste-suroeste de Concarán.

También se determinó pirrotina, calcopirita, pentlandita con esfalerita accesoria. La pirrotina muestra alteración a grieguita y esmythita. Hay espinelos de Cr-Al y magnetita.

La sperrilyta fue identificada con la piroxenita olivínica rica en hornblenda.

La paragénesis indica una relación genética con la depositación intersticial de los «blebs» de sulfuros en la roca ultramáfica.

e. Complejo estratificado de Tecka- Tepuel

El Complejo está ubicado en la Precordillera patagónica, en la provincia de Chubut. Tiene una superficie estimada de 3800 km². Su forma es rectangular y abarca a las sierras de Tecka y Tepuel. Ha sido datado en 187 ± 7 Ma. Se han determinado espesores máximos de gabros estratificados de 1400 a 1700 m de espesor, en tanto en otras áreas del complejo éstos varían entre 800 a 1000 metros. Está afectado por fallas de rumbo NO-SO y por pliegues; en el Cerro Negro se observa un *horst* que lo divide en una parte norte y una parte sur.

Está constituido por distintos cumulos que representan una estratificación en encapamiento granulométrico modal y composicional.

Se observa una secuencia de arriba hacia debajo de lherzolita-norita con sulfuros en la base, gabro, dunita y troctolita, lherzolita-norita. Hay una mineralización de sulfuros intercalada entre una norita y una lherzolita

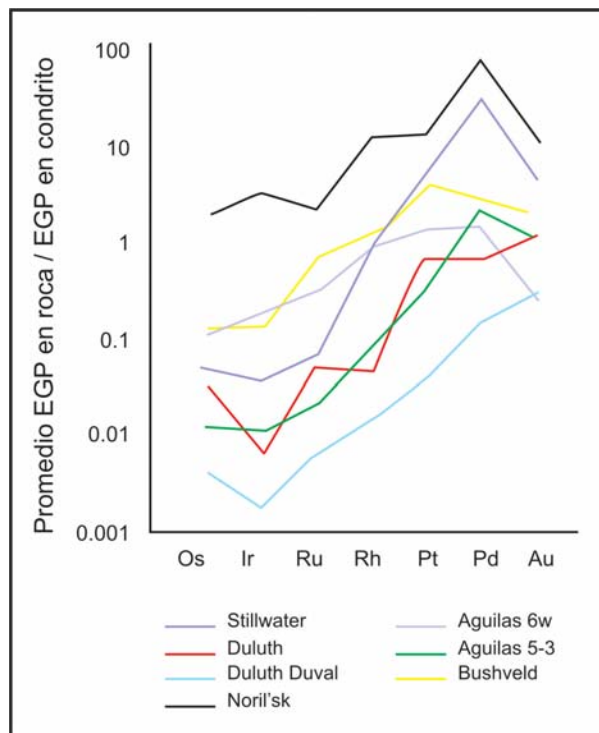


Figura 16. Perfiles de EGP de muestras de Las Águilas, comparados con otros perfiles de complejos ultramáficos

Los EGP se encontraron en un cumulo de plagioclasa ortopiroxeno en la parte basal de esta secuencia y sus valores de EGP son bajos: 8 ppb de Pt, 6 ppb de Pd. Se encontró una muestra con 1471 de Cu y 324 Ni

9.3.2. OFIOLITAS

a. Ofiolita Ojo de los Colorados (Salta)

La Formación Ojo de Los Colorados es de edad ordovícica y es parte de una ofiolita que se extiende desde la Sierra de Calalaste en la provincia de Catamarca hasta El Peladar en la provincia de Jujuy. El tramo correspondiente a la Formación Ojo de Los Colorados aflora al oeste del salar de Pocito en la provincia de Salta (Figura 17).

La faja está formada por afloramientos lensoides de rocas máficas y ultramáficas plegadas concordantemente con la Formación Tolillar constituida por grauvacas y vacas líticas.

El afloramiento principal está formado por gabros estratificados en los cuales se observan distintas asociaciones cumulares, variando de cumulos de plagioclasa a cumulos de piroxeno. En la parte basal de esta serie estratificada predominan los cumulos de olivina constituidos por olivina cumular con clinopiroxeno intercumular.

La sección ultramáfica tiene 200 m de potencia. Esta roca contiene hasta 22 ppb de platino

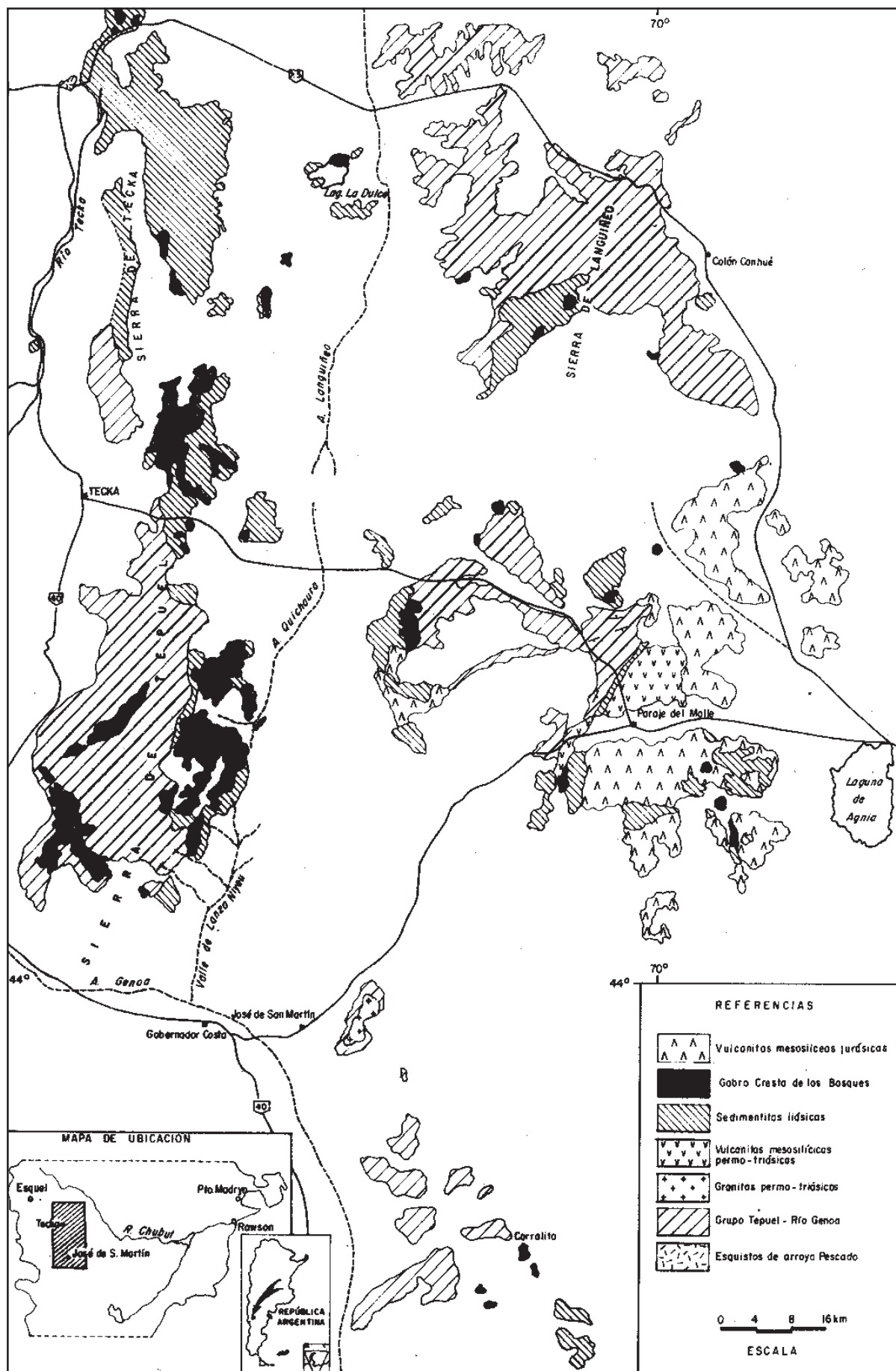


Figura 17. Esquema de distribución de los cuerpos gábricos preterciarios y de las rocas del pre-jurásico superior tomado de Page, S (1984)

b. Ofiolita de la Precordillera de Mendoza y San Juan

En la Sierra de Cortaderas, ubicada al NE de Uspallata (Figura 18)

aflora una secuencia ofiolítica de 25 km de largo con rumbo NO-SE, principalmente compuestas de tectonitas basales, piroxenitas, dunitas, gabros masivos y estratificados, rodingitas, plagiogranitos y diabasas metamorizadas.

