

## ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS

# El metamorfismo de bajo grado de la Cordillera Bética.

Por A. APARICIO (\*); J. M. BRELL (\*\*) y R. GARCIA (\*)

## RESUMEN

El estudio del metamorfismo de bajo grado del área Bética, en sus diferentes unidades (Alpujárride, Maláguide, Nevado-Filábride) permite asignarlo al tipo de bajas presiones. Las determinaciones de los parámetros  $b_0$  e índices de cristalinidad de la illita y su distribución, fijan las zonas anchizionales y epizonales en el conjunto bético y el tránsito a la mesozona. En función de la paragénesis y parámetros metamórficos se establecen esquemas isotérmicos e isobáricos así como la posible edad hercínica del metamorfismo.

*Palabras clave:* Metamorfismo bajo grado, Béticas.

## ABSTRACT

The study of different units of the Betic area (Alpujárride, Malaguide, Nevado-Filabride) has defined the low grade metamorphism of these units as of the low pressure type. The distribution of chrySTALLINITY index and  $b_0$  metamorphic parameters of the illite, places the anchizone and epizone in the Betic area and the transit towards the mesozone. Isothermic and isobaric sketches and the possible Hercynian age of this metamorphism are established.

*Key words:* Low grade metamorphism, Betic area.

## INTRODUCCION

El área metamórfica bética ha sido descrita ampliamente, en sus paragénesis y condiciones tanto en los estadios de bajo grado como medio y alto (GONZALEZ et al. 1970, TORRES ROLDAN, 1974, 1981, GOMEZ PUGNAIRE et al. 1977, 1978, 1989, PUGA y DIAZ DE FEDERICO (1978), MARTINEZ 1980, AKKERMAN et al. 1980, GOMEZ PUGNAIRE y SASSI (1983), GOMEZ PUGNAIRE y FRANZ (1988), CUEVAS 1989a, 1989b, BAKKER

et al. 1989, TUBIA et al. 1991, VAN WEES et al. 1992, AZAÑON y SOTO, 1993..., etc.)

Sin embargo, las extensas zonas afectadas por un metamorfismo de bajo grado hace especialmente interesante un tratamiento global en la determinación de sus características, así como su relación con las áreas de mayor grado metamórfico.

La determinación del índice de cristalinidad de la illita (KUBLER, 1968, ESQUEVIN, 1969, DUNOYER DE SEGONÇAZ (1969) y del parámetro  $b_0$  en micas blancas (SASSI, 1972, SASSI y SCOLARI, 1974, GUIDOTTI y SASSI 1976, 1986) sirven junto a otros parámetros para caracterizar los procesos metamórficos de bajo a muy bajo grado.

En este sentido MARTIN RAMOS (1977), MARTIN RAMOS y RODRIGUEZ-GALLEGO (1978), GOMEZ PUGNAIRE et al. 1977, 1978, DIAZ DE FEDERICO et al. 1978, MARTINEZ Y VISONA (1981) realizaron estudios sobre variabilidad del  $b_0$  en diversos macizos de los complejos Alpujárride y Nevado-Filábride. Más escasos resultan los trabajos sobre la variación del índice de cristalinidad (I.C.), así tan sólo MAKEL y RONDEL (1979) y NIETO et al. 1994 hacen determinaciones de este parámetro en pequeños macizos del sector oriental bético.

En este trabajo se realiza, en función de determinados parámetros metamórficos, principalmente el I.C. y  $b_0$ , una descripción conjunta del metamorfismo de bajo grado que afecta a las unidades Alpujárride, Maláguide y Nevado-Filábride en todo el macizo bético.

Las determinaciones se han realizado exclusivamente sobre materiales pelíticos, exentos de carbonatos, coincidentes con términos pizarrosos y filíticos mayoritariamente.

Las muestras fueron analizadas por difracción de Rayos X en polvo, con tratamientos de etilenglicol y a 550°, según condiciones de medidas y equipos indicados en APARICIO et al. (1988) y de acuerdo con las recomendaciones de KIRSCH (1991). Para la determinación del índice

060 las muestras fueron cortadas perpendicularmente a la esquistosidad con dimensiones similares a una lámina delgada de acuerdo con SASSI y SCOLARI (1974) y exploradas entre 59° y 63° (20).

Se estudiaron un total de 179 muestras pertenecientes a las diferentes unidades (Maláguide, Alpujárride y Nevado-Filábride), obtenidas sobre toda el área Bética. Algunas fueron eliminadas por su contenido en carbonatos o tratarse de rocas de silicatos cálcicos. Muestras pertenecientes a niveles de grado medio y alto fueron igualmente obtenidas y determinados sus parámetros en orden a establecer la relación entre los diferentes niveles. Una descripción de la paragénesis encontradas y de los parámetros metamórficos determinados pueden encontrarse en las tablas 1 y 2, estableciéndose la separación de unidades y grado metamórfico. Igualmente en la Fig. 1 se han situado la totalidad de las muestras analizadas y su inclusión en las unidades consideradas.

CARACTERISTICAS DEL  $b_0$ 

El valor  $b_0$  fue determinado sobre muestras cuya composición, paragénesis y grado están delimitados.

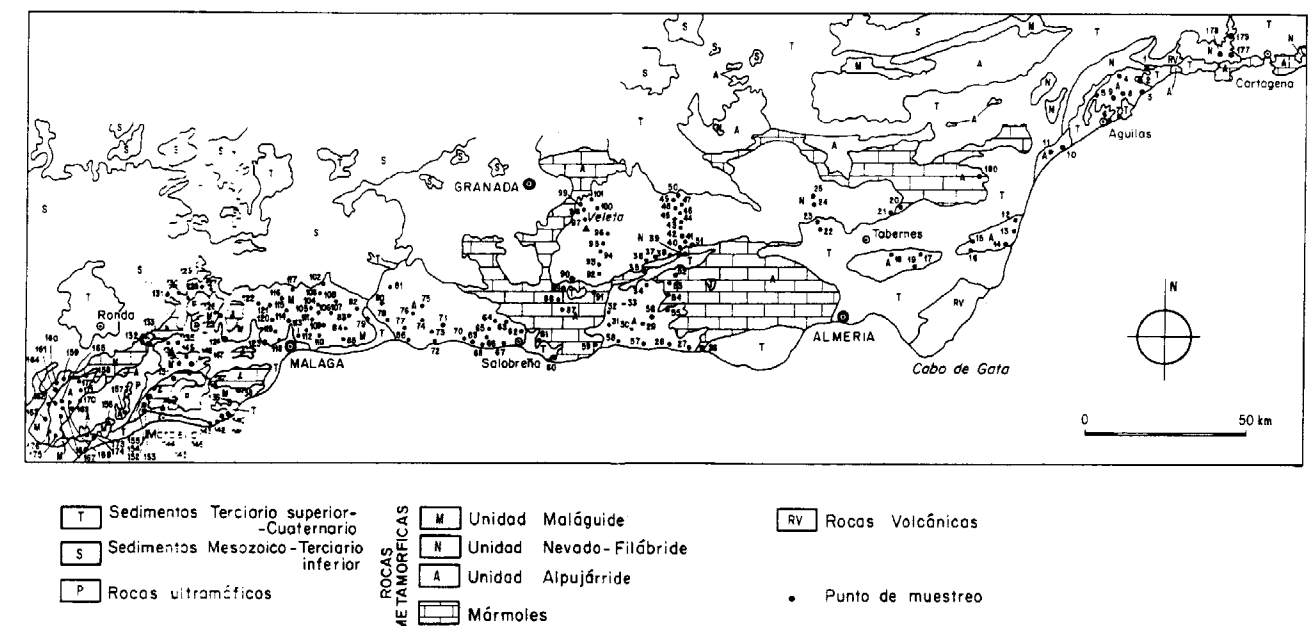


Figura 1. Esquema geológico del área Bética con expresión de las unidades Alpujárride (A), Maláguide (M) y Nevado-Filábride (N). Los números indican las muestras y su localización.

(\*) Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC. José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid.

(\*\*) Departamento de Estratigrafía. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

tados en GUIDOTTI y SASSI (1974) y de acuerdo con las modificaciones introducidas por PADAN et al. (1982).

Los valores de  $b_0$  de las unidades Alpujárride, Maláguide y Nevado-Filábride, en muestras de bajo grado han sido expresados en forma de curva acumulativa (Fig. 2). Se aprecian escasas diferencias entre las unidades pero con un au-

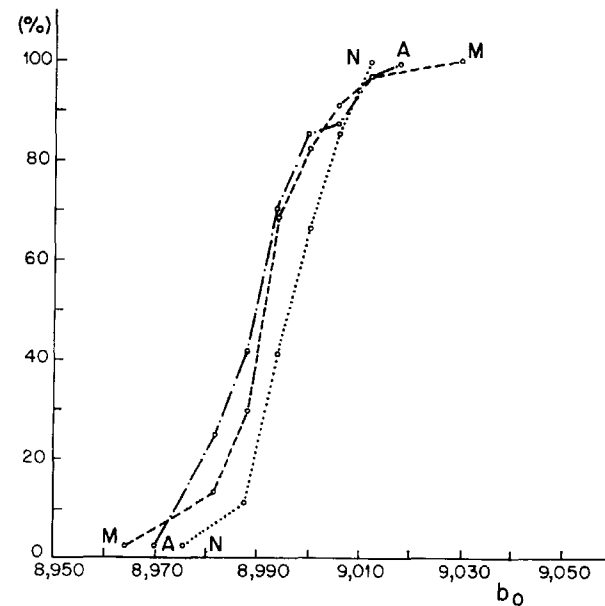


Figura 2. Curvas acumuladas de los valores  $b_0$  para las diferentes unidades: A (Alpujárride), M (Maláguide), N (Nevado-Filábride).

mento de estos valores en el sentido Alpujárride, Maláguide, Nevado-Filábride y subsecuentemente un aumento de la presión en el mismo sentido (SASSI Y SCOLARI 1974). La curva acumulada total, incluyendo valores de las tres unidades, es comparada en la Fig. 3 con los datos obtenidos por otros autores en áreas reducidas, fundamentalmente de Sierra Nevada, apreciándose una cierta similitud con algunas de las curvas presentadas y definiendo en general el campo de bajas presiones para el conjunto. Este hecho se pone igualmente de manifiesto en la comparación con otras áreas metamórficas características (Fig. 4) en donde el metamorfismo bético de bajo grado representa términos extremos dentro de los metamorfismos característicos de baja presión. Por otro lado MARTINEZ Y

