EDAD DEL VOLCAN ANDRUS Y RELACION INICIAL Sr^{87}/Sr^{86} DE ROCAS VOLCANICAS DE TIERRA MARIA BYRD E ISLAS SHETLAND DEL SUR, ANTARTICA

MARTIN HALPERN* y OSCAR GONZÁLEZ-FERRÁN**

ABSTRACT Analyses of strontium isotopic composition of volcanic rocks from Marie Byrd Land and the South Shetland Islands indicate a probable upper mantle source region for the magma. Andrus volcano in Marie Byrd Land is dated at 10.8 ± 0.5 m.y. by Rb/Sr total rock isochron method.

RESUMO Análises da composição isotópica do estrôncio de rochas vulcânicas da Terra Maria Byrd e das ilhas Shetland do Sul indicam uma origem do material a partir do manto superior. O Vulcão Andrus, localizado na Terra Maria Byrd, apresenta uma idade de $10,8 \pm 0,5$ milhões de anos, pelo método Rb-Sr em rocha total, aplicado em várias amostras co-genéticas.

INTRODUCCION Este trabajo señala los resultados de los análisis de Rb y Sr en roca total de muestras de rocas volcánicas colectadas por uno de los autores (O. G-F), en la Tierra María Byrd e Islas Shetland del Sur. Las características geológicas, relaciones estratigráficas y tectónicas de las muestras aquí analizadas han sido descritas por Gonzalez-Ferran y Katsui (1970); Gonzalez-Ferran y Gonzales-Bonorino (1972). En la Tabla 2 de este trabajo se da una breve descripción petrográfica y los análisis químicos de las rocas analizadas isotópicamente. Las dataciones y los análisis isotópicos fueron realizados por uno de los autores (Halpern) en los Laboratorios de la División de Geosciences de la Universidad de Texas en Dallas.

GENERALIDADES La provincia volcánica cenozoica de Tierra María Byrd (Fig. 1), se presenta como un cordón linear alrededor de los 76° de latitud sur (Gonzalez-Ferran, 1969) desde el volcán Perkin (Halpern, 1969) en las cercanías de los 144° de longitud oeste, hasta las vecindades de Jones Mountain en los 94° de longitud oeste (Craddock *et al.*, 1964). Este cinturón volcánico cenozoico se extiende posiblemente hasta la región volcánica de la Isla Ross en las cercanías del sector central de las Montañas Transantárticas, mientras que hacia el oriente alcanza hasta la Tierra de Ellsworth, donde se han encontrado rocas basálticas olivínicas provenientes del Monte Boyer y que han sido datadas por el método K/Ar dando una edad de 6 millones de años (Halpern, 1971).

La provincia volcánica de Tierra María Byrd se encuentra separada del interior de la Antártica Occidental por la "Fosa" de Bentley o depresión de Byrd (Fig. 1), con profundidades mayores que 2 000 metros bajo el nivel del mar (Bentley *et al.*, 1964). La Tierra María Byrd está caracterizada además por anomalías magnéticas mayores que 100 gammas; anomalías gravitacionales aire libre de alrededor de +20 a -40 miligales y anomalías gravitacionales de Bouger que fluctúan entre 0 y -90 miligales sobre la región de Tierra María Byrd analizada en este trabajo (Behrendt and Bentley, 1968). Woollard (1962) da un espesor de la corteza para el área de Tierra María Byrd de alrededor de 30 kilómetros y señala un espesor medio de la corteza para la Antártica Oriental de alrededor de 40 kilómetros.

*División of Geosciences, University of Texas at Dallas

**Departamento de Geología, Universidad de Chile

Figura 1 — Valores Sr^{87}/Sr^{86} de rocas volcánicas cenozoicas procedentes de las Islas Shetland del Sur y Tierra María Byrd, Antártica Occidental

Por su parte la región volcánica cenozoica de las Islas Shetland del Sur, localizada en el sector noroccidental de la Península Antártica, se encuentra separada de dicha Península, por la depresión tectónica del Estrecho de Bransfield. Las muestras analizadas isotópicamente en este trabajo, provienen de las islas Bridgeman, Penguin y Decepción que son centros volcánicos recientes y aún activos, asociados a la zona de fractura que separa el bloque de las Islas Shetland con la depresión del Bransfield (Fig. 1).