Investigaciones recientes han demostrado que este Complejo no es una secuencia única ofiolítica,

sino que se formó por tres episodios geológicos distintos ocurridos en el Ordovícico.

La ofiolita desmembrada presenta cuerpos lensoides de 200m de longitud y 80 m en ancho. Las tectonitas (serpentinitas) fueron analizadas por EGP.

Se encontraron valores entre 1 y 2 ppb de Pt, 02 a 07 ppb de Ir y 3 ppb de oro. Los valores más altos hallados en la Sierra de Cortaderas son 5ppb de Pt, 4ppb de Ru, 6 de Pd y 2.3 de Ir, con solo 3 ppb de Au (Villar y Escayola, 1996).

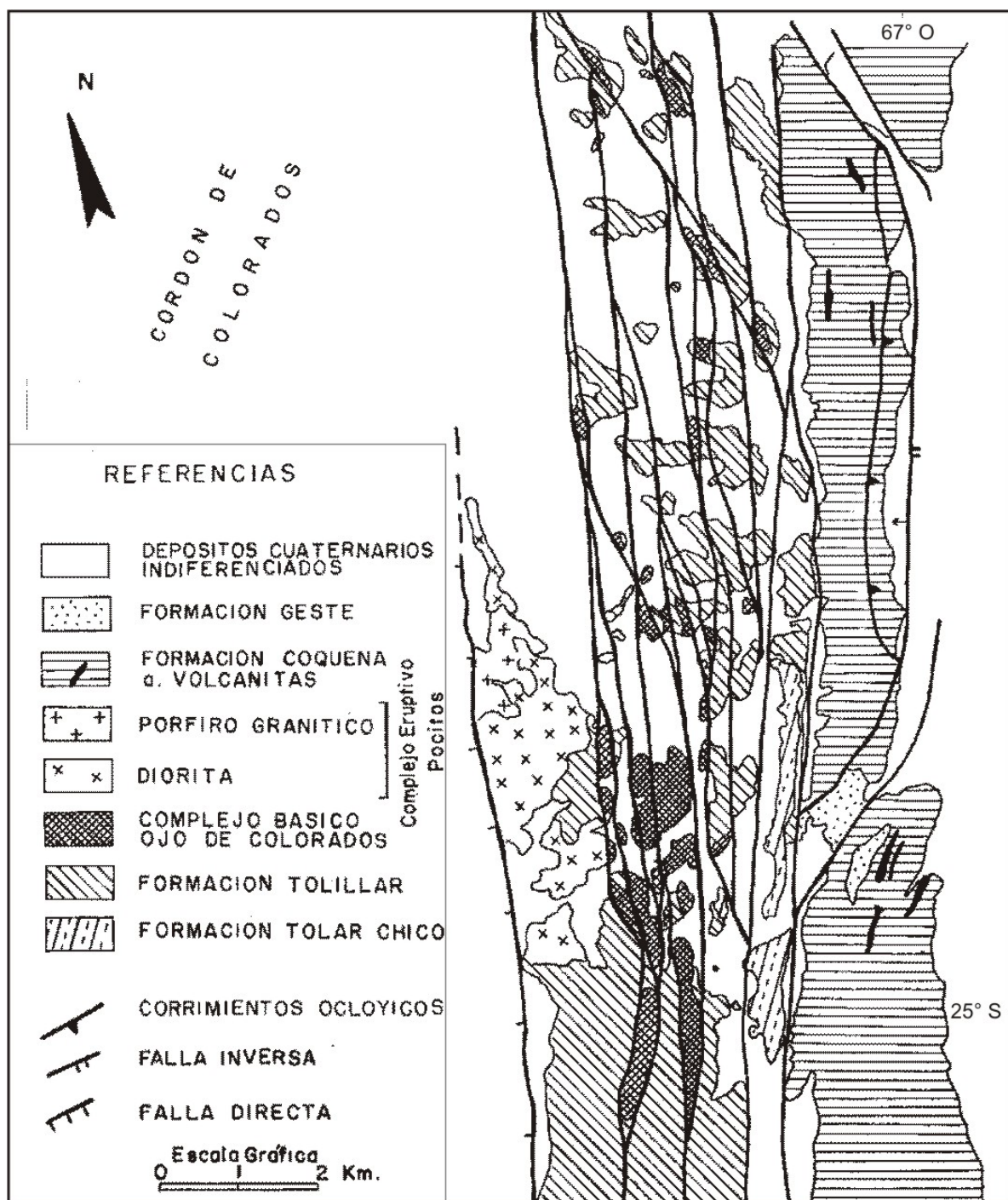


Figura 18. Geología de la región Ojo de Los Colorados, Salta (Zappettini et.al., 1994)

A la fecha no hay otros datos disponibles del resto de los cuerpos presentes en Precordillera.

9.3.3. OFIOLITA DE LA CORDILLERA FRONTAL DE MENDOZA

En la Formación del Basamento Cristalino de la Cordillera Frontal de Mendoza se encuentra alojada la ofiolita desmembrada constituida por cuerpos o complejos máficos y ultramáficos de rumbo NNE-SSO. Sus afloramientos se extienden a lo largo de 25 km

La faja máfico-ultramáfica se encuentra afectada por fallas de desplazamiento de rumbo que han dividido la ofiolita en tres tramos. Un tramo sur que comienza en la Cuchilla del Guindo y termina en el Complejo de Novillo Muerto, un tramo norte que comienza en la Cuchilla de Malacara y finaliza en la desembocadura del Río de las Tunas. El tramo sur y el tramo norte afloran en el Cordón del Portillo. Se observa un tramo oeste que aflora en el alto Río de las Tunas en la zona de la Cuchilla del Gualguaraz. Este último fue denominado Faja Metales por Gregori y Bjerg et al., (1997)

La Faja Metales está constituida por una secuencia máfico-ultramáfica, gabros alterados, metabasitas, diques básicos y pillow lavas (Gregori y Bjerg, 1997).

En el tramo norte de la ofiolita en el Cordón del Portillo afloran los complejos de Los Gateados, la Barrera y Novillo Muerto (Figura 19). Estos están constituidos por peridotitas y gabros que pueden presentar variaciones de grado metamórfico por la interacción de distintos procesos ocurridos durante la intrusión del manto, el alojamiento de la Ofiolita y, sucesivos eventos tectónicos, magmáticos y metamórficos que acaecieron en el área en cuestión.

Las rocas representativas en la zona del cordón del Portillo son: dunitas, harzburgitas, ortopiroxenas, wherlitas, diopsiditas, diopsiditas pegmatoides y serpentinitas. Estas rocas representan cumulos metamorfizados y recristalizados, emplazados en un complejo metamórfico compuesto de esquistos biotítico-granatíferos, calizas, anfibolitas de alto y bajo grado y metavulcanitas. El protolito del complejo metamórfico es de edad Greenvilliana Este complejo metamórfico está también intruido por plutones granodioríticos y tonalíticos que afloran en las cercanías de los complejos ultramáficos. Haller y Ramos (1993) sugiere que la faja de la Cordillera Frontal forma un único complejo ofiolítico de edad ordovícica con las ofiolitas de Bonilla y Cortaderas

que se encuentran en Precordillera y están más al norte de la Frontal.

La mena de la faja de la Cordillera Frontal es de origen magmático inicial, posteriormente remobilizada y afectada por las soluciones hidrotermales provenientes de los batolitos gondwánicos formando «ore shoots» y diseminada dentro de los cuerpos y en las rocas de caja.

La mineralización diseminada consiste en pirrotina, pentlandita, cobalto-pentlandita, espinelo cromífero, magnetita, calcopirita, oro y plata. La bravoita, violarita y millerita, aparecen como productos de alteración de la pentlandita. La mackinawita está asociada con pentlandita, la pirrotina está alterada en marcasita y pirita. La pirrotina y la calcopirita aparecen también en los plutones granodioríticos (Villar et al. 1991^a)

En las minas La Salamanca y La Luisa la mena aparece con un rumbo N-NNE que corta un cuerpo ultramáfico de 920 m de largo por 110 m de ancho; la falla se reconoce por 200 m de rechazo vertical y tiene una estructura de «horse tail» (cola de caballo) en profundidad (Zanettini y Carotti, 1993). El clavo mineralizado muestra zonas de oxidación de azurita, malaquita, cuprita, cobre nativo, óxidos de manganeso y limonitas. Las reservas están calculadas en 31500 toneladas de mena.

