

Abril 2004

Revista Ciencia y Técnica N° 11

**Biotita, su Utilización como Mineral Índice en las Rocas Metamórficas del Cerro de los Ángeles, Sierra de Ambato, Catamarca, Argentina**  
**Gaciela del Valle Córdoba - Marcelo E. Watkins**

**Unidad Ejecutora:** Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas – Universidad Nacional de Catamarca – Maximio Victoria 55, C.P. 4700 – Catamarca

**Palabras Claves:** biotita-geoquímica-metamorfismo

**Key words:** biotite-geochemistry-metamorphism

**RESUMEN:** *El estudio geoquímico de la biotita, principal mineral accesorio de esquistos, gneises y migmatitas del sector septentrional del cerro de Los Angeles, Sierra de Ambato, Catamarca, Argentina, permitieron establecer con precisión, las condiciones físicas bajo las cuales se alcanzó el pico de metamorfismo en este sector de Sierras Pampeanas.*

*Los diagramas experimentales establecieron que las migmatitas fueron consolidadas a T° de 720°C y Pt de 5,43 Kb aproximadamente.*

**SUMMARY:** *The geochemical study of the biotite, main accessory mineral of schists, gneisses and migmatites of the northern sector of Los Angeles hill, Ambato range, Catamarca Argentina, allowed to establish accurately, the physical conditions under which the pick of metamorphism was reached in this sector of Pampeanas Ranges.*

*The experimental diagrams established that the migmatites were consolidate at T° of 720°C and Pt of 5.43 Kb approximately*

## INTRODUCCION

Durante el estudio petrológico-geoquímico del basamento metamórfico, sector Septentrional, en el cerro de Los Angeles, Sierra de Ambato, Catamarca, Argentina (Córdoba 1994), se planteó el problema de ausencia de minerales índices fidedignos, utilizados tradicionalmente para rocas de origen sedimentario aluminoso, por distintos autores: cordierita, granate, etc.

Por este motivo se inició la investigación geoquímica de la biotita, principal accesorio en estas rocas y único mineral disponible para ser utilizado como indicador de grado metamórfico y condiciones físicas de formación de estas unidades litológicas.

Este recurso fue mencionado por Hewitt y Wones (1984), para resolver este tipo de problemas y aplicado por primera vez en nuestro país durante esta investigación.

Los resultados obtenidos a partir de muestras exploratorias permitieron, sin duda, un mejor entendimiento del metamorfismo acaecido en este sector de Sierras Pampeanas, además de inferir acerca de los posibles procesos que intervinieron en su formación.

## Metodología de trabajo

Si bien actualmente existen técnicas de determinación química de gran precisión como es la microsonda electrónica, en el momento de realizar este trabajo se aplicó otro tipo de metodología, que se detalla a continuación.

Se seleccionaron muestras de esquistos tonalíticos y de migmatitas enriquecidas en feldespato potásico. Se emplearon fragmentos representativos de aproximadamente 1 kg y se sometieron a trituración y tamizado (tamices tipo tyler, malla de 60 y 80  $\mu\text{m}$ ).

Posteriormente las micas, en particular la biotita y -basádonos en su propiedad magnética- fueron separadas con el electroimán Frantz, completándose esta tarea con separaciones manuales bajo lupa binocular.

Para el análisis químico de las micas se utilizaron fracciones de 3 a 4 g sometidas a molienda con mortero de ágata.

Los análisis químicos de óxidos mayoritarios y minoritarios fueron realizados por absorción atómica ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{LiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{Na}_2\text{O}$ ), por colorimetría ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MnO}$  y  $\text{FeO}$ ), fue determinado por titulación con solución de permanganato estandarizado en la División Química Analítica del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) Capital Federal, Argentina. Las determinaciones de elementos traza (Zr, Y, Rb, Ba, Cr), fueron realizados por fluorescencia de Rayos X, en la División de Estudios Especiales de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

Finalmente mediante el cálculo de fórmulas estructurales y el empleo de diagramas químicos y experimentales, se determinaron las condiciones físicas del pico de metamorfismo acaecido en esta zona de Los Angeles.

### **Ubicación y características generales del área de estudio**

Este trabajo se refiere específicamente al Complejo "Metamorfitas Santo Domingo", formado por esquistos, gneises y migmatitas, con una mineralogía cuarzo-feldespática como minerales esenciales y biotita como accesorio dominante, eventualmente con muscovita y nucleaciones de fibrolita, mirmequitas y turmalina.

