

LAS ZEOLITAS DE LOS BASALTOS DEL GRUPO VOLCÁNICO ISLA JAMES ROSS, EN LAS PROXIMIDADES DE PUNTA SANTA RITA, ISLA JAMES ROSS, ANTÁRTIDA

Teresita MONTENEGRO¹

¹ CONICET, Departamento de Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales; Universidad de Buenos Aires.
E-mail: mon@gl.fcen.uba.ar

RESUMEN

En la isla James Ross, al noreste de la península Antártica, afloran sedimentitas cretácicas y las suprayacen los basaltos del Grupo Volcánico Isla James Ross. Éstos se caracterizan por diferentes coladas emplazadas en ambientes marino subácueo, subglacial, y subaéreo. Las coladas emplazadas en ambiente subácueo originan hialoclastitas. En Punta Santa Rita (64°13'52"LS y 57°16'10"LO), situada al sureste de Punta Ekelöf, algunos niveles de basaltos subaéreos poseen estructura amigdaloides, con cavidades de tamaño variable entre 0,3 mm y 1 cm, rellenas con zeolitas y calcita. Los minerales que componen el relleno de las cavidades han sido estudiados con técnicas petrográficas convencionales, microscopía electrónica de barrido, EDS y difracción de rayos x. Todas las zeolitas están enriquecidas en Na. Un intercrecimiento de chabazita-gmelinita, tapiza las paredes de las cavidades, acompañadas por analcima, thomsonita, phillipsita, y calcita hacia el centro, mineral que también se presenta en venillas. El vidrio palagonítico se localiza en las superficies libres y químicamente también está enriquecido en Na, además de Al, K y Ca. Las asociaciones de zeolitas se habrían originado por reacción con aguas superficiales durante el enfriamiento inicial de los flujos de lavas y por recristalización de vidrio. Los basaltos habrían estado expuestos a la acción de fluidos de origen marino, evidenciado por la abundancia de Na hallada en todas las zeolitas y en la palagonita.

Palabras clave: *Gmelinita, chabazita, Cenozoico, Grupo Volcánico Isla Jaime Ross, cuenca James Ross, Antartida*

ABSTRACT

Zeolites from the James Ross Island Volcanic Group basalts, near to Santa Rita Point, James Ross Island, Antarctica

In the James Ross Island, northeast of the Antarctic Peninsula, Cretaceous sedimentary rocks crop out and they are overlaid by basalts of the James Ross Island Volcanic Group. These basalts are characterized by their different volcanic successions emplaced in subglacial, marine, subaqueous and subaerial environments. Lavas emplaced in subaqueous environment originate hyaloclastite breccia. In Santa Rita Point (64° and 57° 16'10"W 13'52"S), located to the southeast of Ekelöf Point, some basalt horizons have amygdaloidal structure with cavities filled with zeolites and calcite, ranging in size between 0.3 mm and 1 cm. The minerals that filled the cavities have been studied with conventional petrographic techniques, SEM, EDS and X-ray diffraction. All zeolites are enriched in Na. An intergrowth of chabazite-gmelinite crystals, lining the walls of the cavities, accompanied by analcime, thomsonite, phillipsite, and calcite developed to the center. Calcite also occurs in veins. Palagonite glass is located at the free surfaces and chemically, is also enriched in Na, in addition to Al, K and Ca. Zeolites associations would have been originated by reaction with surface water during the initial cooling of lava flows and / or by recrystallization of glass. The basalts may have been exposed to the action of marine waters, as is evidenced by the abundance of Na in all zeolites and in the palagonitic glass.

Keywords: *Gmelinite, chabazite, Cenozoic, James Ross Island Volcanic Group, James Ross basin, Antarctica*

INTRODUCCIÓN

Las asociaciones de zeolitas que se desarrollan en cavidades de rocas basálticas han sido estudiadas en detalle por numerosos autores, entre ellos Deer *et al.* (2004). Una de las causas propuestas para su génesis, es por la reacción entre los flujos de lavas y las aguas superficiales durante su enfriamiento inicial. Otra gé-

nesis propuesta, no menos importante y frecuente, es como producto de la cristalización del vidrio.

También es conocida la capacidad que presentan los minerales del grupo de las zeolitas para intercambiar cationes, con reemplazos de tipo Ca, Al \leftrightarrow Na, K. Por esta razón, su geoquímica puede ser utilizada como indicador ambiental (entre otros, Deer *et al.* 2004).