Los contenidos típicos de EGP para las rocas ultramáficas de esta faja se observan en la tabla que se encuentra más abajo y los perfiles de los mismos normalizados a condrito en la Figura. 8. Las distribuciones de EGP no fraccionadas son similares a las del manto residual portador de sulfuros (Barnes et al. 1985). Las harzburgitas de la faja ultramáfica muestran pendientes negativas similares a las características de otros complejos ofiolíticos.

Elementos del Grupo del Platino (EGP)

Se llevaron a cabo varios análisis por los EGP sobre muestras del Complejo de Novillo Muerto y la mina La Barrera. Los contenidos de EGP obtenidos en general sobre rocas ultramáficas para Novillo Muerto y Mina la barrera se pueden ver en la tabla. Figura 20.

La proyección de los valores de EGP normalizados a condrito en los diagramas a y b dieron curvas planas con anomalías de Ru no determinativas que actualmente se consideran propias de algunas ofiolitas (Le Blanc 1990) dado el grado de metamorfismo, hidrotermalismo y remobilización (Bjerg, 1994) que sufrieron estos elementos. Los diagramas normalizados presentan un trazo de tipo komatítico

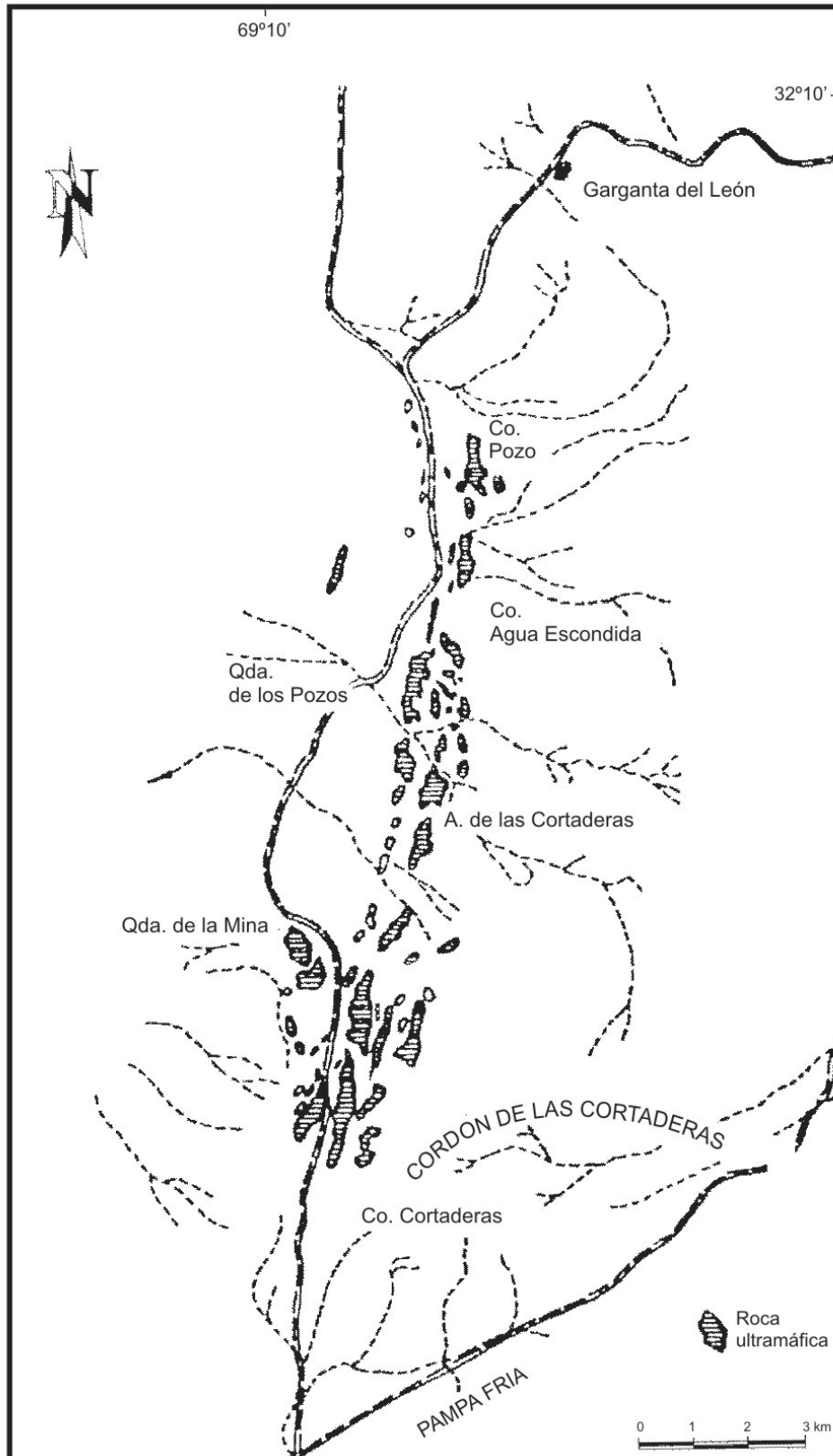


Figura 19. Faja de ofiolitas Cortaderas (según Haller y Ramos, 1993)

(Villar et al. 1991a-b) aunque actualmente se consideran ofiolíticos.

En la Faja Metales (río de Las Tunas) los análisis de EGP indican que el contenido total en estas rocas es bajo (<80 ppb) y que la tendencia de abun-

dancia de cada uno de estos elementos es Os>Ru>Ir y Pd>Pt>Rh. Los contenidos de EGP sobre roca total (valores máximos y mínimos expresados en ppb) son los siguientes: Os 6-12, Ir 0.2-3.3, Ru 2-5, Rh 2-4, Pt 2-7, Pd 8-55 y Au 2-1800.

