

ZEOLITIZACION DE ROCAS ANDESITICAS

I. Queralt*, J. Martí**, A. Solé* y F. Plana*

RESUMEN

El estudio de rocas andesíticas de la Isla King George (Archipiélago de las Shetland del Sur, Antártida) pone de manifiesto la existencia de procesos de alteración hidrotermal con la formación de minerales zeolíticos secundarios pertenecientes a asociaciones de baja temperatura.

Se han identificado dos paragénesis (Esmectitas-Bytownita-Mordenita, Esmectitas-Albita-Laumontita) que reflejan distintas condiciones durante la alteración hidrotermal de dichas rocas andesíticas.

Palabras clave: zeolitas, alteración hidrotermal, andesitas.

ABSTRACT

The study of some andesites from King George Island (South Shetland Islands, Antarctica) has pointed out the existence of a hydrothermal alteration process going rise to a zeolitic secondary minerals of low-temperature assemblages.

Two paragenesis have been identified (Smectite-Bytownite-Mordenite, Smectite-Albite-Laumontite) which reflecting different conditions during the hydrothermal alteration of these andesitic rocks.

Key words: zeolites, hydrothermal alteration, andesites.

Introducción

Las investigaciones en sistemas geotermales y las experiencias desarrolladas sobre alteración hidrotermal y meteórica de rocas volcánicas han posibilitado la confección, de un modo muy general, de diversos modelos de alteración, a baja temperatura, basados en el distinto quimismo de la fase fluida (Barrows, 1980). Los productos de alteración de rocas félsicas, en el caso de fluidos neutros o poco salinos, son feldespatos, minerales micáceos, zeolitas y ocasionalmente montmorillonita y kaolinita. En el caso de fluidos ácidos (usualmente bajos en potasio y sodio) se presentan kaolinita, alunita y otros sulfatos y prehnita.

Dicho esquema queda modificado por la existencia de distintos gradientes térmicos, que provocan diversas distribuciones minerales (Surdam *et al.*, 1979), y son afectados por la reactividad de fluidos enriquecidos en CO₂, lixiviación de SiO₂ y la capacidad de intercambio catiónico de los iones alcalinos y alcalinotérreos

(Giggenbach, 1984). Las distintas asociaciones minerales de zeolitas, feldespatos, cuarzo, esmectitas y minerales micáceos han sido utilizados (Utada, 1971) en la definición de zonas con distinto grado de termalismo. Robert *et al.* (1988) describen asimismo la aparición de distintas asociaciones paragenéticas en el interior de una misma colada volcánica, como ejemplo del control térmico ejercido en reacciones de transferencia de masas.

En las rocas andesíticas estudiadas se ha podido reconocer como característica una asociación mineral secundaria de baja temperatura constituida por zeolitas y esmectitas. La identificación precisa de estas fases minerales y su significado dentro del proceso hidrotermal constituyen el eje del presente trabajo.

Marco geológico

Las Islas Shetland del Sur, desde la isla King George hasta la de Livingstone constituyen un bloque

* Inst. de Geología «Jaime Almera», C.S.I.C. Av. Martí Franqués, s/n. 08028 Barcelona.

** Museo Nac. Ciencias Naturales. Depart. de Geología. José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid.

cortical siálico limitado al NW por la fosa de las Shetland del Sur y al SE por el Estrecho de Bransfield (Fig. 1), que separa dichas islas de la Península Antártica, y cuyo origen respone a un arco volcánico desarrollado principalmente durante el Mioceno (Weaver *et al.*, 1979) donde persisten actividades volcánicas actuales en diversos puntos.

