

# Relación entre metamorfismo y mineralización en las rocas básicas y ultrabásicas de Mina Salamanca y los Gateados (Provincia de Mendoza, Argentina)

*Relationship between metamorphism and mineralization in the basic-ultrabasic rocks from Mina Salamanca and Los Gateados (province of Mendoza, Argentina)*

A. Sánchez-Anguita (\*), J. F. Molina (\*\*), F. Gervilla (\*\*), P. Fenoll Hach-Alí (\*\*) y R. D. Acevedo(\*\*\*)

(\*) APLITEG, S.L. Col. San Sebastián, 6, 6ªA. 18006 Granada.

(\*\*) Dpto. de Mineralogía y Petrología e Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (Universidad de Granada-CSIC). Avda. Fuentenueva s/n. 18002 Granada.

(\*\*\*) Centro Austral de Investigaciones Científicas. CONICET. Malvinas Argentinas, 9410 Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.

## ABSTRACT

*The basic and ultrabasic rocks from Mina Salamanca district and Los Gateados area are metamorphosed in epidote-amphibolite facies, and locally, in greenschist facies conditions. The green schist facies assemblages develop associated to carbonate ( $\pm$ quartz) veins in the amphibolites and to talc+magnesite assemblages in serpentinites. In the latter case, the fluids dissolved a primary, disseminated sulfide mineralization and gave rise to a massive ore along a fault zone in Mina Salamanca district.*

**Key words:** metamorphosed basic-ultrabasic rocks, epidote-amphibolite facies, greenschist facies, serpentine-talc-magnesite assemblage, Cu-Zn sulfide ore, Cordillera Frontal, Argentina.

*Geogaceta, 20 (7) (1996), 1582-1585*

*ISSN: 0213683X*

## Contexto Geológico y descripción petrográfica

El distrito minero Salamanca y el área de Los Gateados, forman parte de la Cordillera Frontal, dentro del Departamento de Tupungato (Provincia de Mendoza, Argentina). En estas áreas afloran cuerpos hectométricos de rocas básicas-ultrabásicas metamorfizadas constituidos por serpentinitas, gabros parcialmente transformados a anfíbolitas y anfíbolitas (Villar y Donnari, 1989a y b). Las serpentinitas y, en menor medida las anfíbolitas, muestran un importante grado de alteración hidrotermal que da lugar a la formación de depósitos de talco (Gregori y Bjerg, 1992). Los citados cuerpos afloran concordantemente con los esquistos y cuarcitas, con abundantes intercalaciones de anfíbolitas (Fig. 1), que integran la Formación Macho Viejo atribuida al Precámbrico (Polansky, 1972). En la región estudiada, las metapelitas están constituidas por micaesquistos con una asociación mineral foadada por plagioclasa + cuarzo + sillimanita + moscovita + biotita + calcita, y por esquistos con la asociación moscovita + cuarzo + hematites + turmalina. Los primeros presentan intercalaciones de cuarcitas con la asociación

cuarzo + granate + biotita + turmalina + plagioclasa + ilmenita. Estos materiales muestran una foliación penetrativa asociada al desarrollo de pliegues apretados subverticales de dirección SSW-NNE, con su eje buzante hacia el NE. En Mina Salamanca las rocas básicas-ultrabásicas ocupan el núcleo de una estructura sinforme, mientras que en Los Gateados ocupan el núcleo del antiforme oriental contiguo. Estas estructuras y, a menor escala la fábrica de las rocas, se encuentran frecuentemente cortadas por venas de cuarzo ( $\pm$  carbonatos), probablemente asociadas al proceso hidrotermal que generó la mineralización de talco.