En la isla James Ross, situada al noreste de la península Antártica, se reconocen potentes y extensos derrames basálticos denominados Grupo Volcánico Isla James Ross. La mayoría de las erupciones que les han dado origen han tenido lugar durante el Cenozoico. Estas rocas han sido extruidas en ambiente subaéreo (basaltos), subácueo marino y subglacial dando lugar a las hialoclastitas o brechas hialoclasticas

(Smellie *et al.* 2008). Independientemente de su emplazamiento, los basaltos y las hialoclastitas alojan zeolitas en sus superficies libres y en amígdalas.

En Punta Santa Rita, Smellie (2006) encuentra evidencias morfológicas de emplazamiento subglacial de las coladas subácueas. Johnson y Smellie (2007) estudian la geoquímica de las zeolitas autígenicas, phillipsita y chabazita, y las encuentran significativamente enriquecidas en Na. De esta manera, los autores concluyen que, si bien estas zeolitas se originaron a partir de un emplazamiento subglacial de las coladas, posteriores ascensos del nivel del mar habrían modificado la composición original enriqueciéndolas en Na por intercambio catiónico con el agua de mar. Asimismo, los basaltos subaéreos que coronan las coladas subglaciales de Punta Santa Rita son también portadores de asociaciones de zeolitas, las que no habían sido estudiadas previamente. Esta contribución tiene por finalidad dar a conocer la presencia de nuevas asociaciones de zeolitas alojadas en estos basaltos subaéreos y, sobre la base de su geoquímica, se trata de establecer la posible influencia de aguas marinas.

MARCO GEOLÓGICO - EL BASALTO DEL GRUPO VOLCÁNICO ISLA JAMES ROSS

El sector sudeste de la cuenca James Ross está constituido por un potente conjunto de rocas sedimentarias del Cretácico Superior, que abarcan las Formaciones Santa Marta, Rabot, Snow Hill Island y López de Bertodano (Rinaldi *et al.* 1978, Lirio *et al.* 1989, Pirrie *et al.* 1991, Pirrie *et al.* 1997, Marenssi *et al.* 2001, Smellie *et al.* 2008, Olivero, 2012). En discordancia erosiva suprayacen los basaltos del Grupo Volcánico Isla James Ross, de edad miocena-holocena (Nelson 1975, Rex 1976, Pirrie y Sykes 1987, Sykes 1988, Strelin *et al.* 1993, Jonkers 1998 a y b, Smellie *et al.* 1998, Carrizo *et al.* 1999, Hambrey *et al.* 2008, Concheyro *et al.* 2011).

El Grupo Volcánico Isla James Ross -GVIJR- posee edades entre $3,51 \pm 0,07$

y $3,01 \pm 0,07$ Ma en Rhino Corner, $3,62 \pm 0,03$ Ma en Rhino Cliff y $2,49 \pm 0,02$ Ma en Santa Rita (Smellie *et al.* 2008), todos en el sector oriental de la isla (Fig. 1), y que han sido calculadas por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Las efusiones son basálticas y se encuentran genéticamente relacionadas a un ambiente extensional (Marenssi *et al.* 2001).

La porción cuspidal de la secuencia volcánica son basaltos subaéreos mientras que los niveles inferiores están constituidos por hialoclastitas formadas por erupciones subácueas, submarinas o subglaciales (Fig. 2). En particular, en Punta Santa Rita, las efusiones, en los niveles inferiores, han sido subglaciales, de acuerdo con los estudios geomorfológicos realizados por Smellie (2006) y Smellie *et al.* (2008).

En la zona analizada ($64^{\circ}13'52''\text{S}$ y $57^{\circ}16'10''\text{O}$), en el nivel aproximado a los 194 m s.n.m., el basalto subaéreo es amigdaloido y presenta costras de palagonita. Posee tendencia alcalina, está constituido por microfenocristales de plagioclasa y en forma subordinada, contiene microfenocristales de olivina, siempre de mayor tamaño, que suelen formar glomérulos. La pasta es intersertal y está compuesta por plagioclasa seriada; cristales esqueléticos de clinopiroxeno titanífero y plagioclasa, olivina y minerales opacos, en una mesotaxis vítrea de color morado.

Las cavidades de los basaltos son en general circulares a subcirculares, poseen tamaño variable entre 0,3 y 1 cm, no tienen orientación definida y están rellenas con zeolitas, calcita y ocasionalmente, palagonita (Fig. 3). En los sectores palagonitizados predominan las cavidades y venillas con chabazita y phillipsita y menos frecuentemente se encuentran cavidades con chabazita-gmelinita.