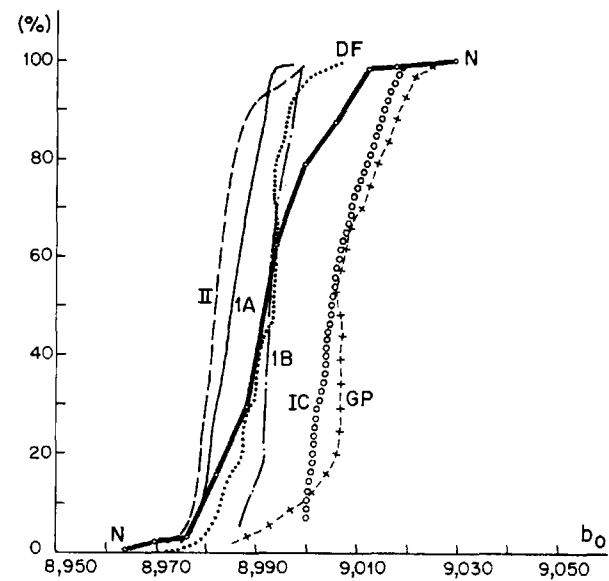


Figura 3. Curvas acumuladas de los valores  $b_0$  para las muestras de bajo grado del sector bético (N), comparadas con los resultados de otros autores: MARTINEZ y VISONA 1981 (1A, 1B, 1C, II) GOMEZ PUGNAIRE et al. 1977 (GP), DIAZ DE FEDERICO et al. 1978 (DF).

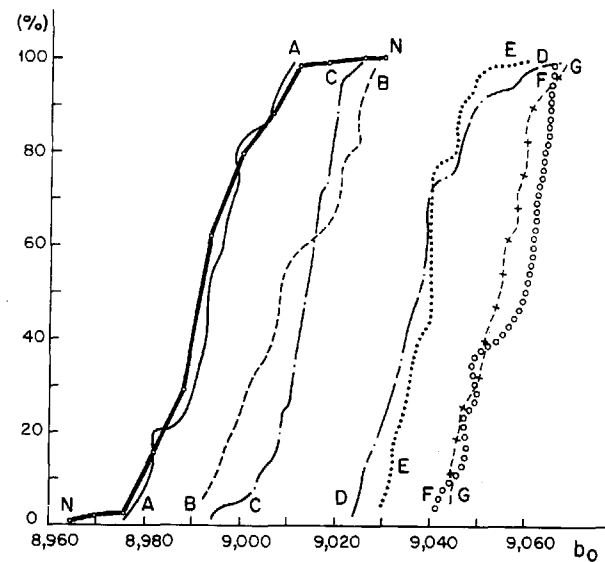


Figura 4. Curvas acumuladas de los valores  $b_0$  del sector Bético (N) comparadas con valores de otras áreas metamórficas. A = Bossot (Baja Presión), B = New Hampshire, C = Ryoike (Presión media-intermedia), D = Alpes Este, E = Otago (Presión Intermedia), F = Sambagawa (Alta presión), G = Day-Ballidag, según datos de Sassi y Scolari (1974).

VISIONA (1981) ya habían establecido el carácter de baja presión para el metamorfismo que afec-

ta a algunos sectores de la unidad Nevado-Filábride.

Un esquema de la distribución superficial del valor  $b_0$  para el área Bética (Fig. 5), incluyendo sólo las muestras de bajo grado, muestra unos máximos en el área de S<sup>a</sup> Nevada y en el sector Alpujárride que limita con el macizo Maláguide en su borde oriental, correspondiendo teóricamente al área de mayor presión. GUIDOTTI y SASSI (1986) fijan el valor de  $b_0 = 9,000$  como posible límite para el paso de una zona de baja presión a otra de presión media, de acuerdo con ello, algunas de las áreas reflejadas en la Fig. 5 con valores de  $b_0 > 9,000$  corresponderían a este tipo de presiones y constituyen zonas de tránsito a metamorfismo de grado medio (zona de la Estaurolita), aunque en general, son escasas las muestras de bajo grado que alcanzan o sobrepasan ligeramente este valor transicional.

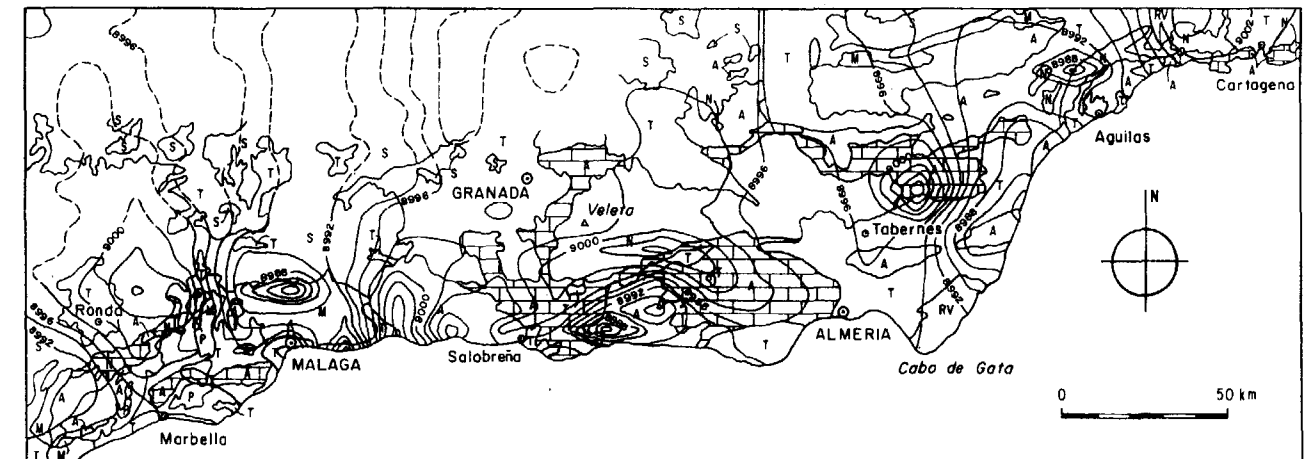


Figura 5. Distribución superficial del  $b_0$  en el área Bética para muestras de bajo grado metamórfico.

#### INDICE DE CRISTALINIDAD DE ILITA

Para la variación del I.C. de KUBLER se utilizaron tan sólo los valores de rocas pelíticas cuyas paragénesis son significativas de bajo grado, sin embargo los valores de rocas pertenecientes a grados más elevados pueden observarse también en la Tabla 1.

Se ha utilizado el diagrama de ESQUEVIN (1969) sobre muestras pertenecientes a las diferentes unidades. En la Figura 6 se estudia por separado

cada uno de estos complejos. Se advierte la casi exclusiva concentración de las muestras correspondientes al complejo Alpujárride y Nevado-Filábride en el área epizonal mientras que el Maláguide presenta una distribución de las muestras entre el área epizonal y anquizonal.

La distribución superficial del I.C. para rocas de bajo grado se puede observar en la Fig. 7. Algunos máximos (menor intensidad de metamorfismo) que corresponden a valores anquizonales se sitúan en el área Maláguide con una pequeña prolongación hacia el límite oeste del área Bética. Otras áreas anquizonales se circunscriben al sector central del Alpujárride. Por el contrario las áreas de máxima intensidad metamórfica epizonal corresponde al núcleo de S<sup>a</sup> Nevada y en el Alpujárride al borde sur del macizo central y al sector norte del área volcánica de Cabo de Gata. En líneas generales el metamorfismo de bajo grado muestra una disminución sensible de

su intensidad de este a oeste en donde el tipo anquizonal muestra la mayor extensión superficial.

#### DIFERENCIAS $d_{002}$ (ilita-paragonita)

GUIDOTTI y SASSI (1976) desarrollaron la posibilidad de evaluar en los procesos metamórficos de bajo grado las variaciones de temperatura en

Tabla 1

Principales parámetros metamórficos en muestras de rocas metamórficas de Grado Bajo, Medio y Alto en el área Bética (Unidades Alpujaride, Malaguide, Nevado-Filabride)

Unidad: Alpujaride

Muestra	Cuarzo	Feldespatos	Feldespatos		Mica	Caolinita	Clorita	Esmeccita	Interestratificados	Paragonita	Indices		060	b <sub>0</sub>	0010	004002	3,74 2,58	Polipo Moscovita	Índice Paragonización	002	002 Calculada	002 Ílita- Paragonita
			K	Ca-Na							Kubler	Weaver										
<b>Grado Bajo</b>																						
2	35	65			79	5	16				2,6	8			1,991	0,38	0,54	100%2M	0,20	10,091	9,955	
3	26	74			75	8	17				2,4	4,7			1,998	0,46	0,50	100%2M	-	9,967		
4	23	67			85	15	-				2,6	6,5	1,499	8,994	1,992	0,56	0,56	100%2M	0,10	10,016	9,960	
5	28	72			81		9			10	2,5	11	1,497	8,982	1,992	0,48	0,62	100%2M	0,10	10,117	9,960	0,329
6	12	88			77	ind	8			15	2,7	4,6			1,991	0,50	0,42	100%2M	0,20	10,037	9,955	0,311
7	18	82			92		-			8	3,4	4,3	1,499	8,994	1,993	0,50	0,58	100%2M	-	10,100	9,965	0,306
8	24	76			86		7			7	3,6	8,5	1,499	8,994	1,993	0,50	0,50	100%2M	-	9,976	9,965	0,282
9	14	86			22		8		Cl-V 5	5	3,5	3,8	1,500	9,000	1,991	0,55	0,46	100%2M	0,20	10,036	9,955	0,272
10	5	95			81	5	6			8	2,3	27,8	1,499	8,994	1,992	0,47	0,50	100%2M	-	9,965	9,960	0,336
11	4	96			74	7	14			5	2,5	10,4	1,497	8,982	1,991	0,51	0,53	100%2M	0,20	10,041	9,955	0,313
12	18	82			83	6	6			5	2,6	5			1,990	0,54	0,50	100%2M	0,25	10,036	9,950	0,340
13	14	86			85	-	11			4	3,2	9,5	1,497	8,982	1,994	0,40	0,42	100%2M	-	10,060	9,970	0,337
15	12	88			88		8			4	2,5	11,6	1,488	8,928	1,992	0,46	0,50	100%2M	0,10	10,028	9,960	0,348
16	28	72			74	26					2,6	7,4	1,497	8,982	1,993	0,47	0,58	100%2M		10,034	9,965	
17	19	81			85		10		Cl-V ind	5	2,6	13,2	1,499	8,994	1,993	0,55	0,52	100%2M		9,973	9,965	0,360
19	5	95			74	7	19			ind	2,5	8,5	1,500	9,000	1,993	0,51	0,52	100%2M		10,037	9,965	0,408
26	21	79			83		8	4		5	2,4	10,6	1,499	8,994	1,991	0,32	0,61	100%2M		10,039	9,955	0,310
27	15	85			95		5				2,5	5,1	1,498	8,988	1,993	0,52	0,50	100%2M		10,098	9,965	
28	28	72		ind	94		6				2,1	11,2	1,499	8,994	1,991	0,50	0,36	100%2M		10,078	9,955	

