



LA ERUPCION DEL 19-20 ABRIL DE 1993 DEL VOLCAN LASCAR, II REGION DE ANTOFAGASTA:  
CORRELACIONES ENTRE PETROLOGIA Y VOLCANOLOGIA

O. Figueroa<sup>\*</sup>; E. Medina<sup>\*</sup>; B. Déruelle<sup>\*\*</sup> y M. Maragaño<sup>\*</sup>.

INTRODUCCION

El Volcán Lascar está ubicado a 270 km al Este de Antofagasta y a 17 km del pueblo de Talabre (Fig. 1), y tiene una altura al borde del cráter de 5592 m. Corresponde a un estratovolcán y en él se reconocen cinco cráteres (Fig. 2), de los cuales sólo muestra actividad el cráter central, que tiene un diámetro aproximado de 600 m y una profundidad de 300 m<sup>1, 2, 3 y 4</sup>.

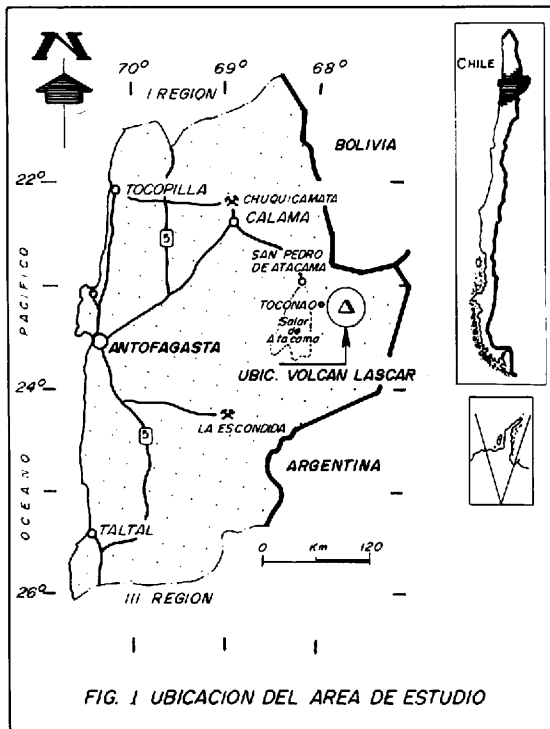


FIG. 1 UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO

<sup>\*</sup> Dpto. de Cs. Geol., Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte, Casilla 1280, Antofagasta.

<sup>\*\*</sup> Laboratoire de Magmatologie et Géochimie Inorganique et Experimentale, Université Pierre et Marie Curie, 4, Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05.

El Volcán Lascar, junto a los otros volcanes activos del Norte de Chile, forma parte del actual **Frente Volcánico** que está ligado genéticamente a la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental sudamericana.

RESEÑA HISTORICA

El Volcán Lascar probablemente entró en erupción en el año 1848 y ciertamente en los años 1875, 1933, 1951-1952 y 1959<sup>5,1</sup>. Este registro es bastante irregular y es muy probable que de muchas erupciones no hayan evidencias, es así como en el año 1969 ocurrió una gran erupción no documentada en la literatura (Chong, com. pers.).

En Diciembre de 1984 se detectó el comienzo de una nueva fase eruptiva que se manifestó por una anomalía termal en el cráter central<sup>6</sup>. El 14 y 15 de Septiembre de 1986, el Volcán Lascar entró en actividad explosiva de tipo vulcaniano; el mayor evento ocurrió el 16 de Septiembre con una columna vertical de ceniza de una altura de 15 Km sobre el cráter, y que tras dispersarse cubrió un área del orden de 112.000 Km<sup>2</sup><sup>7 y 8</sup>.

En Febrero de 1990, el volcán entró nuevamente en erupción, con una columna eruptiva que alcanzó 7-8 Km sobre el volcán. El material piroclástico expulsado consistió en bloques que alcanzaron un radio de hasta 3-4 Km alrededor del cráter y ceniza volcánica que fue observada hasta en los alrededores de El Laco, 60 Km al sureste del volcán<sup>7</sup>. Posteriormente se formó un nuevo domo de lava en el cráter central.

LA ERUPCION DEL 19 Y 20 DE ABRIL DE 1993.

Esta erupción - la más violenta registrada a la fecha - tuvo una actividad premonitoria el día 18 de abril que se manifestó con una explosión de vapor seguida, después de algunas horas, por la eyección de material incandescente<sup>9 y 10</sup>.