MÉTODOS DE ESTUDIO

Las zeolitas han sido estudiadas con técnicas petrográficas convencionales, difracción de rayos X, y análisis químicos por energía dispersiva (EDS).

Para los estudios petrográficos se utilizó un microscopio de polarización Leica DMLP sobre material suelto, montado

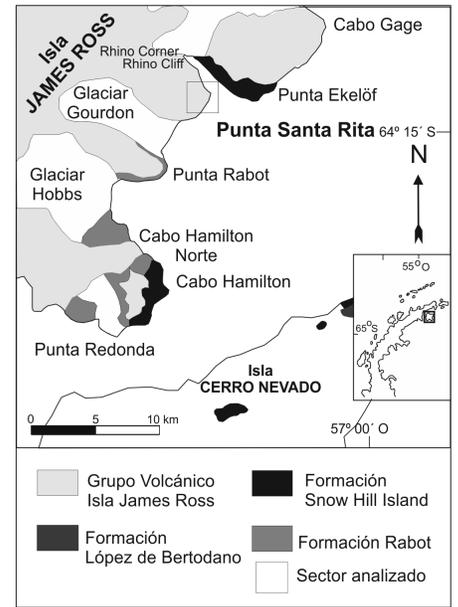


Figura 1: Situación geográfica de Punta Santa Rita, sudeste de la isla James Ross, y principales unidades litostratigráficas del área. Modificado de Concheyro *et al.* (2011).

con líquido de índice de refracción 1,54, y microscopio estereoscópico Zeiss.

El difractograma de rayos X se obtuvo por el método Debye Scherrer con difractómetro Siemens D 5000. La longitud de onda utilizada fue $\text{CuK}\alpha_1 = 1,5406 \text{ \AA}$, con filtro de Ni, escaneado a una velocidad de $1,2^{\circ} 2\theta/\text{minuto}$, desde $2\theta = 10^{\circ}$ hasta $2\theta = 70^{\circ}$. La identificación de las especies minerales se realizó con según fichero JCPDS (Bayliss *et al.* 1993).

La composición química fue determinada con un analizador de energía dispersiva (EDS) *Inca Energy, Oxford Instruments*, acoplado a un microscopio electrónico de barrido (SEM) Zeiss Supra 40 con cañón de emisión de campo. Se trabajó a 20 kv, con patrones de CaCO_3 para C, SiO_2 para O y Si, Al_2O_3 para Al, albita para Na, MgO para Mg, MAD-10 feldespato para K, wollastonita para Ca, Fe para Fe y, FeS_2 para S, KCl para Cl. Las fotografías fueron tomadas con 5kv.

También se realizaron algunos análisis químicos con un analizador de energía dispersiva (EDS) acoplado a un microscopio electrónico de barrido Phillips 9100. Los patrones utilizados fueron elementos metálicos. Los análisis se realizaron a 20kv, corrección convencional ZAF



Figura 2: Vista panorámica de los basaltos de Punta Santa Rita, isla James Ross. Basaltos subaéreos coronan la secuencia. Vista hacia el sur.

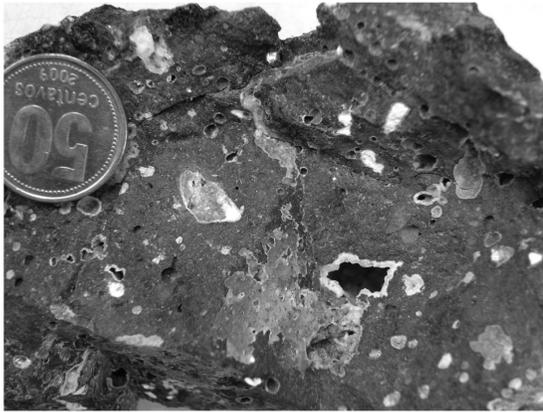


Figura 3: Basalto con amígdalas con relleno de zeolitas.

y TKOFF, 25.0°. Se usó un haz de electrones de 2 micrones de diámetro y un tiempo de conteo de 10 s. El máximo error promedio de los datos iniciales de EDS para cada elemento es de 2,6% en peso. Los valores obtenidos con ambos instrumentos fueron similares.