Las coordenadas geográficas son  $28^\circ 27' - 28^\circ 35' \text{S}$  y  $66^\circ 4' \text{O}$ . En la **Figura 1** (modificadas por Aceñolaza et al, 1982) se observa esta área en el cerro de Los Angeles, en el contexto geológico de Sierras Pampeanas Septentrionales y cuyas características petrológicas fueron descritas por Córdoba (1994).

### **Geoquímica**

En una primera instancia se realizó un estudio comparativo entre los datos geoquímicos de muestras seleccionadas de biotita de esquistos tonalíticos y de migmatitas típicamente enriquecidas en feldespato potásico. En la Tabla I se expresan los resultados de los análisis químicos de estas micas y sus fórmulas estructurales.

Estas micas presentan composiciones que se aproximan a los valores correspondientes a siderofilita en la biotita de los esquistos, con  $\text{Al}_{\text{VI}} > 1$  y annita aluminosa en las micas de las migmatitas, donde el  $\text{Al}_{\text{VI}} \sim 0,825$  (**Figura 2**). Estas propiedades de mayor aluminosidad en la biotita de los esquistos, es un indicador comprobado de temperaturas más bajas durante la formación de estas rocas (Dymek, 1983).

En la **Figura 3**, se comparan algunos parámetros utilizados por Guidotti, (1984) con los obtenidos en estas micas. Como puede apreciarse, las biotitas de los esquistos tonalíticos y migmatitas presentan valores que se ajustan a los rangos obtenidos por este autor, en la facies de las anfibolitas.

Asimismo, está comprobada la relación inversa existente entre el  $Al_{IV}$  y el  $Ti_{VI}$  (átomos por fórmula unidad) entre estas micas. Estas características, previamente definidas en forma experimental por Engel y Engel, (1960) y Oki, (1961), son indicadores del incremento en el grado metamórfico. También fueron corroboradas en forma experimental por Robert (1976), al investigar la solubilidad de titanio en biotita como función de la presión y temperatura, indicando que efectivamente el contenido de Ti aumenta con el grado metamórfico, esencialmente con la temperatura.

Las sustituciones catiónicas observadas en estas micas:



son también indicadores del metamorfismo de alto grado, características definidas experimentalmente por Dymek (op. cit.).

El  $Fe^{+3}$  en posición octaédrica, presenta valores compatibles con los establecidos por Guidotti (op.cit), para las facies de las anfibolitas, observándose en la biotita de las migmatitas un tenor más alto.

El parámetro  $Mg/Mg+Fe(t)$  es compatible también con esta facies. Mohr y Newton, (1983) y Robinson, (1984) determinaron en forma experimental que este parámetro con valores  $>0.7$  es indicador de sulfuros (ambientes reductores). En estas micas en particular sucede lo contrario, están relacionadas a óxidos, ya que el rango  $Fe^{+2}/Fe^{+3}$  así lo confirma. Este parámetro indicaría la coexistencia de estas micas con magnetita y consecuentemente niveles tectonome-tamórficos más profundos que los de las micas asociadas con hematita.

Otros elementos en las micas (átomos por fórmula unidad), que están influenciados por las asociaciones paragenéticas de la roca original son el **K**, **Sr** y **Ba**. Puede observarse que el **K**, abundante en las biotitas metamórficas de todos los grados (Guidotti, op.cit), se incrementa aún más en la biotita de las migmatitas. También lo hace ampliamente el **Ba**, característica frecuente en biotita con paragénesis de alto grado, mientras que los tenores de **Ca** y **Sr**, son mayores en la biotita de los esquistos.

El incremento del rango **K/Rb** en la biotita de las migmatitas, compatible con la geoquímica de dichas rocas, confirmaría el origen por anatexis parcial a partir de los esquistos.

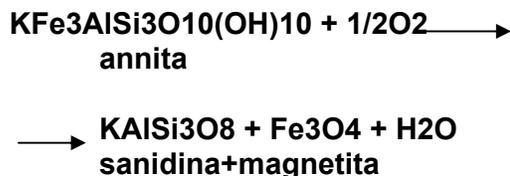
### Condiciones físicas de formación de la biotita

El pico de metamorfismo actuante en esta zona de Los Angeles, estaría relacionado con la formación de las migmatitas.