El 19 de Abril a las 7:00 horas ocurrió una explosión que marcó el inicio del nuevo ciclo eruptivo, formándose una columna eruptiva de una altura aproximada de 8000 m sobre el cráter. La actividad de este nuevo ciclo se manifestó durante el 19 y 20 por la formación de sucesivas columnas eruptivas con alturas variables entre 8000 y 25000 m, y cuyo colapso parcial durante el primer día, habría generado la formación de los flujos piroclásticos. Además de estos flujos ocurrió expulsión de material con trayectoria balística y abundante ceniza.

Los **flujos piroclásticos** alcanzan un espesor individual entre 0.3 y 1 m; en su conjunto el espesor supera localmente los 3 m; ellos se canalizaron preferencialmente hacia el Norte hasta la Quebrada de Talabre, en donde fueron desviados hacia el Oeste y alcanzaron la localidad de Tumbre, ubicado a una distancia de 7 Km desde el cráter; hacia el Sur, los flujos piroclásticos se dirigieron hacia la Laguna Lejía, alcanzando una distancia de 4,5 Km. Estos flujos son relativamente homogéneos, y están compuestos mayoritariamente de pómez de tamaño promedio 10 - 30 cm, observándose también fragmentos andesíticos pertenecientes al domo y pómez bandeada. Los fragmentos de domo y los de pómez bandeada son más abundantes en los flujos encontrados en la ladera Sur que en la ladera Norte; por otra parte se observan flujos piroclásticos menores en la ladera Este que son homogéneos pero constituidos, casi exclusivamente, de fragmentos del domo andesítico. Estos hechos indican que la explosión del domo fue, en su inicio, dirigida hacia el Sur-Este, lo que está corroborado por observaciones al comienzo de la erupción (Sr. Ivar Torrejon, profesor de Talabre, com. pers.). Finalmente, flujos menores arrastraron material antiguo en la ladera Noroeste y son por ende polimícticos.

El **material balístico** consistió en bombas y bloques que fueron distribuidos mayoritariamente hacia el Sur, hasta una distancia aproximada de 8 Km; hacia el Norte los impactos fueron menos importantes tanto en frecuencia como en volumen, corroborando con ello que la erupción tuvo una marcada dirección hacia el Sur en su inicio.

La **ceniza** de la columna eruptiva fue dispersada por vientos hacia el E-SE del Volcán y llegaron, según el diario argentino El Clarín, a ciudades del Océano Atlántico de Argentina, Uruguay y Brasil.

Con posterioridad a esta erupción, la actividad del Volcán disminuyó de manera que el día 21 de abril se redujo a lo que se considera como actividad normal, es decir una fumarola de 500-800m de altura.

## MINERALOGIA

Las lavas del domo (tabla I y II) contienen cristales reaccionales de olivino, y comúnmente fenocristales de augita y enstatita (ambas con  $Mg' = 0.75$ ) además de fragmentos de fenocristales de augita y enstatita (ambas  $Mg' = 0.83$ ). La mayoría de los fenocristales de plagioclasas son Labradorita ( $An_{58-60}$ ) y algunas están zonadas ( $An_{78}$  en el núcleo y  $An_{59}$  en el borde). Por su parte las pómez contienen fenocristales de plagioclasas, enstatita, augita, flogopita ( $Mg' = 0.72-0.73$ ), magnetita e ilmenita y pequeños cristales de apatita pero no contienen hornblenda. La mineralogía de la pómez es poco común ya que generalmente las dacitas del Lascar y de los Andes Centrales<sup>11, 12</sup> contienen hornblenda junto con augita, enstatita y biotita. La temperatura de cristalización de los piroxenos de acuerdo al geotermómetro Wells<sup>13</sup> es de alrededor de 980°C para las pómez y 960°C para las lavas del domo (los núcleos de piroxenos inestables dan una temperatura de 1060°C). Por su parte, el geotermómetro magnetita-ilmenita<sup>14</sup> da una temperatura de equilibrio para las pómez de 910°C y fugacidades de oxígeno superior al tapón NNO ( $\log fO_2 = -9,6$ ), las que son similares a aquellas encontradas para la pómez de Tata Sabaya<sup>15</sup>.