METODOS ANALITICOS Y RESULTADOS La composición isotópica del estroncio fue medida en un espectrómetro de masa de filamento triple con un colector de presión Faraday, sobre un radio de 6 pulgadas y sector de campo de 60°. La corriente de iones está amplificada por un lector de vibraciones electrométricas; los *peaks* de masa son expuestos sobre un registro de escala ampliada. Para relaciones Rb/Sr menores que uno, las concentraciones de rubidio y estroncio fueron determinadas por fluorescencia de Rayos-X. Para muestras que tenían una relación Rb/Sr mayores o cercanas a uno, se calculó la relación $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ inicial usando la medida de la relación $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$, la concentración del rubidio y del estroncio se determinó por dilución isotópica, con una constante

Tabela 1 — Análisis de Rubidio y Estroncio en roca total de rocas volcánicas procedentes de las Islas Shetland del Sur y Tierra Maria Byrd.

Localidad y n.º de la muestra	$\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ * medido	Rb ppm	Sr ppm	Rb/Sr	$\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ inicial $\pm 0.1\%$
<i>Tierra Maria Byrd</i>					
Koerner Bluff, n.º 8	0.7092 0.7098	142 ⁽²⁾	8.77 ⁽²⁾	16.2	0.7020 ⁽³⁾
Mt. Bursey, n.º 21	0.7029				0.7029
Mt. Kauffman, n.º 34	0.7076 0.7079	103 ⁽²⁾	14.9 ⁽²⁾	6.91	0.7045 ⁽³⁾
Mt. Berlin, n.º 46	0.7029	15 ⁽¹⁾	475 ⁽¹⁾	0.032	0.7029
Mt. Andrus, n.º 37	0.7117 0.7122	88.8 ⁽²⁾	4.94 ⁽²⁾	18.0	0.7035
Mt. Andrus, n.º 39	0.7146	204 ⁽²⁾	7.95 ⁽²⁾	25.7	0.7035
Mt. Andrus, n.º 56	0.7390 0.7392	207 ⁽²⁾	2.67 ⁽²⁾	77.7	0.7035
Mt. Hampton, n.º 141	0.7017	40 ⁽¹⁾	910 ⁽¹⁾	0.044	0.7017
Mt. Hampton, n.º 147	0.7029	110 ⁽¹⁾	120 ⁽¹⁾	0.92	0.7025 ⁽³⁾
Mt. Murphy, n.º 206	0.7024				0.7024
<i>Islas Shetland del Sur</i>					
Isla Decepción n.º 244	0.7032	~20 ⁽¹⁾	315 ⁽¹⁾	0.063	0.7032
Isla Decepción n.º 3560	0.7039	~20 ⁽¹⁾	450 ⁽¹⁾	0.044	0.7039
Isla Penguin, n.º 260	0.7034	~20 ⁽¹⁾	650 ⁽¹⁾	0.031	0.7034
Isla Bridgeman, n.º 249	0.7030	~20 ⁽¹⁾	350 ⁽¹⁾	0.057	0.7030

*Normalizado a $\text{Sr}^{86}/\text{Sr}^{88}$ ratio of 0.1194

(1) Análisis fluorescencia rayos-X, Universidad de Chile

(2) Análisis por dilución isotópica (M. Halpern), Universidad de Texas, Dallas $\pm 1\%$

(3) Determinan una edad de 11 millones de años

de decrecimiento $\lambda_\beta = 1.47 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ (McMullen *et al.*, 1966), dando una edad de 11 millones de años.