Por lo expuesto inicialmente en este trabajo, se utilizaron los análisis químicos y las fórmulas estructurales de biotitas de alto grado, estableciendo con una mayor exactitud las condiciones físicas de formación de estas micas y de las rocas que las contienen.

En el trabajo experimental de Wones y Eugster, (1965) la biotita forma parte del agregado biotita-sanidina-magnetita-vapor -cuyos datos termodinámicos y en particular la curva de equilibrio de la reacción "**A**"- es útil de acuerdo con Hewitt y Wones (op.cit) para definir las condiciones físicas de estabilidad (presión total, temperatura, fugacidad de agua y fugacidad de oxígeno) en rocas granitoides y metamórficas de alto grado.

"A"



En la **Figura 4** el sistema ternario  $\text{Fe}^{+2} - \text{Mg} - \text{Fe}^{+3}$ , que representa las composiciones de las soluciones sólidas de la biotita, estables a una variedad de estados de oxígeno. En el mismo, se observa que estas micas se ubican en el buffer **Ni - NiO**, indicando moderada fugacidad de oxígeno.

En la **Figura 5**, que corresponde al trabajo experimental de Wones y Eugster, (op cit) proyectado sobre el plano de fugacidad de Oxígeno - Temperatura a 2070 bares, se establecen valores de:

$$f_{\text{O}_2} = 16,2 \quad T^\circ = 720^\circ\text{C} \quad \text{para un rango } \text{Fe(t)}/\text{Fe(t)+Mg} = 0,678$$

Para el cálculo de la fugacidad de agua, se utilizó la calibración realizada por Wones (1972), quien basado en nuevos datos experimentales, estableció los cambios de energía libre (o energía de Gibbs) de la reacción de equilibrio y el logaritmo de la fugacidad de agua para los buffers **Ni - NiO** y **Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>**:

$$\log f_{\text{H}_2\text{O}} = \text{AG/R.T.}2,3026 + \log f_{\text{H}_2\text{O}} + 1/2 \log a_{\text{annita}} - \log a_{\text{sanidina}} - \log a_{\text{magnetita}}$$

$$\log f_{\text{H}_2\text{O}} = 7409/T + 4,25 + 1/2 \log f_{\text{O}_2} + 3 \log X_{\text{Fe}^{+2}} - \log a_{\text{sanidina}} - \log a_{\text{magnetita}}$$

(T° en grados Kelvin)

Se asume que la magnetita y la sanidina son soluciones sólidas ideales, de acuerdo con Robie et.al, (1978).

**amagnetita = 0,95 ; asanidina = 0,85 aannita = X.annita** (Fracción molar del  $\text{Fe}^{+2}$ , valor promedio de la biotita de Los Angeles = **0,7497**).

Al reemplazar en la fórmula de Wones (op.cit), se obtiene un **log fH<sub>2</sub>O = 3,328, log fH<sub>2</sub>O = 7,665**, que representa una fugacidad de agua (**fH<sub>2</sub>O**) de **4,27 Kb**, valor que extrapolado en la tabla de Burnham et.al.(1969) corresponde a **5,43 Kb** de presión total.

Estas condiciones físicas representarían aproximadamente el pico de metamorfismo alcanzado durante la consolidación de estas migmatitas generadas "in situ".

### Conclusiones

La ausencia de minerales índices comunes, fue discutida en un trabajo anterior (Córdoba, op.cit.), donde se establece además que en los niveles más profundos -gneises y migmatitas- se producen reacciones anatécicas que desestabilizan la biotita, formando finalmente un agregado neosomático que se consolida "in situ".