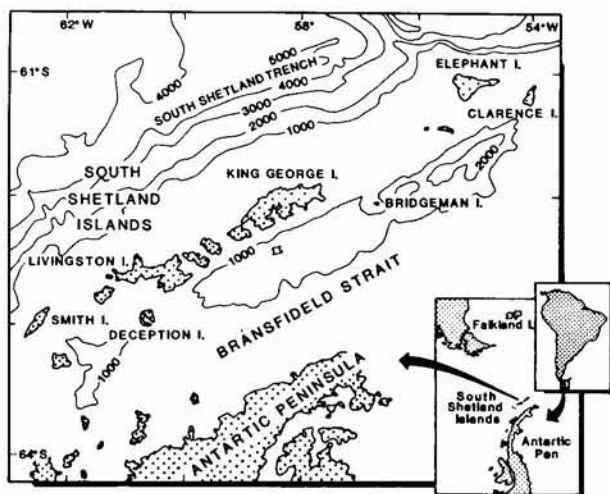


Fig. 1.—Mapa de situación.

Los materiales volcánicos están básicamente representados por rocas calcoalcalinas de la asociación basalto-andesita-dacita-riolita entre las que predominan los térmicos intermedios (andesitas). De modo general, estas rocas volcánicas presentan distintas fases de alteración hidrotermal, debidas principalmente a fenómenos de actividad post-eruptiva.

Los materiales estudiados en el presente trabajo proceden de un muestro superficial efectuado, durante la expedición ANTARTIC'86 (noviembre de 1986) organizada por el C.S.I.C., en la cadena montañosa situada a lo largo del litoral de Thomas Point, en la región meridional de la Isla King George, cercana a Admiralty Bay. Las coordenadas de situación del muestreo son 62° 10' S, 58° 30' W.

Identificación de las fases minerales secundarias

Para la caracterización de las muestras se procedió a su estudio por microscopía óptica, análisis químico por fluorescencia de Rayos X de la muestra total y para la correcta identificación de las fases minerales presentes se procedió al estudio por medio de difracción de Rayos X, microscopía electrónica de barrido con análisis por dispersión de energías acoplado y análisis por microsonda.

Petrología y geoquímica

Las rocas estudiadas corresponden a andesitas calcoalcalinas que presentan, por lo general, una textura

porfídica bien marcada. El constituyente mineral mayoritario original es la plagioclasa que se presenta tanto en fenocristales como en pequeños cristales subidiomórficos dentro del conjunto que constituye la matriz. El contenido en fenocristales de plagioclasa varía entre un 30 y un 40 por ciento y el diámetro máximo alcanza unos 6 mm, aunque el máximo de población se sitúa entre 1.5 y 2 mm. La mayoría de los fenocristales de plagioclasa son subidiomórficos a idiomórficos y presentan maclas polisintéticas bien desarrolladas. Muy pocos de estos fenocristales están zonados y, por lo general, presentan una alteración moderada a fuerte («crosslinear» y «patchy alteration») habiéndose transformado isomorfa y mesomórficamente en zeolitas. Un esquema general se muestra en la Fig. 2.

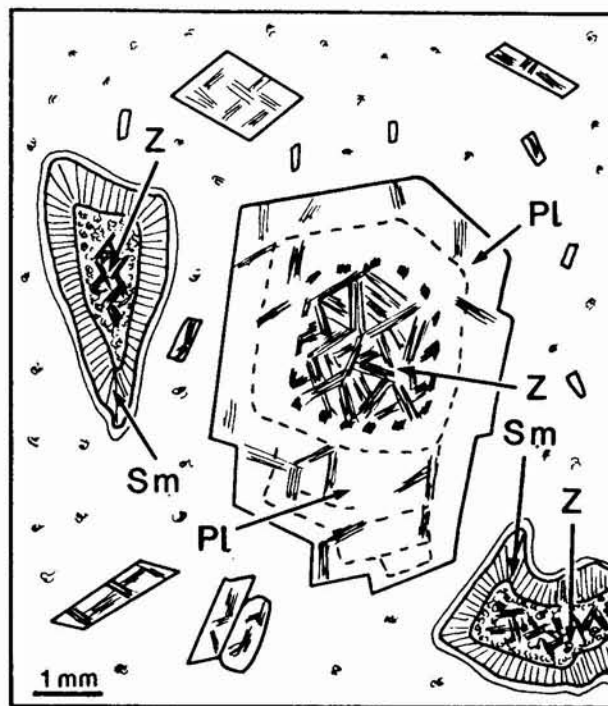


Fig. 2.—Esquema textural. Muestra AN — 02. Sm: Esmectitas, Pl: Plagioclasas, Z: Zeolitas.

