

APLICACIÓN DE UN MODELO ESTADISTICO PARA EVALUAR LA REACTIVIDAD ALCALINA POTENCIAL EN ROCAS BASALTICAS

Maiza P. J.^{1,3}, Marfil S. A.^{1,4}, Bengochea A. L.^{1,3}, Batic O. R.^{2,4} y Sota J. D.^{2,5}

¹ Dpto. de Geología. UNS, San Juan 670, (8000) Bahía Blanca. e-mail smarfil@criba.edu.ar.

² LEMIT, Calle 52, entre 121 y 122, (1900) La Plata. e-mail orbatic@netverk.com.ar.

³ Investigador CONICET

⁴ Investigador CIC

⁵ Profesional CIC

ABSTRACT

Samples of basaltic rocks from different locations of Río Negro and Neuquén provinces were studied by means of the petrographic method (ASTM C-295), the mortar bars method (ASTM C-1260) and the chemical test method (ASTM C-289). Besides, an aliquot of the solution was analyzed by ICP, to determine the contents of Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, K_2O , MgO, TiO_2 and MnO. The obtained results were statistically treated by the Principal Components method and compared with the results obtained in a previous work.

It is concluded that expansion is closely related to the dissolved silica contributed by volcanic glass and its alteration products, and by poorly crystallized silica.

Its proposes a prompt method to establish the reactivity potential using the "Principal Components" statistical method.

PALABRAS CLAVE: Agregado reactivo - reacción álcali-sílice - álcali-agregado - basaltos

INTRODUCCION

Existen antecedentes en nuestro país del uso de basaltos en grandes obras. También se han mencionado problemas de deterioro del hormigón en dichas obras como consecuencia del desarrollo de la RAS (Giovambattista et al., 1981, Maiza et al., 1992).

Por otra parte, este tipo de rocas tiene una amplia distribución geográfica, y sus afloramientos son de gran magnitud, como por ejemplo en la mesopotamia, en la zona central (Córdoba y San Luis) y en la patagonia.

En trabajos previos, (Maiza et al. 1995; Marfil y Maiza 1996) se han estudiado las características petrográficas de basaltos provenientes de diversas localidades, y además se les determinó la reactividad alcalina potencial utilizando los métodos de ensayo convencionales (método químico y barras de mortero). Se ha comprobado que estas rocas tienen un comportamiento variable, aún dentro de un mismo afloramiento. La presencia de vidrio volcánico, sílice pobremente cristalizada (tridimita) y arcillas del tipo montmorillonita determinan que la roca sea considerada deletérea para su uso como agregado en hormigones; por otro lado, si es holocristalina y está fresca carece de los minerales potencialmente reactivos, por lo que tiene un buen comportamiento en el hormigón.

Marfil et al. (1998), realizaron un estudio estadístico basado en el método de componentes principales, concluyendo que la cantidad de sílice disuelta, está en relación directa con la expansión medida en las barras de mortero. Además de acuerdo a los elementos lixiviados, se determinaron cuales son los minerales responsables del comportamiento deletéreo.

MATERIALES Y METODOLOGIA

En el presente trabajo se estudiaron 6 muestras de basalto de diferentes localidades de las provincias de Río Negro y Neuquén, denominadas: Bajada del Sauce compacto, Bajada del Sauce poroso, La Rinconada, Pilas de Moneda, Comallo y Praguaniyeu. Estas dos últimas localidades habían sido estudiadas con anterioridad (Maiza et al. 1995), pero debido a las grandes variaciones encontradas, fueron muestreadas nuevamente.

Se utilizaron varias metodologías analíticas sobre las muestras estudiadas:

- El método petrográfico, realizado sobre secciones delgadas de roca natural, sin tratamiento previo, siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ASTM C-295.
- El método acelerado de las barras de mortero ASTM C 1260-94, midiendo la expansión sufrida hasta la edad de 28 días,
- El método de ensayo químico ASTM C 289, con algunas modificaciones propuestas por los autores en un trabajo previo (Marfil et al. 1998).

Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente utilizando el método de componentes principales, que consiste en simplificar la estructura de las variables a partir una matriz, que puede ser de covarianza o correlación. En este trabajo se utilizó la matriz de correlación para darle el mismo peso a todas las variables, pues los datos se obtuvieron en dos unidades distintas (mg y %). Las componentes principales definen nuevas variables a partir de la matriz, las que resultan una combinación lineal de las originales, de forma tal que cada una concentra la mayor variabilidad y son linealmente independientes.

