

Termobarometría en el complejo metamórfico de Scotia, cabo Lookout, isla Elefante

FRANCISCO HERVÉ¹, ALEXANDRA SKEWES¹

RESUMEN

El geotermómetro biotita-granate indica temperaturas de equilibrio cercanas a 460°C en esquistos cercanos a cabo Lookout, isla Elefante, probablemente vigente en las etapas finales del metamorfismo durante el cual se generó la foliación S₂ predominante en las rocas. Inclusiones fluidas secundarias en una veta de cuarzo alojada en S₂, indican temperaturas de atrapamiento similares a presiones del orden de 2 kb. Los valores de P y T indicados son probablemente valores mínimos para estas rocas de la facies de anfíbolita o anfíbolitas de albíta-epidota.

Thermobarometry at the Scotia Metamorphic Complex, Lookout Cape, Elephant Island, West Antarctica

FRANCISCO HERVÉ¹, ALEXANDRA SKEWES¹

ABSTRACT

The biotite-garnet geothermometer indicates equilibrium temperatures of ~460°C in schists near Cape Lookout, Elephant Island. This was probably the temperature during the waning stages of the metamorphic episode in which the predominant S₂ foliation was generated. Secondary fluid inclusions in quartz veins along S₂ indicate pressures of ca. 2 Kb for similar temperatures. The indicated P and T values are probably minimum values for the amphibolite to albite-epidote amphibolite metamorphism facies of the rocks.

INTRODUCCION

El Complejo Metamórfico de Scotia (CMS) (Tanner *et al.*, 1982), aflora en las islas Orcadas del Sur, isla Smith y en las islas del Grupo Elefante. Trabajos anteriores (Tyrrell, 1945; Dalziel, 1982, 1984; Tanner *et al.*, 1982; Hervé y Pankhurst, 1984; Marsh y Thompson, 1985) han permitido separar en el Grupo Elefante un terreno en la facies de esquistos azules-esquistos verdes al N y otro en la facies de anfíbolitas de albíta-epidota al S, que incluye a cabo Lookout.

En el presente trabajo se da información petrográfica, mineralógica, y de inclusiones fluidas, que permiten establecer ciertos límites en las condiciones P-T de metamorfismo de las rocas expuestas en cabo Lookout.

Geología de Cabo Lookout y alrededores

Ha sido tratada en cierto detalle por Araya y Hervé (1966), Hervé *et al.* (1984) y Marsh y Thompson (1985).

¹ Departamento de Geología, Universidad de Chile, Casilla 13518, Correo 21, Santiago, Chile.

