

# El metamorfismo de alta presión-baja temperatura en los esquistos de Filali-Benzou (Sébtides, Marruecos)

## Termobarometría con la asociación cloritoide-granate-fengita

*HP-LT metamorphism of the Filali-Benzou schist rocks (Sebtides, Morocco). Chloritoid-garnet-phengite thermobarometry*

M. L. Bouybaouene(\*), R. Alami(\*), J.M. Azañón Hernández(\*\*) y B. Goffé(\*\*\*)

(\*) Université MOHAMED V, Faculté Sciences. Dpt. des Sciences de la Terre. Rabat, Marruecos

(\*\*) Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra. CSIC-Universidad de Granada. Avd. Fuentenueva s/n. Granada 18071. España

(\*\*\*) Laboratoire de Géologie, École normale Supérieure, Paris 75231, Francia.

### ABSTRACT

The paleozoic schist rocks of Benzou outcrop in the core of the Beni Mzala's antiformal stack (Upper Sébtides units). In these schist rocks, we have found the association garnet ( $X_{Fe}=0.89-0.94$ ), chloritoid ( $X_{Mg}=0.12-0.22$ ), chlorite ( $X_{Mg}=0.40-0.45$ ), biotite ( $X_{Mg}=0.37$ ) and fengite ( $Si=3.23-3.44$  a.p.u.) which grows in the KFMASH system with a ferrous tendency. The metamorphic peak has been estimated around 12 Kbar in pressure and 500°C in temperature according to the garnet ( $X_{Fe}=0.94$ ) + fengite ( $Si=3.44$  a.p.u.) association and the Chloritoid + Biotite = Garnet + Fengite equilibrium. The secondary mineral association: chloritoid, biotite, chlorite and fengite ( $Si=3.17-3.23$ ) indicates a pressure drop accompanied by cooling during the post-peak path. The thermobarometric data show that these Palaeozoic rocks have suffered a high-pressure low-temperature metamorphism in contrast with the classic estimations of P-T conditions of schist rocks belonging to Filali units (Palaeozoic in age;  $P=5-7$  Kbar y  $T=550-700^{\circ}C$ ). We propose that Benzou schist rocks are the lower part of the Beni Mzala unit and they could be transitional levels to the metapelite formations represented in the Filali units. Similar transitional metapelite rocks have been observed in the Alpujarride units.

**Key Words:** HP-LT Metamorphism, garnet, chloritoid, phengite, geothermobarométrie, Benzou-Filali unit; Gibraltar Arc.

Geogaceta, 26 (1999), 7-10  
ISSN: 0213683X

### Introducción

La parte Rifeña del Dominio de Alborán (Fig. 1) se puede subdividir en tres complejos, que en orden descendente son: 1) La Dorsal, 2) El Complejo Ghomáride y 3) El Complejo Sébtide. Los Sébtides superiores están constituidos por unidades metamórficas de alta presión-baja temperatura, mientras que los Sébtides inferiores están constituidos por las unidades del Filali (esquistos y gneises) caracterizadas por un metamorfismo de baja presión-alta temperatura y la unidad de Beni-Bouzera (granulitas y peridotitas).

Hasta 1990, se consideraba que el metamorfismo de las unidades que constituyen el Complejo de Beni Mzala era de baja presión (no superior a 4 kbar, Kornprobst, 1974). El primer registro de un metamorfismo de AP-BT (12-17 kbar/450-500 °C; Bouybaouene, 1993, Bouybaouene *et al.*, 1995, Goffé *et al.*, 1996) fue establecido a partir de

metapelitas Permo-Triásicas de las unidades de Beni Mzala (Sébtides superiores) con asociaciones carfolita-distena-cloritoide y talco-fengita-distena. En las granulitas de la unidad de Beni-Bouzera (Sébtides inferiores) el metamorfismo de AP-AT (16-20 kbar/760-820°C) ha sido determinado a partir de asociaciones piropo-onfacita-distena-safirina (Bouybaouene *et al.*, 1998).