RESULTADOS

Características petrográficas de las rocas utilizadas en el estudio:

Basalto Bajada del Sauce (Prov. de Neuquén) compacto:

La roca está constituida por grandes fenocristales de olivino con alteración incipiente y piroxenos muy frescos. Son abundantes los minerales opacos (hematita). No contiene vidrio. La textura es intergranular – subofítica. Se trata de una roca densa, sin poros ni fisuras. (Figura N° 1a).

Basalto Bajada del Sauce (Prov. de Neuquén) poroso:

La textura de la roca es intergranular, constituida por fenocristales de labradorita, olivino con alteración incipiente a iddingsita y piroxenos levemente alterados. Tiene abundantes minerales opacos, principalmente hematita, además vidrio fresco y desvitrificado, aunque no es muy abundante. Es una roca amigdaloides, muy porosa en la que los huecos están rellenos principalmente de calcita. (Figura N° 1b).

Basalto Comallo (Prov. de Río Negro)

Está constituido por tablillas de plagioclasa con abundantes fenocristales de olivino parcialmente alterados, algunos dan lugar a la formación de nódulos. Las tablillas de plagioclasa (bitownita) están frescas, son abundantes los piroxenos y minerales opacos. La textura es intergranular. No se observa vidrio. La roca está teñida por óxidos de hierro lixiviados del olivino y piroxeno. (Figura N° 1c).

Basalto La Rinconada (Prov. de Neuquén)

Está constituido por grandes fenocristales de olivinos alterados a iddingsita, dentro de una pasta de tablillas de plagioclasa suborientadas, los que contienen granos de augita en los interespacios. Son abundantes los minerales opacos. Hay escasa cantidad de vidrio fresco. La textura es intergranular, se observa densa y compacta. (Figura N° 1d).

Basalto Pilas de Moneda (Prov. de Neuquén)

Está constituido por abundantes tablillas de plagioclasa (labradorita) y olivino con indicios de alteración. Son abundantes los minerales opacos (hematita) y apatito. La textura de la roca es intergranular con marcada fluidalidad de las tablillas de feldespato, es abundante el vidrio intersticial fresco. Puntualmente se desarrolla algo de celadonita. En los interespacios hay algunos cristales pequeños de augita. (Figura N° 1e).

Basalto Praguaniyeu (Prov. de Río Negro)

La textura de la roca es intersertal. Está constituida por tablillas de plagioclasa, fenocristales anhedrales de piroxenos, y escasos de olivino alterados a iddingsita. Las tablillas de bitownita encierran minerales de alteración productos de la desvitrificación y gran cantidad de minerales opacos, vidrio y ópalo. El porcentaje de minerales originales alterados supera el 50 %. (Figura N° 1f).

**Método de ensayo químico ASTM C-289 por espectrometría de emisión
con plasma de argón y barras de mortero ASTM C - 1260**

TABLA N° 1: Resultados de análisis químico (mg%) y expansión (%) según ASTM C 1260-94

Muestra	N°	SiO ₂	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Expansión
Bajada del Sauce compacto	1	15,74	0,207	0,099	0,0148	0,0016	0,054
Bajada del Sauce poroso	2	36,16	0,451	0,0789	0,0103	0,0040	0,032
Comallo	3	14,99	4,127	0,3446	0,0084	0,0083	0,019
La Rinconada	4	24,17	0,301	0,0712	0,0064	0,0513	0,041
Praguaniyeu	5	86,44	1,704	0,1018	0,0248	0,0139	0,673
Pila de moneda	6	35,73	0,309	0,0291	0,0280	0,0088	0,010

En la tabla N° 2 se muestra los resultados obtenidos para las 17 muestras estudiadas anteriormente.