Las rocas estudiadas presentan una asociación principal en facies de anfíbolitas con epidota, constituida por anfíbol cálcico (mayoritariamente de tipo magnesiohornblenda y escasamente de tipo hornblenda edenítica, hastingsítica y pargasítica (Leake, 1978) con  $Na_{M4} = 0.187$ ,  $Na_A = 0.445$ ;  $Al_{V1} = 0.624$ ;  $X_{Mg/Mg+Fe} = 0.625$ ), epidota rica en pistacita ( $X_{Ps} = 0.338$ , donde  $X_{Ps} = Fe^{3+}/(Al-2+Fe^{3+})$ ), albita peciloblástica incluyendo granos redondeados de epidota, cuarzo y titanita. Estos minerales aparecen orientados según la foliación principal descrita.

Esta asociación puede presentar dominios relictos constituidos por clinopiroxeno de tipo salita (Morimoto, 1988) ( $Al_{V1} = 0.009$ ;  $Na = 0.015$ ), plagioclasa con contenidos moderados en anortita ( $X_{An} = 0.564$ ), anfíbol cálcico mayoritario de tipo hornblenda actinolítica y más raramente de tipo actinolita y magnesiohornblenda ( $Na_{M4} = 0.096$ ;  $Na_A = 0.127$ ;  $Al_{V1} = 0.182$ ;  $X_{Mg/Mg+Fe} = 0.685$ ), ilmenita ( $Fe^{2+} = 0.919$ ;  $Mn = 0.070$ ;  $Mg = 0.023$ ) y calcita. El clinopiroxeno desarrolla agregados granoblásticos; la plagioclasa suele estar fuertemente sausriritizada; la ilmenita aparece recrecida por titanita, y el anfíbol se descompone a un agregado de epidota+albita, poniendo de manifiesto la blastesis incipiente de la asociación bajo la facies de anfíbolitas con epidota.

Las anfíbolitas con albita-epidota aparecen localmente reemplazadas por una asociación en facies de esquistos verdes, constituida por clorita ( $Al_{IV} = 2.290$ ;  $Al_{V1} = 2.496$ ;  $X_{Mg/Mg+Fe} = 0.594$ ) anfíbol cálcico, epidota (con  $X_{Ps} = 0.474$ ), albita, calcita y magnetita. Esta asociación retrógrada aparece siempre relacionada con las venas de carbonato que cortan la foliación.

Las rocas ultrabásicas se encuentran normalmente serpentinizadas. Los productos

de alteración muestran típicas estructuras mallas, con texturas en "reloj de arena" ocupando los centros de las mallas. Están compuestas por olivino+ lizardita+ magnetita y/o lizardita+magnetita. En ambos casos existen pequeñas cantidades de crisotilo, antigorita y brucita. Sin embargo, estas asociaciones minerales se encuentran parcial o totalmente reemplazadas por talco y magnesita, y, en menor medida, por tremolita y/o clorita. El talco y la magnesita reemplazan a la lizardita extensivamente, mientras que la tremolita y la clorita tienden a cristalizar como relleno de fracturas (Acevedo *et al.*, 1994).

**Mineralización**

En las áreas estudiadas se pueden diferenciar dos tipos de mineralizaciones. El primer tipo se presenta en forma masiva (el filón principal tiene una potencia media de 2 m.) y se asocia a la zona de falla que desplaza el flanco occidental de la estructura sinforme cuyo núcleo está ocupado por las rocas básicas y ultrabásicas, y a lo largo de la cual se alinean las minas Salamanca, Luisa y Barrera (Fig. 1). Esta mineralización contiene pirrotina, pentlandita, calcopirita y esfalerita, con cantidades menores de cubanita, pirita, violarita, mackinawita, bornita, calcosina, altaíta, vallerita, Au nativo y magnetita. La proporción relativa de los distintos minerales y, sobre todo, la relación pirrotina/calcopirita varía según el tipo de roca en que se encuentre. Así, en anfibolitas predomina la asociación calcopirita + pirrotina monoclinica + esfalerita + (cubanita), mientras que en las serpentinitas la asociación más abundante está formada por pirrotina hexagonal + pentlandita + calcopirita + (esfalerita). El segundo tipo de mineralización se presenta de forma diseminada en las serpentinitas, y en menor medida en los gabros (Villar y Donnari, 1989a y b), tanto en Mina Salamanca como en Los Gateados. Su asociación mineral está compuesta esencialmente por pirrotina y pentlandita, con menores cantidades de calcopirita, pirita, magnetita y marcasita.