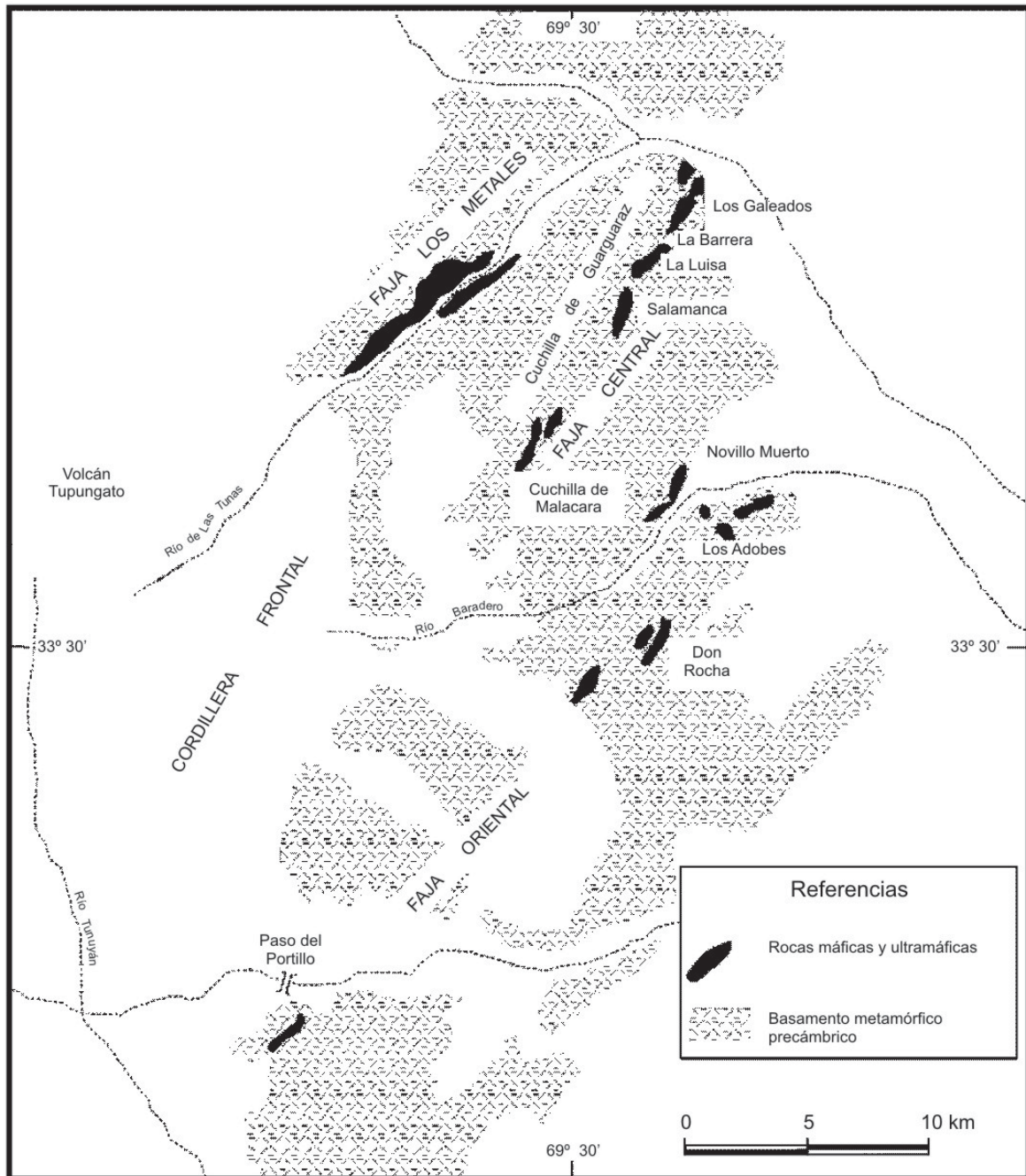


Figura 20. Ubicación de los Cuerpos ultramáficos que forman la Ofiolita de Cordillera Frontal (modificado de Haller y Ramos, 1993)

9.3.4. OFIOLITA DE LA SIERRA GRANDE DE CÓRDOBA

En la Sierra Grande de Córdoba los EGP se localizan en los yacimientos podiformes de cromita.

Los distrito cromíferos de la Sierra Grande de Córdoba son : Atos Pampa, Los Guanacos, San Lorenzo y Los Permanentes. Los cuerpos podiformes, algunos explotados por cromo, afloran en disposición submeridiana conformando las minas Los Congos, La Bélgica (distrito Atos Pampa), Los Guanacos, Resistencia, El Destino, 12 de Noviem-

bre (distrito San Lorenzo) y El Cromo (distrito Los Permanentes) (Figura 21).

La Ofiolita de la Sierra Grande de Córdoba está demarcada por cuerpos máficos-ultramáficos que constituyen las tectonitas basales o pertenecen a la parte inferior de la serie estratificada de una ofiolita desmembrada (Figura 20). Esta serie de cuerpos ultramáficos constituidos por harzburgitas, lherzolitas y piroxenitas se caracterizan por presentar cuerpos podiformes de cromitas de tipo cumular y enriquecimientos de cromitas de tipo estratificado (Villar et al 1992), (Mutti, 1999). Están constituidos

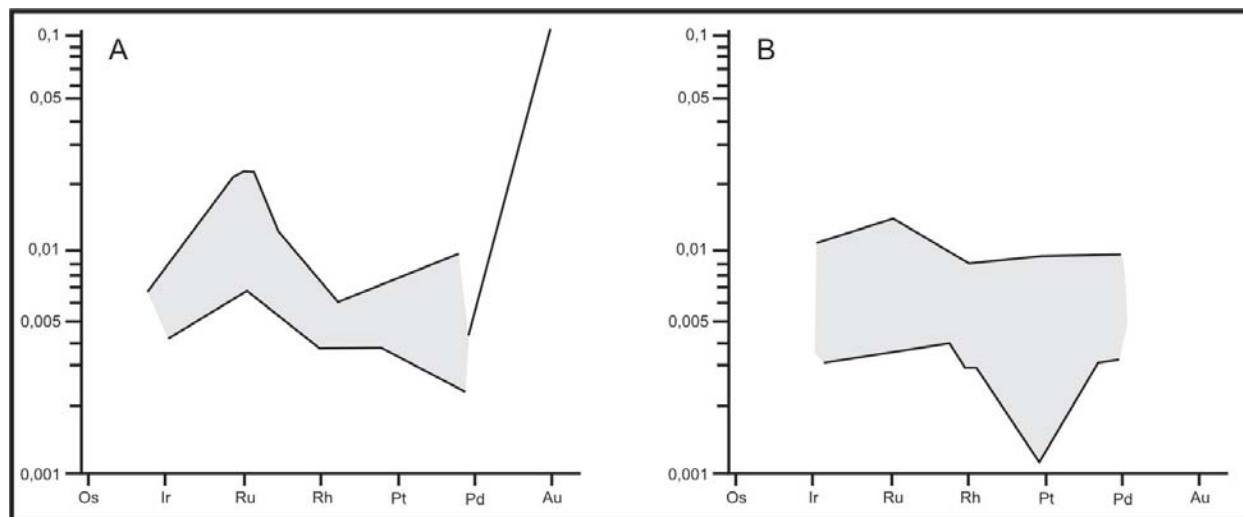


Figura 21. Perfiles de EGP de la ofiolita de Cordillera Frontal

Elementos en ppb	Muestras de rocas ultramáficas del complejo de Novillo Muerto					
		83861	83864	83866	83867	83868
Pt	5,5	3,8	6,7	3,7	3,9	2
Pd	1,9	3,1	5	1	2	<0.8
Rh	1,1	0,7	0,9	1	0,8	<0.8
Ru	7,9	4,5	6,6	8,8	7	3,2
Ir	3,3	2,1	2,6	3,4	3,1	1
Au	20					

Tabla 9 Contenido de EGP en el Complejo de Novillo Muerto

ppb	83828	83832	83839	84133	84164	84169	84170	84171	84172	84192
Pt	4.4	9.9	3.1	1.2	0.8	-5.0	5.4	5.7	4.2	-2.0
Pd	4.2	5.5	1.8	2.6	-0.8	-8.0	3.1	4.3	2.6	9.5
Rh	-0.5	1.8	0.6	0.7	-0.5	-5.0	1.2	1.0	1.0	-2.0
Ru	-5.0	10.0	7.0	-5.0	-5.0	-5.0	10	7.0	9.0	-20.0
Ir	0.6	6.0	1.9	2.4	0.6	8.0	3.3	2.3	2.8	-2.0
Au									20.0	

Tabla 10. Contenido de EGP en el Complejo máfico-ultramáfico de La Barrera.

por cromititas recrystalizadas en las cuales una de sus características más importantes ha sido la deformación extensional.

La filiación ofiolítica de estos cuerpos ha sido establecida por los perfiles de los contenidos de EGP normalizados a condrito obtenidos sobre roca total en el cuerpo ultramáfico de Los Congos.

Los EGP se concentran en las distintas rocas ultramáficas que componen la ofiolita : dunitas, haszбургитas, lherzolitas y cromititas (Page et.al.1986).

Algunos de los cuerpos de cromita están relacionados con los contactos entre los cuerpos ultramáficos y las rocas silíceas de caja (metamorfitas ácidas, gneises tonalítico granatíferos, esquistos, granulitas ácidas, calizas y metagabros). La cromita se presenta podiforme en nidos o lentejones en forma de rosario, ensanchándose o afinándose alterna-

tivamente con posible «boudinage» de filones continuos. Su forma se denomina «pencil shape» y puede estar alojada en una envoltura esteatítica. Entre uno y otro «pod» de mineral la concentración se diluye en haces de venillas.

Es sabido la importancia de las cromititas como captadoras de EGP.

La cromita de la mina Los Congos concentra hasta un máximo de 1ppm de EGP (tabla 11).

El valor más alto de Pt contenido en los sulfuros se localiza en la Mina Los Congos.

muestra	Ir (ppb)	Ru (ppb)	Rh (ppb)	Pt (ppb)	Pd (ppb)	EGP (ppb)
Los Congos	170	230	50	380	130	960
La Bélgica	5.6	8.7	1.7	11	3.7	30.7
El Cromo	42	67	6.1	5.4	5	125.5

Tabla 11. Análisis de EGP.