Los minerales ferromagnéticos acostumbran a estar pseudomorfizados por clorita e iddingsita. Se han reconocido mayoritariamente secciones de piroxenos (augita e hiperstena), aunque también se han identificado algunas secciones originales de olivino. La matriz está constituida por pequeños cristales de plagioclasa y minerales ferromagnéticos muy alterados, englobados en una masa ferruginosa producida por la devitricación de la materia vítrea original. Las vesículas están cementadas por esmectita y zeolitas y, de forma muy ocasional, por calcedonia.

En la Tabla 1 se muestran tres análisis químicos representativos de las andesitas, así como la normativa CIPW. El elevado valor de la pérdida al fuego hay que interpretarlo como debido a la incorporación de una importante cantidad de H₂O durante el proceso de esmectización, que a su vez comporta una cierta lixiviación de SiO₂. El contenido en sodio es relativamente alto para este tipo de andesitas, hecho interpretable como resultado del proceso de albitización que experimenta la plagioclasa durante la zeolitización. Sin embargo, el carácter calcoalcalino de estas rocas puede deducirse perfectamente a partir de su composición química y de la composición normativa.

Tabla 1.—Composiciones químicas de rocas andesíticas de la Isla King Georges.

Muestra	AN-01	AN-02	AN-03
SiO ₂	55.46	53.20	53.77
TiO ₂	0.79	0.75	0.70
Al ₂ O ₃	16.98	15.86	17.50
Fe ₂ O ₃ *	6.46	8.08	7.32
MnO	0.10	0.15	0.11
MgO	3.31	5.52	4.47
CaO	4.98	5.96	6.54
Na ₂ O	3.20	3.30	3.36
K ₂ O	2.75	1.43	0.66
P ₂ O ₅	0.30	0.20	0.18
P.F.	5.26	5.00	4.89
Total	99.59	99.46	99.50
Qz	10.1	6.5	9.4
Co	0.4	—	—
Or	16.3	8.5	3.9
Ab	27.1	27.9	28.4
An	22.7	24.2	30.7
Di	—	3.2	0.4
Hy	11.5	17.5	15.9
Mt	4.1	4.7	4.1
Il	1.5	1.4	1.3
Ap	0.7	0.5	0.4

Fe₂O₃* + Fe₂O₃

Estudio mineralógico

Los análisis realizados por medio de la difracción de rayos X permiten identificar la presencia de plagioclasas, zeolitas y minerales arcillosos como fases mayoritarias. Un estudio más detallado de los minerales de la arcilla, mediante las técnicas usuales (agregados orientados, glicolación y tratamientos térmicos) corroboró la presencia de esmectitas y trazas de clorita. El estudio aislado de zeolitas permitió la caracterización precisa de mordenita y de laumontita, así como el cálculo de sus parámetros reticulares mediante el programa de afinamiento de Benoit (1987). Los resultados obtenidos (Tabla 2) están en perfecto

Tabla 2.—Parámetros reticulares de las zeolitas estudiadas.

	Laumontita	Mordenita
a	15.040	18.143
b	13.170	20.509
c	7.710	7.538
B	113° 12'	

acuerdo con aquellos recopilados por Gottardi *et al.* (1985). En nuestro caso, el mayor volumen reticular de mordenita queda justificado por el mayor porcentaje de Ca detectado en el análisis respecto a los contenidos de dicho elemento citados en la bibliografía.

El aspecto morfológico, observado al microscopio electrónico de barrido, de las fases identificadas así como la distribución de elementos detectada por el análisis mediante dispersión de energías se presenta en la Lámina 1 (1a, 1b y 1c).