La Tabla 1, da una lista de los resultados de los análisis de rubidio y estroncio. Al duplicar los análisis la relación $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ coincide en alrededor de 0.1%; la relación $\text{Rb}^{87}/\text{Sr}^{86}$ determinada por dilución isotópica y analizados en forma idéntica que los presentados aquí, coinciden en alrededor de 2% (Halpern, 1967; Halpern, 1968; Halpern, 1969). La relación $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ de cada muestra fue medida directamente y normalizada a valores de $\text{Sr}^{86}/\text{Sr}^{88}$ de 0.1194. En el momento de efectuar estos análisis, la relación $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ normalizada de Eimer y Amend (M.I.T.) con estandar SrCO_3 fue medida como $0.7080_9 \pm 0.0002_6$ (promedio de 4 análisis).

La Fig. 2, presenta un diagrama de isocrona en roca total, correspondiente a los valores de las muestras 37, 39 y 56 del volcán Andrus (Tabla 1). Se calculó una edad de 10.8 ± 0.5 millones de años y una relación inicial de 0.7035, usando sets de ecuaciones simultáneas y una constante de decrecimiento $\lambda_\beta = 1.47 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$. Este valor podría aumentar hasta alrededor de 11.5 millones de años, si en el cálculo se usara $\lambda_\beta = 1.39 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ (Aldrich *et al.*, 1956). La diferencia de edad es de alrededor del 6% y no tendría aparentemente significancia geológica, como tampoco cambiarían significativamente los valores calculados para las relaciones $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ de las muestras presentes en la Tabla 1.

Figura 2 — Isocrona en roca total, correspondiente a valores de rocas volcánicas (muestras 36, 37 y 59) del Volcán Andrus, Tierra María Byrd, Antártica Occidental

CONCLUSIONES En el Executive Committee Range en Tierra María Byrd, se localiza el volcán Sidley, del cual se obtuvo un "rodado de lava porfírica que contiene cristales

Tabla 2 — Análisis Químicos*, tipos petrográfico y localidad de las rocas volcánicas de las Islas Shetland del Sur y Tierra María Byrd empleadas en los análisis isotópicos.

Localidad muestra n.º	Koerner OG-8	Bursey OG-21	Kauffman OG-34	Berlin OG-46	OG-37	Andrus OG-39	OG-56	Hampton OG-141	OG-147	Murphy OG-206
SiO ₂	60.18	44.34	58.41	49.75	63.59	64.38	65.32	46.58	52.17	45.53
Al ₂ O ₃	18.61	15.92	19.20	17.34	15.48	9.99	13.24	15.93	17.85	16.44
Fe ₂ O ₃	3.63	2.13	3.95	0.83	6.60	2.04	3.35	2.21	2.17	3.14
FeO	1.20	10.58	2.30	11.24	0.66	8.83	3.90	10.31	6.82	9.46
CaO	0.56	7.88	0.97	6.08	0.94	0.63	0.58	7.13	1.97	8.67
MgO	0.06	5.29	0.22	3.50	0.16	0.13	0.02	6.60	1.18	6.31
Na ₂ O	9.60	5.25	8.20	6.09	6.70	8.28	6.97	5.93	9.83	4.30
K ₂ O	4.65	1.17	4.81	2.00	4.65	3.90	4.59	1.56	4.17	1.64
TiO ₂	0.07	4.37	0.28	1.66	0.56	0.76	0.41	2.30	1.18	2.80
P ₂ O ₅	0.31	2.31	0.04	0.07	0.09	0.07	0.03	0.73	0.44	0.90
MnO	0.20	0.18	0.17	0.26	0.21	0.30	0.19	0.15	0.26	0.23
ppc	0.79	0.27	1.25	0.71	0.61	0.34	1.14	0.32	1.89	0.40
Total	99.86	99.69	99.80	99.53	100.25	99.65	99.75	99.75	99.93	99.82