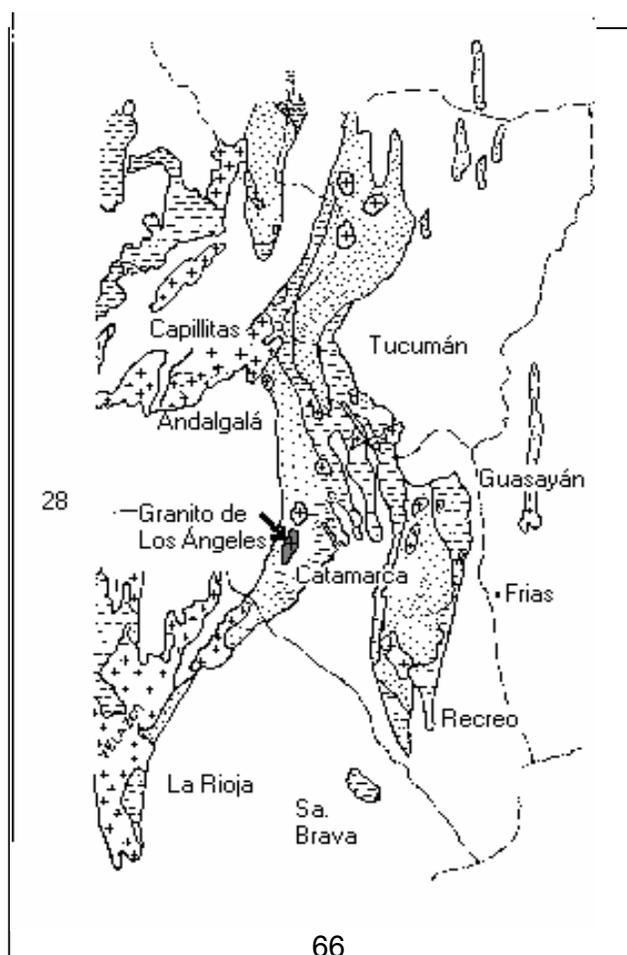
Al utilizar la biotita de estas últimas rocas, como indicador del pico metamórfico, a partir de diagramas experimentales bien definidos, fue posible establecer que las mismas se habrían consolidado a una T° de 720°C y Pt de 5,43 kb aproximadamente.

### Agradecimientos

Nuestro especial agradecimiento al personal de División Estudios Especiales de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), en particular a la Lic. Orquídea Morello y al Sr. Ricardo Rodano, por su ayuda en la preparación de las muestras y determinaciones analíticas.

### FIGURA 1

Esquema de distribución del Basamento cristalino en el sector oriental de las Sierras Pampeanas Septentrionales, modificado (Aceñolaza et. al. 1982)