En el estudio microscópico se aprecia que mientras la mordenita se localiza, de forma principal, aislada en filones y rellenando cavidades de forma conjunta con esmectitas (Fig. 3), la laumontita se halla siempre en alteración isomórfica de feldespatos (Fig. 4). Asimismo, entre la mordenita y las paredes de las fisuras y cavidades se encuentran depósitos de color verde intenso y parduzco, que en las observaciones al microscopio óptico presentan facies muy similar a la clorita pero los análisis por microsonda permiten concluir su pertenencia a minerales de alteración de tipo iddingsita y esmectitas. Es importante resaltar la utilidad de los análisis por microsonda, imprescindibles en estudios de alteración.

Los análisis realizados por microsonda de los minerales zeolíticos y plagioclasas se presentan en la Tabla 3, donde se puede apreciar, en las zeolitas, un contenido en calcio ligeramente superior al descrito por

Fig. 3.—Mordenita rellenando cavidades y vesículas. (long. escala = 250 μm.).

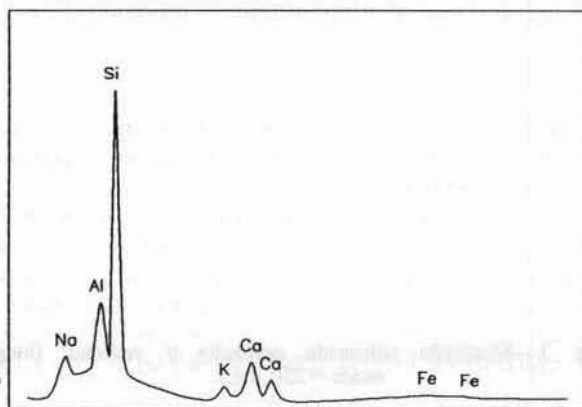
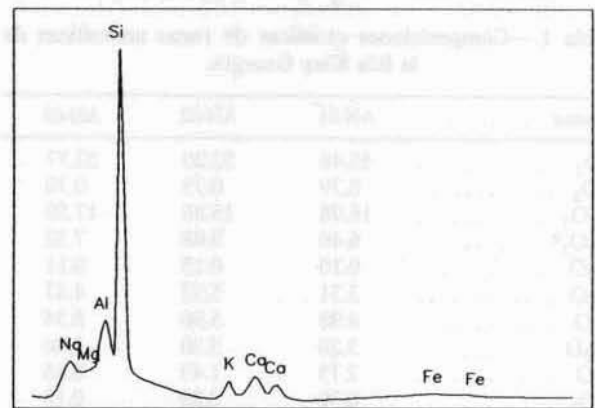
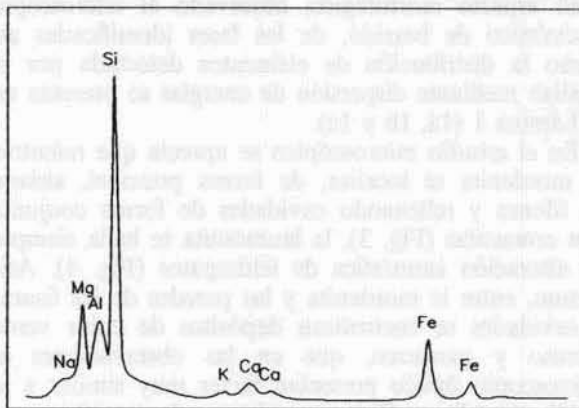
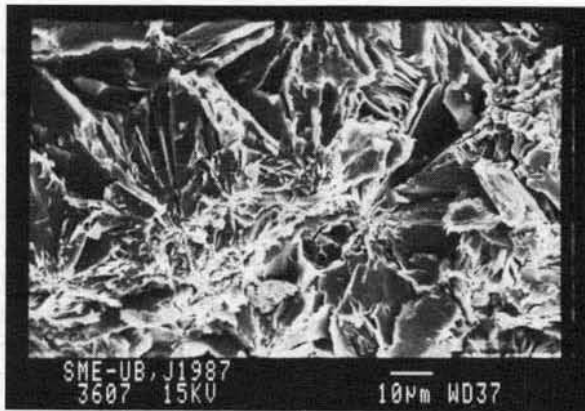