46

## Alpujaride (Cont.)

Muestra	Cuarzo	Feldespatos	Feldespatos		Mica	Caolinita	Clorita	Esmeccita	Interestratificados	Paragonita	Indices		060	b <sub>0</sub>	0010	004002	3,74 2,58	Polipo Moscovita	Índice Paragonización	002	002 Calculada	002 Ílita- Paragonita
			K	Ca-Na							Kubler	Weaver										
30	12	88			90	-	-		Cl-V ind	10	2,2	13	1,498	8,988	1,988	0,60	0,56	100%2M	0,40	9,973	9,940	0,274
31	14	86			70	-	12		Cl-V 18	-	3,1	5	1,495	8,970	1,991	0,62	0,50	100%2M	0,20	10,035	9,955	
32	17	77		6	100	ind	-			-	5,2	3,1	1,499	8,994	1,989	0,52	0,63	100%2M	0,30	10,078	9,945	
33	8	92			93	-	-		Cl-V 5	12	3,0	6,1	1,497	8,982	1,993	0,40	0,43	100%2M	-	10,038	9,965	0,212
34	22	78			88	-	-		Cl-V 22	-	3,2	3,5	1,498	8,988	1,990	0,46	0,60	100%2M	0,25	10,039	9,950	
35	24	69		6	84	-	-			16	3,2	5,6	1,497	8,982	1,991	0,60	0,65	100%2M	0,20	9,972	9,955	0,303
39	8	92		ind	75		9			16	3,2	8,5	1,502	9,012	1,991	0,42	0,60	100%2M	0,20	10,001	9,955	0,314
52	9	91			89	11	-				4,3	4,6	1,498	8,988	1,991	0,50	0,53	100%2M	0,20	10,115	9,955	
53	10	90			74	4	-			22	2,5	7,1	1,502	9,012	1,993	0,39	0,54	100%2M	-	10,007	9,965	0,305
54	17	83			86	6	-			8	3,2	6,2	1,498	8,988	1,990	0,35	0,58	100%2M	0,25	10,085	9,950	0,308
55	9	91			73	12	ind			15	3,2	5,4	1,497	8,982	1,990	0,53	0,60	100%2M	0,25	10,018	9,950	0,282
56	10	90			94	-	ind			6	2,4	4,3	1,501	9,006	1,990	0,58	0,62	100%2M	0,25	10,037	9,950	
57	18	82			86	-	6			8	3,1	4,6	1,498	8,988	1,993	0,58	0,60	100%2M	-	10,073	9,965	0,325
58	4	96			88	-	-			12	3,5	4,9	1,498	8,988	1,986	0,38	0,57	100%2M	0,50	10,049	9,930	0,222
59	12	88			78	-	7		Cl-V 6	9	3,2	5,8	1,500	9,000	1,990	0,45	0,60	100%2M	0,25	10,085	9,950	0,286
60	8	87		5	81	-	7			7	2,5	7	1,499	8,994	1,990	0,48	0,62	100%2M	0,25	10,018	9,950	0,307
62	17	76		7	86		15				2,6	8,6	1,500	9,000	1,995	0,46	0,72	100%2M	0,10	10,037	9,975	
63	30	70		-	90					10	3,2	5,3	1,497	8,982	1,985	0,50	0,47	100%2M	0,55	10,021	9,925	0,148
64	8	86		6	88		6			6	3,1	7,4			1,989	0,46	0,52	100%2M	0,30	10,078	9,945	0,341
81	13	82		5	93		7				3,2	1,8	1,502	9,012	1,993	0,42	0,67	100%2M		10,268	9,965	
86	19	75		6	82		18				3,1	2,7	1,503	9,018	1,996	0,42	0,59	100%2M	-	10,116	9,980	

47

## Alpujaride (Cont.)

Muestra	Cuarzo	Filibolitos	Feldespatos		Mica	Caolinita	Clorita	Esmectita	Interestratificados	Paragonita	Indices		060	b <sub>1</sub>	0010	004002	3,74 2,58	Polítipo Muscovita	Índice Paragonización	002	002 Calculada	d002 Bita- Paragonita
			K	Ca-Na							Kubler	Weaver										
87	23	73		5	93		7				3,2	2,6	1,500	9,000	1,992	0,45	0,64	100%2M	0,10	10,167	9,960	
88	15	85			87					13	3,2	8	1,500	9,000	2,000	0,39	0,56	100%2M	-	10,081	10,000	0,266
89	7	93			73	7				20	3,4	4,2	1,499	8,994	1,990	0,38	0,64	100%2M	0,25	10,016	9,950	0,283
91	19	81			83	7				10	3,3	3,6	1,502	9,012	1,993	0,43	0,61	100%2M		10,855	9,965	0,326
147	16	79		5	78	5	17				3,4	5			1,994	0,42	0,58	100%2M		10,066	9,970	
151	13	87			76	5	19				2,6	4,5	1,501	9,006	1,993	0,50	0,44	100%2M		10,014	9,965	
154	15	85			90	5		Cl-V 5			3,1	5,6	1,499	8,994	1,992	0,47	0,45	100%2M	0,10	9,981	9,960	
164	14	86			93		7				3,1	8,2	1,499	8,994	1,995	0,44	0,52	100%2M		10,029	9,975	
165	16	84			94		6				3,3	11	1,497	8,982	1,992	0,41	0,48	100%2M	0,10	9,967	9,960	
166	10	90		ind	94		6				3,2	2			1,991	0,44	0,45	100%2M	0,20	10,271	9,955	
167	18	82			95	5					2,5	6	1,499	8,994	1,993	0,50	0,52	100%2M		10,037	9,965	
<b>Grado Medio</b>																						
14	15	80		5	100						2,5	6	1,499	8,994	1,992	0,41	0,44	100%2M	0,10	10,035	9,960	
18	22	78			91		9				3	3	1,498	8,988	1,993	0,50	0,43	100%2M	-	10,126	9,965	
29	5	95		ind	95				5		2	11,2	1,498	8,988	1,990	0,50	0,54	100%2M	0,25	9,973	9,950	
61	28	67		5	100						3	3,1	1,498	8,988	1,992	0,31	0,68	100%2M	0,10	10,111	9,960	
66	32	62		6	100						2,5	2,7	1,498	8,988	1,993	0,16	0,53	100%2M	-	10,168	9,965	
67	26	74		ind	100						2	2,8			1,992	0,25	0,62	100%2M	0,10	10,110	9,960	
68	15	63		12	100						-	3,2			1,993	0,31	0,62	100%2M	-	10,155	9,965	
69	24	67		9	100						-	4,8			1,991	0,08	0,64	100%2M	0,20	10,099	9,950	
70	12	83		5	100						3	3,2			1,992	0,63	0,60	100%2M	0,10	10,134	9,955	

## Alpujaride (Cont.)

Muestra	Cuarzo	Filibolitos	Feldespatos		Mica	Caolinita	Clorita	Esmectita	Interestratificados	Paragonita	Indices		060	b <sub>1</sub>	0010	004002	3,74 2,58	Polítipo Muscovita	Índice Paragonización	002	002 Calculada	d002 Bita- Paragonita	
			K	Ca-Na							Kubler	Weaver											
71	21	79		-	70		30				3,5	2,4	1,498	8,988	1,993	0,50	0,53	100%2M		10,058	9,965		
72	32	62		6	100						3	2,1	1,500	9,000	1,994	0,25	0,50	100%2M		10,111	9,970		
73	27	65		8	100						-	4			1,997	0,12	0,65	100%2M		10,165	9,985		
74	36	59		5	100						-	2	1,496	8,976	1,993	0,20	0,63	100%2M		10,159	9,965		
75	33	61		6	100						3,5	1,5	1,508	9,048	1,996	0,29	0,65	100%2M		10,124	9,980		
76	28	68		4	100						3	5	1,499	8,994	1,993	0,51	0,59	100%2M		10,044	9,965		
77	19	75		7	100						-	1,9	1,498	8,988	1,999	0,10	0,64	100%2M		10,165	9,995		
78	27	73		ind	90	5				5	4	3,5	1,498	8,988	1,994	0,44	0,50	100%2M		10,109	9,970		
80	15	78		7	100						3	3,5			1,997	0,08	0,63	100%2M		10,174	9,980		
155	18	70	6	6	100						4,5	2,8	1,496	8,976	1,993	0,22	0,20	100%2M		10,051	9,965		
157	7	93		ind	100						4	3,1	1,499	8,994	1,997	0,40	0,52	100%2M			9,970		
158	8	92			100						4	3,6	1,499	8,994	1,994	0,20	0,55	100%2M		10,055	9,970		
168	16	79		5	100						4	2,6	1,499	8,994	1,998	0,21	0,58	100%2M		10,194	9,990		
169	22	72		6	100																		
171	14	26		ind	100																		
172	15	85		-	100																		