## GEOQUIMICA

Datos geoquímicos de las lavas del Lascar han sido publicados previamente<sup>1, 16, 17, 18 y 19</sup>. Las lavas de 1993 pertenecen al tren geoquímico del Lascar II<sup>1</sup>. Hay una gran similitud en los datos químicos para las andesitas del domo y la pómez dacítica, pero comparativamente la pómez esta deprimida en aluminio, sodio, fósforo, estroncio y elementos de transición (tabla II); ellas tienen altas razones Ba/La, La/Nb y baja razón La/Th. Los patrones de elementos de tierras raras, para la lava andesítica y la pómez dacítica, son muy similares y comparables con los patrones de andesitas andinas con alto potasio<sup>20</sup>. Los datos de elementos trazas normalizados (Fig. 3) para las lavas negras y la pómez siguen el patrón general de las lavas del Lascar.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los datos geoquímicos (por ejemplo los patrones de tierras raras) indican claramente una génesis común a partir de una misma fuente magmática para las lavas del domo y la pómez dacítica de la erupción de 1993, las cuales son lavas calcoalcálicas alto potasio típicas<sup>1</sup>. La pómez dacítica es el producto de fraccionamiento de óxidos de Fe-Ti, plagioclasa y apatita (los cuales se

observan justamente como fenocristales en la dacita) a partir del magma andesítico previo, como lo demuestran el menor contenido respectivamente en todos los elementos de transición, en la suma Al+Ca+Na+Sr y en Ca+P. La ausencia de hornblenda en la pómez indicaría un ascenso rápido del magma a temperatura elevada<sup>21</sup> en vez de una asimilación de las ignimbritas de caja, lo que está indicado además por la ausencia de xenocristales y xenolitos. De todas maneras la asimilación no habría afectado la química de las dacitas ya que las lavas no ignimbríticas que construyen el estrato volcán y las ignimbritas que lo rodean, tienen una química similar<sup>22 y 23</sup>.

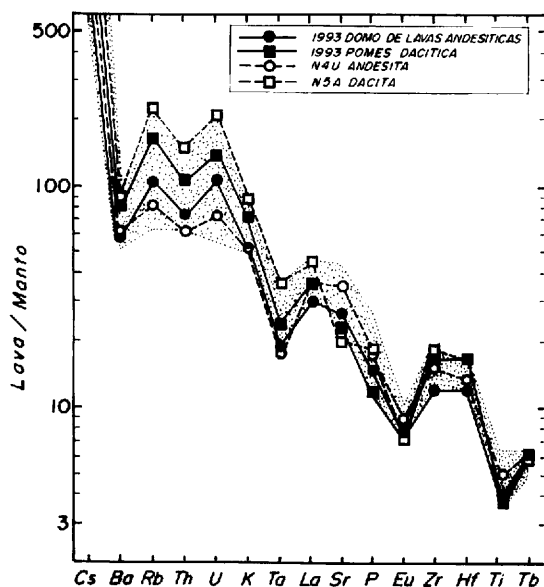


FIG. 3 DIAGRAMA DE CONTENIDOS DE ELEMENTOS EN TRAZAS NORMALIZADOS.

La petrología y la mineralogía de los productos de la erupción de 1993 pueden estar relacionados a los siguientes eventos:

- a- la génesis y segregación a profundidad (límite manto superior-corteza inferior) de un magma primario (la discusión acerca de estos procesos no es abordada en este artículo. Ver al respecto<sup>24</sup>).
- b- el almacenamiento de este magma dentro de un reservorio a profundidades someras en la corteza, en donde ocurre mezcla de magma por reinyecciones sucesivas y homogenización (ocurrencia de dos tipos de fenocristales de augita y de enstatita en las lavas del domo), y el comienzo de su diferenciación.

- c- formación de un domo andesítico dentro del cráter activo.
- d- fraccionamiento de óxidos de hierro y titanio, plagioclasa y apatita (a poca profundidad) del magma andesítico remanente no eruptado y por lo tanto su diferenciación a una composición dacítica.
- e- colapso del domo dentro del reservorio.
- f- ascenso rápido (ausencia de hornblenda) del magma dacítico y ocasionalmente mezcla con partes fundidas de la raíz del domo colapsado (ocurrencia de bloques de lavas bandeadas).
- g- ciclo de erupción Pliniana violento con proyección de pómez (cenizas, lapilli y bloques) y fragmentos del domo andesítico.

Tras estos eventos, el volcán quedó de nuevo apto para un nuevo ciclo eruptivo (un nuevo domo se formó dentro del cráter y luego colapsa en Marzo de 1994).