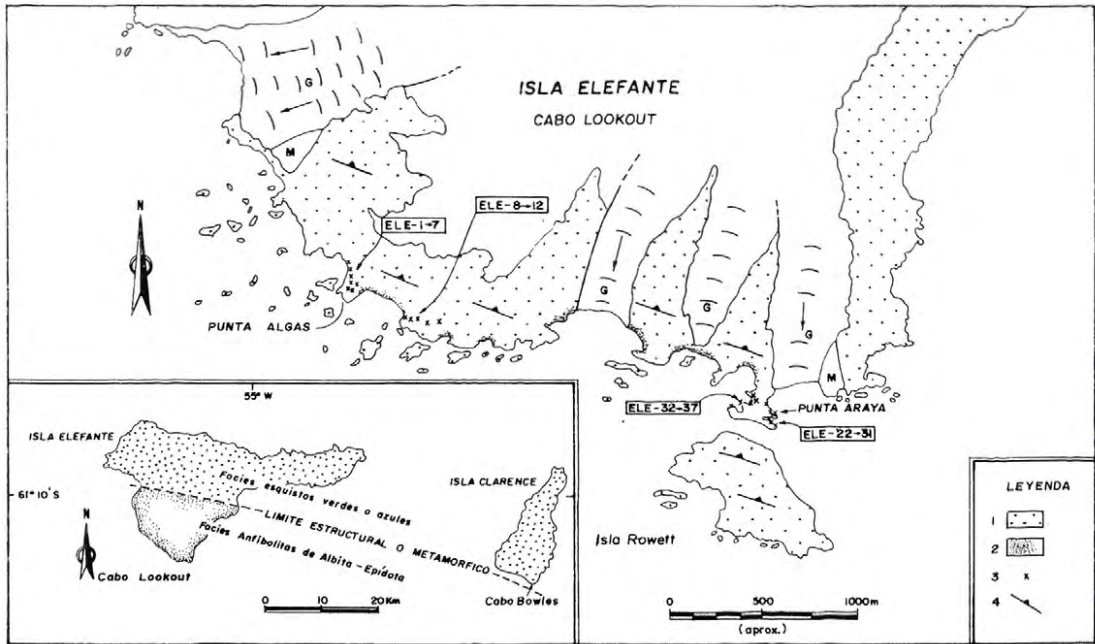


Fig. 1. Mapa de ubicación y proveniencia de las muestras estudiadas. 1. Afloramiento de rocas del Complejo Metamórfico de Scotia. 2. Playas. 3. Lugar de muestreo. 4. Rumbo y manto de la foliación S_2 . M: morrenas. G: glaciares.

En el área de la Fig. 1 se reconocen esquistos micáceos, anfibolitas de albita, anfibolitas de granate, mármoles y metachert. Las asociaciones mineralógicas presentes (ver Tabla 1) están caracterizadas por la coexistencia de albita (An_3), epidota y hornblenda; pertenecen a la facies anfibolitas de albita-epidota. Algunas muestras contienen plagioclasa algo más cálcica (An_{13}), lo que indica que se deben también haber alcanzado condiciones físicas propias del comienzo de la facies anfibolita. Existe una foliación predominante de actitud EW/60-80N que corresponde a S_2 . Relictos de S_1 (y de S_0 ?) se observan en cortes transparentes y en afloramientos. Esta foliación corresponde a la denominada Fm de Dalziel (1984). La recrystalización metamórfica parece haber ocurrido principalmente durante y, en parte, después del desarrollo de S_2 .

En cabo Lookout, frente a isla Rowett, se observa un pliegue recostado de $S_1(S_0?)$ de unos 20 m de amplitud en anfibolitas y esquistos micáceos, cuyos flancos están crenulados por S_2 . Paralela a esta última, se observó una veta de grano grueso constituida por epidota y cuarzo, en la que se estudiaron las inclusiones fluidas que se detallan más adelante. La veta se emplazó durante o después de la generación de la foliación S_2 .

Geotermometría

Se aplicaron 2 métodos: el de partición de Fe y Mg, entre biotita y granate, y el de las inclusiones fluidas.

Sistema biotita-granate

La muestra ELE-9 fue obtenida alrededor de 2 km al W de isla Rowett (Fig. 1). Se trata de un esquistos rico en cuarzo con la asociación mineralógica cuarzo-calcita-granate-biotita-hornblenda-epidota-mica blanca-clorita y opacos. Esta roca está muy fresca, y se observan en ella contactos granate-biotita, granate-hornblenda y biotita-hornblenda, los que parecen indicar equilibrio entre

Tabla 1
ASOCIACIONES METAMORFICAS

Tipo Litológico	Asociación Mineralógica	Muestras Representativas
Mármoles	1. Cc - Czo - Cpx - Ab - Ms - Op	ELE 24
	2. Cc - Czo - Ep - Hb ± Gt ± Ms ± Bi ± Cl ± Ab ± Op.	ELE 22, 23, 25, 27
Metacherts	3. Czo - Cc - Gt - Ru - Op	ELE 28
	4. Czo - Cc - Gt ± Bi ± Hb ± Ep ± Ms ± Cl - Op	ELE 6, 9, 11, 12, 31
Anfibolitas de Albita	5. Hb - Ab - Bi - Ep ± Cl ± Ms ± Gt ± Cc ± Esf ± Ru ± Op	ELE 2, 5, 34, 35, 36
Anfibolitas de granate	6. Hb - Czo - Ab - Gt ± Ep ± Bi ± Cc ± Cl	ELE 8, 29
Esquistos micáceos de albita y granate	7. Czo - Ab - Ms - Bi - Gt ± Hb ± Ep ± Cl ± Esf ± Cc - Op	ELE 1, 3, 4, 7, 10, 26 3, 33