En los esquistos paleozoicos del Rif Interno (unidades de Beni Mzala y unidades del Filali) hasta este trabajo, no se han descrito trazas del metamorfismo de AP-BT alpino que aparece bien representado en los términos Permo-Triásicos. La asociación granate-cloritoide-fengita, que describiremos más adelante, representa el primer hallazgo de este metamorfismo en unidades, consideradas hasta el momento, de presiones intermedias (Kornprobst, 1974 y El Maz, 1989).

La caracterización de la unidad de Benzou (aflora en la parte estructural-

mente más baja del antiforme de Beni Mzala) nos permite proponer una posición, para esta unidad, intermedia entre la unidad de Beni Mzala y la unidad del Filali. También se sugiere la similitud entre la unidad de Benzou y los términos superiores de la secuencia metapelítica paleozoica de las unidades Alpujarrides.

### Descripción petrográfica

Las metapelitas de Benzou aparecen en el Complejo Sébtide, Rif Interno (Fig. 1). Afloran en los niveles más bajos de la ventana de Beni Mzala. Dentro de estas metapelitas, pueden reconocerse los siguientes tramos:

1.- Esquistos oscuros de grano fino con segregaciones de cuarzo. En estos tramos puede observarse granate, cloritoide, fengita y biotita.

2.- Calcoesquistos con una composición semi-pelítica y con intercalaciones de carbonatos. En estos tramos se puede