TABLA 1

	LOMO	POMEZ (LIBRE DE H <sub>2</sub> O)		LOMO	POMEZ
SiO <sub>2</sub> Wt %	38.09	61.18 (63.46)		Nb	6.41 8.11
TiO <sub>2</sub>	0.73	0.68 (0.71)		Mi	1.47 1.51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.33	14.39 (14.93)		Ca	0.16 0.65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.05	5.35 (5.55)		Sr	1.69 1.81
MnO	0.10	0.08 (0.08)		St	0.67 1.06
MgO	4.61	2.56 (2.66)		Hf	3.32 4.57
CaO	7.33	6.55 (6.79)		Ta	0.65 0.82
Na <sub>2</sub> O	3.47	3.17 (3.29)		W	1.33 1.66
K <sub>2</sub> O	1.57	2.26 (2.34)		La	18.50 22.49
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22	0.18 (0.19)		Ce	38.88 47.01
L.O.I.	0.09	3.38 (0.00)		Nr	4.55 5.19
TOTAL	99.79	99.78 (100.00)		Nd	18.56 21.53
Ba ppm	1.63	1.78		Sm	3.79 4.16
Rb	55.6	87.7		Eu	1.05 1.13
Sr	479	419		Gd	3.44 3.68
Ba	344	428		Tb	0.57 0.59
Cr	3.33	4.86		Dy	3.23 3.47
Sc	16.3	10.8		Ho	0.67 0.75
V	168	110		Er	1.85 1.96
Cr	106.0	33.7		Tm	0.27 0.31
Co	32.9	13.0		Yb	1.97 2.17
Ni	40.2	23.4		Lu	0.32 0.32
Cu	56.4	29.7		Ti	0.14 0.24
Zn	71.8	65.3		Pb	19.4 17.6
Ga	19.1	16.7		Bi	0.25 0.26
As	5.20	6.16		Th	5.81 8.23
Y	19.0	20.1		U	2.11 2.78
Zr	121	.71			

TABLA 2

LAVA OXYGEN BASIS	PLAGIOCLASA		OLIVINE		AUGITA		ENSTATITE	
	DOMO	PUMICE	DOMO	DOMO	DOMO	DOMO	PUMICE	DOMO
SiO <sub>2</sub>	53.43	56.40	42.44	30.36	50.01	52.22	54.08	
TiO <sub>2</sub>	0.63	0.62	...	0.75	0.66	0.43	0.21	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.57	26.83	0.49	4.58	3.23	1.48	0.87	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	...	...	...	0.13	0.23	0.13	0.03	
FeO*	0.73	0.45	19.12	6.54	10.33	8.59	16.11	
MnO	0.10	0.00	...	0.07	0.38	1.28	0.56	
MgO	0.10	0.05	37.87	13.48	13.21	14.55	26.37	
CaO	11.87	1.38	0.21	20.73	19.50	20.44	1.26	
Na <sub>2</sub> O	4.54	5.52	0.02	0.34	0.63	0.33	0.02	
K <sub>2</sub> O	0.32	0.47	...	...	...	...	...	
Sum	99.72	99.11	99.38	98.40	98.44	98.45	100.02	

\*Calculado

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.83	0.97	...	0.88	2.28	0.00	1.18
FeO	...	...	...	5.75	8.48	8.59	15.57
Sum	99.80	99.15	...	98.58	98.67	98.45	100.13
catións							
Si	2.43	2.558	1.079	1.876	1.896	1.970	1.900
Ti	3.002	0.001	...	0.021	0.019	0.012	0.006
Al	1.531	1.434	0.015	0.201	0.145	0.066	0.037
Cr	...	...	...	0.064	0.007	0.004	0.001
Fe <sup>3+</sup>	0.028	0.016	...	0.025	0.065	0.000	0.032
Fe <sup>2+</sup>	...	...	0.407	0.179	0.269	0.271	1.236
Mn	0.004	0.000	0.000	0.002	0.012	0.009	0.017
Mg	0.007	0.000	1.406	0.860	0.746	0.818	1.425
Ca	0.578	0.256	0.006	0.807	0.794	0.826	0.049
Na	3.402	0.289	0.00	0.022	0.047	0.024	0.001
K	0.019	0.027	...	...	...	...	...
(OH)	...	...	...	...	...	...	...
An	58.42	47.95	...	...	...	...	...
Ab	39.23	49.29	...	...	...	...	...
Gr	1.85	2.75	...	...	...	...	...
Fe	...	...	...	77.57	...	...	...
Fa	...	...	...	22.43	...	...	...
Wo	...	...	...	...	...	...	...
En	...	43.72	...	43.90	43.13	2.32	3.19
Di	...	49.40	...	41.25	46.58	73.23	79.64
Fs	...	6.17	...	14.85	9.70	24.25	17.58
Mg	...	...	...	0.78	0.83	0.74	0.83