**Relaciones entre metamorfismo y mineralización**

La evolución petrológica experimentada por los gabros y anfibolitas de Mina Salamanca y Los Gateados registra una primera etapa caracterizada por la presencia de una paragénesis ígnea, sometida posteriormente a un metamorfismo de la facies de anfibolitas con epidota. La ausencia de granate en estas rocas pone de manifiesto que las condiciones de presión durante el metamorfismo fueron inferiores a 8-10 kbar (Poli, 1993) para las tempe-

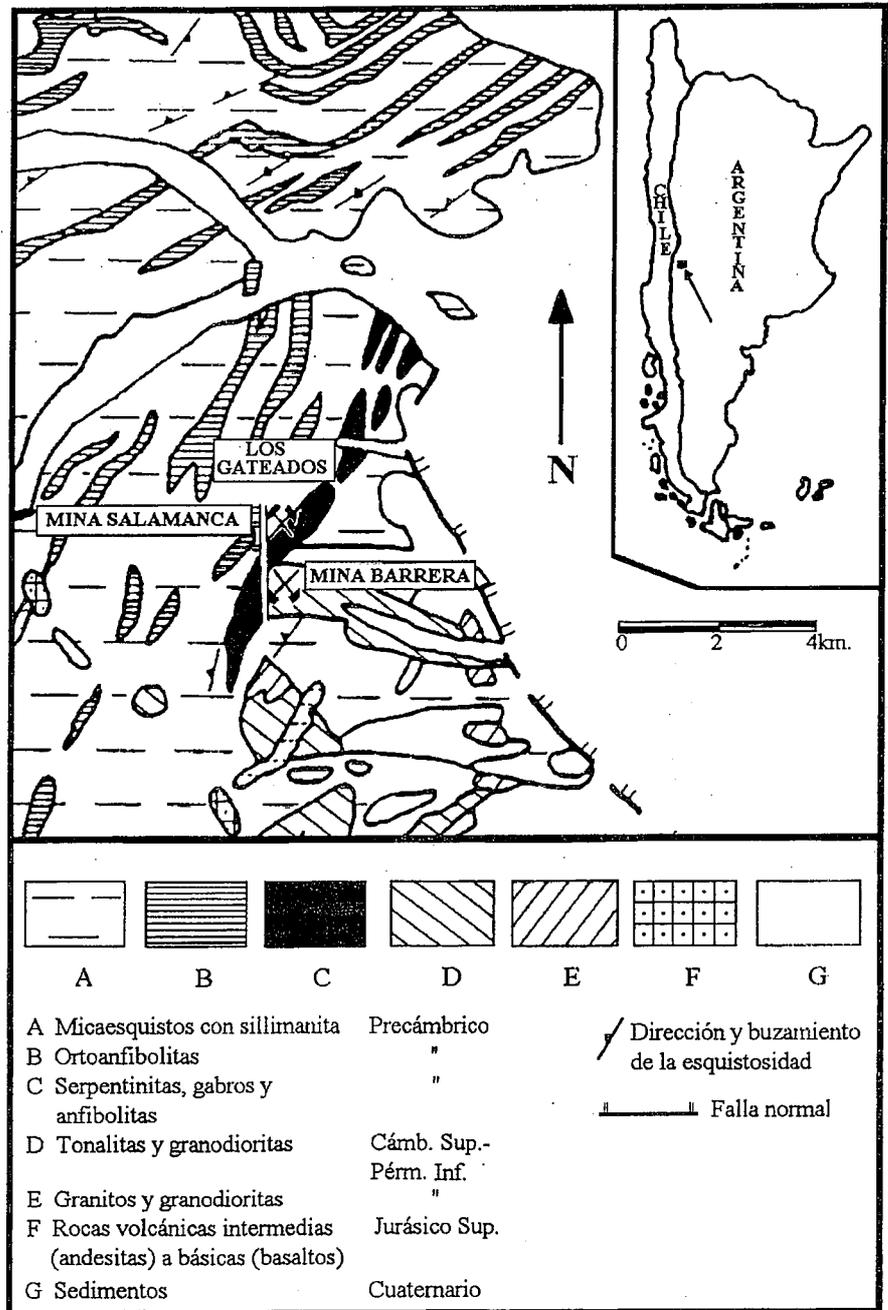


Fig.1.- Mapa geológico con la localización de los afloramientos de rocas básicas-ultrabásicas estudiados (modificado según Polansky, 1972).

Fig.1.- Geological map with the location of the studied occurrences of basic-ultrabasic rocks (modified from Polansky, 1972).

raturas de equilibrio obtenidas con las recientes calibraciones del geotermómetro anfíbol-plagioclasa de Holland y Blundy (1994) (Tabla 1). Esta tabla muestra que, en la asociación con anfíbol y epidota se obtiene una temperatura media de 593°C para las distintas presiones consideradas. Tales condiciones son compatibles con la estabilidad de la epidota y la ausencia de clorita (Apted y Liou, 1983). Con respecto a la presión, el campo de estabilidad de esta aso-

ciación queda restringido por las curvas de desaparición de la epidota y la de aparición de la distena (dado que en las metapelitas encajantes sólo aparece sillimanita).

La formación de venas de carbonatos ± cuarzo discordantes con la foliación metamórfica, lleva emparejado el desarrollo de asociaciones minerales características de las facies de esquistos verdes, en las que la blastesis de clorita define unas condiciones de temperatu-