- N.º OG-8. Lava domo, traquita porfirica. Domo Koerner, ladera norte extremo superior
 OG-21. Lava basáltica de olivina. Vn. Bursey, cono principal, ladera oeste
 OG-34. Lava traquítica de anortoclasa. Vn. Kauffman, ladera noroeste
 OG-46. Lava basáltica de olivina. Vn. Berlín, cono parásito al pie del lado oeste
 OG-37. Lava traquítica. Vn. Andrus. Cráter parásito n.º 2, ladera noroeste
 OG-39. Obsidiana. Vn. Andrus. Cráter parásito n.º 2, ladera noroeste
 OG-56. Lava columnar traquítica. Vn. Andrus, ladera oeste del cono principal
 OG-141. Lava basáltica olivínica con inclusiones ultramáficas. Vn. Hampton, ladera suroeste cerca del cráter principal
 OG-147. Lava traquítica de anortoclasa, ladera suroeste de la caldera
 OG-206. Lava basáltica de olivina. Vn. Murphy, ladera suroeste de la caldera

*Analista: Srta. Gloria Moreno y Sr. J. Villalobos, Departamento de Geología, Universidad de Chile

Tabela 2—Continuación

Localidad Muestra n.º	Decepción OG-244	Decepción OG-356	Penguin OG-260	Bridgeman OG-349
SiO ₂	52.42	50.63	49.52	53.88
TiO ₂	2.26	1.67	1.33	1.08
Al ₂ O ₃	16.31	17.59	17.24	17.54
Fe ₂ O ₃	2.72	2.38	2.98	3.07
FeO	8.24	6.34	7.51	5.32
MnO	0.30	0.17	0.18	0.11
MgO	3.60	5.56	7.02	4.42
CaO	7.64	10.22	9.52	8.97
Na ₂ O	5.25	4.12	3.61	3.87
K ₂ O	0.61	0.44	0.53	0.65
P ₂ O ₅	0.48	0.29	0.36	0.21
H ₂ O+	0.42	0.34	0.12	0.30
H ₂ O-	0.11	0.14	0.15	0.24

N.º OG-244. Lava andesítica basáltica de olivina. I. Decepción, lava pre-caldera. Caleta Péndulo

OG-356. Lava andesítica basáltica. I. Decepción, lava pre-caldera. Punta Macaroni

OG-260. Lava basáltica de olivina y augita. I. Penguin, lava del cono central

OG-249. Lava andesítica de augita y olivina. I. Bridgeman, costa nordeste

de plagioclasa ricos en potasio” y fue datado por el método K/Ar, dando una edad de 6.2 millones de años (Doumani, 1964). Si esta datación no es una edad mínima debido a la menor difusión del argón radiogénico, podría representar un período de enfriamiento del magma al extruirse en Tierra María Byrd. Las edades radiométricas determinadas indican periodicidad sino casi continuidad de la actividad volcánica desde el Cenozoico (Le Measurier, 1972) particularmente en el área que se extiende en las cercanías de la latitud 76° entre los 94° de longitud oeste y los 166° de longitud este, (Craddock *et al.*, 1964; Armstrong *et al.*, 1963) y probablemente igual como ha ocurrido con todo el volcanismo cenozoico en la Antártica Occidental. (Le Measurier 1972; Gonzalez-Ferran 1972).

Cualquier consideración concerniente al significado geológico de la relación inicial Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ de las rocas volcánicas provenientes de Tierra María Byrd e Isla Ross (Halpern, 1969; Jones y Walker, 1972), debe ser considerada como altamente especulativa, por la limitada información tanto geofísica como oceanográfica disponible en el presente para esta región. Sin embargo, el promedio de la relación inicial Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ da un valor de 0.7029 lo que es indicativo para un magma de carácter oceánico proveniente de la región del manto superior (Hedge, 1966; Gast, 1967; Peterman *et al.*, 1970). Posiblemente la “Fosa” de Bentley, que alcanza profundidades mayores que 2 500 metros bajo el nivel del mar en la cuenca de Byrd, podría relacionarse con la provincia volcánica de Tierra María Byrd (Fig. 1), de manera similar como ocurre con las Islas Sandwich del Sur, que tienen íntima relación con la fosa del Arco de Scotia situado al este de dichas islas, en las cercanías de los 58° de latitud sur.