LAVA OXYGEN BASIS	ENSTATITE		PHLOGOPITE		MAGNETITE		ILMENITE	
	DOME	PUMICE	PUMICE	PUMICE	DOME	PUMICE	PUMICE	PUMICE
SiO <sub>2</sub>	54.36	52.07	57.63	...	0.07	0.05	0.02	24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.22	0.21	4.86	...	9.86	7.17	37.27	...
TiO <sub>2</sub>	1.69	1.36	15.82	...	2.94	1.74	0.29	...
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.00	...	...	0.23	0.14	0.00	...
FeO	12.09	18.89	11.71	...	78.04	81.56	56.26	...
MnO	0.18	0.42	0.00	...	0.36	0.34	0.37	...
MgO	28.88	24.56	16.90	...	3.7	1.91	2.20	...
CaO	1.61	1.28	0.03	...	0.07	0.05	0.04	...
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.02	0.75	...	...	...	...	...
K <sub>2</sub> O	...	...	8.70	...	...	...	...	...
Sum	99.05	98.82	94.85	...	95.04	92.95	96.45	...
Calculated								
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.10	2.64	...	...	47.87	52.61	30.66	...
FeO	11.11	16.51	...	...	34.96	34.22	29.21	...
Sum	99.16	99.08	...	...	99.84	98.21	99.46	...
catións								
Si	1.945	1.928	5.583	...	0.02	0.019	0.001	...
Ti	0.066	0.006	0.542	...	2.172	1.638	1.418	...
Al	0.071	0.060	2.416	...	1.013	0.622	0.017	...
Cr	0.002	0.000	...	...	0.053	0.033	0.000	...
Fe <sup>3+</sup>	0.030	0.074	...	...	10.55	12.031	1.144	...
Fe <sup>2+</sup>	0.333	0.511	1.432	...	8.363	8.696	1.236	...
Mn	0.005	0.014	0.001	...	0.094	0.088	0.016	...
Mg	1.343	1.356	3.726	...	1.313	0.864	0.166	...
Ca	0.062	0.050	0.005	...	0.023	0.008	0.002	...
Na	0.004	0.002	0.215	...	...	...	...	...
K	...	...	1.646	...	...	...	...	...
(OH)	...	...	4.000	...	...	...	...	...
Wo	2.60	...	...	...	...	...	...	...
En	26.73	...	...	...	...	...	...	...
Fa	26.66	...	...	...	...	...	...	...
Mg	0.75	0.82	0.73	0.73	...	...	...	...