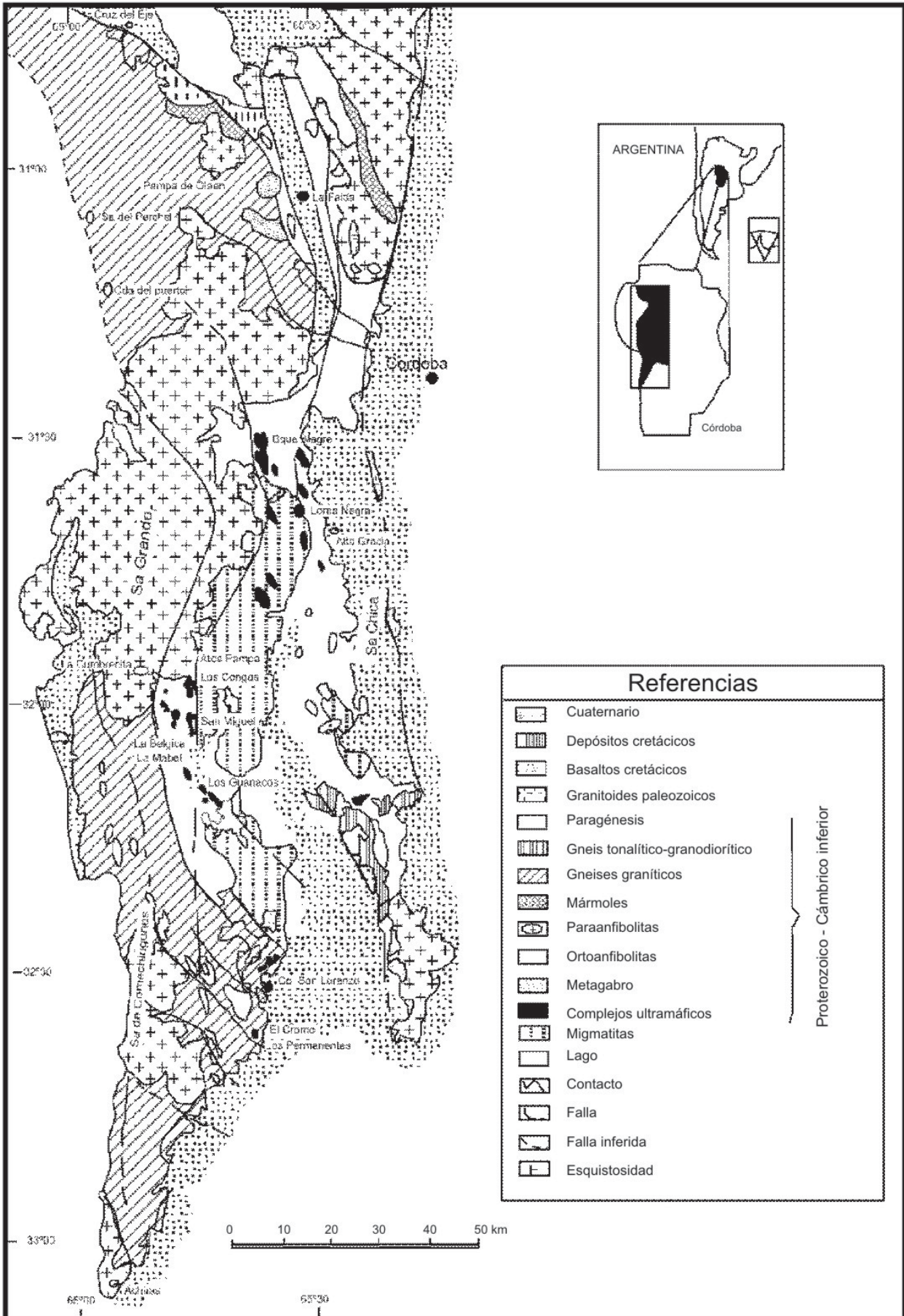


Figura 22. Geología de la Ofiolita de la Sierra Grande de Córdoba.

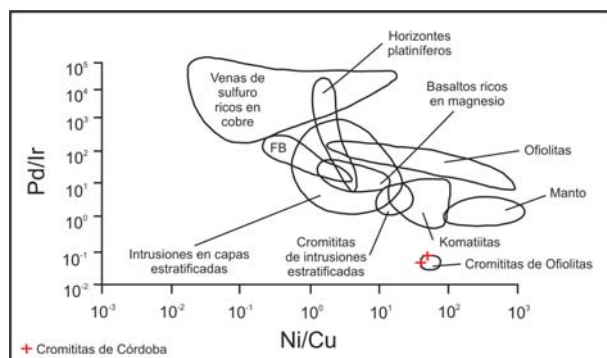


Figura 23. Relaciones Ni/Cu- Pd/ Ir en cromitas de la Sierra Grande de Córdoba

Proenza et.al. (2005) encontraron minerales del grupo del Pt en las cromititas de los cuerpos Los Congos y Los Guanacos. En Los Congos se hallaron aleaciones de Ru y Os. Se identificó laurita (RuS₂) zonada reemplazada por óxidos de Ru en contacto con una fase desconocida de Pt. Los óxidos de Ru incluyen cristales de irarsita (IrAsS); se han identificado cristales de erlichmanita (OsRuIrRh)S incluidos en cromita.

Las relaciones geoquímicas Pt+Pd/ Os+Ir+Ru de las cromititas de la Sierra Grande de Córdoba son similares en general a las ofiolitas de Oregón U.S.A. y de Unst, Escocia y de Skyros, Grecia siendo menores que 1.0.

En la Figura 22 se muestran las relaciones Ni/Cu en función de Pd/Ir (Barnes et.al., 1987, 1985) en cromititas de la faja de la Sierra Grande de Córdoba. Se observa que los valores de las mismas caen en el campo de las cromititas de las ofiolitas confirmando la existencia de la ofiolita en esta Sierra.

9.4. DEPÓSITOS HIDROTERMALES CON MGP

9.4.1. MINA EL CHIRE Y MINA LAS ASPEREZAS (LA RIOJA)

En la Mina El Chire, ubicada a 40 km al oeste de la localidad de Alto Jagüe, departamento General Lamadrid se encuentra una veta única de seleniuros de escasas corridas y pronunciadas variaciones de espesor.

La mena dominante de seleniuros más importantes consiste en naumannita y tiemannita. Hay oro nativo en concentraciones locales.

El mineral del grupo MGP localizado es chrisstanleyta (Ag₂Pd₃Se₄). Se determinó en calcita en forma de granos xenomorfos y continen inclusiones de naumannita, tiemannita y otros seleniuros

de Cu.

La mena de seleniuros de la Mina El Chire está ubicada dentro de las mineralizaciones ricas en Pd.

En la mina Las Aspezas, distrito minero Sierra de Umango apareció merenskyta (Pd 0.926 Pt0, 005)Te2.07 en las menas de Cu y Ag, Esta mineralogía exótica es típica de varias ocurrencias de seleniuros en el cerro Cacho, Sierra de Umango.

La merenskyta se encuentra formando inclusiones en umangita junto con eucairita y klockmanita distribuida en granos redondeados y escamas cristalinas. El Pd es un típico oligoelemento en las minas de selenio.

Es la primera mención y la segunda referencia en la Argentina de MGP de tipo hidrotermal (Paar et.al., 2004 a y 2004 b)

9.5. COMPLEJO ALCALINO

9.5.1. PUESTO LA PEÑA, MENDOZA

Se encuentra a 30 km de al noroeste de la ciudad de Mendoza. Abarca una superficie aproximada de 20 km² con un diámetro de 5 km

Intruye a rocas paleozoicas asignadas a la Formación Villavicencio constituida por una secuencia de metagrauvas y metacuarcitas de grano fino. Comprende dos fases plutónicas principales: a) piroxenita; b) asociación malignita- borolanita (sienitas alcalinas) y un grupo de diques radiales y anulares de composición traquítica.