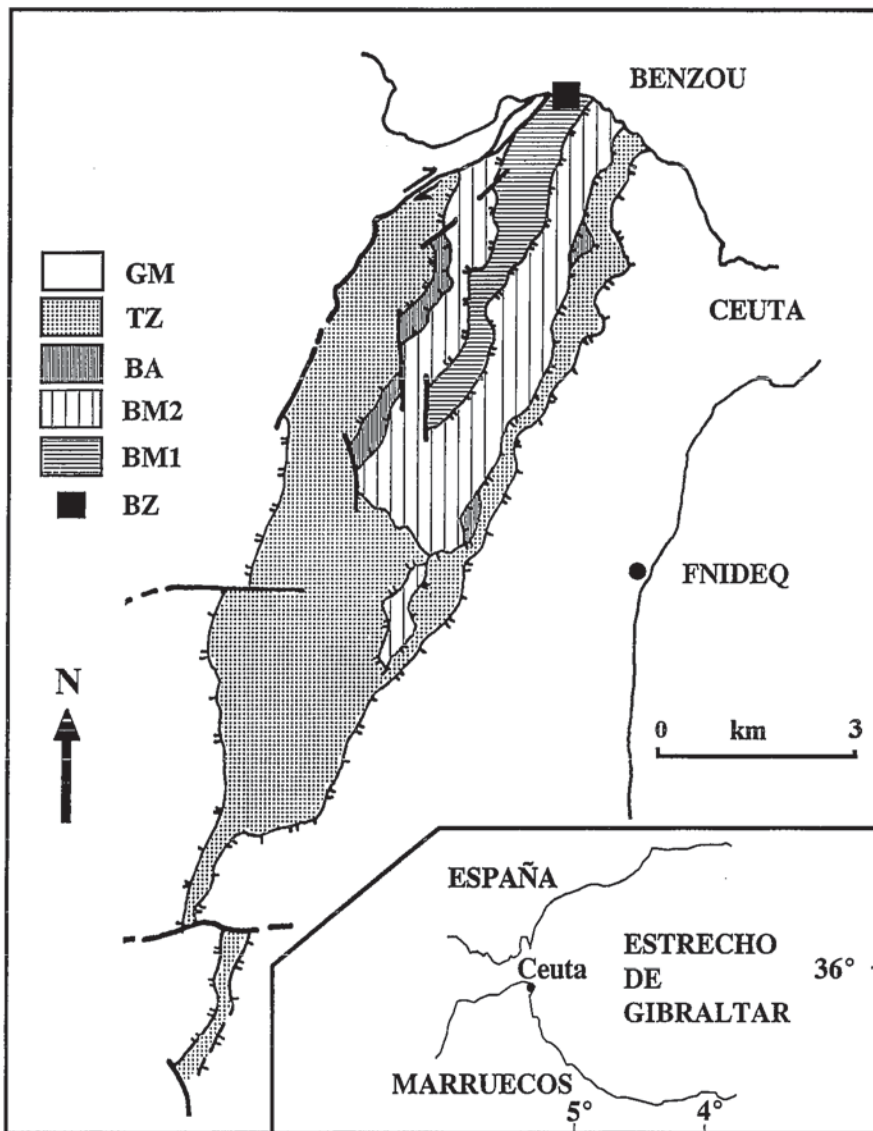


Figura 1: Mapa geológico simplificado de la ventana tectónica de Beni Mzala y su situación en el arco de Gibraltar. Localización del afloramiento de los esquistos de Benzou. Gm: Unidades Ghomarides; Tz: Unidad de Tizgarine; Ba: Unidad de Boquete Anjera; BM1: Unidad de Beni Mzala superior; BM2: Unidad de Beni Mzala inferior; BZ: Benzou.

Figure 1: Simplified geological map of the Beni Mzala tectonic window in the Gibraltar Arc. Location of the outcrops of Benzou schist rocks. Gm: Ghomaride Units; Tz: Tizgarine Unit; Ba: Boquete Anjera Unit; BM1: Upper Beni Mzala Unit; BM2: Lower Beni Mzala Unit; BZ: Benzou.

observar granate, cloritoide, fengita, biotita, calcita y dolomita.

3.- Esquistos micáceos sin granate que contienen básicamente cloritoide, fengita, biotita y cuarzo en pequeñas cantidades.

La microfábrica es muy similar en todos los niveles metapelíticos. La foliación S1 se preserva dentro de los porfiroblastos de granate, marcada por inclusiones de fengita I, cuarzo, cloritoide, biotita y rutilo. La foliación principal S2 está definida principalmente por fengita II, biotita y cloritoide. El

crecimiento de granate se prolonga durante D2. Aparece un clivaje de crenulación S3 asociado a planos axiales de micropliegues de cerrados a apretados. S3 está definido por la orientación preferente de cloritas, cuarzo y mica blanca. El granate y el cloritoide están parcialmente reemplazados por cloritas a lo largo de los planos S3. Esta foliación está localmente cortada por planos C (falsas estructuras S-C) a todas las escalas que producen la rotación local de cloritoide y granate.

### Mineralogía

La asociación mineral de estas rocas es la siguiente: fenocristales de granate (2-5 mm de diámetro) y cloritoide (1-2 mm de diámetro), cuarzo, fengita, biotita, clorita ± epidota ± albita ± margarita ± rutilo ± titanomagnetita ± ilmenita ± calcita ± circón ± apatito.

**Granate:** Los porfiroblastos de granate no siempre presentan inclusiones, aunque es frecuente la aparición de inclusiones sigmoidales de grafito, cuarzo, mica y cloritoide. El crecimiento de granate se prolonga desde estadios pre-D2 (son frecuentes las sombras de presión) hasta la blastesis principal durante D2. Algunas texturas helicíticas indican que su crecimiento puede prolongarse incluso en estadios post-D2 y pre-D3. Durante D3 es alterado principalmente a clorita. Los datos químicos de estos granates no evidencian una zonación significativa. Su composición química ( $X_{Fe} = Fe / (Fe + Mg) = 0.89-0.94$ ) indica que son granates ricos en Fe (almandino 68-71%, grosularia 17-23%, pirope 4-9%).

**Cloritoide:** Este mineral aparece como inclusiones de pequeño tamaño en los granates. En la matriz el cloritoide está presente como pequeños cristales (menores de 1mm), orientados paralelamente a S2. También aparecen grandes porfiroblastos de cloritoide (más de 2 mm) transversos a S2 y paralelos a S3. A partir de estos datos texturales se infiere un crecimiento del cloritoide a lo largo de gran parte de la evolución metamórfica. Este mineral aparece frecuentemente alterado a clorita, margarita, moscovita y paragonita. Su composición química varía entre  $X_{Mg} (Mg / (Mg + Fe + Mn)) = 0.12$  y  $0.22$ .