RESULTADOS OBTENIDOS

Las zeolitas

Todas las zeolitas halladas son ricas en Na. Las especies de hábito granular reconocidas son analcima, gmelinita y chabazita. Entre las especies prismáticas se identificaron phillipsita y thomsonita. Son reconocidas por la morfología de los cristales, por la composición química (Cuadro 1), y difracción de rayos x (Fig. 4).

El relleno de las amígdalas en el basalto fresco está constituido por las zeolitas chabazita-gmelinita, y menos frecuentemente por thomsonita, phillipsita, ocasionalmente analcima, y calcita, esta últi-

ma en el centro de las cavidades. El vidrio palagonítico se localiza en superficies libres (Fig. 3).

Gmelinita-chabazita: La gmelinita forma cristales hexagonales, con bipirámides $\{h0\bar{h}l\}$, pinacoides $\{0001\}$ y prismas $\{100\bar{1}\}$. Poseen coloración blanca a incolora y son translúcidas. Es característica la partición basal, presente en todas las secciones prismáticas (Fig. 5a).

La chabazita forma cristales trigonales, con romboedros, pinacoides y prismas desarrollados en grado variable. Este hábito pseudo-hexagonal ha sido descrito como variedad facolita (Gottardi y Galli 1985) (Fig. 5b) y presenta color similar a la gmelinita. Los dos minerales están intercrecidos, probablemente en relación epitaxial y forman agregados botroidales.

Químicamente ambas especies minerales son ricas en Na⁺ y además tienen Ca²⁺ con una relación Si/Al variable entre 2,31 y 1,55 (Cuadro 1).

Con respecto a las propiedades ópticas

de la especie gmelinita, se obtienen figuras de interferencia uniáxicas y biáxicas, positivas y negativas, según las secciones. Este comportamiento es, según Deer *et al.* (2004), característico del mineral.

Las dos zeolitas han sido identificadas, además, por difracción de rayos x, en una mezcla de material de las amígdalas (Fig. 4). Los picos corresponden principalmente a gmelinita y a chabazita, variedad herschelita. Este nombre ha sido abandonado ya que corresponde a chabazita rica en Na (Coombs *et al.* 1997).

Analcima: Este mineral ha sido reconocido por su forma cristalina ya que constituye cristales cúbicos con perfecto desarrollo de icositetraedros $\{hkk\}$ (Fig. 5c). En otros sectores del basalto, la analcima forma agregados de grano muy fino, de coloración gris, originados como producto de desvitrificación.

Químicamente es rica en Na, con menores contenidos en Ca²⁺, y ocasionales Fe³⁺, Mg²⁺ y K⁺ (Cuadro 1). En el diagrama de difracción de rayos x, se reconocen algunos picos correspondientes a este mineral.

Phillipsita: La phillipsita constituye cristales probablemente de origen secundario, que se desarrollan sobre los cristales de chabazita-gmelinita y analcima (figura 5d). Un análisis químico de phillipsita indica la presencia de Cl y S como impurezas (además de Na, Ca y Al) (cuadro 1). En el diagrama de difracción de rayos x se identifican difracciones correspondientes a este mineral (Fig. 4).

Thomsonita: Esta zeolita se encuentra en las amígdalas en agregados conjuntamente

CUADRO 1: Composición química y número de átomos por fórmula unitaria de las zeolitas y palagonita.

Elementos	Chabazita		Gmelinita				Analcima		Thomsonita			Phill	Palag
SiO ₂	53,86	56,20	48,99	41,95	42,05	42,73	51,20	50,96	43,94	42,89	42,87	54,08	58,62
Al ₂ O ₃	20,65	20,61	18,39	22,58	23,01	21,61	19,95	18,35	19,07	19,39	19,64	18,52	22,68
Fe ₂ O ₃								1,76				2,28	
MgO								1,84				2,25	
CaO	5,16	1,07	1,49	1,31	1,64	0,81		1,23	2,35	2,42	3,06	0,94	2,00
Na ₂ O	7,25	10,12	9,13	12,16	11,30	12,85	12,84	8,50	6,71	8,11	6,20	8,27	14,86
K ₂ O	1,08							1,35	3,92	3,20	4,24	1,67	1,83
Total	88	88	78	78	78	78	84	84	86	86	86	88	100