Unidad: Malaguide  
Bajo Grado

Muestra	Cuarzo	Filibolitos	Feldespatos		Mica	Caolinita	Clorita	Esmectita	Interestratificados	Paragonita	Indices		060	b <sub>1</sub>	0010	004 002	3,74 2,58	Polítipo Moscovita	Índice Paragonización	002	002 Calculada	d002 Bita-Paragonita
			K	Ca-Na							Kubler	Weaver										
79	17	83	-	Ind	73	6	14	-	Cl-V 7	-	3	4,1	1,498	8,988	1,995	0,45	0,52	100%2M	-	10,016	9,975	
82	12	88	-	Ind	95	Ind	-	-	Cl-V 5	-	3,1	3	1,499	8,994	1,993	0,58	0,50	100%2M	-	10,057	9,965	
84	12	88	-	-	82	-	10	-	Cl-V 8	-	3,3	4,2	1,498	8,988	1,990	0,69	0,46	100%2M	0,25	10,092	9,950	
85	6	94	-	-	100	-	-	-	-	-	3,4	4,7	1,497	8,982	1,986	0,54	0,45	100%2M	0,50	10,094	9,930	
102	20	80	-	-	82	-	-	-	Cl-V 18	-	3,5	3,4	1,501	9,006	1,993	0,45	0,42	100%2M	-	10,046	9,965	
103	20	80	-	-	85	-	15	-	-	-	3,2	4,5	1,498	8,988	1,995	0,54	0,46	100%2M	-	10,035	9,975	
104	14	86	-	-	100	-	-	-	-	-	4,3	2,8	1,498	8,988	1,997	0,42	0,43	100%2M	-	10,112	9,985	
105	20	80	-	-	87	-	13	-	-	-	5,2	2,4	1,499	8,994	1,998	0,45	0,40	100%2M	-	10,225	9,990	
106	8	92	-	-	100	-	-	-	-	-	3,6	5,2	1,497	8,982	1,998	0,59	0,63	100%2M	0,40	9,991	9,940	
107	16	79	-	5	88	-	12	-	Cl-V (Ind)	-	3,1	5,3	1,499	8,994	1,996	0,40	0,40	100%2M	-	10,017	9,980	
108	18	82	-	-	90	-	10	-	-	-	3,1	3,4	1,498	8,988	1,993	0,50	0,44	100%2M	-	10,115	9,965	
109	26	69	-	5	78	Ind	-	-	Cl-V 22	-	2,6	7	1,499	8,994	1,992	0,47	0,48	100%2M	0,10	9,969	9,960	
110	18	75	-	7	82	5	13	-	Cl-V Ind	-	3,3	3,8	1,499	8,994	1,994	0,52	0,60	100%2M	-	10,101	9,970	
111	14	58	-	-	95	-	-	-	Cl-V 5	-	3,5	2,4	1,501	9,006	1,995	0,50	0,56	100%2M	-	10,169	9,975	
112	8	92	-	Ind	84	-	-	-	Cl-V 16	-	5,4	2,9	1,499	8,994	1,995	0,52	0,45	100%2M	-	10,055	9,975	
113	15	85	-	4	78	-	-	-	Cl-V 22	-	4,2	2,0	1,501	9,006	1,991	0,28	0,48	100%2M	-	10,184	9,955	
114	21	79	-	Ind	100	-	-	-	-	-	3,5	2,7	1,499	8,994	1,993	0,43	0,50	100%2M	-	10,122	9,965	
115	24	76	-	-	88	-	-	-	Cl-V 12	-	2,5	4,0	1,498	8,988	1,990	0,33	0,52	100%2M	0,25	9,985	9,950	
116	9	91	-	Ind	95	-	5	-	-	-	3,4	5,2	1,494	8,994	1,995	0,48	0,50	100%2M	-	10,040	9,975	
117	15	85	-	-	96	-	4	-	-	-	3,1	3,7	1,494	8,964	1,993	0,46	0,50	100%2M	-	10,097	9,965	
118	19	81	-	Ind	88	-	12	-	-	-	2,5	3,7	1,501	9,006	1,992	0,50	0,42	100%2M	0,10	10,106	9,960	
119	8	88	-	4	85	-	15	-	-	-	3,1	6	1,501	9,006	1,994	0,43	0,40	100%2M	-	10,041	9,970	

50

Malaguide (Cont.)

Muestra	Cuarzo	Filibolitos	Feldespatos		Mica	Caolinita	Clorita	Esmectita	Interestratificados	Paragonita	Indices		060	b <sub>1</sub>	0010	004 002	3,74 2,58	Polítipo Moscovita	Índice Paragonización	002	002 Calculada	d002 Bita-Paragonita
			K	Ca-Na							Kubler	Weaver										
120	20	80	-	-	70	-	14	-	Cl-V 16	-	5,1	2,5	1,497	8,982	1,993	0,45	0,40	100%2M	-	10,127	9,965	
121	14	81	-	5	71	6	23	-	-	-	3,0	5	1,500	9,000	1,998	0,46	0,52	100%2M	-	10,042	9,940	
122	12	80	-	8	84	-	10	-	Cl-V 6	-	3,5	3,6	1,502	9,012	1,997	0,34	0,58	100%2M	-	10,052	9,985	
123	12	88	-	-	94	-	6	-	-	-	4,2	2,3	1,499	8,994	1,998	0,41	0,44	100%2M	-	10,167	9,940	
124	22	71	-	7	91	-	9	-	-	-	3,5	3,2	1,499	8,994	1,995	0,48	0,38	100%2M	-	10,110	9,995	
125	15	73	-	12	89	-	6	-	Cl-V 5	-	2,5	5,7	-	-	1,994	0,40	0,42	100%2M	-	10,097	9,970	
126	18	82	-	Ind	100	-	-	-	-	-	3,6	4	1,497	8,982	1,998	0,38	0,44	100%2M	-	10,112	9,940	
130	14	80	-	6	82	-	Ind	-	Cl-V 18	-	4,2	2,3	1,500	9,000	1,992	0,32	0,52	100%2M	0,10	10,133	9,960	
131	10	84	-	6	76	-	24	-	Cl-V Ind	-	3,1	3,5	1,505	9,030	1,997	0,39	0,42	100%2M	-	10,097	9,985	
132	-	-	-	-	83	-	17	-	-	-	3,6	2,1	1,500	9,000	-	0,40	-	-	-	10,259	-	-
134	12	88	-	Ind	86	-	9	-	Cl-V 5	-	3,4	5,2	1,499	8,994	1,995	0,38	0,40	100%2M	-	10,085	9,975	
135	14	78	-	8	87	-	13	-	-	-	4,2	2,6	1,502	9,012	1,993	0,38	0,42	100%2M	-	10,138	9,965	
140	19	77	-	4	88	-	-	-	Cl-V 12	-	3,2	2,3	-	-	1,994	0,54	0,58	100%2M	-	10,041	9,970	
141	12	88	-	Ind	81	5	-	-	Cl-V 14	-	2,5	4,7	1,499	8,994	1,991	0,52	0,52	100%2M	-	10,088	9,955	
142	19	81	-	-	95	5	-	-	-	-	3,6	2,7	1,500	9,000	1,997	0,41	0,49	100%2M	-	10,098	9,980	
143	22	72	-	6	100	-	-	-	-	-	4,4	2,8	1,498	8,988	1,994	0,35	0,64	100%2M	-	10,050	9,970	
144	16	76	-	8	92	-	8	-	-	-	3,2	3,5	1,500	9,000	1,995	0,53	0,43	100%2M	-	10,040	9,975	
149	15	85	-	-	100	-	-	-	-	-	3,3	4,8	1,499	8,994	1,995	0,65	0,56	100%2M	-	10,107	9,975	
150	8	92	-	Ind	84	-	-	-	Cl-V 16	-	3,3	5	-	-	1,992	0,46	0,60	100%2M	0,10	9,993	9,965	
152	12	83	-	5	77	5	20	-	-	-	3,0	4,4	-	-	1,995	0,45	0,58	100%2M	-	10,035	9,975	

51

Malaguide (Cont.)

Muestra	Cuarzo	Feldspatos	Feldspatos		Mica	Caolinita	Clorita	Esmectita	Interestrificados	Paragonita	Indice		060	b <sub>0</sub>	0010	001002	3,74 2,58	Polítipo Moscovita	Indice Paragonitización	002	002 Calculada	0002 Bita- Paragonita
			K	Ca-Na							Kubler	Weaver										
153	16	84		Ind	80		20				4,5	4,5	1,499	8,994	1,993	0,44	0,38	100%2M		10,105	9,965	
159	9	91			100						5,1	2,8			1,993	0,56	0,42	100%2M		10,055	9,965	
160	8	92		4	78	5	17				3,3	3			1,994	0,34	0,60	100%2M		10,091	9,970	
161	6	94		Ind	94		6				4,5	2,5	1,498	8,988	1,995	0,38	0,36	100%2M		10,416	9,975	
162	14	86			93		7				4,2	2,9			1,996	0,31	0,40	100%2M		10,118	9,980	
163	8	87		5	91		9				3,1	3,1			1,996	0,43	0,44	100%2M		10,187	9,980	
174	6	94			100						2,5	4,2	1,499	8,994	1,996	0,33	0,52	100%2M		10,095	9,980	
175	12	88			93		7				4,3	3,7	1,499	8,994	1,994	0,40	0,45	100%2M		10,292	9,970	
176	24	76	Ind		88		12				3,5	4,1			1,993	0,36	0,51	100%2M		10,123	9,965	
<b>Grado Medio-Alto</b>																						
83	11	89			100						3	2,7			1,995	0,68	0,51	100%2M		10,092	9,975	
127	20	74			100						4,5	3	1,495	8,970	1,997	0,25	0,58	100%2M		10,135	9,985	
128	28	64		8	100						7	2,2					0,23			10,080		
129	30	58		12	100						3,5	2,3			1,998	0,10	0,60	100%2M		10,253	9,940	
133	15	25		Ind	100						10	1,3	1,499	8,994	1,993	0,50	0,58	100%2M		10,111	9,965	
138	26	68		6	100						4	2,8	1,498	8,988	1,992	0,10	0,60	100%2M		10,132	9,960	
145	20	76		4	100						3,5	4	1,495	8,970	1,994	0,10				10,178	9,970	
148	20	74		6	100						4	4,6			1,995	0,20				10,158	9,975	
156	8	92			100						4	3,5			1,995	0,48	0,50	100%2M		10,198	9,975	
173	15	78		7	100						7	1,7	1,500	9,000	1,994	0,25	0,32	90%2M		10,372	9,970	