Lámina 1.—Observaciones al microscopio electrónico y análisis mediante EDX de las principales fases de alteración. Nótese las diferencias en los contenidos de Fe y Mg (acumulados en las esmectitas), así como la variación de los contenidos relativos de Ca y Na (con mayor preponderancia en laumontita) y también de K en los minerales zeolíticos. 1a) Agregados laminares de esmectitas. 1b) Haces fibrosos de mordenita. 1c) Alteración laumontítica de plagioclasas.

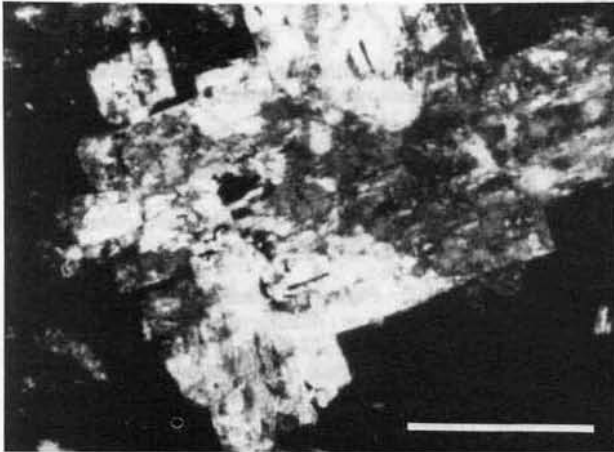


Fig. 4.—Crecimiento isomórfico de laumontita sobre feldespato. (long. escala = 250 μ m.).

Tabla 3.—Análisis representativos de zeolitas y plagioclasas, mediante microsonda electrónica.

	Plagioclasas		Laumontita		Mordenita
SiO ₂	54.98	51.63	55.25	55.04	63.10
Al ₂ O ₃	25.20	29.70	16.09	19.90	10.87
CaO	10.46	13.71	6.13	7.27	4.54
Na ₂ O	5.98	4.50	.64	.66	2.40
K ₂ O55	.35	.22	.32	1.61
Fe ₂ O ₃	—	—	.28	.58	—

diferentes autores. La Tabla 4 refleja las composiciones de las fases esmectíticas y puede constatarse la relación inversa entre el contenido de Ca y los de Fe y Mg, así como unas notables variaciones composicionales en estos minerales que ya han sido detectadas, en fenómenos de alteración similares, y relacionados con los gradientes térmicos existentes en la génesis de los mismos.

Tabla 4.—Análisis representativos de esmectitas, mediante microsonda electrónica.

	SM-01	SM-02	SM-03	SM-04	SM-05
SiO ₂	45.21	44.49	41.46	35.71	36.21
Al ₂ O ₃	23.47	14.17	14.41	11.10	12.00
MnO	—	—	—	.38	.47
MgO	3.45	6.92	8.88	17.25	15.45
CaO	8.96	4.91	1.24	.95	.74
Na ₂ O45	—	—	—	—
K ₂ O	1.17	1.12	.56	—	—
Fe ₂ O ₃ tot.	4.86	17.35	20.12	23.73	24.33
Total	87.57	88.96	86.67	89.12	89.20

Discusión y conclusiones

Las principales reacciones de interés en las transformaciones de rocas volcánicas incluyen la transformación vidrio-filosilicatos, vidrio-zeolita, zeolita-zeolita y plagioclasa-zeolita. En todas ellas está involucrada la fase fluida y los tipos iónicos presentes en dicha fase. Las evidencias corroboran que la fracción vítrea es reemplazada por zeolitas, las plagioclasas son alteradas total o parcialmente a zeolitas y sufren procesos de albitización y el resto de fases son mayoritariamente sustituidas por filosilicatos. Todas estas reacciones gozan de la posible simultaneidad que complica el proceso.