Número de átomos por fórmula unitaria

Si	8,21	8,44	16,65	14,70	14,67	14,97	32,72	32,70	26,36	25,84	25,95	11,03	
Al	3,71	3,65	7,37	9,32	9,46	8,92	15,03	13,88	13,48	13,77	14,01	4,45	
Fe ³⁺								0,85				0,35	
Mg								1,76				0,68	
Ca	0,84	0,17	0,54	0,49	0,61	0,30		0,85	1,51	1,56	1,98	0,21	
Na	2,14	2,95	6,02	8,26	7,64	8,73	15,91	10,57	7,80	9,48	7,27	3,27	
K	0,21							1,10	3,00	2,46	3,27	0,44	
E% *	-8,10	10,90	3,74	0,84	6,70	-4,45	-5,56	-12,82	-2,54	-8,56	-3,47	-12,42	
Si/Al	2,21	2,31	2,26	1,58	1,55	1,68	2,18	2,36	1,96	1,88	1,85	2,48	
(Na+K)/Ca	2,79	17,18	11,10	16,77	12,48	28,69	15,91	13,76	7,14	7,64	5,31	18,01	

Chabazita: calculado para 12% agua teórico, y 24 oxígenos. Gmelinita: calculado para 22% agua teórico y 48 oxígenos. Analcima: calculado para 16% agua teórico y 96 oxígenos. Thomsonita: calculado para 24% de agua teórico y 80 oxígenos. Phill: phillipsita, calculado para 12% de agua y 32 oxígenos. Palag: palagonita. *E% = (Al+Fe)-(Li+Na+K)-2(Mg+Ca+Sr+Ba)/(Li+Na+K)+2(Mg+Ca+Sr+Ba)×100 según Gottardi y Galli (1985).

con chabazita-gmelinita (Fig. 5e). Su composición química evidencia un enriquecimiento en Na con respecto a Ca y K (Cuadro 1). También en el diagrama de rayos x se identifican difracciones correspondientes a este mineral (Fig. 4). La extinción de los cristales es recta y la elongación positiva y negativa.

Palagonita: La palagonita, también presente en estas rocas, resulta rica en sodio y aluminio, con calcio y potasio (Cuadro 1).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las zeolitas halladas en las amígdalas del basalto del Grupo Volcánico de la Isla James Ross (GVIJR) que poseen hábito granular son gmelinita-chabazita, analcima y las prismáticas, phillipsita y thomsonita. Todas se encuentran enriquecidas en sodio, como así también la palagonita. El enriquecimiento en este catión es favorecido por la estructura abierta de las zeolitas, propiedad que facilita el intercambio y hospedaje de cationes en sitios no estructurales (entre otros autores, Coombs *et al.* 1997).

Si se compara la composición química de

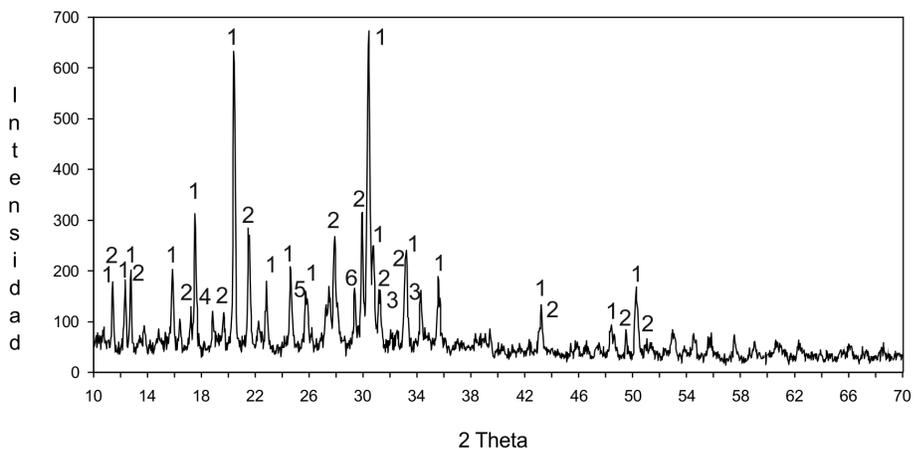


Figura 4: Diagrama de difracción de rayos X de chabazita (1), gmelinita (2), thomsonita (3), phillipsita (4), analcima (5) y calcita (6).

phillipsita y de gmelinita-chabazita del basalto del GVIJR de Punta Santa Rita con los gráficos (Na+K)/Ca presentados por Johnson y Smellie (2007), estas zeolitas se localizan en el campo del ambiente marino, debido al enriquecimiento en Na que origina valores de la relación (Na+K)/Ca entre 2,79 y 28,69 para gmelinita-chabazita, y mayores a 18 para phillipsita (Fig. 6). Además la palagonita posee un 15% en peso de Na₂O. Avalaría esta génesis el hallazgo de thomsonita,

zeolita rica en Ca.; el enriquecimiento en Na de este mineral podría tener lugar por la ingesión de agua de mar, de manera tal que el Na desplazaría al Ca, y este último catión formaría calcita en el centro de las amígdalas.