Las rocas piroxeníticas que constituyen dos cuerpos han sido intruidas por la segunda asociación plutónica (Villar y Zappettini, 2000). (Villar et.al.2002)

Las piroxenitas son adcumulatos. Los minerales opacos son intersticiales, las piroxenitas brechadas tienen matrix de magnetita pura. La magnetita presenta desmezclas de ilmenita con bordes de espinelo magnesiano y de ilvoespinelo según arreglo cúbico y octaédrico. Hay también granos alargados de ilmenita asociados a la magnetita, piritita y calcopiritita. Se están estudiando microscópicamente los elementos del grupo del platino cuyos valores en ppb se leen en la siguiente tabla:

Muestra	Au (ppb)	Pd (ppb)	Pt (ppb)
78497	6	13	10
78497bis	12	11	6
78491	14	2	-1

Tabla 12. Contenido de Pt, Pd y Au en las rocas alcalinas de Puesto La Peña (Villar y Segal, 2005)



Figura 24. Geología del Complejo Alcalino Puesto La Peña, provincia de Mendoza (Villar y Zappettini, 2000)

9.6. PLACERES

9.6.1. PLACER EL PÁRAMO, TIERRA DEL FUEGO

En las costas de Tierra del Fuego existen en la zona de playa placeres de Au donde se han identificado minerales del grupo del Pt (MGP).

En la Mina Agustina ubicada a 185 km al norte de Río Grande entre el estrecho de Magallanes y Ushuaia se identificaron pequeñas laminillas de ilmenita, titanomagnetita, leucoxeno, y granos de magnetita-hematita martitizados que se encuentran

asociados a granates rosados, granos de ortopiroxeno, clinopiroxeno y anfíbol. En un grano de titanomagnetita se identificó calcográficamente el isoferroplatino con un tamaño variable entre 12 a 23 micrones. Su presencia fue corroborada por análisis mediante microsonda dispersiva de energía. Resultados de análisis puntuales dieron hasta 29,92% de Pt contenido en los PGM (Zappettini et. al. 2004).

Los EGP localizados derivarían de la serie ofiolíticas ubicadas en los Andes fueguinos en el territorio chileno y tendrían un origen diferente a las fuentes primarias del Au del placer que se está explotando.

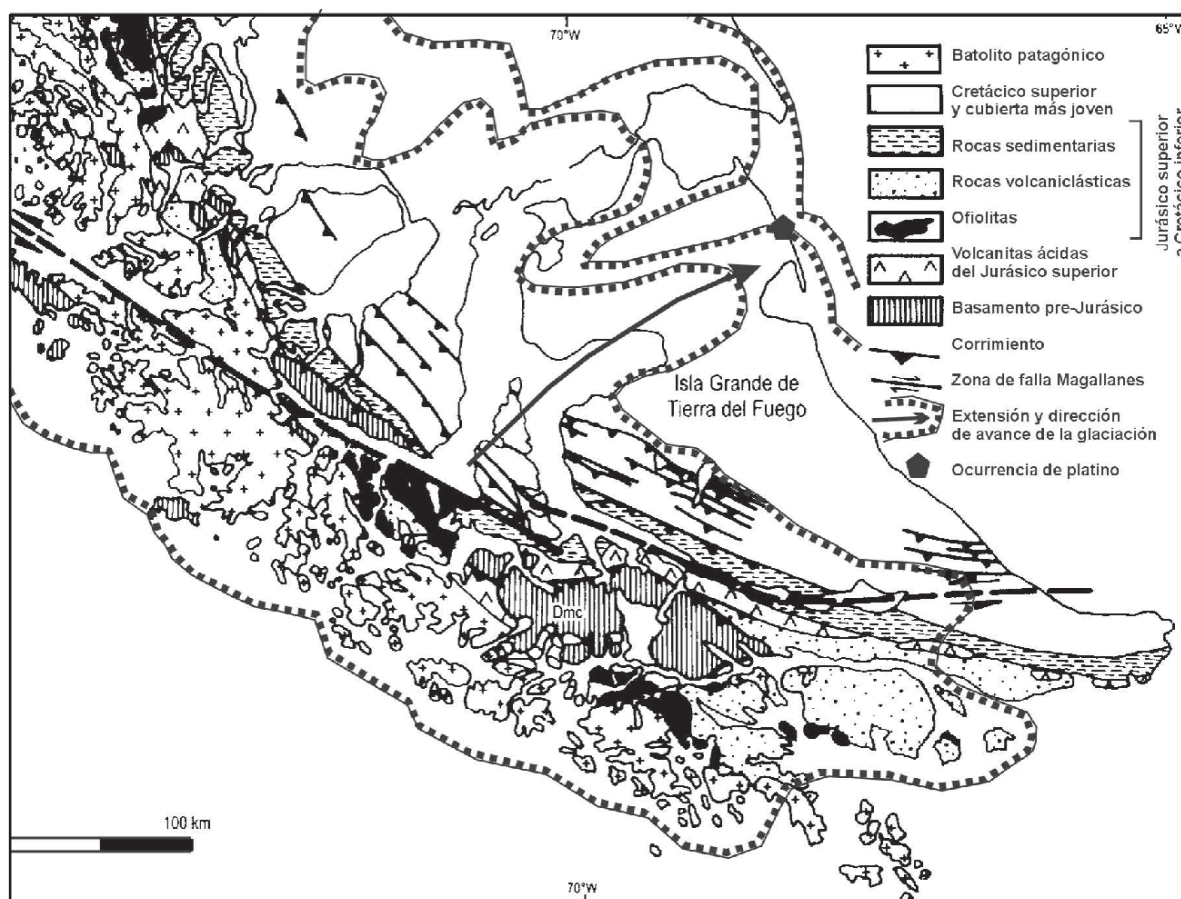


Figura 25. Geología de Tierra del Fuego y localización del placer de Au-Pt (Zappettini et al. 2004)

10. CONSIDERACIONES GENERALES

Los complejos metalogenéticos más ricos en EGP y MGP del mundo tienen edades paleoproterozoicas y arqueanas; ejemplos de estos son los cuerpos estratificados de Stillwater (Estados Unidos) y Bushveld (Sud Africa) entre otros.

Las lavas komatiíticas ricas en platinoideos forman parte de los «greenstone belts» arqueanos. (Barbeton, Sudáfrica)

Por otra parte las ofiolitas con grandes yacimientos de cromita ricos en platinoideos son de tipo HOT (*slow spreading*) y como ejemplos se señalan las cromititas de Turquía.

Los complejos ultramáficos más ricos en EGP y MGP se encuentran en zonas cratónicas, exceptuando los complejos alaskianos Alaska.

En la Argentina no se han identificado terrenos geológicos con edades superiores al Mesoproterozoico. Todas las rocas ultramáficas están en la zona pericratónica, en el borde occidental de Gondwana fuera de la zona cratónica en el centro oeste del país. La zona cratónica se encuentra hundida y cubierta por pilas de sedimentos de la cuenca Chacoparanense. Esto implica que los complejos

ultramáficos en el país son de edad joven, no más antiguos que el Proterozoico medio, siendo en general la posibilidad de mineralización mucho menor que en otros países con zonas cratónicas más antiguas.

En nuestro país, hasta el presente, se ha identificado corteza oceánica representada por las ofiolitas que de sur a norte se localizan en la Cordillera Frontal, Precordillera, Sierras Pampeanas Occidentales y Puna. Éstas no se encuentran completamente evaluadas desde el punto de vista metalogenético.

Los cuerpos de sulfuros de Cu, Co, Ni son de edad Paleozoica inferior y se localizan en las ofiolitas occidentales formadas en cuencas marginales poco desarrolladas, por ejemplo en Cordillera Frontal y Precordillera occidental.

En la parte central, en la sierra Grande de Córdoba, la faja ofiolítica presenta cuerpos podiformes de cromita de edad proterozoico media a superior y pertenecen a una fosa mediooceánica de escaso desarrollo mantélico. Por otra parte, la ofiolita de la Sierra Chica de Córdoba es una ofiolita que se caracteriza por complejos estratificados ricos en cromita, que por su tipo de mineralización puede ser portadora de EGP.

Se observa un único complejo estratificado en la Argentina, en la sierra de San Luis (faja Virorco-Las Águilas) mineralizado por EGP y MGP de edad ordovícica., . demostrando que en el país pueden existir otras épocas metalogénicas con mineralización de EGP.

Por otra parte se han identificado komatiitas proterozoicas en la misma Sierra (González et.al. 2002) que aún no han sido investigadas por EGP.

En Patagonia el complejo estratificado de Tecka -Tepuel en la provincia de Chubut está poco investigado y los contenidos de EGP evaluados hasta el presente son escasos.

En la provincia de Catamarca el Complejo estratificado de arco Fiambalá de edad ordovícica tiene mineralizaciones interesantes de Ni y Co y es portador de EGP, aunque en contenidos bajos.