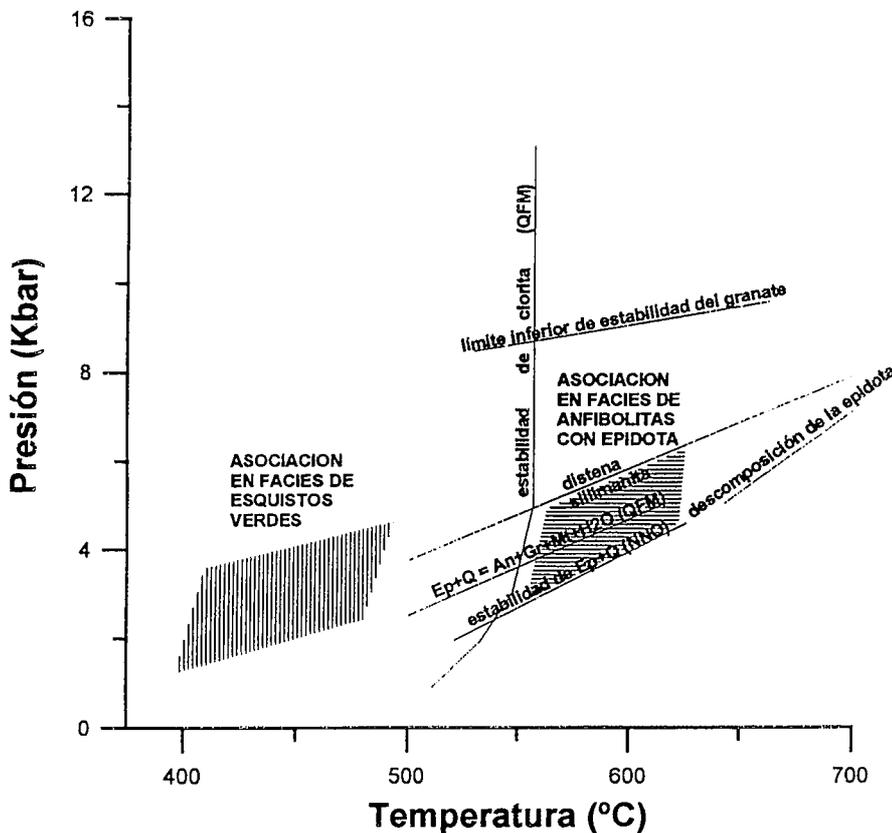


Fig.2.- Diagrama P-T mostrando las condiciones de formación de las asociaciones máficas, restringidas por las curvas de estabilidad de los principales minerales en asociaciones máficas a baja presión, y el geotermómetro anfíbol-plagioclasa de Holland y Blundy (1994).

Fig. 2.- P-T diagram showing the stability fields of the mafic associations found. These fields are limited by the stability curves of the main mafic mineral assemblages at low pressure conditions, and the temperature data obtained with the amphibol-plagioclase geothermometer, calibrated by Holland and Blundy (1994).

ras inferiores a 550°C (Apted y Liou, 1983) (Fig. 2).

Teniendo en cuenta que la mineralización de sulfuros en la zona de falla del distrito de Mina Salamanca va asociada al desarrollo de un intenso proceso de silicificación ± carbonatación, se puede establecer que dicho proceso tuvo lugar con posterioridad al metamor-

fismo en facies de anfíbolitas con epidota, en unas condiciones de moderada fugacidad de oxígeno ( $\log f_{O_2}$  entre -36 y -34), alta fugacidad de azufre ( $\log \Sigma S \geq -1$ ) y temperaturas en torno a 400-500°C, de acuerdo con las relaciones de fase de los sulfuros de Fe-Ni en serpentinitas (Frost, 1985). Las temperaturas estimadas son coherentes, además, con las condicio-

Presión (Kbar)	2	3	4	5
n° medidas	15	14	14	14
temperatura (°C) media	595	595	592	588
" mínima	562	558	568	567
" máxima	616	624	620	601

Tabla 1.- Temperaturas obtenidas para diferentes valores de presiones, utilizando el geotermómetro anfíbol-plagioclasa de Holland y Blundy (1994). Se ha utilizado solamente el geotermómetro edenita-albita, dado que la plagioclasa presenta una composición muy próxima al término albita.