Las temperaturas de formación de las zeolitas gmelinita, chabazita y phillipsita son inferiores a los 150°C, en cambio la formación de thomsonita corresponde al intervalo entre 100 y 200°C (Deer *et al.* 2004).

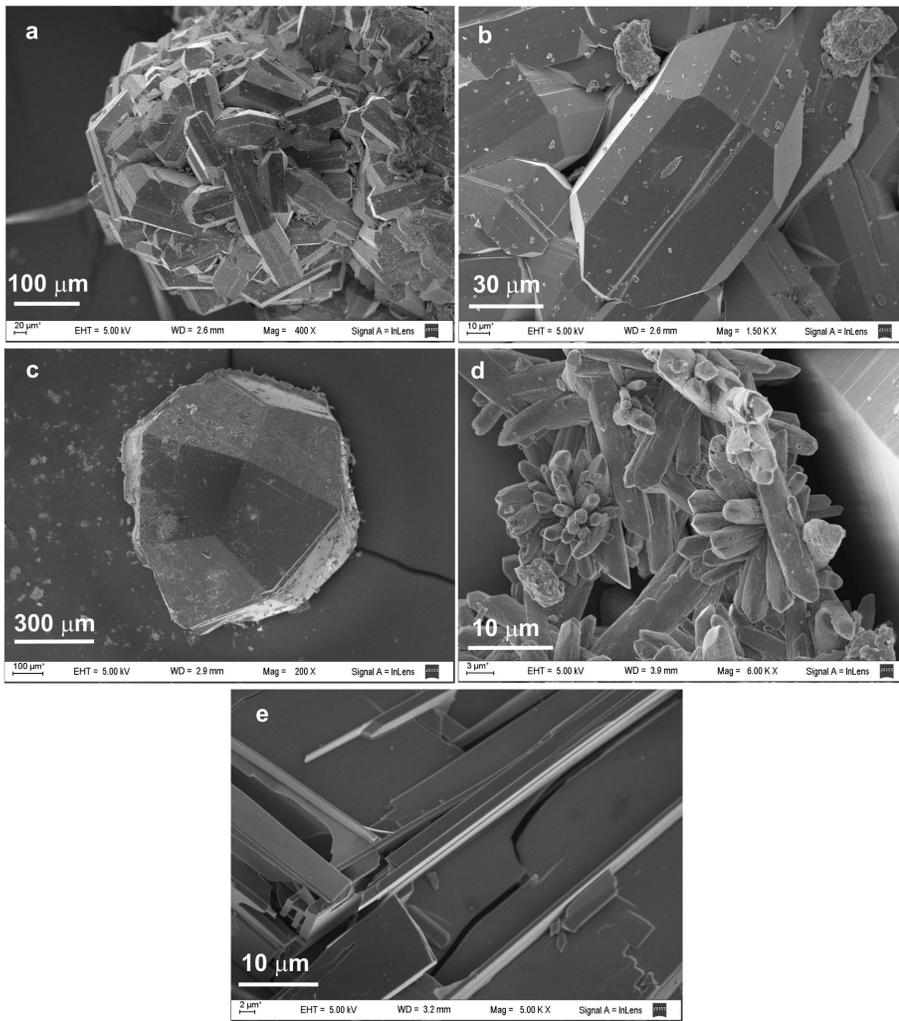


Figura 5: Zeolitas de las amígdalas. a) Cristales de gmelinita en un agregado botroidal. b) Chabazita con morfología pseudohexagonal (variedad facolita). c) Cristal de analcima. d) Cristales de phillipsita desarrollados sobre un cristal de chabazita. e) Cristales de thomsonita. Todas las fotografías han sido tomadas con un microscopio electrónico de barrido.