TABLA N° 2

Muestra	N°	SiO ₂	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Expansión
La Garrapata	7	3,03	2,60	1,65	0,018	0,015	0,073
Los Cóndores	8	3,95	3,79	1,90	0,015	0,014	0,063
Comallo compacto	9	7,27	9,78	1,80	0,029	0,015	0,070
Aguada de Guerra	10	13,33	0,52	3,10	0,008	0,018	0,111
Praguaniyeu nódulos	11	18,00	1,04	0,74	0,006	<0,001	0,044
Comallo Poroso	12	18,17	6,79	2,31	0,008	0,014	0,070
Yacyretá	13	19,77	1,21	0,51	0,013	0,007	0,343
La Pasarela	14	20,78	4,16	0,86	0,012	0,002	0,111
Cerro Mesa	15	32,09	3,30	1,89	0,007	0,014	0,439
Tte. Maza poroso	16	34,90	1,29	1,02	0,009	<0,001	0,407
Tte. Maza compacto	17	38,10	1,22	1,18	0,018	<0,001	0,407
El Cuy	18	38,40	0,36	1,63	0,040	<0,001	1,075
Praguaniyeu meseta	19	43,40	2,38	1,50	0,020	<0,001	0,965
La Calera	20	45,09	0,32	1,03	0,015	0,018	0,538
Pajalta inferior	21	46,80	1,72	1,26	0,027	<0,001	0,470
Pajalta medio	22	67,40	0,25	0,61	0,004	0,013	0,603
Pajalta superior	23	78,40	1,29	0,38	0,018	0,016	0,651

Estudio estadístico

Con los datos de la tabla N° 1 se realizó un estudio estadístico aplicando el método de Componentes Principales, utilizando el programa "Compo" desarrollado en el área de Estadística del Dpto. de Matemática de la Universidad Nacional del Sur. Los resultados obtenidos se ajustan al modelo propuesto en un trabajo previo para rocas basálticas (Marfil et al., 1998), por lo que se resolvió incorporar los datos de la tabla N° 2 para dar mayor sustento al método propuesto.

Matriz de correlación:

1.000	-0.395	-0.398	0.188	-0.036	0.679
-0.395	1.000	0.415	0.076	0.013	-0.275
-0.398	0.415	1.000	0.033	-0.029	0.057
0.188	0.076	0.033	1.000	-0.271	0.433
-0.036	0.013	-0.029	-0.271	1.000	-0.230
0.679	-0.275	0.057	0.433	-0.230	1.000

Porcentaje de varianza asociado a cada Componente Principal

Componente N°	I	II	III	IV	V	VI
% de varianza	36.81	25.25	14.81	11.92	8.72	2.94

El porcentaje de reconstrucción de cada variable utilizando las cuatro primeras componentes es muy alto: SiO₂ 83.26 %, K₂O 75.58 %, Al₂O₃ 95.86, Fe₂O₃, 87.66, CaO 97.17 y expansión 93.17 %. Esto representa el 88.79 % de la varianza total, por lo que se resolvió trabajar con los cuatro primeros componentes principales.

Tabla N° 3: Correlación entre las variables y las cuatro primeras componentes principales

Variables	CPI	CPII	CPIII	CPIV
SiO ₂	0.86643	-0.14855	-0.24365	0.02089
K ₂ O	-0.59121	0.52137	-0.14058	0.33867
Al ₂ O ₃	-0.43130	0.64564	-0.38516	-0.45541
Fe ₂ O ₃	0.43777	0.63955	0.02657	0.52459
CaO	-0.27419	-0.51208	-0.74905	0.27060
Expansión	0.80976	0.36434	-0.31507	-0.20963

CP = Componente principal

De los resultados de la tabla N° 3 se desprende que existe una directa correlación entre la sílice disuelta y la expansión medida en las barras de mortero. Con menor representatividad se manifiesta una correlación inversa con el potasio, expresado en la primer componente principal. Esto representa el 37 % de la varianza total del modelo. El contenido de hierro está relacionado con el de aluminio y potasio en forma directa y en forma inversa con el calcio, manifestado en la segunda componente principal. Representa el 25 % de la varianza total.

En la tercer componente está involucrado el calcio, aunque sólo representa el 15 % de la variabilidad total. Observando la columna correspondiente a la cuarta CP no hay ninguna variable importante. Sólo se manifiesta una relación inversa entre el hierro y aluminio aunque con un bajo porcentaje de representatividad.

De lo observado en la tabla N° 3, puede decirse que es suficiente elegir el plano de las dos primeras CP para establecer el modelo.