52

Unidad: Nevado-Filabride

Muestra	Cuarzo	Feldspatos	Feldspatos		Mica	Caolinita	Clorita	Esmectita	Interestrificados	Paragonita	Indice		060	b <sub>0</sub>	0010	001002	3,74 2,58	Polítipo Moscovita	Indice Paragonitización	002	002 Calculada	0002 Bita- Paragonita
			K	Ca-Na							Kubler	Weaver										
<b>Bajo Grado</b>																						
1	20	80			75	10				15	2,5	30	-	-	1,987	0,46	0,56	100%2M	0,45	9,938	9,935	0,315
20	14	86			78		7		Cl-V 5	10	2,6	7			1,992	0,33	0,49	100%2M		10,070	9,960	0,319
21	26	74			67		12	7		14	2,5	6,6	1,502	9,012	1,992	0,47	0,48	100%2M	0,10	10,022	9,960	0,321
22	18	82			88		4			8	2,2	17,1	1,499	8,994	1,990	0,36	0,52	100%2M	0,25	9,954	9,950	0,343
23	24	76			90		5			5	2,1	6,5	1,499	8,994	1,995	0,52	0,60	100%2M	-	10,037	-	0,346
24	15	85			85		6			8	2,5	8,5	1,499	8,994	1,991	0,62	0,54	100%2M	0,20	9,978	9,955	0,339
25	12	88			72	20	-			8	2,6	5,5	1,499	8,994	1,992	0,60	0,53	100%2M	0,10	10,011	9,960	0,279
36	19	81		-	90		10				2,4	6,2	1,500	9,000	1,991	0,54	0,47	100%2M	0,20	10,046	9,955	
37	7	93		-	88					12	2,5	6	1,502	9,012	1,991	0,40	0,51	100%2M	0,20	10,043	9,955	0,280
38	10	84		6	90		10				2,6	6,7	1,500	9,000	1,993	0,42	0,64	100%2M	-	10,021	9,965	
40	16	84		7	63		24		Cl-V 3		3,3	5	1,499	8,994	1,991	0,37	0,52	100%2M	0,20	10,071	9,955	
41	15	78			81		13		Cl-V 6		3,1	5,3	1,499	8,994	1,993	0,62	0,60	100%2M	-	10,080	9,965	
42	28	72			68		16		Cl-V 8	8	2,6	12	1,499	8,994	1,991	0,58	0,41	100%2M	0,20	9,976	9,955	0,334
43	13	87			64		8		Cl-V Ind	18	2,6	20	1,500	9,000	1,990	0,40	0,58	100%2M	0,25	9,965	9,950	0,329
44	7	93			82		6			12	2,5	6,5	1,500	9,000	1,990	0,47	0,41	100%2M	0,25	10,051	9,950	0,318
45	5	95			80		8			12	2,2	11,6	1,498	8,988	1,988	0,48	0,40	100%2M	0,40	9,976	9,940	0,339
46	14	86			77	8	Ind			15	3,2	9,1	1,499	8,994	1,990	0,54	0,57	100%2M	0,25	9,973	9,950	0,314
47	10	90			83		5			12	3,3	8,3	1,499	8,994	1,989	0,53	0,49	100%2M	0,30	10,038	9,945	0,317
48	7	93			81		-		Cl-V 5	14	3,1	6,5	1,501	9,006	1,991	0,41	0,54	100%2M	0,20	10,098	9,955	0,324
49	8	92			74	12	-			14	3,4	9,4	1,500	9,000	1,990	0,61	0,52	100%2M	0,25	9,978	9,950	0,321
50	32	68			80		10		Cl-V Ind	11	3,3	6,1	1,500	9,000	1,991	0,52	0,57	100%2M	0,20	10,029	9,955	0,358

53

Nevado-Maláguide

Muestra	Cuadro	Filosilicatos	Feldespatos		Mica	Cuarzo	Clorita	Esmectita	Interestratificados	Paragonita	Indices		h <sub>0</sub>	0010	002	3,74 2,58	Filipino Moscovita	Indice Paragonitización	002 Calculado	d002 Bis- Paragonita
			K	Ca-Na							Kubler	Werner								
51	18	82			77	6			17		3,4	6,8	1,502	1,991	0,33	0,50	100%2M	0,20	9,955	0,274
92	16	84			78	15			7		2,5	4,8	1,500	1,991	0,38	0,55	100%2M	0,20	9,955	0,330
93	12	88			87				8		2,6	7,5	1,501	1,993	0,53	0,42	100%2M		9,965	0,325
94	15	85			78	15			7		3,2	4	1,500	1,988	0,62	0,47	100%2M	0,46	9,940	0,325
95	12	88			78	5	12		5		2,5	6,4	1,501	1,991	0,55	0,48	100%2M	0,20	9,955	0,319
96	19	81			84		9		7		2,5	4,4	1,499	1,991	0,48	0,49	100%2M	0,20	9,955	0,336
97	6	94			94				6		3,2	3	1,501	1,991	0,56	0,50	100%2M	0,20	9,955	0,324
98	17	83			92				8		4,3	2,5	1,496	1,988	0,57	0,48	100%2M	0,40	9,940	0,276
99	6	94			79				21		3,1	2,5	1,500	1,994	0,65	0,48	100%2M		9,970	0,302
100	14	86			80	5	9		6		3,3	5	1,502	1,993	0,38	0,52	100%2M		9,965	0,315
101	5	95			85				15		2,2	11	1,498	1,993	0,52	0,50	100%2M		9,965	0,328
177	8	92			68		10		22		2,1	14,5		1,990	0,50	0,54	100%2M	0,25	9,950	0,302
178	7	88			82		6		12		2,5	5,9	1,501	1,989	0,46	0,48	100%2M	0,30	9,945	0,243
179	6	94			85		5		10		3,2	4	1,501	1,989	0,42	0,60	100%2M	0,30	9,945	

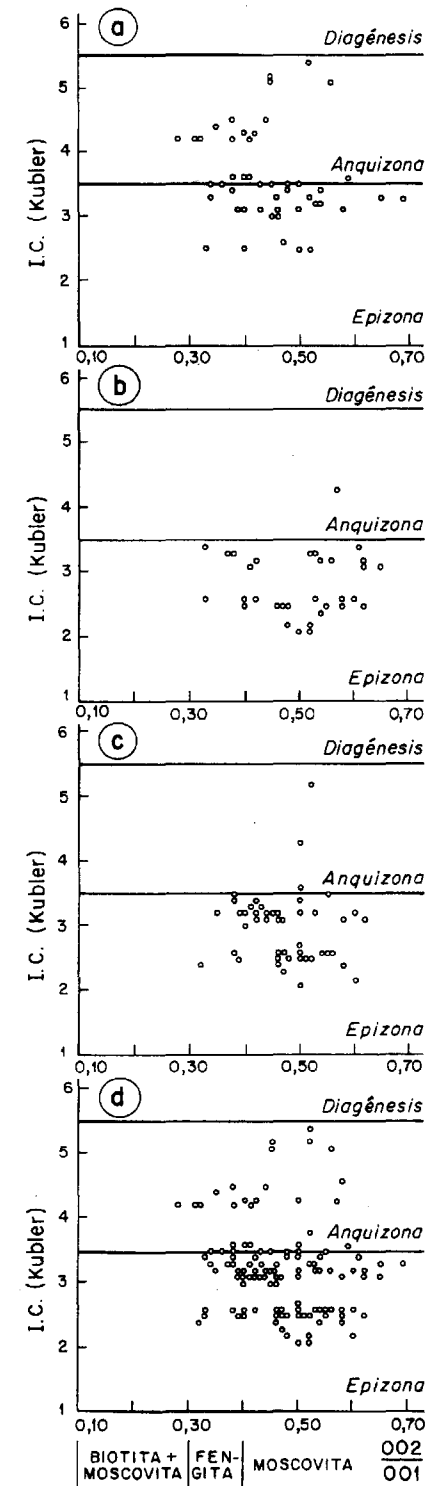


Figura 6. Diagramas de ESQUEVIN (1969) para las diferentes unidades béticas a) Maláguide, b) Nevado-Filábride, c) Alpujarride, d) Representación de todas las muestras estudiadas (bajo grado).

función de la diferencia en el espaciado  $d_{002}$  entre illita-paragonita. En la zona bética esta idea fue aplicada por GALLEGOS y RODRIGUEZ-GALLEGO (1973), MARTIN RAMOS y RODRIGUEZ-GALLEGO (1978).

En la Tabla 1 se especifican los valores obtenidos en muestras de bajo grado. Haciendo uso de este parámetro en el sentido dado por GUIDOTTI y SASSI (1976) y teniendo en cuenta la distribución de estos valores en superficie (Fig. 8) se apreciaría una zona de mayor temperatura en el Alpujarride al norte del área volcánica de Cabo de Gata en un sector comprendido entre Almería y Aguilas.

VALORES 060 (illita)

Este parámetro es indicado por PADAN et al. (1982) como creciente con la intensidad del metamorfismo en el ambiente de bajo grado metamórfico. Valores de 1,499 A indicarían que la mica estudiada corresponde a términos moscovíticos y valores más altos a términos fengíticos. Valores >1,510 nos situarían en el campo de la bitotia (WEAVER y BROEKSTRA 1984). En la Fig. 9 se han expresado los valores de 060 en relación con el I.C. en función de la adscripción de las muestras a los complejos Alpujarride, Maláguide y Nevado-Filábride. Los datos proyectados muestran que el margen de variación para el 060 es prácticamente similar en cada complejo, reflejando mayoritariamente valores inferiores a 1,500 y en menor proporción entre 1,500 y 1,502, que corresponde ya a términos moscovíticos-fengíticos. En ningún caso se alcanzan valores típicos de entrada de biotita, lo cual es consecuente con lo observado en las paragénesis de estas rocas donde la biotita está ausente o escasamente representada en muestras aisladas.

Por el contrario las muestras adscritas a la anquizona no presentan valores del 060 más bajos que los de la epizona como establece WEAVER y BROEKSTRA (1984), encontrándose prácticamente los mismos intervalos de variación entre los niveles de anquizona (mayoritariamente representada por la unidad Maláguide) y epizona (Unidades Alpujarride y Nevado-Filábride).