Cc = calcita; Czo = cuarzo; Cpx = clinopiroxeno; Ab = albita; Ms = muscovita; Op = mineral opaco; Ep = epidota; Hb = hornblenda; Gt = granate; Bi = biotita; Cl = clorita; Ru = rutilo; Esf = esfeno.

estos minerales. Análisis químicos representativos de la composición química de biotita y granate aparecen en la Tabla 1. En ella se advierte que la biotita tiene composición química bien constante de un cristal a otro. En cambio, los granates están zonados y presentan una variación bastante apreciable, con razones de Fe/Fe+Mg de 0.813 a 0.927 y X_{Mn} entre 0.21 y 0.25. El borde de los cristales está empobrecido en magnesio respecto al núcleo.

La temperatura de equilibrio indicada por el método de Ferry y Spear (1978) utilizando la composición química de biotita y granate en las cercanías de su contacto directo es de 459°C si se considera una presión de 2 Kb y de 466°C si se considera una presión de 4 Kb. Los referidos autores suponen un error de ± 50°C para este método. La corrección de T con la presión supuesta para el cálculo no es de gran magnitud: 7°C entre 2 y 4 Kb.

Conviene destacar, además, que $X_{Ca} + X_{Mn}$ del granate de ELE 9 supera el límite máximo de 0.2 considerado por los mencionados autores.

Inclusiones fluidas

La muestra estudiada, ELE 37, corresponde a una veta de cuarzo ubicada a lo largo de S₂ en anfibolitas de cabo Lookout.

Los cristales de cuarzo no evidencian deformación intensa, sino una extinción ondulosa débil. Presentan zonas de fracturas marcadas por numerosas inclusiones fluidas de pequeño tamaño (< 15 µm). Estas fracturas se intersectan en ~ 30°.

Las inclusiones son, en su mayoría, de origen secundario y posteriores a la formación de los cristales de cuarzo. Ellas presentan dos fases: líquido y vapor. En la primera, no se observó CO₂ líquido. La burbuja de vapor es inferior al 10% del volumen total de la inclusión.

El análisis termométrico de las inclusiones fluidas no reveló la presencia de clatratos que pudieran afectar las determinaciones de sus salinidades. Las salinidades, según la depresión del punto de fusión del hielo de soluciones H₂O-NaCl (Potter, 1977), varían entre 4 y 8% en peso equivalente de NaCl con una media de 5% (Tabla 2).

Tabla 2
 TERMOMETRIA DE INCLUSIONES FLUIDAS
 (ELE 37)

Temperatura de homogenización (°C)	Salinidad (% en peso eq. NaCl)	Corrección por presión (°C)*	Temperatura de atrapamiento* (°C)
	4,8		485
295	4,9	+ 190	472
277	5,5	+ 185	485
295	4,0	+ 190	
306			485
295	5,2		
310			485
295	8,0	+ 195	
247			
280			
310			
342			
305			
312			

* Considerando 2000 bares de presión en el momento de atrapamiento.

Las temperaturas de homogenización obtenidas corresponden a temperaturas *mínimas* de atrapamiento y varían entre 277 y 342°C (Tabla 3). Las temperaturas de homogenización representan la del atrapamiento de la inclusión fluida solamente si la presión total no excedía la presión de vapor de la solución (Ingerson, 1947). Si la presión durante el atrapamiento era mayor que la presión de vapor, se debe hacer una corrección de temperatura apropiada basándose en estimaciones geológicas de la presión. Esto sucede en especial en ambientes donde las presiones son altas. Si se asume una presión de 2 000 bares para soluciones con un 5% en peso equivalente de NaCl y una temperatura de homogenización de 300°C, las correcciones correspondientes son del orden de +180°C (Potter y Brown, 1975). La temperatura de atrapamiento correspondería entonces a ca. 480°C, para las inclusiones de origen secundario a 2 000 bares (Tabla 2). Si la presión es inferior (Ej.: 1 000 bares), las correcciones son de aproximadamente de +100°C y las temperaturas de atrapamiento serían del orden de los ~400°C.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con los estudios geotermométricos fueron los siguientes:

Método Granate-biotita	466°C suponiendo presión total de 4 Kb. 459°C suponiendo presión total de 2 Kb.
Método de Inclusiones	472 a 485°C, suponiendo presión total de 2 Kb. ~400°C suponiendo presión total de 1 Kb.