Table 1.- Temperature obtained from different values of pressure, using the amphibole-plagioclase geothermometer calibrated by Holland and Blundy (1994). We have used only the edenite-albite geothermometer because the composition of plagioclase is very close to the albite end-member.

nes de estabilidad de la cobalto-pentlandita existente en la mineralización (Sánchez-Anguila *et al.*, 1995).

El modelo genético para las mineralizaciones masivas del distrito Salamanca implica un depósito, en la zona de falla, de soluciones mineralizantes procedentes del lixiviado de una mineralización previa diseminada, representada en la actualidad por la que existe, localmente, en las serpentinitas de Los Gateados y Mina Salamanca. Las condiciones establecidas para los procesos de serpentinitización (± silicificación ± carbonatación) favorecen la solubilidad de los sulfuros mediante soluciones en las que el S se encuentra en forma de  $SO_2$ , asumiendo importantes gradientes de  $f_{O_2}$  en los cuerpos metamorizados (Frost, 1985). Esto permitió su movilización, y su depósito en zonas más reductoras. Este modelo explica igualmente, los patrones de zonación que muestran las espinelas cromíferas en las serpentinitas (Bjerg *et al.*, 1993).

No obstante, el origen último de las soluciones mineralizantes debió estar relacionado con la intrusión de los cuerpos de granitos y granodioritas existentes en la zona, y de los filones de cuarzo de origen hidrotermal asociados, explicando así, los elevados contenidos en Cu (8,72-9,02) y en Zn (0,63-4,29%) de la mineralización, en contraposición a los bajos contenidos en Ni (<0,2%) (Gonzalez Stegeman, 1949).