**Fengita:** Las fengitas pueden ser agrupadas en tres categorías en función de su posición textural y de su contenido en Si (Tabla 1): 1) pequeñas inclusiones de fengita dentro del granate que poseen la mayor cantidad de Si (3.44 a.p.u.); 2) fengitas orientadas según S2 y asociadas con cloritoide y biotita ( $Si = 3.17-3.23$  a.p.u.); 3) moscovita producto de alteración de granate y cloritoide ( $Si = 3.02-3.10$  a.p.u.).

**Biotita:** Aparece en la foliación principal junto con mica blanca, cuarzo y cloritoide. Este mineral está frecuentemente alterado a clorita. La composición química es bastante homogénea ( $X_{Fe} = Fe / (Fe + Mg) = 0.37$ ).

Otras fases minerales: Clorita, margarita y albita constituyen el producto de alteración de la asociación primaria.

	Gr		Bio	Chl	Cld	Phe					
SiO <sub>2</sub>	36,88	36,67	33,24	28,51	24,07	23,73	52,88	49,90	48,87	48,04	46,21
TiO <sub>2</sub>	0,13	0,12	2,24	1,10	0,00	0,00	0,02	0,44	0,06	0,32	0,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,74	20,87	18,17	19,18	40,47	40,58	30,09	31,83	33,81	33,92	35,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>											
FeO	31,65	30,85	22,72	25,68	25,05	23,73	2,14	1,52	1,56	1,87	1,20
MnO	1,59	2,10	0,12	0,00	0,24	0,20	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00
MgO	2,17	1,09	7,44	11,67	1,95	2,46	1,49	1,32	0,89	1,17	1,10
CaO	5,92	8,02	0,77	0,12	0,00	0,00	0,21	0,01	0,17	0,05	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,02	8,83	0,63	0,00	0,00	8,75	8,83	9,42	8,83	9,17
K <sub>2</sub> O	0,00	0,02	8,83	0,63	0,00	0,00	8,75	8,83	9,42	8,83	9,17
Total	99,07	99,78	93,63	87,09	91,79	90,32	96,22	95,22	95,14	95,04	94,44
Si	5,98	5,94	2,64	3,03	2,01	2,01	3,44	3,30	3,23	3,17	3,08
Ti	0,03	0,03	0,13	0,09		0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,02
Al	3,96	3,98	1,70	2,40	3,99	3,99	2,30	2,48	2,63	2,64	2,78
Fe+3					0,01	0,01					
Fe+2	4,29	4,18	1,51	2,28	1,74	1,55	0,12	0,08	0,09	0,10	0,07
Mn	0,22	0,29	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,52	0,26	0,88	1,84	0,24	0,45	0,14	0,13	0,09	0,11	0,11
Ca	1,03	1,39	0,07	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Na	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07	0,12	0,01	0,10	0,11
K	0,00	0,00	0,89	0,09	0,00	0,00	0,72	0,75	0,79	0,74	0,78
XMg			0,37	0,45	0,12	0,22					
Xalm	0,71	0,68									
Xspe	0,04	0,05									
Xpyr	0,09	0,04									
Xgro	0,17	0,23									
XFe	0,89	0,94									

Tabla I: Análisis químicos de los minerales más significativos de los esquistos de Benzou. Gr: granate; Bio: biotita; Chl: clorita; Cld: cloritoide; Phe: fengita.

Table I: Chemical electron microprobe analyses of representative minerals from Benzou schist rocks. Gr: garnet; Bio: biotite; Chl: chlorite; Cld: chloritoid; Phe: phengite.

Epidota, rutilo, ilmenita, titanomagnetita, calcita, dolomita y apatito son considerados minerales accesorios.

#### Condiciones metamórficas

Se han diferenciado tres estadios de crecimiento mineral en los esquistos y calcoesquistos de Benzou. Las relaciones de fases deducidas para cada uno de estos estadios se reflejan en la figura 2. La asociación granate-cloritoide-biotita-clorita más cuarzo y fengita se representa en un diagrama AFM (Fig. 2 A) dentro de un sistema KFMASH con tendencia férrica.