Tabla N° 4: Coordenadas centradas de las muestras para las dos primeras CP

N°	CPI	CPII
1	-0.103	-0.814
2	-1.247	-0.602
3	0.176	-1.260
4	-1.017	-3.236
5	2.671	-0.252
6	0.657	-0.514
7	-1.459	0.386
8	-0.331	0.585
9	-2.270	2.347
10	-1.646	0.247
11	-0.686	-0.733
12	-2.330	0.900
13	0.027	-0.453
14	-0.915	0.202
15	-0.642	0.200
16	0.325	-0.112
17	0.641	0.447
18	2.498	2.468
19	1.510	1.495
20	0.863	-0.556
21	1.173	1.143
22	1.450	-1.324
23	2.156	-0.564

En la tabla N° 4 se observa las coordenadas centradas de las muestras, representadas en el plano de las dos primeras CP. Estos resultados se graficaron en la Figura N° 2, donde puede observarse que las muestras con elevados valores de Y1 (Primer CP) son las que dieron mayor expansión en las barras de mortero y mayor contenido de sílice disuelta en el método de ensayo químico. Las rocas con valores negativos de Y1 tienen muy poca expansión, sílice disuelta y alto contenido de potasio, aluminio y calcio.

Y2 representa principalmente el contenido de hierro, aluminio y en menor proporción potasio. De los resultados se desprende que el contenido de estos elementos es independiente de la reactividad que presenta el material.

CONCLUSIONES

1. A partir del gráfico de la figura N° 2 se pueden establecer 3 zonas: A: zona reactiva. B: zona inocua y A-B: zona de transición.
2. Teniendo en cuenta los tres sectores establecidos se pueden calificar a las muestras 5, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23 como reactivas; las 7, 8, 9, 10 y 12 como inocuas y las 1, 2, 3, 4, 11, 13, 14 y 15 se encuentran en la zona de transición. Estas últimas corresponden a las muestras que dieron altos valores de sílice disuelta pero no definieron expansión deletérea en las barras de mortero o viceversa.
3. Los resultados obtenidos confirman el comportamiento variable de los basaltos estudiados en función de su composición, grado de alteración y textura.
4. Existe una clara correlación entre la sílice disuelta y el porcentaje de expansión medida en las barras de mortero (ASTM C-1260).
5. El alto contenido de sílice disuelta y la escasa cantidad de Al_2O_3 , CaO y K_2O permiten definir que los procesos de desvitrificación y/o silicificación son los responsables del aporte de sílice a la reacción.
6. El grado de alteración, principalmente del vidrio volcánico da lugar a la cristalización de montmorillonita. Su metaestabilidad en un medio fuertemente agresivo como el que se desarrolla en el hormigón influye notoriamente elevando los tenores de Al_2O_3 y CaO principalmente.
7. El análisis petrográfico detallado constituye un estudio fundamental básico para el diagnóstico del comportamiento de rocas basálticas, el que apoyado con la evaluación de la disponibilidad de los diferentes cationes y especialmente sílice, permitirán adelantar la calificación de las rocas desde el punto de vista de la RAS.
8. No obstante, estas conclusiones están basadas en los resultados obtenidos sobre 23 muestras analizadas y hasta tanto no se dispongan de más antecedentes que no dejen dudas acerca de la reactividad potencial de estas rocas, es necesario confirmar sus características a través de los ensayos habituales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión de Inv. Científicas de la Prov. de Bs. As., a la SECYT de la UNS y al CONICET por el apoyo brindado.

BIBLIOGRAFIA

- ASTM C9-P214. Book of Standards. 04.02, 739 (1990)
- ASTM C 1260/94. Book of Standards 04.02, 652 (1995).
- ASTM C-289/94. Book of Standards 04.02, 159 (1995).
- GIOVAMBATTISTA, A.; O. R. BATIC, y L. P. TRAVERSA (1981). Durabilidad de hormigones de cemento portland. Hormigón. N° 5. Pp 5-20.
- MAIZA P. J.; S. A. MARFIL and O. R. BATIC. (1992). Identification of zeolites in concretes affected by ASR. Effect of different aggregates. The Ninth International Conference on Alkali-Aggregate reaction in concrete 1992. London. 2, 630-637.
- MAIZA P. J.; S. A. MARFIL; O. R. BATIC y J. D. SOTA (1995). Estudio comparativo de rocas basálticas frente a la RAS. XII Reunión de la AATH. Memorias. La Plata. 127 – 140.
- MARFIL, S. A. y P.J. MAIZA (1996). Características petrográfico – mineralógicas de la alteración de basaltos de la meseta de Somoncurá. III Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Publicación del instituto de Recursos Minerales. Universidad Nacional de La Plata. Tomo N° 5. pp. 287-293.
- MARFIL, S. A., P. J. MAIZA, A. L. BENGOCHEA, J. D. SOTA and O. R. BATIC (1998). Relationship between SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, K₂O and expansion in the determination of the alkali reactivity of basaltic rocks. Cement and Concrete Research. USA. Vol. 28. N° 2, pp. 189-196.
- SHAYAN A. and W. QUICK (1988). An alkali – reactive basalt from Queensland, Australia. The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete. V 10. N° 4.