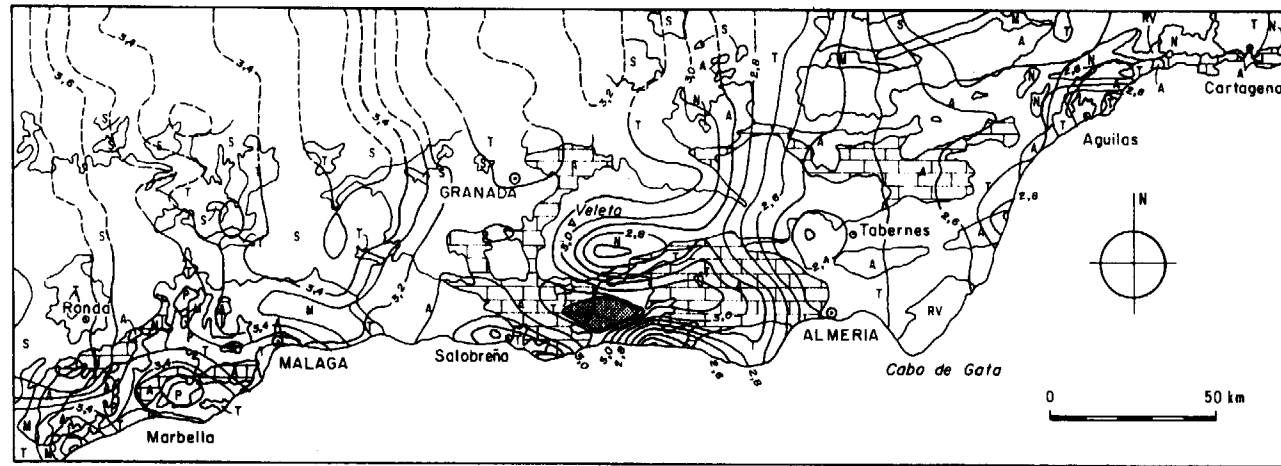


Figura 7. Distribución superficial del I.C. (índice de cristalinidad de la illita de KUBLER) en el área metamórfica de bajo grado bética.

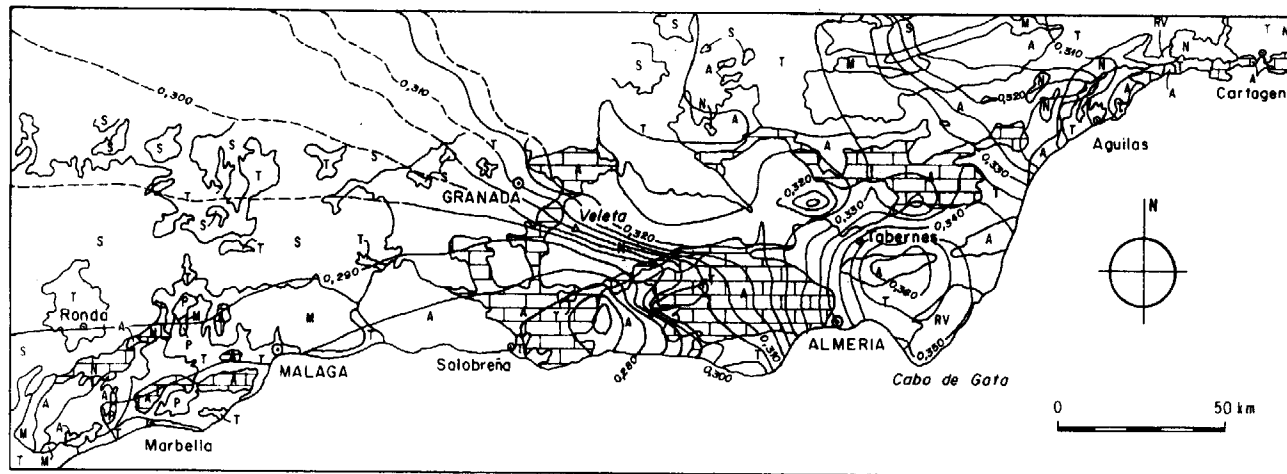


Figura 8. Mapa de isótopos marcando las variaciones en el espaciado  $d_{002}$  illita-paragonita.

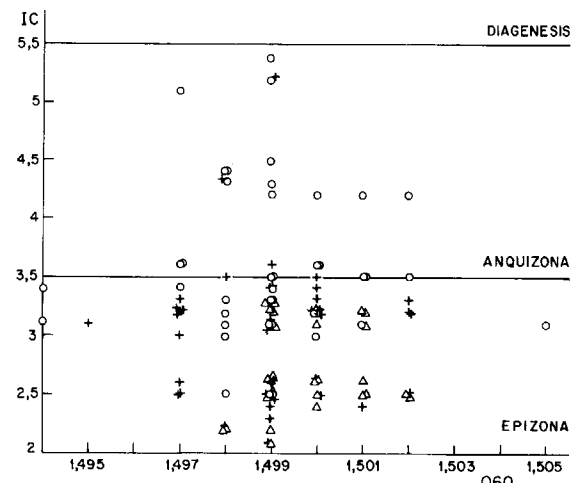


Figura 9. Diagrama IC-060 (illita) en muestras de bajo grado de las unidades Maláguide (O), Alpujárride (+) y Nevado-Filábride (Δ).

PARAGENESIS Y CONDICIONES

Las asociaciones minerales encontradas en las facies pelíticas de bajo grado no presentan grandes diferencias (Tabla 2). Cuarzo + Moscovia ± clorita ± paragonita ± caolinita es la paragénesis más frecuente. La caolinita es muy escasa, mientras que la paragonita es muy frecuente, llegando a conservarse incluso después de la aparición de la biotita, aunque desaparece totalmente con la entrada de la estaurilita. Sin la entrada de la paragonita, esta asociación característica podría situarse en condiciones de 300° y 2 Kb (FREY 1987) si bien la aparición de este mi-

Tabla 2. Asociaciones minerales y tipos litológicos de las muestras indicadas en Tabla 1.

Muestra	Tipo	Paragénesis
1	E	Qz+Mo+Ox+Op
2	F	Qz+Mo+Ox+Op+Cl+Turm
3	F	Qz+Mo+Cl+Bi+Ox+Op
4	F	Qz+Mo+Cl
5	F	Qz+Mo+Cl+Turm
6	F	Qz+Mo+Cl+Ox+Op
7	P	Qz+Mo+Ox+Op
8	P	Qz+Mo+Cl+Op
9	F	Qz+Mo+Bi+Ox+Cl+Turm
10	F	Mo+Op+Cl+Turm
11	P	Qz+Mo+Cl+Op+Ox
12	P	Qz+Mo+Op+Turm+Cl
13	P	Qz+Mo+Cl
14	E	Qz+Bi+Gr+And+Mo
15	F	Qz+Mo+Bi+Gr+Turm+Op+Cl+Bi
16	P	Qz+Mo+Op+Turm+Carb
17	P	Qz+Mo+Gr+Cl+Op+Turm+Bi
18	F	Qz+Mo+Gr+Bi+Cl
19	F	Qz+Mo+Cl+Op+Turm+Bi
20	E	Qz+Mo+Cl+Carb+Op+Bi
21	E	Qz+Mo+Cl+Op+Carb+Turm+Op
22	E	Qz+Mo+Ctd+Bi+Cl
23	F	Qz+Mo+Gr+Cl+Bi+Op
24	F	Qz+Mo+Bi+Cl+Ox+Op
25	F	Qz+Mo+Op+Cl+Turm
26	F	Qz+Mo+Bi+Op+Turm+Cl
27	E	Qz+Mo+Op+Bi+Cl+Zr+Turm
28	F	Qz+Mo+Op+Cl
29	F	Mo+Bi+Gr+Op+Est
30	F	Qz+Mo+Bi+Gr+Op
31	F	Qz+Mo+Ox+Cl
32	F	Qz+Mo+Bi
33	F	Qz+Mo
34	F	Qz+Mo+Turm
35	E	Qz+Mo+Gr+Bi+Op
36	F	Qz+Pl+Mo+Cl+Gr+Ox+Op+Turm
37	F	Qz+Mo+Carb
38	E	Qz+Mo+Gr+Turm+Cl+Op+Ep+Plag+Carb
39	P	Qz+Mo+Cl
40	P	Qz+Mo+Gr+Cl

Muestra	Tipo	Paragénesis
41	F	Qz+Mo+Ox+Op+Turm+Cl+Plag+Gr+Ctd
42	F	Qz+Mo+Gr+Op+Turm+Cl
43	E	Qz+Mo+Cl+Gr+Op+Ox+Turm
44	E	Qz+Mo+Cl+Ctd+Op
45	E	Qz+Cl+Mo+Op
46	F	Qz+Cl+Bi+Mo+Op
47	F	Qz+Bi+Gr+Cl+Mo+Op
48	F	Qz+Op+Turm+Mo+Bi+Gr+Ox
49	F	Qz+Mo+Op
50	F	Qz+Mo+Bi+Cl+Op+Turm+Est+Gr
51	P	Qz+Mo+Cl+Op+Carb
52	P	Qz+Mo+Op+Ox
53	P	Qz+Mo+Carb+Turm
54	P	Qz+Mo+Carb+Turm+Ox
55	P	Qz+Mo+Bi+Cl+Bi+Op+Ox
56	F	Qz+Mo+Gr+Bi+Op+Cl+Turm
57	F	Qz+Mo+Op+Ox+Bi+Cl
58	F	Qz+Mo+Bi+Op
59	F	Qz+Mo+Bi+Cl+Op
60	F	Qz+Mo+Cl+Op+Plag
61	E	Qz+Mo+Bi+Cl+Gr+St+Plag+And
62	F	Qz+Mo+Cl+Op+Turm+Carb
63	F	Qz+Mo
64	F	Qz+Mo+Cl+Op+Turm+Plag+Carb
66	E	Qz+Bi+Mo+Gr+St
67	E	Qz+Bi+Mo+Gr+St
68	E	Qz+Bi+Mo+St+Op+Sill+Turm
69	E	Qz+Mo+Bi+Sill+St+Turm+Op
70	E	Qz+Mo+Gr+Bi+Op+Turm+Sill+And
71	E	Qz+Mo+Bi+Gr+Op+Cl
72	E	Qz+Bi+Mo+Op+St+Gr+And
73	E	Qz+Bi+Mo+St+Sill+And+Plag+Op+Zr
74	E	Qz+Mo+Bi+St+Gr+Op
75	E	Qz+Bi+St+Op+Plag+Mo+Ap