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con el financiamiento de la Dirección General de Investigación de la Universidad Católica del Norte (Proyecto "Petrología y Riesgo volcánico del Volcán Lascar") y se enmarca dentro del Acuerdo de Cooperación Científica entre la Universidad Pierre et Marie Curie y la Universidad Católica del Norte. Los autores agradecen: al Sr. Ivar Torrejón, Profesor de Talabre; a los carabineros de Toconao y de San Pedro de Atacama; a la Fuerza Aérea de Chile, Base Cerro Moreno y al Sr. Leonel Jofre, quién contribuyó a ilustrar este trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- Déruelle, B. (1985): Le Volcan Lascar: Geologie et Petrologie. IV Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, 4 120-137.
- Bacza, L. (1992): Volcanismo en el Norte de Chile. Revista Vertiente, Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas, UCN, N° 7, 14-18.
- Medina, E.; Figueroa, O.; Déruelle, B. y Maragaño, M. (1994): El Volcan Lascar y la erupción del 19-20 de abril de 1993. Revista Vertiente, Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas, UCN, en prensa.
- Déruelle, B.; Medina, E.; Figueroa, O.; Maragaño, M. y Viramonte, J. (1994): The recent eruption of Lascar volcano (Atacama, Chile, april 1993): Petrological and Volcanological relationships. Comptes Rendus Acad. Sci., Paris, en prensa.
- Casertano, L. y Barozzi, R. (1961): Informe sobre el sistema volcánico del Lascar. Universidad de Chile, Fac. Ciencias Físicas y Matemáticas, Instituto de Geología, Publicación N°23, pp. 304 - 315.
- Francis, P. W. and Rothery, D. A. (1987): Using the Landsat Thematic Mapper to detect and monitor volcanic activity: an example from Lascar volcano, north Chile. Geology, vol. 15 pp. 614-617.
- Gardeweg, M. (1991) : La actividad eruptiva 1986-1990 del volcán Lascar, Región de Antofagasta, Chile. Sexto Congreso Geológico Chileno, 477-480.
- Glaze, L.; Francis, P.; Self, S. & Rothery, D. (1989): The 16 September 1986 eruption of Lascar volcano, north Chile: Satellite investigation. Bulletin of Volcanology, Vol. 51, 149-160.
- Gardeweg, M.; Medina, E.; Murillo, M. y Espinoza, A. (1993): La erupción del 19 y 20 de Abril de 1993: VI informe sobre el comportamiento del Volcán Lascar (II Región). Informe inédito. SERNAGEOMIN, 20 pp.
- Gardeweg, M. y Medina, E. (1993): Informe despues de 35 dias de la erupción del 19-20 de Abril de 1993: VII Informe sobre el comportamiento del volcán Lascar (II Región). Informe inédito. SERNAGEOMIN, 14 pp.
- Déruelle, B. (1979): Petrologie d'un volcanisme de marge active: Atacama et Andes Meridionales, Thèse Doct d'Etat, Univ. Paris XI, Orsay, 417 pp.
- Déruelle, B. (1981): Calc-alkaline shoshonitic and alkaline associations. A zonation of the Plio-Quaternary volcanic belt of South America (South of latitude 18° S). Pacific Geol., 15, 71- 83.
- Wells, P. R. A. (1977): Pyroxene thermometry in simple and complex systems. Contrib. Mineral. Petrol., 62, 129-139.
- Stormer, J. C. Jr (1983): The effects of recalculating on estimates of temperature and oxygen fugacity from analyses of multicomponents Iron-Titanium oxides. Amer. Mineral., 68, 586- 594.

15- Déruelle, B. & Brousse, R. (1984): "Nuéc ardente" deposits at Tata Sabaya volcano (Bolivian-Chilean Andes): pumice and lava block crystallization from a single magma at different depths. *Rev. Geol. de Chile*, 22, 8-15.

16- Déruelle, B. (1978): Calc-Alkaline and Shoshonitic lavas from five Andean volcanoes (between latitudes 21° 45' y 24° 30' S) and the distribution of the Plio-Quaternary volcanism of the South Central and Southern Andes. *J. Volcanol. Geothermal Res.*, 3, 281-298.

17- Déruelle, B. (1982): Petrology of the Plio-Quaternary volcanism of the South-Central and Meridional Andes. *J. Volcanol. Geothermal Res.*, 14, 77-124.

18- Déruelle, B.; Harmon, R. S. and Moorbath, S. (1983): Combined Sr-O isotope relationships and petrogenesis of andean volcanics of South America. *Nature*, 302, 814-816.

19- Harmon, R. S.; Barreiro, B. A.; Moorbath, S.; Hocfs, J.; Francis, P. W.; Thorpe, R. S.; Déruelle, B.; McLugh, J. and Viglino, J. A. (1984):

Regional O-, Sr- and Pb- isotope relationships in late Cenozoic calc-Alkaline lavas of the Andean Cordillera. *J. Geol. Soc. London*, 141, 803-822.

20- Thorpe, R. S.; Potts, P. J. and Francis, P. W. (1976): Rare earth data and petrogenesis of andesite from the North Chilean Andes. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 54, 65-78.

21- Gill, J. (1981): Orogenic andesites and plate tectonic. *Minerals and Rocks*, Springer Verlag, Berlin, 390 pp.

22- Déruelle, B. (1989): Petrology of ignimbrites of South-Central Andes. *Terra Abstr.* 1, 176.

23- Déruelle, B. and Moorbath, S. (1993): A similar magma source for ignimbrites and non-ignimbrites lavas from South Central Andes. *Second ISAG, Oxford (UK)*, O.R.S.T.O.M. ed., 351-354.

24- Hildreth, W. and Moorbath, S. (1988): Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of Central Chile. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 98, 455-489.