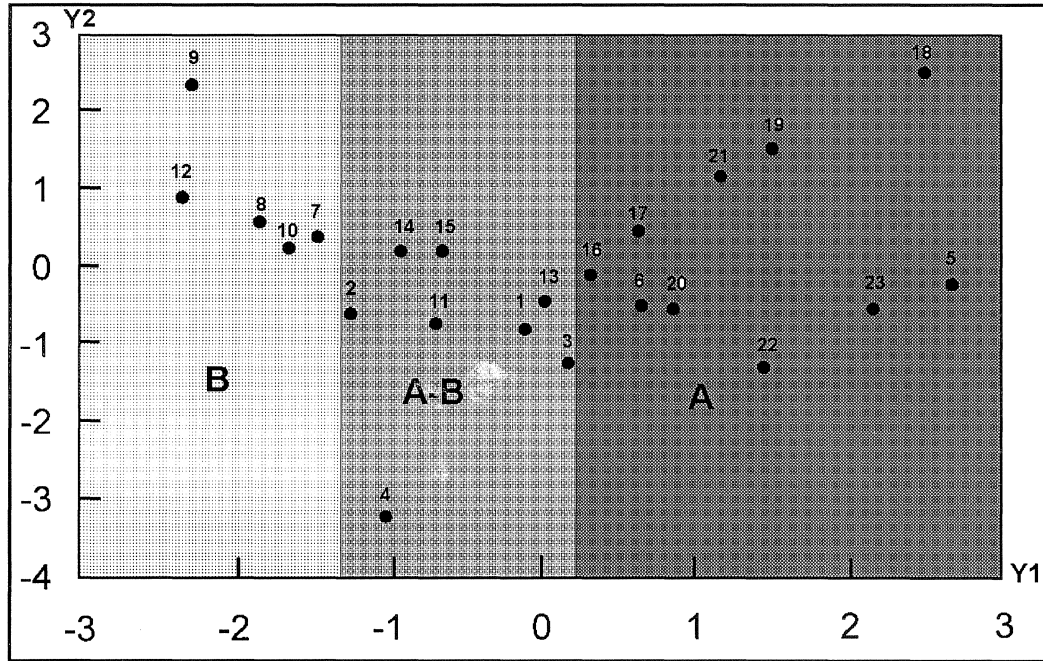
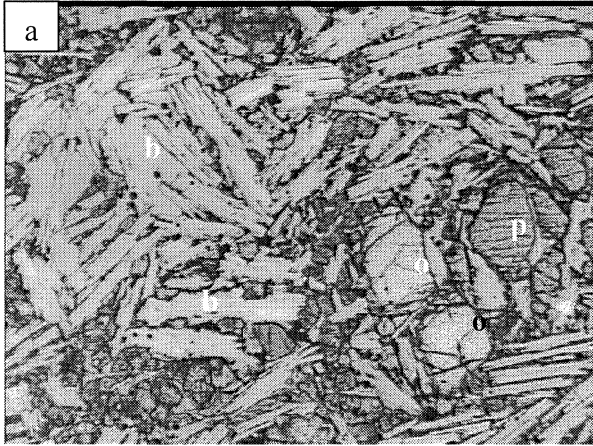
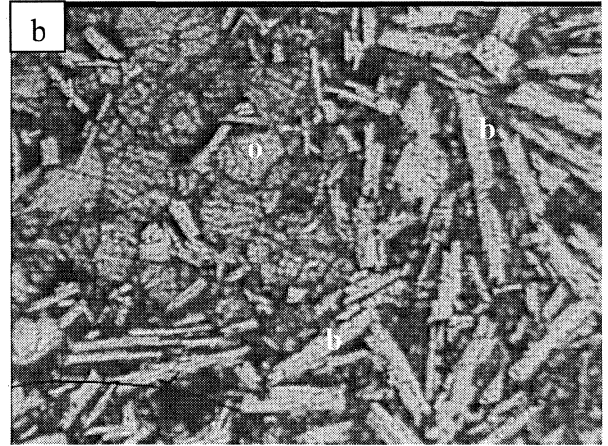