**Conclusiones**

^ El complejo básico-ultrabásico de Mina Salamanca y Los Gateados registra una evolución petrológica caracterizada por un enfriamiento progresivo, desde una paragénesis ígnea relictas, metamorizada en facies de anfíbolitas con epidota (a  $P < 5$  kbar y T media de 593°C) hasta una última etapa metamórfica en facies de esquistos verdes (a  $P < 5$  kbar y  $T < 550^\circ C$ ).

^ Durante la etapa metamórfica en facies de esquistos verdes, se produjeron las venas de carbonatos ± cuarzo, originando las paragénesis típicas de esta facies. Tuvo lugar en esta etapa el proceso de alteración (serpentinitización ± silicificación ± carbonatación) de las rocas ultrabásicas, que favoreció la removilización de la mineralización diseminada.

^ La mineralización masiva se originó como consecuencia del intenso proceso de silicificación-carbonatación, que tuvo lugar a valores moderados de  $f_{O_2}$  y altos de  $f_S$ , y a temperaturas  $\geq 400^\circ C$ . Este proceso lixivió la mineralización diseminada, precipitando los sulfuros nuevamente en zonas más reductoras, en la zona de falla de Mina Salamanca. El alto contenido en Cu y Zn se explicaría por el aporte de soluciones hidro-

termales procedentes de las intrusiones graníticas y granodioríticas del entorno.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la DGICYT (proyecto AMB95-0512) y la Junta de Andalucía (Grupo 4028), y constituye una contribución al Proyecto nº 336 "Intraplate magmatism and metallogeny" del Programa Internacional de Correlación Geológica (UNESCO).

#### Referencias

- Acevedo, R.D.; Carrillo, R.; Fenoll Hach-Alí, P.; Gervilla, F. y Martín-Ramos, J. (1994). *II Jornadas de Mineralogía, Petrografía y Metalogénesis de Rocas Ultrabásicas*. Univ. Nac. de la Plata, 3, 477-482.
- Apted, J. y Liou, J.G. (1983). *Am. J. Sci.* 283, 328-354.
- Bjerg, E.A.; Brodtkorb, M.K. de y Stumpfl, E. F. (1993). *Mineral Mag.* 57, 131-139.
- Ewers, W.E.; Graham, J.; Hudson, D.R. y Rolls, J.M. (1976). *Contrib. Miner. Petrol.*, 54, 61-64.
- Frost, R. (1985). *J. Petrol.*, 26, 1, 31-63.
- González Stegemann, E.M. (1949). *Dirección General de Fabricaciones Militares. Informe*. 95pp.
- Gregori, D.A. y Bjerg, E.A. (1992). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 47(1), 55-59.
- Groves, D.I.; Barret, F.M.; Binns, R.A. y McQueen, K.G. (1977). *Econ. Geol.*, 72, 1224-1244.
- Holland, T. y Blundy, J. (1994). *Contrib. Miner. Petrol.* 116, 433-447.
- Leake, B.E. (1978). *Can. Miner.* 16, 501-520.
- Morimoto, N. (1988). *Miner. & Petrol.* 39, 55-76.
- Polansky, (1972). *Mapa geológico de Argentina*. Hoja 24a-b (Cerro Tupungato). Escala 1:200000.
- Poli, S. (1993). *Am. J. Sci.* 293, 1061-1107.
- Sánchez-Anguita, A.; Gervilla, F.; Fenoll Hach-Alí, P. y Acevedo, R.D. (1994). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 18-2, 29-30.
- Villar, L. y Donnari, E. (1989a). *Correlación Geológica*. 3, 45-50.
- Villar, L. y Donnari, E. (1989b). *Reunión sobre geotranssectos de América del Sur*, Mar del Plata, Argentina, 1, 45-49.