En las rocas estudiadas en el presente trabajo se presentan dos tipos de asociación mineral (Esmectita-Bytownita-Mordenita y Esmectita-Albita-Laumontita) y en ambos casos la ausencia de componentes carbonatados es total lo que sugiere una alteración por fluidos deficitarios en CO₂, que provocarían la formación de calcita.

Los procesos de zeolitización se localizan en filones y en el material que rellena cavidades (mordenita) y en reemplazamiento isomórfico de plagioclasas (laumontita).

Estas dos asociaciones pueden ser atribuidas a distintas condiciones termodinámicas de formación dentro de un modelo de alteración zonal, identificadas por la presencia de los diferentes tipos de zeolita así como por el incremento del proceso de albitización de las plagioclasas. Utada (1970), en la revisión de rocas volcanoclásticas del Japón reconoce cinco zonas de alteración zeolítica, donde tras la zona I de menor alteración (glass-fresh-zone), existiría otra zona II caracterizada por la presencia de mordenita. Las otras tres zonas están caracterizadas por diversas asociaciones de analcima-heulandita, laumontita y albita que corresponden a fases con unas condiciones P-T superiores. Igualmente Kostov (1970) reconoce una zonación en la deposición hidrotermal de zeolitas en rocas volcanoclásticas de Srednogoria (Bulgaria), donde la formación de mordenita predomina en la parte epizonal de los depósitos, mientras que la laumontita se localiza a mayor profundidad.

Seki *et al.* (1975) encuentran, de forma conjunta, ambas asociaciones en el estudio de tobas pumíticas de Oyama-Isehara District, concluyendo una relación entre el alto contenido de vidrio y la formación de mordenita, mientras que zonas de altos contenidos en plagioclasas y piroxenos cálcicos favorecen la cristalización de laumontita.

Las evidencias texturales observadas en el presente trabajo sugieren una secuencia paragenética análoga a la descrita por Barrows (1980) en el estudio de la zeolitización de rocas volcanoclásticas en Desatoya Mountains, Nevada, con una aparición de los minerales zeolíticos en hábitos sensiblemente parecidos a los

detallados en el presente trabajo, donde también aparece como característica la asociación mordenita-esmectitas de hábitos radiales y fibroso-radiados rellenando cavidades en posible sustitución de fases vítreas.

La formación de esta asociación de minerales autigénicos está relacionada con la alteración del vidrio por las soluciones circulantes. Mientras las fases vítreas se disuelven, Al y Si son consumidos para la formación de esmectitas, como primera fase de neoformación, tapizando las vesículas y fisuras preexistentes, a las que se incorporan Fe y Mg. De este modo, los fluidos circulantes ven incrementado el pH y la relación álcalis/H⁺. Esta última es la responsable de la formación de los diversos tipos de zeolitas (Walton, 1975). En nuestro caso la presencia predominante de mordenita en vesículas y filones indica unas relaciones Si/Al y Na⁺+K⁺/H⁺ elevadas. Igualmente, la sustitución pseudomórfica de las plagioclasas en laumontita constituyen evidencia de la existencia de reacciones combinadas (albitización-zeolitización) para mantener el equilibrio en la transferencia de masas durante el proceso de zeolitización.