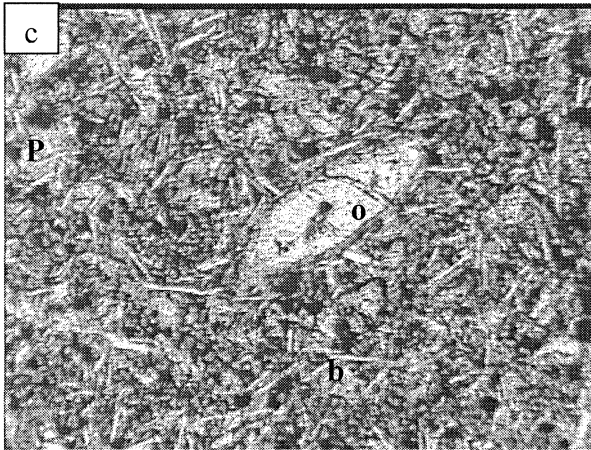
FIGURA N° 2: Gráfico de las muestras centradas en el plano de las dos primeras componentes principales. A: zona potencialmente reactiva. B: zona inocua. A-B: zona de transición.



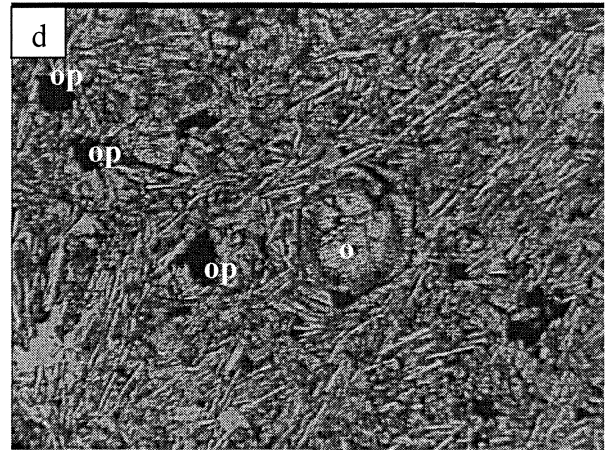
Bajada de Sauce compacto (X50)



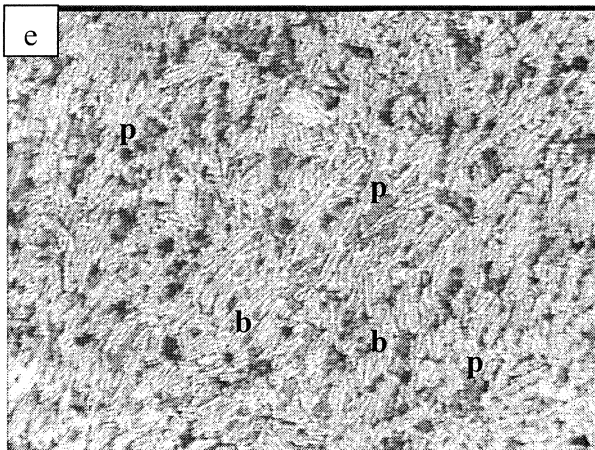
Bajada de Sauce poroso (X50)



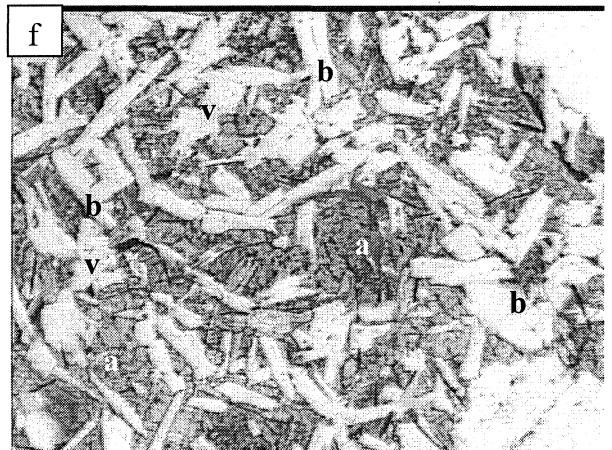
Comallo (X50)



La Rinconada (X50)



Pilas de Moneda (X50)



Praguaniyeu (X50)

<u>Referencias</u>		
o Olivino	b Bitownita	a Pasta vítrea alterada
p Piroxeno	v Vidrio volcánico	op Minerales opacos

Figura N° 1