Mayores datos sobre *sea floor spreading* en los mares de Amundsen y Ross en el Océano Pacífico sur, podrían contribuir fundamentalmente a indicar si la provincia volcánica de Tierra María Byrd de edad cenozoica (Le Measurier, 1972) es o no un resultado de la tectónica de placa.

Por otra parte en la región noroccidental de la Península Antártica se encuentran las Islas Shetland del Sur, de cuya provincia volcánica cenozoica provienen las muestras que han sido analizadas isotópicamente y sus resultados de relación inicial $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ se dan en la Tabla 1. Las Islas Shetland del Sur están situadas a lo largo del Estrecho de Bransfield al noroeste de la Península Antártica (Fig. 1). Las rocas volcánicas analizadas son consideradas de edad cenozoica superior a reciente (Gonzalez-Ferran *et al.*, 1970; Baker *et al.*, 1969; Hawkes, 1961). Debido a su edad muy joven y baja relación Rb/Sr, cualquier diferencia entre su medida y la relación $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ inicial, se considera insignificante. El promedio de la relación $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ dado por las cuatro muestras analizadas da un valor de 0.7034 (Tabla 1), similar a las señaladas por Faure *et al.* (1971) lo que también indica un origen oceánico para el magma de esta región el que provendría también de la zona del manto superior. Sin embargo, cabe señalar que el Estrecho de Bransfield estaría representando una especie de "fosa" que separa las Islas Shetland del Sur de la Península Antártica (Heezen y Tharp, 1962). Al igual que en María Byrd, la carencia de información geofísica y oceanográfica de esta región de la Antártica, no permite hacer consideraciones sobre la significancia geológica regional de la relación $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$.

Finalmente se puede concluir que los análisis isotópicos del estroncio están indicando un probable carácter oceánico para el magma que generó las provincias volcánicas cenozoicas de esta región de la Antártica Occidental y el cual provendría de la zona del manto superior.

El volcán Andrus en Tierra María Byrd tiene una edad de 11 millones de años y una relación inicial $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ de 0.7035.

Agradecimientos Los autores expresan sus agradecimientos a las siguientes instituciones y colegas que contribuyeron a hacer posible este trabajo. A la Oficina de Programas Polares de La National Science Foundation (Washington) que hizo posible los trabajos de terreno en Tierra de María Byrd. Al Dr. A. Wade de la Universidad de Texas y a los miembros de Marie Byrd Land Traverse 1967-1968. Al Almirante Claudio Vio Valdivieso ex Director del Instituto Antártico Chileno y a los miembros del Departamento de Geología de la Universidad de Chile.

Los análisis isotópicos fueron financiados por la NSF Grant N.º 10529, Contribución N.º 242, del Instituto de Ciencias Geológicas de la Universidad de Texas, Dallas.

REFERENCIAS

- ALDRICH, L. T., WETHERILL, G. W. y TILTON, G. R. — 1956 — Half life of Rb 87, *Phys. Rev.*, T. 103
- ARMSTRONG, R. L., HAMILTON, W. y DENTON, G. H. — 1968 — Glaciation in Taylor Valley Antarctica, older than 2.7 millions years. *Science*, **159**; 187-188
- BAKER, P. E., DAVIES, T. G. y ROOBOL, M. — 1969 — Volcanic activity at Deception Island in 1967 and 1969. *Nature*, **8**: 553-560
- BEHERENDT y BENTLEY — 1968 — Magnetic and Gravity Maps of the Antarctic. *Amer., Geogr. Soc.*, Folio 9
- CRADDOCK, C., BASTIEN, T. W. y RUTFORD, R. H. — 1964 — Geology of the Jones Mountains areas. In *Antarctic Geology*, (R. J. Adie, Ed.) p. 171. Amsterdam
- DOUMANI, G. A. — 1964 — Volcanoes of the Executive Committee Range, Byrd Land. *Antarctic Geology*, pp. 666-675. Amsterdam
- FAURE, G., SHULTZ, C. H. y CORWILE, R. H. — 1971 — Isotope composition of strontium in volcanic rocks from Deception Island. *Antarctic Jour. U. S.*, **VI** (5): 197-198
- GONZÁLEZ-FERRÁN, O — 1969 — Cadenas volcánicas de la Tierra María Byrd. *Antártica Occidental. Inst. Ant. Ch.*, Bol. 4, pp. 19-24