### Referencias



**Granitos**



**Filitas - Esquistos bandeados**



## Gneises – Esq. Biotíticos – Migmatitas



Complejo Metamorfitas Santo Domingo

Figura 2

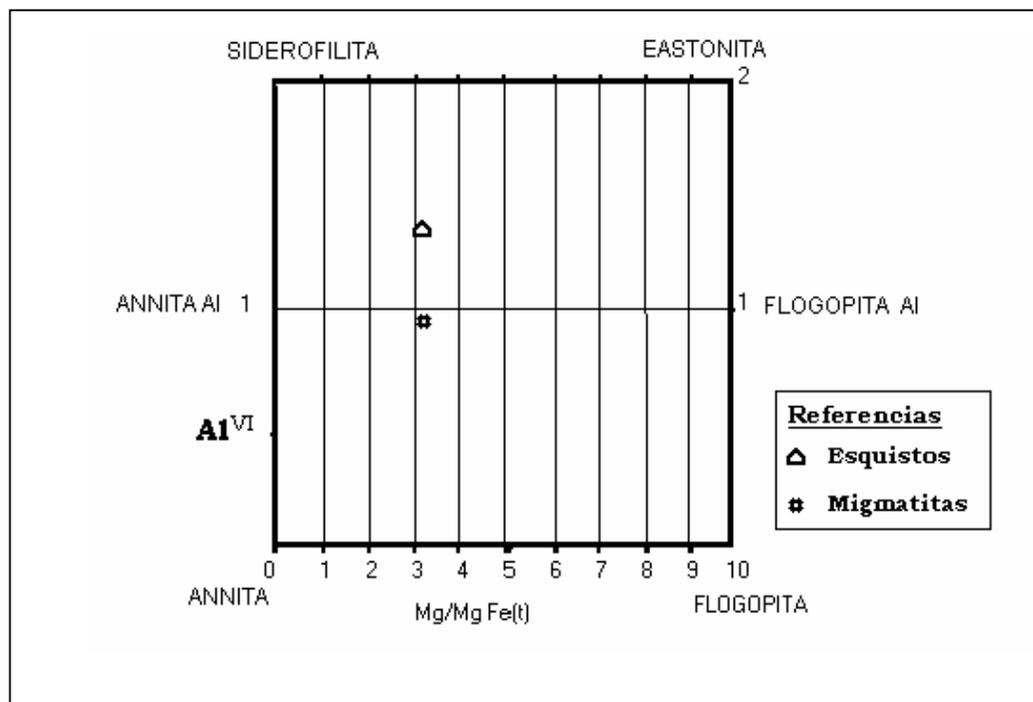


Figura 3  
**BIOTITAS**

Parámetros de Guidotti (1984) Facies de las Anfibolitas	Esquistos	Migmatitas
Al <sup>VI</sup> entre 0,1 (at. p. f. u.)	1,369	0,825
Ti <sup>VI</sup> menos de 0,25 (at. p. f. u.)	0,1464	0,2365
Fe <sup>+VI</sup> entre 0,1 y 0,3 (at. p. f. u.)	0,2264	0,2705
Mg/ Mg+Fe <sup>+1</sup> entre 0,3 – 1 (at. p. f. u.)	0,32	0,32
Fe <sup>+2</sup> /Fe <sup>+3</sup> entre 0 – 5 (at. p. f. u.) (coexistente con hematita – oxidación)	5,5468	5,543
Fe <sup>+2</sup> /Fe <sup>+3</sup> entre 5,18 – 31,8 (at. p. f. u.) (reducción – coexistente con la magn.)		
K (at. p. f. u.) Abundante en las	1,496	1,82

biotitas metamórficas de todos los grados		
Na menos de 0,2 (at. p. f. u.)	0,17424	0,1742
Ca (at. p. f. u.) escaso	0,04815	0,00321
Ba (ppm) frecuente en biotitas con paragénesis de alto grado	492	1105
Sr (ppm) escaso	25	Menos de 10
K/Rb	98,33	126,6