Las zonas de la Argentina donde ya se han confirmado mineralizaciones portadoras de EGP y MGP con posible interés económico hasta el presente son:

1. la faja máfica –ultramáfica de San Luis (yacimientos Las Águilas)
2. los placeres de Au-EGP de Tierra del Fuego

Las restantes áreas descriptas tienen bajos valores de EGP, pero, teniendo en cuenta consideraciones genéticas y los posibles modelos de mineralización asociados, los cuerpos de Fiambalá, Catamarca y de las Sierra Chica de Córdoba constituyen eventuales *targets* de exploración en sus zonas estratificadas. Cabe señalar que un valor límite para declarar económico un yacimiento portador de EGP es 1 ppm de estos elementos.

BIBLIOGRAFÍA

Barnes, S.J. y W.D. Maier. 1999. The fractionation of Ni, Cu and the noble metals in silicate and sulphide liquids. En *Dynamic processes in magmatic ore deposits and their application to mineral exploration*. Short Course Notes Volume 13. Mineral Deposits Division. P. 69-106

Barnes, S.J, Naldrett, A.J. y M.P.Gorton.1985. The origin of fractionation of platinum-group elements in terrestrial magmas. *Chemical Geology*, 52: 303-323

Berg, E. A., 1994. Platinum Group Elements and gold in serpentines ultramafic rocks from the Cordillera Frontal Range, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49 (1-2): 48-54.

Bjerg, E.A. y J.C.Sabalúa. 1999. Yacimientos de níquel, cobalto y cobre Las Águilas Este y Oeste, San Luis. En: *Recursos Minerales de la Repú-*

blica Argentina (Ed. E.O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales.SEGEMAR, Anales: 309-316, Buenos Aires.

- Bjerg, E.A.; Stumpfl, E.F. y W. Prochaska. 1992. Rh-Pt-Pd-Au en rocas ultramáficas de la Cordillera Frontal, Mendoza, Argentina. I° Reunión de Mineralogía y Metalogenia y I° Jornada de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de rocas ultrabásicas. La Plata. 28 al 30 de octubre. Publicación N° 2. p.371-378
- Bjerg, E.A., Villar, L. M. y E. Donnari. 1999. Distrito cuprífero Salamanca, Complejos Novillo Muerto y Los Gateados, Mendoza. En: *Recursos Minerales de la República Argentina* (Ed. E.O.Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR, Anales 35: 167-172. Buenos Aires.
- Cabri L.J. 1981. *Platinum – Group Elements: Mineralogy, Geology, Recovery*. Edited por Louis J. Cabri. The Canadian Institute of Mining and Metallurgy. CIM Special Volumen 23, p. 267
- Cincarini, A., Escayola, M y L. M. Villar. 1996. Caracterización geoquímica del Gabro Estratificado del Cerro San Lorenzo. XIII Congreso Geológico Argentino. Actas III, 387-398
- Coleman, R.G. 1977. *Ophiolites*. Springer Verlag 12.Berlin, Heidelberg, New York, p 229
- Craig, J.R. y D.J.Vaughan, 1994. *Ore microscopy and ore petrography*. John Wiley y Sons, INC. p.434
- De Bari, S. M..1994. Petrogénesis of the Fiambala gabbroic intrusion, northwestern Argentina, a deep crustal sintectonic pluton in a continental magmatic arc *Journal of Petrology*, vol.35, 3, p.679-713
- Douglas B., Stoeser, D. B. y W.D.Heran 2000. *USGS Mineral Deposit Models*. Geological Survey.USA
- Escayola, M., Villar, L. M. y N.J.Page.1993. Platinum- Group Elements in the Central Belt of Ultramafic rocks in the Sierras Pampeanas, Córdoba, Argentina. En: *I Brazilian EGP Meeting*. P.58-59.Extended abstracts volume. Compilado y revisado por: Hardy Host y Dione Macedo
- Ferracutti, G ; Bjerg, E. y A.Mogessie, 2004. Cromo espinelos de Las Águilas, provincia de San Luis, como indicadores tectónicos. En *Avances en Mineralogía, Metalogenia y Petrología 2004*. 7° Congreso de Mineralogía y Metalogenia. Río Cuarto, Córdoba
- Felfernig, A, Mogessie, A., Hauzenberger, C., Hoinkes, G., Bjerg, E. y J. Kostadinoff.1999. The mafic- ultramafic Las Águilas Complex, San Luis province, Argentina: Genesis of Platinum group minerals. *Journal of Mineralogy* (11):71. Stuttgart, Alemania

- Gallagher, M.J., Ixer, R.A., Neary, C.R. y H.M. Prichard. Metallogeny of basic and ultrabasic rocks. 1986. Institution of Mining and Metallurgy. 922 páginas.
- Gervilla, F., Sabalúa, J.C., Carrilo, R., Fenoll, P. y R.D. Acevedo. 1993. Mineralogy and mineral chemistry of the Las Águilas Ni-Cu deposit, province of San Luis, Argentina. En: Current Research in Geology Applied to Ore Deposits; Fenoll Hach-Ali, Torrez Ruiz y Gervilla (Eds.), 461-464, Madrid, España
- González, P.D., Sato, A.M., Basei, M.A.S., Vlach, S.R.F. y E.J. Llambías. 2002. Structure, metamorphism and age of the Pampean-Famatinian orogenies in the western Sierra de San Luis. Actas del XV Congreso Geológico Argentino. El Calafate. P:51-56
- Gregori, D.A. y E. A. Bjerg, 1997. New evidences on the nature of the Frontal Cordillera ophiolitic belt - Argentina. Journal of South American Earth Sciences, 10 (2): 147-155.
- Grissom, G.C., de Bari, S.M., Page, S., Page, R., Villar, L.M., Coleman, R.G. y M. Viruel de Ramírez 1991. The deep crust of an early paleozoic arc : the Sierra de Fiambalá Norwestern Argentina, Andean magmatism and its Tectonic setting: Geological Society of America. Special Paper, v.250. 189-200
- Haller, J.M. y V. A. Ramos. 1984. Las ofiolitas famatinianas (Eopaleozoico) de las provincias de San Juan y Mendoza. 9° Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche Actas, II:66-83.
- Haller, M. y V. Ramos. 1993 Las ofiolitas y otras rocas afines. 1-4 Relatorio Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Mendoza Ed. Victor Ramos 31-40
- Harris, D.C. y L.J. Cabri. 1991. Nomenclature of platinum –group-element alloys : review and revision. Canadian Mineralogist Vol.29, pp.231-237
- Hulbert, L.J., Duke, J.M., Eckstrand, J.W., Lydon, J., Cabri, L.J. y T.N. Irvine, 1988. Geological environments of the Platinum Group Elements. Geological Survey of Canadá. Open File 1440
- IAGOD. Commission on Ore Deposits in Mafic and Ultramafic Rocks. 1989. 5th International Platinum Symposium. Abstracts. Editor Heikki Papunen. Bulletin of the Geological Society of Finland, number 61, part 1, 1-64
- Kinloch, E.D. 1982. Regional trends in the platinum – group element mineralogy of the Critical Zone of the Bushveld Complex, South Africa; Economic Geology, v.77, p.1328-1347
- Kucha H. y W. Przybyłowicz. 1999 Noble metals in Organic Matter and Clay-Organic Matrices, Kupferschiefer, Poland. En Economic Geology. Volumen 94/número 7. pp.1137-1162
- Leblanc, M., 1990. Platinum group elements and gold in ophiolitic complexes: Distribution and Fractionation from mantle to oceanic floor. Tj. Peters, A. Nicolas, and R.G. Coleman (Ed.) Ophiolite genesis and evolution of the oceanic lithosphere. 231-260 Kluwer. 903p.
- Lencinas, A. 2001. Las Águilas Copper- Niquel-EGP Property San Luis Province. Para Easton Minerals LTD
- Malvicini, L. y N. Broggioni. 1992. El yacimiento hidrotermal de níquel, cobre y metales del « grupo del platino», Las Águilas Este: IV Congreso Nacional de Geología Económica y I Congreso Latinoamericano de Geología Económica, Actas, P. 93-97
- Malvicini, L. y N. Broggioni, 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, Tomo 48, 1, p.3-20
- Márquez, M., Viera, R., Ferpozzi, L., Ubaldón, C., Butrón, F., Fernández, M. y C.J. Chernicoff 2000. Evaluación del potencial en elementos del grupo del Pt (EGP) y minerales metalíferos asociados en los plutones gábricos de las sierras de Tecka y Tepuel, Chubut. Serie Contribuciones Técnicas. Recursos Minerales 10. SEGEMAR. CD
- Mogessie, A., Hauzenberger, C., Hoinkes, G., Felferning, A., Stumfpl, E., Bjerg, E. 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. and B. Saini Eidukat. 1992. A Review of the occurrence of platinum group elements in the Duluth Complex, Minnesota, U.S.A. Trends in Mineral. 1: 65-85.
- Mutti, D. 1999. Depósitos de Cromitas de Córdoba. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E.O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR, Anales 35: 193-205
- Naldrett, A.J. y I.M. Duke. 1980. Platinum metals in magmatic sulphide ore. Science 208. 1417-1424
- Ortiz – Suárez, A., Ulacco, H., Zaccarini, F., y G. Garuti. 2001. Sperrylite from sulfides of Las Cañas (Sierra de San Luis): the second Argentine occurrence. VII Congreso Argentino de Geología Económica. Actas 1. p.169-172
- Paar, W; Sureda, R. y Dan Topa. 2004. Christtanyelita, Ag Pd Se y su análogo cuprífero jagüeita $Cu^2Pd^3Se^4$ de la Mina El Chire, departamento Gral. Lamadrid, provincia de La Rioja, Argentina. En 7° Congreso de Mineralogía y Metalogía. Pa, 109-112