Asimismo, la presencia de laumontita ha sido desde antaño relacionada con las condiciones P_(H₂O)-T y las reacciones en que ésta fase se halla implicada han permitido la elaboración de diversos diagramas de equilibrio (Surdam *et al.*, 1979, Boles 1981, Zeng *et al.*, 1982). Para la mayoría de autores, la laumontita se encuentra siempre en reacciones de hidratación térmica de plagioclasas a temperaturas que no suelen ser superiores a 150° C. Las reacciones de zeolitización de las rocas estudiadas se hallan solapadas y sugieren que deben considerarse otros factores, además de la temperatura. Así, el mayor coeficiente de actividad del SiO₂ hace que el equilibrio mineral se halle desplazado hacia el campo de estabilidad de laumontita.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean hacer constancia expresa de su agradecimiento al profesor Dr. D. Antonio Ballester por la cesión de las muestras procedentes de la campaña ANTARTIC'86 del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Al Dr. Ramón Fontarnau, del Servicio de Microscopía Electrónica de la Universidad de Barcelona, por su asesoramiento y ayuda en dicha técnica y a D. Alfredo Aparicio y D.^a Julia de la Puente del Museo Nacional de Ciencias Naturales por su colaboración en la realización de los análisis por microsonda electrónica.

Referencias

- Barrows, K. J. (1980). Zeolitization of miocene volcanoclastic rocks, Southern Desatoya Mountains, Nevada. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 91, 199-210.
- Benoit, P. H. (1986). A computer package for indexing and leastsquare refinement of powder diffraction data. *Amer. Miner.*, 71, 1027-1028.
- Boles, J. R. (1981). Zeolites in low-grade metamorphism rocks. *Rev. in Mineralogy.*, 4, 103-132. Mineral. Soc. of America, Washington.
- Colman, S. M. (1982). *Chemical Weathering of Basalts and Andesites: Evidence from Weathering Rinds*. Geological Survey Professional Paper. n. 1246.
- Giggenbach, W. F. (1984). Mass transfer in hydrothermal alteration systems. A conceptual approach. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 2693-2711.
- Gottardi, G.; Galli, E. (1985). *Natural Zeolites*. Springer-Verlag, Berlin.
- Hay, R. L.; Sheppard, R. A. (1981). Zeolites in open hydrologic systems. *Rev. in Mineralogy.*, 4, 93-102. Mineral. Soc. of America.
- Mumpton, F. A. (1981). Mineralogy and geology of natural zeolites. *Rev. in Mineralogy.*, 4, 1-15, Mineral. Soc. of America, Washington.
- Robert, C.; Goffe, B.; Saliot, P. (1988). Zeolitization of a basaltic flow in a continental environment: an example of mass transfer under thermal conditions. *Bull. Mineral.*, 111, 207-223.
- Seki, Y.; Oki, Y.; Okada, S.; Ozawa, K. (1972). Stability of mordenite in zeolite facies metamorphism of the Oyawa-Isehara District, Tanzawa Mountains, Japan. *J. Geol. Soc. Jpn.*, 78, 145-160.
- Surdam, R. C. (1973). Low-grade metamorphism of tuffaceous rocks in the Karmutsen Group, Vancouver Island, British Columbia. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 84, 1911-1922.
- Surdam, R. C. y Boles, J. R. (1979). Diagenesis of volcanic sandstones. *S.E.P.M. Spec. Public.*, 26, 227-242.
- Utada, M. (1970). Occurrence and distribution of authigenic zeolites in the neogene pyroclastic rocks in Japan. *Sci. Pap. Coll. Gen. Educ. Univ. Tokio.*, 20, 191-262.
- Utada, M. (1971). Zeolitic zoning in the neogene pyroclastic rocks of Japan. *Sci. Pap. Coll. Gen. Educ. Univ. Tokio.*, 21, 189-221.
- Walton, A. W. (1975). Zeolitic diagenesis in oligocene volcanic sediments. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 86, 615-624.
- Weaver, S. D.; Saunders, A. D.; Pankhurst, R. J. y Tarney, J. (1979). A geochemical study of magmatism associated with the initial stages of back arc spreading. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 68: 151-169.
- Zeng, Y.; Liou, J. G. (1982). Experimental investigation of yugawara-lite-wairakite equilibrium. *Amer. Miner.*, 67, 937-943.

Recibido el 3 de mayo de 1989
Aceptado el 6 de septiembre de 1989