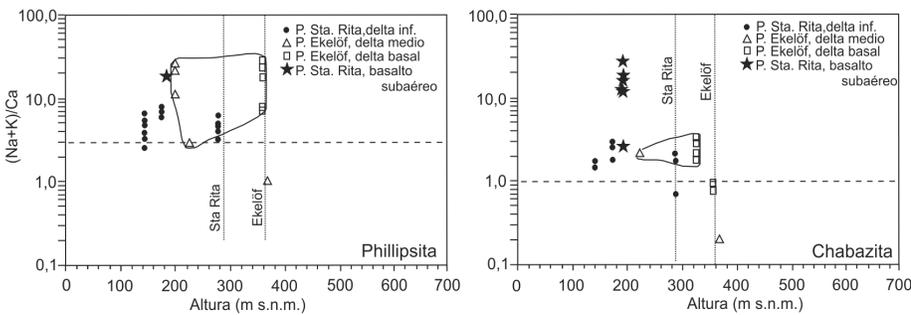


Figura 6: Diagrama que muestra relación (Na+K)/Ca vs. altura (en metros sobre nivel del mar), para phillipsita y chabazita-gmelinita del basalto subaéreo de Punta Santa Rita. Se compara con los valores de las mismas zeolitas de Punta Santa Rita (delta inferior) y Punta Ekelöf (delta medio y delta basal), de Johnson y Smellie (2007). La línea discontinua horizontal divide campos de zeolitas alteradas por agua de mar (superior) de aquellas alteradas por agua dulce (campo inferior). Las líneas punteadas verticales representan los niveles de elevación del mar.

Las temperaturas de formación sugeridas, más el enriquecimiento en Na estarían indicando que, si bien las zeolitas pueden haberse formado durante el enfriamiento del basalto, a temperaturas inferiores a los 150°C y con aporte de aguas dulces, posteriormente habrían sufrido contaminación con el agua de mar, enriqueciéndose en Na. La presencia de impurezas de S y Cl en la phillipsita permitiría inferir el intercambio con el agua de mar.

Consecuentemente, en Punta Santa Rita, habría existido un ascenso en el nivel del mar, probablemente local, y de corta duración, tal como lo indican Johnson y Smellie (2007), que habría afectado no solo a las zeolitas de los niveles subglaciales sino que también incluiría a las zeolitas del basalto subaéreo, tal como lo evidencia el enriquecimiento en Na de estos minerales.

AGRADECIMIENTOS

La presente es una contribución al proyecto ANPCyT PICTO 07-36166. La autora agradece a los integrantes del grupo Micropaleontología-Ross de la CAV 2008 por el aporte del material de estudio, al Instituto de Química y Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN-UBA), por los estudios de difracción de rayos X, al Centro de Microscopías Avanzadas (CMA), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-Universidad de Buenos Aires, por los estudios de composición química de las zeolitas y por las fotos de microscopía electrónica de barrido, y a los Laboratorios de Investigaciones Técnicas de las Fuerzas Armadas (CITEFA) por los análisis químicos desarrollados.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Bayliss, P., Erd, D.C., Mross, M.E., Sabina, A.P., Smith, D.K. 1993, Mineral Powder Diffraction File, En Mrose, M.E. (ed.) Compiled for the Joint Committee on Powder Diffraction Standard, 1396 p. Pasadena.
 Carrizo, H., Torielli, C., Strelin, J. y Muñoz, C. 1999. Ambiente eruptivo del Grupo Volcá-