Muestra	Tipo	Paragénesis
76	F	Qz+Mo+Bi+Gr+Op+St+And
77	E	Qz+Plag+Bi+St+And+Mo+Sill
78	F	Qz+Mo+Bi+Op+Ox+Turm
79	F	Qz+Bi+Mo+Op+Cl+Ctd
80	E	Qz+Mo+Bi+Sill+And+St
81	F	Qz+Mo+Cl+Op
82	F	Qz+Mo+Bi+Op+Cl
83	E	Qz+Mo+Bi+Gr+St+And
84	P	Qz+Mo+Op+Ox+Cl
85	P	Qz+Mo+Op
86	F	Qz+Cl+Carb+Mo+Op
87	P	Qz+Mo+Cl+Op+Carb
88	F	Qz+Mo+Op+Carb+Turm
88	P	Qz+Mo+Op
89	F	Qz+Mo+Op+Carb
91	F	Qz+Mo+Turm+Op
92	E	Qz+Mo+Gr+Plag+Cl+Op
93a	P	Qz+Cl+Mo+Op
93b	P	Qz+Mo+Plag+Cl+Op+Bi
94	E	Qz+Mo+Gr+Turm+Cl
95	E	Qz+Mo+Gr+Op+Cl
96	E	Qz+Mo+Gr+Op+Turm+Cl
97	F	Qz+Mo+Op
98	P	Qz+Mo+Op
99	F	Qz+Mo+Ctd
100	F	Qz+Mo+Op+Cl+Turm
101	F	Qz+Mo+Op+Turm
102	P	Qz+Mo+Op+Ox
103	P	Qz+Mo+Op+Cl
104	P	Qz+Mo+Op+Ox
105	P	Qz+Mo+Se+Op+Ox+Cl+Carb
106	P	Qz+Mo+Op+Cl
107	P	Qz+Mo+Op+Cl+Carb
108	P	Qz+Mo+Op+Ox+Turm+Cl
109b	P	Qz+Mo+Op
110	P	Qz+Mo+Op+Cl

Muestra	Tipo	Paragénesis
111	P	Qz+Mo+Cl+Op+Bi+Carb
112	P	Qz+Mo+Cl
113	P	Qz+Ox+Op+Mo
114	P	Qz+Mo+Ox+Op
115	F	Qz+Mo+Cl+Op+Ox+Turm
116	P	Qz+Mo+Cl
117	P	Qz+Mo+Cl+Turm+Op
118	P	Qz+Mo+Cl+Bi+Op
119	P	Qz+Mo+Cl+Op
120	P	Qz+Cl+Mo+Op
121	P	Qz+Mo+Cl+Op
122	P	Qz+Mo+Op+Cl+Zr
123	P	Qz+Mo+Op+Cl
124	P	Qz+Mo+Op+Ox+Cl
125	P	Qz+Mo+Ox+Op+Cl
126	P	Qz+Mo+Cl+Op
127	E	Qz+Gr+Bi+Mo+Plag+Turm+Zr+Op
128	E	Qz+Plag+Mo+Bi+Gr+Turm
129	N	Qz+FK+Plag+Gr+Bi+Op+Dist+Sill
130	P	Qz+Mo+Cl+Carb
131	P	Qz+Cl+Mo+Op
132	P	Qz+Mo+Op+Ox+Cl
133	E	Qz+Plag+Gr+Mo+St+Bi+Turm+Op
134	P	Qz+Mo+Cl+Op
135	P	Qz+Mo+Cl+Op
137	E	Qz+Bi+Plag+Turm+Op+Zr+Ap
138	N	Qz+Plag+FK+Cor+Gr+Bi+Sill+Ap+Zr+Op
139	E	Qz+Sill+Bi+Plag+Turm
140	F	Qz+Mo+Bi+Ctd
141	P	Qz+Mo+Op
142	P	Qz+Mo+Op
143	F	Qz+Mo+Plag+Turm+Bi
144	P	Qz+Mo+Cl
145	E	Qz+Plag+Bi+Op



Muestra	Tipo	Paragénesis
146	E	Qz+Bi+Sill+Ep+Turm+Plag
147	P	Qz+Mo+Op
148	E	Qz+Plag+Bi+Op+Mo+Esf+Zr
149	P	Qz+Mo+Cl+Op+Ox
150	P	Qz+Mo+Op
151	F	Qz+Mo+Op+Zr+Cl+Carb
152	P	Qz+Mo+Cl+Carb+Op
153	P	Qz+Mo+Carb+Op+Turm
154	P	Qz+Mo+Ox+Turm+Op+Cl
155	N	Qz+Plag+FK+Sill+Bi
156	F	Qz+Mo+Bi+Plag+Gr+And
157	E	Qz+Mo+Ox+Op+Sill+Plag
158	F	Qz+Plag+Mo+Bi+And+Gr+Dist
159	P	Qz+Mo+Op
160	P	Qz+Mo+Carb+Cl+Op
161	P	Qz+Mo+Cl
162	P	Qz+Mo
163	P	Qz+Mo+Cl
164	P	Qz+Mo
165	F	Qz+Mo+Op+Cl
166	P	Qz+Mo+Bi+Cl+Ox
167	F	Qz+Mo+Op
168	E	Qz+Bi+Mo+Dist+St+And+Sill+Gr+Op+Plag
169	N	Qz+Plag+FK+Bi+Sill+Cord+Op+Zr
170	E	Qz+Bi+Sill+Op+Gr
171	N	Qz+Plag+FK+Sill+Gr+Bi+Op+Zr
172	N	Qz+Plag+Bi+Sill+Op+FK
173	F	Qz+Mo+Bi+Gr+Plag
174	P	Qz+Mo+Cl
175	F	Qz+Mo+Op+Ox+Cl
176	F	Qz+Mo+Carb+Op
177	P	Qz+Mo+Cl
178	P	Qz+Mo+Cl
179	P	Qz+Mo+Cl

**Nomenclatura Tabla 2**

- P = Pizarra
- F = Filita
- E = Esquisto
- N = Neis
- Qz = Cuarzo
- Mo = Mica blanca
- Cl = Clorita
- Bi = Biotita
- Sill = Sillimanita
- Cltdc = Cloritoide
- St = Estaurolita
- Dist = Distena
- And = Andalucita
- Gr = Granate
- Plag = Plagioclasa
- FK = Feldespato potásico
- Esf = Esfena
- Turm = Turmalina
- Carb = Carbonatos
- Op = Opacos
- Ox = Oxidos
- Zr = Zircón
- Ep = Epidota

neral supondría una T > 300. Así la presencia del politipo de mica 2M al 100% en todas las muestras estudiadas, reflejaría para todos los complejos estudiados valores mínimos de T y P de 300° 2 Kb (MUKHAMET-GALAYEV et al. 1986) aunque en zonas del Maláguide estas condiciones pueden ser ligeramente más reducidas.

La albita, frecuente en otras áreas metamórficas de bajo grado, está aquí ausente o en muy pequeñas cantidades, probablemente en relación con la presencia de paragonita. La aparición de cloritoide está acompañada de biotita, clorita y mica blanca y constituye un conjunto de epizona alta antes de la entrada de estaurolita, con condiciones próximas a los 500°. El conjunto Granate + Biotita + Estaurolita definiría ya la entrada al

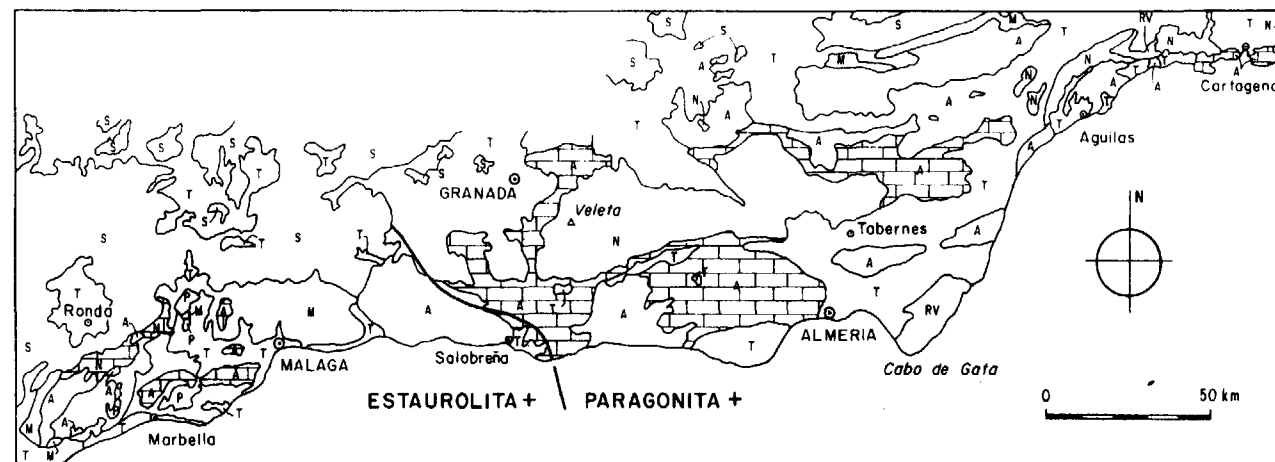


Figura 10. Zonas de estabilidad de estaurolita y paragonita.

grado medio con condiciones de 550°C y con una presión variable de 2,5 Kb (con andalucita) hasta 4 Kb (con distena). Al igual que ocurría en el grado bajo sigue siendo escasa la presencia de plagioclasa y cuando aparece es normalmente en porcentajes reducidos.

La entrada de feldespato potásico y sillimanita define el metamorfismo de mayor grado en materiales pelíticos, pudiendo estar asociados cordierita y andalucita, asociaciones de este tipo representan temperaturas próximas a los 600° (BUCHER y FREY 1994).

La distribución espacial de la zona de algunos de estos minerales metamórficos (Fig. 10) confirma que el tránsito del metamorfismo de grado bajo

a intermedio se realiza a través de una línea en la que la desaparición de paragonita es consecuente con la aparición de estaurolita, andalucita y sillimanita, mientras que feldespato potásico y cordierita queda restringidos al borde occidental bético.