La concordancia de estos resultados y las relaciones geológicas entre ambas muestras, permiten algunas consideraciones acerca de las temperaturas y presiones existentes al momento de su génesis.

Estudios microtextuales (Hervé *et al.*, 1984; Marsh y Thompson, 1985), han sugerido que la cristalización de los minerales en las rocas de cabo Lookout continuó, o fue predominante,

Tabla 3

a) COMPOSICION QUIMICA DE GRANATES Y BIOTITAS
DE LA MUESTRA ELE 9

	Gr	Gr	Gr	Bi	Gr	Gr	Bi
SiO ₂	1.1	1.3	1.6	2.3	2.4	3.4	3.6
TiO ₂	40.73	40.57	39.75	35.07	40.29	36.06	35.83
Al ₂ O ₃	0.06	0.13	0.09	2.02	0.09	0.25	1.88
Cr ₂ O ₃	22.19	20.76	18.96	16.15	20.24	19.58	15.95
CaO	0.01	0.0	0.04	0.00	0.03	0.00	0.00
FeO	5.86	6.54	6.98	0.04	6.52	5.10	0.05
MgO	20.64	20.06	23.60	22.52	22.86	24.35	22.73
MnO	0.91	2.85	2.51	8.97	1.12	2.66	9.67
Na ₂ O	8.95	8.39	8.89	0.23	10.69	9.52	0.28
K ₂ O	0.30	0.17	0.26	0.18	0.04	0.03	0.19
Total	0.01	0.42	0.05	7.90	0.01	0.94	8.43
	99.66	101.89	101.11	93.09	101.88	98.49	95.01

El primero del par de números en cada columna se refiere a áreas circulares del corte de 2.0 mm de diámetro, el segundo a análisis en cada una de ellas. 2.3 y 2.4 corresponden a análisis cerca de un contacto granate-biotita. Gr = granate; Bi = biotita.

b) COMPOSICION CATIONICA DE GRANATES EN BASE A 1 2 0
Y DE BIOTITA EN BASE A 1 1 0

Si	3.183	3.135	3.139	1.010	3.152	2.972	1.006
Ti	0.003	0.007	0.005	0.040	0.005	0.0016	0.044
Al	2.044	1.891	1.764	0.530	1.866	1.902	0.546
Cr	0.000	0.000	0.002	—	0.002	—	0.001
Ca	0.491	0.541	0.589	0.001	0.546	0.451	0.001
Fe	1.348	1.425	1.558	0.536	1.495	1.666	0.540
Mg	0.106	0.328	0.295	0.406	0.131	0.327	0.384
Mn	0.592	0.549	0.595	0.007	0.708	0.665	0.006
Na	0.046	0.025	0.039	0.010	0.006	0.004	0.010
K	0.001	0.042	0.005	0.303	0.001	0.099	0.289
Fe/Fe+	0.927	0.813	0.840	0.585	0.920	0.837	0.569
Mg							
X _{Ca}					0.189	0.144	
X _{Mn}				T(°C)=459*	0.246	0.212	

* para P = 2 Kb

durante el desarrollo de la estructura S₂. Este proceso habría sido acompañado de una homogenización isotópica de los sistemas Rb y Sr hace 99 M.a.

La temperatura indicada por el método granate-biotita ha sido obtenida de los granates a partir del borde relativamente más pobre en Mg que el núcleo. Probablemente representa las condiciones de temperatura de metamorfismo, vigentes al instante de congelarse los intercambios iónicos entre los minerales. En etapas previas, el metamorfismo se habría realizado a una mayor temperatura, no determinable con los datos que se poseen. La temperatura indicada por este geotermómetro no varía significativamente si se asume una P de 2 Kb o de 4 Kb al momento del equilibrio.