- nico Isla James Ross en riscos Rink, isla James Ross, Antártida. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 53: 469-479.
- Concheyro, A., Lirio, J.M., Amenábar, C.R., Caramés, A., Adamonis, S., Mackern, A. y Ballent, S. 2011. Geología de Punta Ekelöf, Isla James Ross, Península Antártica. 17° Congreso Geológico Argentino. Neuquén, Simposio S8. Geología, Ambientes y Recursos Naturales de la Antártica, Actas: CD ROOM: 398-399, Neuquén.
- Coombs, D.S., Alberti, A., Armbruster, T., Artio, G., Colella, C., Galli, E., Grice, J.D., Liebau, F., Mandarin, J.A., Minato, H., Nickel, E.H., Passaglia, E., Peacor, D.R., Quartieri, S., Rinaldi, R., Ross, M., Sheppard, R.A., Tillmanns, E., y Vezzalini, G. 1997. Recommended nomenclature for zeolite minerals: Report of the Subcommittee on Zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *Canadian Mineralogist* 35: 1571-1606.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Wise, W.S. y Zussman, J. 2004. *Rock Forming Minerals. Framework silicates: Silica Minerals, Feldspathoids and the Zeolites*, Volume 4B, Second Edition, 982 p., The Geological Society, Londres.
- Gottardi, G. y Galli, E. 1985. *Natural Zeolites*. Springer Verlag, 409 p., Berlín
- Hambrey, M.J., Smellie, J.L., Nelson, A.E. y Johnson, J.S. 2008. Late Cenozoic glacier–volcano interaction on James Ross Island and adjacent areas, James Ross Island. *Geological Society American Bulletin* 120: 709-731.
- Johnson, J. y Smellie, J.L. 2007. Zeolite compositions as proxies for eruptive paleoenvironment. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 8: 1-19.
- Jonkers, H.A. 1998a. Stratigraphy of Antarctic Late Cenozoic pectinind-bearing deposits. *Antarctic Science* 12: 161-170.
- Jonkers, H.A. 1998b. The Cockburn Island Formation, Late Pliocene interglacial sedimentation in the James Ross Basin, northern Antarctic Peninsula. *Newsletter Stratigraphy* 36: 63-76.
- Lirio, J.M., Marensi, S.A., Santillana, S.N., Marshall, P. y Rinaldi, C.A. 1989. Marambio Group at Southeastern part of James Ross Island, Antarctica. *Contribución del Instituto Antártico Argentino* 371: 1-46.
- Marensi, S. A., Salani, F. M. y Santillana, S. N. 2001. Geología del Cabo Lamb, isla Vega, Península Antártica. Dirección Nacional del Antártico. Instituto Antártico Argentino. Contribución N° 530, Dirección Nacional del Instituto Antártico, 1-43., Buenos Aires.
- Nelson, P.H.H. 1975. The James Ross Island Volcanic Group of Northeast Graham Land. *British Antarctic Survey Scientific Reports* 54: 1-62, Londres.
- Olivero, E.B. 2012. Sedimentary cycles, ammonite diversity and palaeoenvironmental changes in the Upper Cretaceous Marambio Group, Antarctica. *Cretaceous Research* 34: 348-366.
- Pirrie, D. y Sykes, M.A. 1987. Regional significance of proglacial delta-front reworked tuffs, James Ross Island area. *British Antarctic Survey Bulletin* 77: 1-12, Londres.
- Pirrie, D., Crame, A. y Riding, J. 1991. Late Cretaceous Stratigraphy and Sedimentology of Cape Lamb, Vega Island, Antarctica. *Cretaceous Research* 12: 227-258.
- Pirrie, D., Crame, J.A. Lomas, S.A. y Riding, J.B. 1997. Late Cretaceous stratigraphy of Admiralty Sound region, James Ross Basin, Antarctica. *Cretaceous Research* 18: 109-137.
- Rex, D.C. 1976. Geochronology in relation to the stratigraphy of the Antarctic Peninsula. *British Antarctic Survey Bulletin* 43: 49-58.
- Rinaldi, C.A., Massabie, A., Morelli, J., Rosenman, H.L. y del Valle R.A. 1978. Geología de la isla Vicecomodoro Marambio. *Contribución del Instituto Antártico Argentino* 217: 1-44.
- Smellie, J.L. 2006. The relative importance of supraglacial versus subglacial meltwater escape in basaltic subglacial tuya eruptions: an important unresolved conundrum. *Earth Sciences Reviews* 74: 241-268.
- Smellie, J.L., Millar, I.L., Rex, D.C. y Butterworth, P.J. 1998. Subaqueous, basaltic lava dome and carapace breccia on King George Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Bulletin of Volcanology* 59: 245-261.
- Smellie, J.L., Johnson, J.S., McIntosh, W.C., Esser, R., Gudmundsson, M.T., Hambrey, M.J., y van Wyk des Vries, B. 2008. Six million years of glacial history recorded in volcanic lithofacies of the James Ross Island Volcanic Group, Antarctic Peninsula. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 260: 122-148.
- Strelin, J., Carrizo, H., López, A. y Torielli, C. 1993. Actividad volcánica holocenas en la Isla James Ross. *Segundas Jornadas sobre Comunicaciones Antárticas*: 335-340, Buenos Aires.
- Sykes, M.A. 1988. New K-Ar age determinations on the James Ross Island Group, north-east Graham Land, Antarctica. *British Antarctic Survey Bulletin* 80: 51-56.

Recibido: 20 de diciembre, 2012

Aceptado: 6 de junio, 2013