- Paar, W, Topa, D., Sureda, R., Stumpfl, E. y H. Mühlhans. Merenskyita, PdTe₂ en las menas de selenio, cobre y plata de la Mina Las Aspezas, distrito minero Sierra de Umango, provincia de La Rioja, Argentina. En 7° Congreso de Mineralogía y Metalogenia. Pág. 113-118
- Page, S. 1984. Los gabros bandeados de la sierra de Tepuel, cuerpos del sector suroeste, provincia del Chubut. 9° Congreso Geológico Argentino. Actas 2: 584-599
- Page, N.J., Singer, D.A., Moring, B.A, Carlson, C.A., Mc Dade, J.M. y S.A. Wilson. 1986. Platinum Group element resources in podiform chromitites from California and Oregon *Econ.Geol* 81:1261-1271.
- Pritchard H.M., C.R.Neary y P.J..Potts.1986 Platinum Group Minerals in the Shetland Ophiolite Metalogeny of basic and ultrabasic rocks. Ed Gallagher M.J., Ixer R.A., Neary, C.R. *Inst.Mining metall.* London, 395-314.
- Proenza, J.A, Zaccarini, F., Cábana, M.C., Escayola, M. y I Schalamuk. 2005. Minerales del Grupo del Platino en las cromititas ofiolíticas de las Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina. Actas del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata, p.33-38
- Pugliese, L.E y L.M.Villar. 2002. Aspectos petrológicos y geoquímicos del Complejo máfico-ultramáfico estratificado del Cerro La Cocha, provincia de Córdoba, Argentina. Sexto Congreso de Mineralogía y Metalogenia. Buenos Aires. Eds. M.K.Brodtkorb, M. Koukharsky y P.R.Leal. Facultad de Ciencias Naturales. UBA. P. 353-360
- Pugliese, L y L.M.Villar. 2004. Elementos del grupo del Platino en el Complejo máfico-ultramáfico de Cerro La Cocha, departamento de Punilla, provincia de Córdoba. Avances en Mineralogía, Metalogenia y Petrología 2004. UBA y Universidad Nacional de Río Cuarto. Pp: 119-120
- Ramdohr, P. 1980. The ore minerals and their intergrowths. Pergamon Press. Volume I.p.440
- Stowe, C.W. 1987. Evolution of the Chromium Ore Field. Van Nostrand Reinhold Company new York 340 pp.
- Talkington, R.W., Watkinson, D.H., Whittaker, P.J y P.C.Jones. 1983. Platinum group inclusions in chromite from the Bird River Sill, Manitoba: *Mineralium Deposita*, v.18, p.245-255
- Villar, L.M., E.I.Donnari y N.E.Page 1991(a). Presencia de platinoideos en la franja máfico-ultramáfica de la Cordillera Frontal de Mendoza, su significado. IV Congreso Geológico Chileno. Actas, 688-692.
- Villar, L.M., E.I. Donnari, S.J. Segal y N.E. Page 1991(b). Platinoideos en la faja máfica ultramáfica de la Cordillera Frontal de Mendoza y el gabro de Fiambalá, Catamarca. Primera Reunión de Mineralogía y Metalogénesis. Primeras Jornadas de Mineralogía, Petrografía y Metalogenia de Rocas Ultrabásicas. INREMI: 475-489.
- Villar, L. M. y S.J.Segal.1988. Correlación petrológica y metalogenética de las perforaciones realizadas en la asociación gábrica-metasedimentaria de la Sierra de Fiambalá, provincia de Catamarca. Argentina: VII Congreso Latinoamericano de Geología, Belem Pará, Actas, p.100-139
- Villar, L., Segal, S.J. y N. Page.1991b. Presencia de platinoideos en el gabro de Fiambalá, provincia de Catamarca, Argentina. IV Congreso Geológico Chileno. Actas: 588-592
- Villar, L., Segal, S, Puglisi, C. y M.Escayola. 1992. Grado industrial de las cromititas de Córdoba, génesis tectomagmática. 4° Congreso Nacional y 1° Congreso Latinoamericano de Geología Económica, Actas 206-213, Córdoba
- Villar, L., Segal, S.J. y N. Page.1993. Platinum Group elements in the gabbro of Fiambalá, province of Catamarca, Argentina. 1° Brazilian EGP Meeting, 60-62
- Villar, L., Candiani, J.C., Miró, R y S.J.Segal. 1993. El gabro estratificado del Cerro San Lorenzo, departamento Calamuchita, Córdoba: su interés económico. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 5: 175- 181, Mendoza
- Villar, L.M., Segal, S.J. y N.J.Page. 1994. Elementos del Grupo del Platino en las cromititas de la faja máfica-ultramáfica de Sierra Grande de Córdoba. II Jornada de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de rocas ultrabásicas. La Plata. Publicación N° 3: 643-652
- Villar, L., Segal, S.J. y N. Page.1996. Los platinoideos del plutón gabroide de Fiambalá, provincia de Catamarca, Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino, Actas, 3: 189-200
- Villar, L. M. Y Segal, S. J. 1999. Mineralogía de Cu-Ni-Co y Cr en la Sierra de Fiambalá, Catamarca. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR, Anales 35: 451-456
- Villar L.M. y Zappettini, E. 2000. El complejo alcalino Paleógeno de Puesto La Peña. Simposio Internacional de Magmatismo Andino. 9° Congreso Geológico Chileno Actas 2.697-701
- Villar, L.M., Segal, S.J. y R.D.Acevedo.2001. Aportes al estudio mineralógico de los espinelos de la Ofiolita de Sierra Grande de Córdoba, provincia de Córdoba y del Gabro estratificado de Fiambalá, provincia de Cata-

- marca, Argentina. XI Congreso Latinoamericano de Geología y III Congreso Uruguayo. CD (Mineralogía y Geoquímica). Noviembre 2001. DINAMIGE
- Villar, L.M.; Zappettini; E.O y L.Hernandez. 2002. Mineralogía del complejo alcalino de Puesto La Peña, provincia de Mendoza, Argentina, 6to Congreso de Mineralogía y Metalogenia. p 453-460. Eds M.K.de Brodtkorb, M. Koukharsky y P.R. Leal. Universidad de Buenos Aires.
- Windley, B.F. 1977. The evolving continents. Second Edition. John Wiley and Sons. P.399 provincias de San Juan y Mendoza 9 Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche Ctas II 66-83.
- Zannettini, J.C. y M.A.Carotti. 1993. Yacimientos metalíferos y metalogénesis: XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Geología y Recursos Minerales de Mendoza. V.A Ramos (ed.) Relatorio IV, n° 1, p.485-504
- Zappettini, E. Blasco G. y L.M.Villar. 1994. Geología del extremo sur del Salar de Pocitos. 7° Congreso Geológico Chileno. T.1: 220-225. Concepción.Chile
- Zappettini, E., Villar, L.M., Segal, S.J., Celeda, A., Romano, A. y D. Acevedo. 2004. The origin of Platinum in Tierra del Fuego: Geological Evidences. Geosur 2004. Buenos Aires.