La veta de cuarzo en que se determinó la temperatura de entrapamiento de las inclusiones fluidas está emplazada en la foliación S₂. Por lo tanto, ella es sincrónica o posterior a la

generación de S_2 . El hecho que las inclusiones fluidas estudiadas sean secundarias y estén orientadas en planos de fractura cicatrizados, indica que probablemente fueron afectados por movimientos tectónicos según los planos S_2 . Estas relaciones implican, probablemente, que la temperatura de atrapamiento de los fluidos no debe ser superior a la indicada por el geotermómetro biotita-granate $\sim 460^\circ\text{C}$. Ello nos indica, según la corrección de Potter y Brown (1975), que la presión en el momento del entrapamiento no pudo ser superior a los 1.800 bares, pues valores mayores de P resultan en T superiores a la del metamorfismo.

Las presiones máximas alcanzadas durante el metamorfismo no se conocen, y los datos aquí presentados indican que fueron al menos de 2 Kb, en las etapas finales del proceso. Estos valores de P y T no son incompatibles con las condiciones físicas que generalmente se asigna a la facies anfibolitas o anfibolita de albita-epidota. Miyashiro (1973), por ejemplo, le asigna una temperatura de $\sim 500^\circ\text{C}$ y una presión total mínima de unos 4 Kb a la facies de anfibolitas de albita-epidota. Por su parte, Winkler (1979), supone necesarios unos 500°C para formar hornblenda a estos rangos de presión.

Las condiciones físicas determinadas en este estudio implican un gradiente de presión-temperatura máximo de $70^\circ\text{C}/\text{km}$ para el momento del equilibrio granate-biotita. Este valor probablemente era menor durante el metamorfismo principal, y probablemente pueda describirse como un gradiente de tipo Buchan o de tipo Barroviano (Turner, 1981).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARAYA, R. y F. HERVÉ 1966. Estudio geomorfológico y geológico en las islas Shetland del Sur, Antártica. Publicaciones INACH, 8, 76 pp.
- DALZIEL, I.W.D. 1982. The early (pre-Middle Jurassic) history of the Scotia arc region: a review and progress report (review paper). (In: Craddock, C. ed. Antarctic Geoscience. Madison, University of Wisconsin Press, 111-126).
- DALZIEL, I.W.D. 1984. Tectonic evolution of a fore-arc terrane, southern Scotia Ridge, Antarctica. Geological Society of America Special Paper, 200, 32 pp.
- FERRY, J. and F. SPEAR 1978. Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between garnet and biotite. Contrib. Mineral. Petrol., 66, 113-117.
- HAAS, J.L. JR. 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. Econ. Geology, 6, 940-946.
- HERVÉ, F. and R.J. PANKHURST 1984. The Scotia metamorphic complex at Capa Bowles, Clarence Island, South Shetland Islands, western Antarctica. British Antarctic Survey Bulletin, 62, 15-24.
- HERVÉ, F.; F. MARAMBIO and R.J. PANKHURST 1984. El Complejo Metamórfico de Scotia en cabo Lookout, isla Elefante, islas Shetland del Sur, Antártica: evidencias de un metamorfismo cretácico. Ser. Cient. INACH, 31, 23-37.
- INGERSON, EARL 1947. Liquid inclusions in geologic thermometry. Am. Mineralogist, 32, 375-388.
- MARSH, P.D. and J.W. THOMSON 1985. Report on Antarctic Fieldwork. The Scotia Metamorphic Complex on Elephant Island and Clarence Island, South Shetland Islands. Br. Antarct. Surv. Bull., 69, 71-75.
- POTTER, R.W. 1977. Pressure corrections for fluid inclusions based on the volumetric properties of the system NaCl-H₂O. Jour. Research U.S. Geol. Survey, 5, Sept.-Oct., 603-607.
- TANNER, P.W.G.; R.J. PANKHURST and G. HYDEN 1982. Radiometric evidence for the age of the subduction complex in the South Orkney and South Shetland islands, West Antarctica. Journal of the Geological Society of London, 139, 683-90.
- TURNER, F. 1980. Metamorphic Petrology. 2nd Ed., Mac Graw Hill Book Co., N.Y.
- TYRREL, G.W. 1945. Report on rocks from West Antarctica and the Scotia arc. "Discovery" Report, 23, 37-102.