Se ha utilizado la barometría de Massone y Schreyer (1987), los termómetros basados en la fracción XFe del granate (Spear y Cheney, 1989 y Wang y Spear,

1991) y el termómetro granate-fengita (calibraciones de Green y Helman, 1982 y Hynes y Forest, 1988) para estimar las condiciones P-T de los diferentes estadios de la evolución metamórfica.

*Estadio I:* Una temperatura de 530°C ha sido obtenido con el geotermómetro granate-fengita (calibración Green y Hellman, 1982). Para esta temperatura, la fengita con un contenido en Si de 3.44 se ha formado a una presión mínima de 12 Kbar (barómetro de Massone y Schreyer, 1987). Hay otros datos que confirman una temperatura inferior a 550°C para este primer estadio: a) la composición del granate (XFe=0.89-0.94) en el equilibrio Cloritoide + Biotita + Cuarzo = Almandino + Fengita (Fig. 2); b) la ausencia de estauroлита (según los datos de

Spear y Cheney, 1989); c) la presencia de albita y clinzoisita (ausencia de una plagioclasa más cálcica, Goldsmith, 1982).

*Estadio II:* En función de la parrilla petrogenética de Spear y Cheney, (1982; Fig. 2) y de la composición de la fengita II (Si=3.20-3.25 a.p.u.; Massone y Schreyer, 1987), este estadio podría haberse desarrollado a 6-7 Kbar y 500°C.

*Estadio III:* Se caracteriza por la recristalización de moscovita, clorita y albita. Las condiciones P-T de este estadio no pueden ser precisadas, aunque consideramos que se trata de un estadio retrógrado a baja presión y temperatura, similar al observado en otras unidades Sébtides (Bouybaouene, 1993) y Alpujárrides (Azañón, 1994).