Figura 4

Referencias

- Micas de Los Ángeles

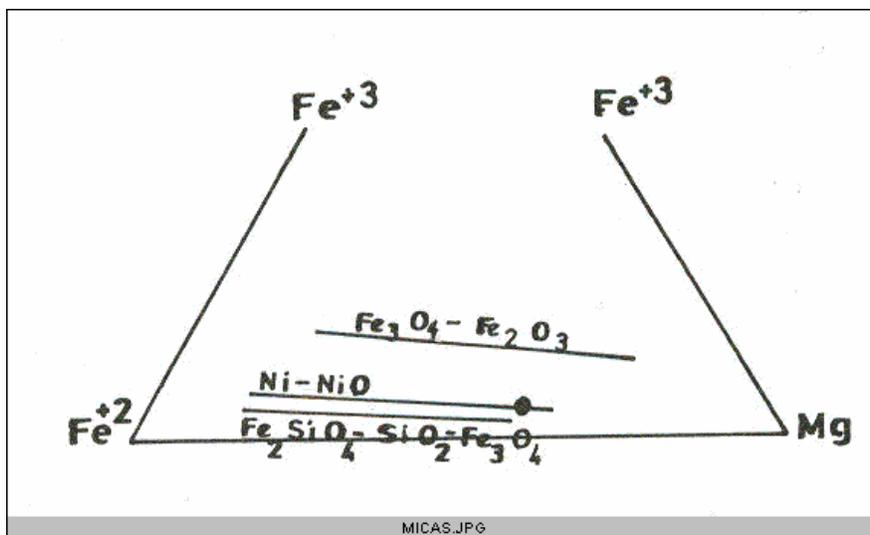


Figura 4

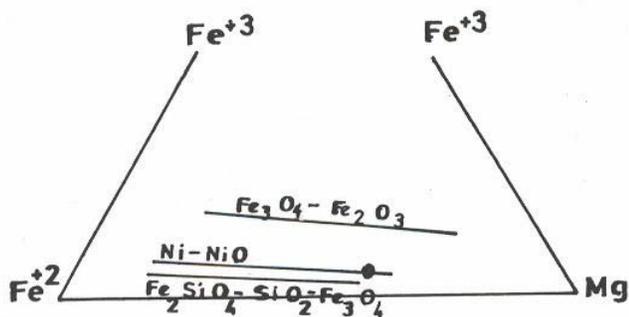
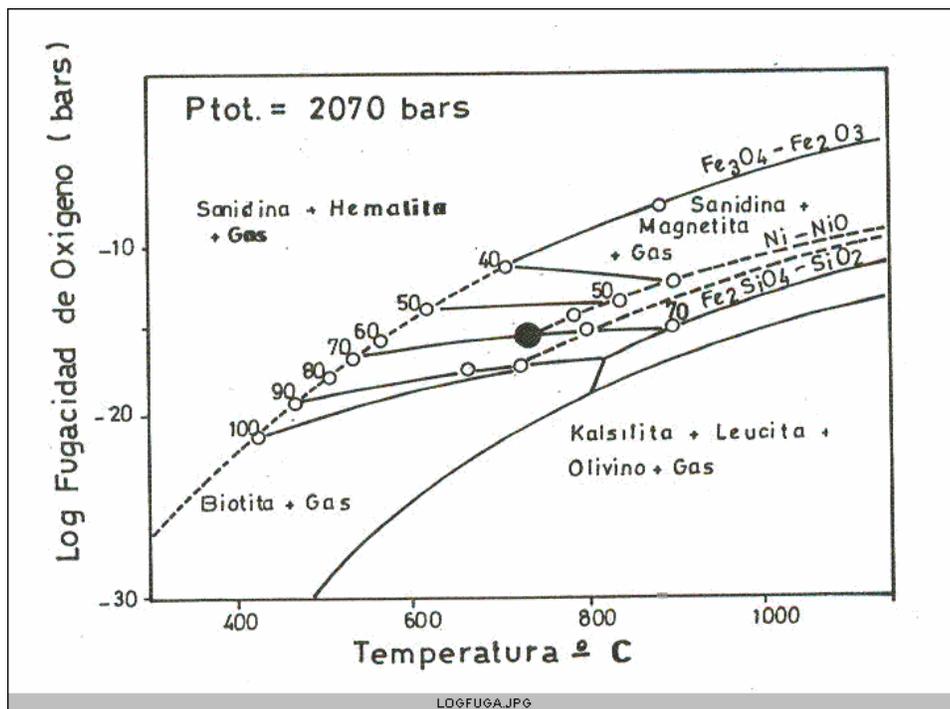


Figura 5

## Fugacidad de Oxígeno



**Tabla I**  
**Composición química y fórmula estructural de las biotitas**

<b>Migmatita 458</b>				
	%	Proporciones atómicas	Fórmula Estructural	
SiO <sub>2</sub>	34,9	0,5950	Si	5,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,3	0,1990	Al <sub>IV</sub>	2,77 8,00
			Al <sub>VI</sub>	0,825
FeO	11,97	0,1666	Fe <sup>+2</sup>	1,49
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,6	0,01603	Fe <sup>+3</sup>	0,2705
TiO <sub>2</sub>	2,1	0,02628	Ti	0,2365
MgO	12,1	0,30017	Mg	2,7015 5,386
MnO	0,3	0,00423	Mn	0,03807
Li <sub>2</sub> O	0,06	0,0020008	Li	0,03614
CaO	0,02	0,00003566	Ca	0,0032
K <sub>2</sub> O	9,52	0,1011	K	1,83 2,04
Na <sub>2</sub> O	0,6	0,00968	Na	0,1742
H <sub>2</sub> O	2,2		OH <sup>-</sup>	2,14
		Ppm		
Zr		184		
Y		-10		
Sr		-10		
Rb		627		
Ba		1105		

Cr	301			
Fet/Fet+Mg = 0,68				

**Migmatita 456**

	%	Proporciones atómicas	Fórmula Estructural	
SiO <sub>2</sub>	35,1	0,58416	Si	5,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,3	0,1991	Al <sub>IV</sub>	2,77 8,00
			Al <sub>VI</sub>	0,825
FeO	11,97	0,1666	Fe <sup>+2</sup>	1,499
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,4	0,1666	Fe <sup>+3</sup>	0,2705
TiO <sub>2</sub>	2,1	0,02628	Ti	0,2365 5,6
MgO	12,1	0,30017	Mg	2,7015
MnO	0,3	0,00423	Mn	0,03807
LiO <sub>2</sub>	0,06	0,00200	Li	0,03614
CaO	0,02	0,0003566	Ca	0,00321
K <sub>2</sub> O	9,52	0,1011	K	1,82 2,00
Na <sub>2</sub> O	0,6	0,00968	Na	0,1742
H <sub>2</sub> O	2,2		OH <sup>-</sup>	2,14
		<b>Ppm</b>		
Zr		184		
Y		-10		
Sr		-10		
Rb		624		
Ba		1100		
Cr		301		
Fet/Fet+Mg = 0,72				