- GONZÁLEZ-FERRÁN, O — 1972 — Distribution, Migration and Tectonic Control of Upper Cenozoic Volcanism in West Antarctica and South America. In *Antarctica Geology and Geophysics* (R. J. Adie, ed.), Universitetsforlaget, pp. 173-179. Oslo
- GONZÁLES-FERRÁN, O. y KATSUI, Y. — 1970 — Estudio Integral del volcanismo cenozoico superior de las Islas Shetland del Sur. *Antártica. Inst. Ant. Ch. Ser. Cient.*, **1** (2): 123-174
- GONZÁLEZ-FERRÁN, O. y GONZÁLEZ-BONORINO, F. — 1972 — The volcanic Ranges of Marie Byrd Land, West Antarctic between 100° and 140° West Longitud. In *Antarctic Geology and Geophysics*, Universitetsforlaget, pp. 261-275. Oslo
- GAST, P. W. — 1967 — Isotope geochemistry of volcanic rocks in Basalts. Interscience Publishers, pp. 325-358. New York
- HALPERN, M. — 1967 — Rubidium-strontium age measurements of plutonic bodies in eastern Ellsworth Land and Northern Antarctic Peninsula. *J. Geophys. Res.*, **72**: 5133
- HALPERN, M. — 1968 — Ages of Antarctic and Argentine rocks bearing on Continental Drift. *Earth and Planetary Science Letters*, **5**: 159-167
- HALPERN, M. — 1969 — $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ Ratios of ultramafic nodules and host basalt from the McMurdo area and Ford Ranges, Antarctica. *Ant. Jour. U.S.*, **4** (5): 206-207
- HALPERN, M. — 1971 — Evidence for Gondwanaland from a review of west Antarctic radiometric ages. In *Res. in the Antarctic Amer. Ass. Adv. Sc.*, pp. 717-730
- HAWKES, D. D. — 1961 — The geology of the South Shetland Islands II. The geology and petrology of Deception Island. *Falk. Is. Dep. Sci Rep.*, n.º 27, pp. 1-43
- HEDGE, C. E. — 1966 — Variations in radiogenic strontium found in volcanic rocks. *J. Geophys. Res.*, **71**: 6119-6126
- HEEZEN, B. V. y THARP, M. — 1961 — Physiographic diagrams of the South Atlantic Ocean, the Caribbean Sea, the Scotia Sea and the Eastern margin of South Pacific Ocean. *Geol. Soc. Amer.*
- JONES, L. M. y WALKER, R. L. — 1972 — Geochemistry of the McMurdo volcanic, Victoria Land. Part I. Strontium isotope composition. *Antarctic Jour. U. S.*, **VII** (5): 142-144
- Le MEASURIER, W. E. — 1969 — Petrographic and field characteristics of Marie Byrd Land Volcanic Rocks. *Ant. Jour. U. S.*, **4** (5): 207
- Le MEASURIER, W. E. — 1972 — Volcanic Record of Cenozoic Glacial History. Marie Byrd Land, Antarctica. In *Antarctic Geology and Geophysics* (R. J. Adie, ed.) Universitetsforlaget, pp. 251-259. Oslo
- McMULLEN, C. C., FRITZE, K. y TOMLINSON, R. H. — 1966 — The half life of Rubidium 87. *Canad. Journ. Phys.*, vol. 44
- PETERMAN, Z. E., DOE, B. R. y PROSTKA, H. J. — 1970 — Lead and strontium isotopes in rocks of the Absaroka volcanic field Wyoming. *Contr. Mineral and Petrol.*, **27**: 121-130
- WOOLLARD, G. P. — 1962 — Crustal structure in Antarctica. In *Ant. Research Amer. Geophys. Union. Monograph*. n.º 5373