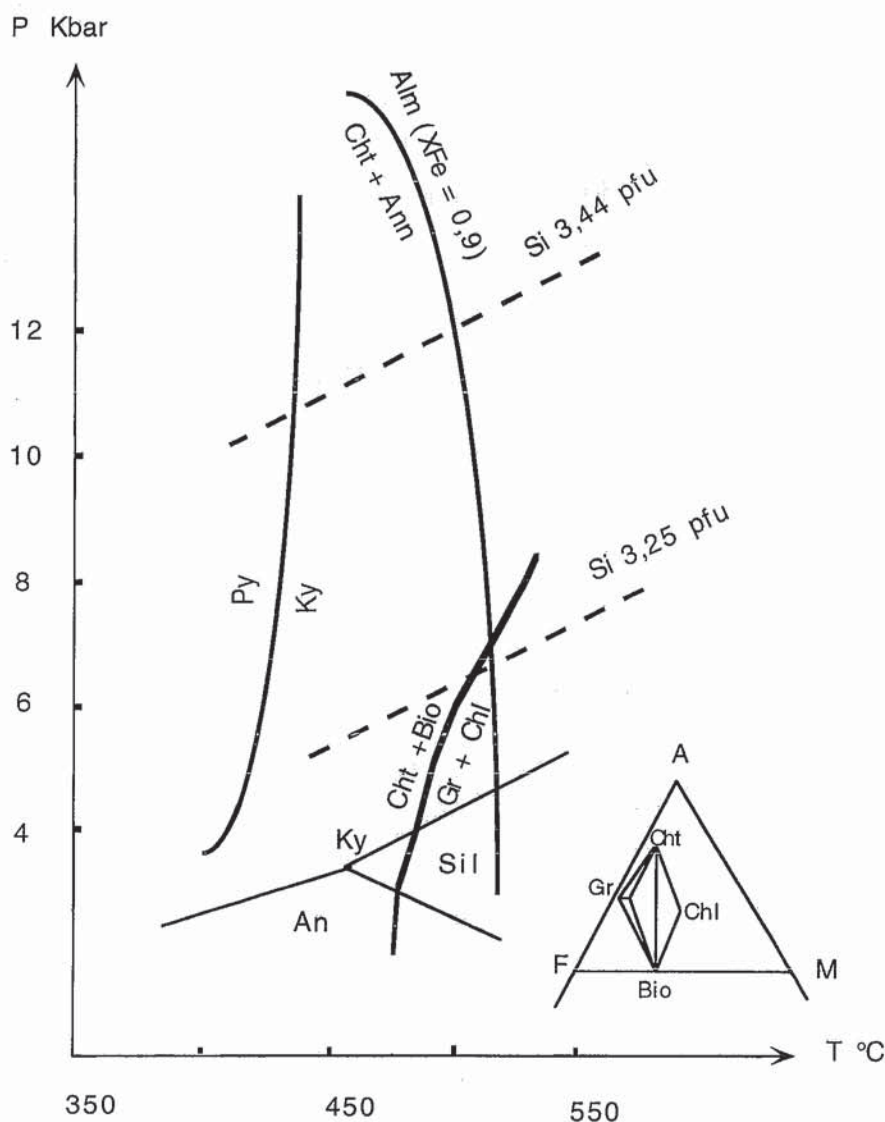


Figura 2: a) Relaciones entre los minerales ferromagnesianos en un diagrama AFM. b) Parilla Petrogenética de Spear y Cheny (1989) para el sistema KFMASH. Mínimas presiones obtenidas en función del barómetro de la fengita (Massone y Schreyer, 1987).

Figure 2: a) AFM diagram showing the relationships between the ferromagnesian mineral phases in the Benzou schist rocks. b) Petrogenetic Grid of Spear y Cheny (1989) for KFMASH system. Minimum pressure from phengite composition are from Massone y Schreyer (1987).

**Conclusiones**

La evolución metamórfica de los esquistos de Benzou es significativamente diferente de la propuesta para los esquistos paleozoicos de la unidad del Filali. El registro metamorfismo alpino

atribuido a la unidad del Filali (5-7 Kbar, 550-700°C, Kornprobst, 1974 y El Maz, 1989) contrasta con el registro bórico caracterizado en este trabajo para los esquistos de Benzou (12 Kbar). Consideramos que los esquistos de Benzou pertenecen a la base de la uni-

dad de Beni Mzala (en sus términos superiores registra un metamorfismo de similares gradientes P/T), y podrían representar términos transicionales con las formaciones de edad paleozoica representadas en las unidades del Filali, al igual que ocurre en las unidades Alpujarrides. Estimamos que es necesario revisar las características petrográficas y petrológicas de los diferentes tramos de la unidad del Filali con el objetivo de precisar la evolución tectonometamórfica de esta unidad durante la orogenia alpina.

**Agradecimientos**

El presente trabajo ha sido financiado parcialmente por un proyecto de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el bienio 1999-2000.

**Referencias**

Azañón, J.M. (1994): *Tesis Doctoral*, Univ. de Granada, 332 p.  
 Bouybaouene, M.L. (1993): *Thèse Doct. Sci.* Univ. Rabat, 151 p.  
 Bouybaouene, M.L., Goffé, B., y Michard, A. (1995): *Geogaceta*, 17:117-119.  
 Bouybaouene, M.L., Michard, A. y Goffé, B. (1998): *Bull. Soc. Geol. Fr.* t 169, 2, pp. 153-162.  
 El Maz, A. (1989): *Thèse*. Univ. P et M. Curie. Paris, 259 p.  
 Goffé, B. Michard, A., García-Dueñas, V. González Lodeiro, F., Monie, P. Campos, P. Galindo Zaldivar, F., Jabaloy, A. Martínez, J. M. y Simancas, J. F. (1989): *Eur. J. Mineral.*, 1, 139-142.  
 Goldsmith, J.R. (1982): *Am. Mineral.*, 67, 643-657.  
 Green, T.H. y Hellman, P.L. (1982): *Lithos*, 4, 253-266.  
 Hynes, A. y Forest, R.C. (1988): *J. metamorph. Geol.* 6, 297-309.  
 Kornprobst, J. (1974): *Notes Mém. serv. geol. Maroc*, 251. 256 p.  
 Massonne, H. J. y Schreyer, W. (1987): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 96, 212-224.  
 Spear, F.S. y Cheny, J.T. (1989): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 101: 149-164.  
 Wang, P. y Spear, F.S. (1991): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 106, 217-235.