**Migmatita 509**

	%	Proporciones atómicas	Fórmula Estructural	
SiO <sub>2</sub>	38,5	0,6407	Si	5,69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,1	0,2069	Al <sub>IV</sub>	2,30 8,00
			Al <sub>VI</sub>	1,422
FeO	10,95	0,1524	Fe <sup>+2</sup>	1,3716
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,2	0,013776	Fe <sup>+3</sup>	0,248 5,38
TiO <sub>2</sub>	2,0	0,02503	Ti	0,2253
LiO <sub>2</sub>	0,05	0,00167	Li	0,0301
MgO	9,28	0,2302	Mg	2,072
MnO	0,3	0,00423	Mn	0,0381
CaO	0,07	0,00125	Ca	0,01123
K <sub>2</sub> O	9,04	0,09596	K	1,7273 1,9
Na <sub>2</sub> O	0,5	0,00806	Na	1,451
H <sub>2</sub> O	4,5		OH <sup>-</sup>	4,44
		<b>Ppm</b>		
Zr		185		

Y	n.d			
Sr	-10			
Rb	630			
Ba	900			
Cr	277			
Ni	212			
<b>Fet/Fet+Mg = 0,72</b>				

<b>Esquistos 508 -512</b>				
	%	Proporciones atómicas	Fórmula Estructural	
SiO <sub>2</sub>	39,2	0,6524	Si	5,82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30	0,19615	Al <sub>IV</sub>	2,18 8
			Al <sub>VI</sub>	1,369
FeO	10	0,13954	Fe <sub>+2</sub>	21,256
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,01	0,01258	Fe <sub>+3</sub>	0,2264
TiO <sub>2</sub>	1,3	0,01627	Ti	0,0146 5,28
LiO <sub>2</sub>	0,02	0,000669	Li	0,01204
MgO	10,11	0,2508	Mg	2,2572
MnO	0,1	0,00141	Mn	0,0129
CaO	0,3	0,00535	Ca	0,04815
K <sub>2</sub> O	7,83	0,083117	K	1,4961
Na <sub>2</sub> O	0,6	0,00968	Na	0,17424 1,72
H <sub>2</sub> O	6,5		OH <sup>-</sup>	6,44
		<b>Ppm</b>		
Zr		128		
Y		n.d		
Sr		25		
Rb		661		
Ba		492		
Cr		315		
<b>Fet/Fet+Mg = 0,72</b>				

### **Bibliografía:**

- Aceñolaza, F.G. y A.J. Toselli 1991. Geología del Noroeste Argentino – 1987 - Universidad Nacional de Tucumán, 212p. Argentina.
- Burnham, C.W., J.R Holloway y N.F. Davis, 1969. Thermodynamic properties of water to 1000°C and 10000 bars. Special Paper, Vol 132. Geology Society of America, 96p.

- Córdoba, G del V. 1994. Contribución al conocimiento petrológico del basamento plutónico-metamórfico del Cerro de Los Angeles, Sierra de Ambato, Catamarca. Argentina. Tesis Doctoral.(inédita). Universidad Nacional de Catamarca, 205p.
  - Guidotti, C.V. 1984. Micas in metamorphic rocks in Review Mineralogy Micas. Mineral. Soc. Am. Vol.13.
  - Hewitt. D.A., Wones D.R. (1984) Stability diagrams in Review Micas – Tomo 9 – Geological Survey – USA -Edit Bailey- pág. 203-235)
  - Wones, D.R. y H.P. Eugster, 1965. Stability biotite, experimental, theory and application. American Mineralogy. Vol. 50 – pág. 228-272
  - Wones, D.R 1972. Stability of biotite, a reply. American Mineralogy. Vol 57-pág. 316-318
  - Dymek, 1983 – in Guidotti (op. Cit)
  - Engel y Engel, 1960 – in Guidotti (op. Cit)
  - Oki, 1961 – in Guidotti (op. Cit)
  - Robert, 1966 – in Guidotti (op. Cit)
  - Mohor y Newton, 1983 – in Hewitt D.A. y Wones D.R. (op. Cit)
  - Robinson, 1984 – in Hewitt D.A. y Wones D.R. (op. Cit)
-