En función de estas paragénesis y condiciones de formación en las figuras 11 y 12 se presenta una distribución de isotermas e isobaras durante el metamorfismo que experimentaron los materiales pretriásicos del Sistema Bético. En general las áreas de mayor temperatura (>500°C) se localizan en el sector occidental del Alpujarride (zona de la estaurolita) aunque se encuentran otras áreas más reducidas en el bético occiden-

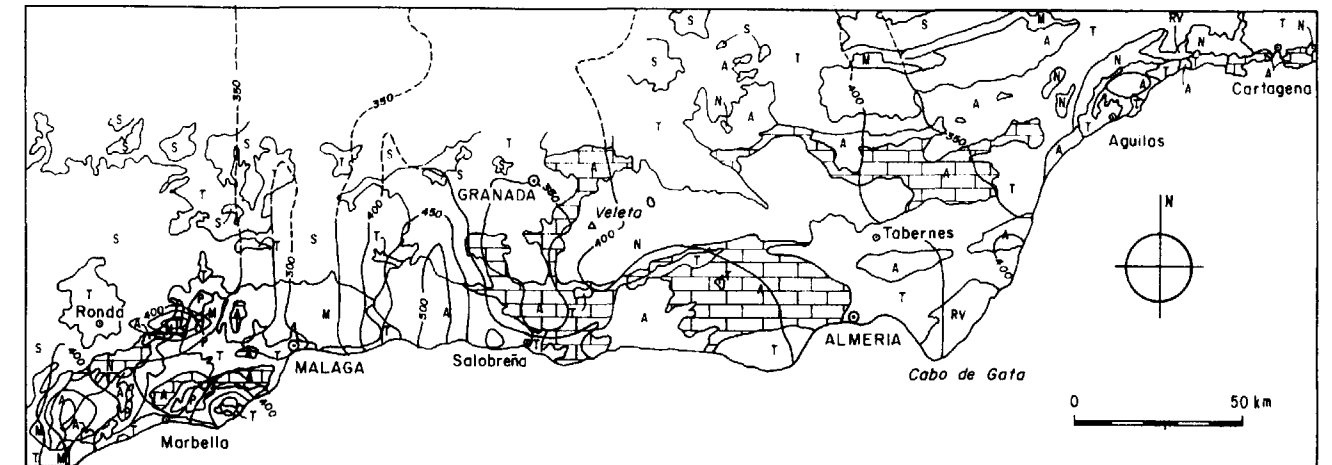


Figura 11. Distribución de isotermas en el área metamórfica Bética.

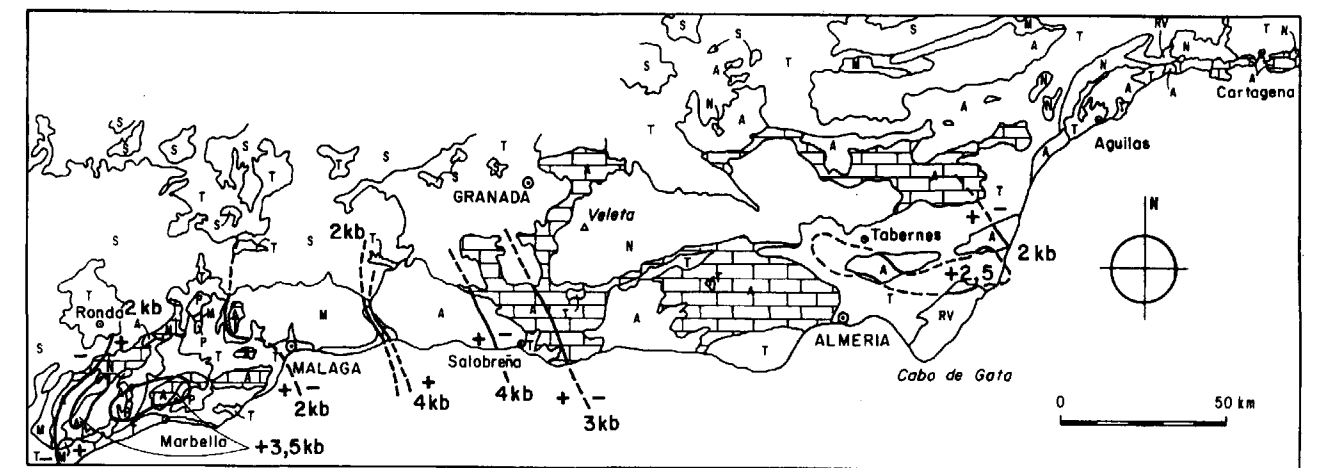


Figura 12. Distribución de isobaras en el área metamórfica Bética.

tal. Prácticamente todo el segmento oriental incluye isoterma próximas o inferiores a 400°C en ambiente epizonal. Valores próximos a los 300° se situarían en el complejo Maláguide en tránsito rápido hacia áreas con  $T > 500^\circ$ .

El gradiente bórico se muestra creciente de este a oeste con una interrupción brusca en el límite oriental del Maláguide para ascender nuevamente en el límite occidental bético, lo cual resulta bastante concordante con las variaciones del parámetro  $b_0$  establecidas anteriormente.

## DISCUSION

La determinación de algunos parámetros metamórficos en el área metamórfica de bajo grado que afecta a los materiales paleozoicos de la Cordillera Bética permiten establecer gradientes en la intensidad del metamorfismo así como las variaciones térmicas y bóricas experimentadas.

En la comparación de estos datos con los obtenidos por las paragénesis asociadas se observan algunas similitudes aunque no en todos los casos.

Las diferencias en el espaciado ( $d_{002}$ ) de Iilita-Paragonita en relación con las isoterma muestran escasa correlación. Algo más positiva resulta la variación de los valores de  $b_0$  e I.C. en cuanto que algunos máximos de  $b_0$  se posicionan directamente o próximos a algunos mínimos de I.C.

El metamorfismo de bajo grado en la cordillera Bética viene determinado por valores bajos de  $b_0$ . Este metamorfismo es significativo de muy baja presión. Teniendo en cuenta las paragénesis de bajo grado, la presión mínima estaría próxima a los 2 Kb y en una posible aproximación, en relación con valores de  $b_0 = 9,000$ . En el metamorfismo de grado medio, las condiciones bóricas pudieron llegar a 4-4,5 Kb.

Del conjunto del Macizo Bético, la mitad oriental parece representar un metamorfismo de grado bajo, principalmente epizonal aunque puntualmente valores de I.C. anquizonales, aparecen en el Alpujarride y Nevado-filábride. El Maláguide es el que presenta globalmente un metamorfismo de grado epizonal-anquizonal y de hecho representa una interrupción entre el metamorfismo de grado medio del sector occidental alpujarride y del sector bético occidental.

La presencia de paragonita define el metamorfismo de bajo grado, al menos en el sector oriental hasta la entrada de estaurólita, es sin embargo llamativo que este mineral no vuelva a aparecer en las áreas de bajo grado más occidentales (Alpujarride y Nevado-Filábride), probablemente en función del mayor gradiente térmico existente en este sector.

Hay que tener en cuenta que algunas de las anomalías encontradas en las secuencias paragenéticas así como en la distribución de valores P-T y otros parámetros metamórficos pudieran tener su explicación en la aloctonía de algunas de las unidades consideradas.

La comparación con otras áreas metamórficas españolas es difícil de establecer, pues la ausencia de determinaciones estratigráficas precisas permite tan sólo considerar al menos parcialmente estas unidades, (Maláguide, Alpujarride y Nevado-Filábride) como Paleozoicas al incluir o situarse por debajo de formaciones permo-triásicas.

Las dataciones absolutas realizadas sobre algunos de estos macizos muestran cierta dispersión de los datos, en algunos casos se determinan edades hercínicas para el metamorfismo (PRIEM et al. 1966, PUGA y DIAZ DE FEDERICO 1978, ANDRIESEN et al. 1991) y en otros casos alpinas (DE JONG et al. 1992, ZECK et al. 1989, 1992).

Independientemente de este hecho, bien que el proceso metamórfico sea Hercínico o Alpino o se encuentren superpuestos, son escasos los macizos metamórficos españoles de similares características paragenéticas y de gradientes. El metamorfismo más extenso de tipo bórico intermedio (Barrow) con desarrollo de zonas amplias de estaurólita-sillimanita en el Hercínico Ibérico, corresponde al Sistema Central (APARICIO et al. 1987) donde al igual que ocurre en el área Bética el bajo grado metamórfico se encuentra representado por un amplio conjunto epizonal en el sector oriental (APARICIO y GALAN 1978, 1980). En el Sistema Central el metamorfismo de grado bajo se encuentra afectando en general al paleozoico inferior mientras que el metamorfismo de muy bajo grado se localiza en el carbonífero (APARICIO y GALAN 1980).

El estudio de las paragénesis y condiciones del bajo grado en el Sistema Central (APARICIO y

GALAN, 1978 y 1980) ponen de manifiesto unas asociaciones minerales similares a las determinadas para los sectores de bajo grado béticos (Alpujarrides y Nevado-Filábrides). Este metamorfismo epizonal transita a otro de grado medio con secuencias paragenéticas y condiciones (FUSTER et al. 1974, LOPEZ RUIZ et al. 1975, APARICIO y GARCIA (1987) idénticos a los del área Bética.

En síntesis una cierta similitud en el tipo de metamorfismo es posible establecer entre el Sistema Central y el área Bética.

Sin embargo el área metamórfica más cercana al macizo bético corresponde a la Faja Pirítica que constituye el extremo más meridional del área Hercínica Ibérica. APARICIO et al. (1995) determinan las características y evolución de este metamorfismo que afecta a materiales devónicos y carboníferos. Sin embargo las paragénesis encontradas, que corresponden a un ambiente preferentemente anquizonal, no guarda ninguna similitud con el metamorfismo de bajo grado bético, bien por encontrarnos en niveles estratigráficamente superiores o porque realmente sus paragénesis obedecen a condiciones físicas diferentes, aunque la valoración del parámetro  $b_0$  establece unas condiciones de muy baja presión en un orden muy similar al encontrado en el área bética.

## CONCLUSIONES

-El metamorfismo de bajo grado bético es de características epizontales para los macizo Alpujarride y Nevado-Filábride y de tipo epizonal-anquizonal para el Maláguide.

-El desarrollo del parámetro  $b_0$  asigna este metamorfismo como característico de muy baja presión en relación con otras áreas metamórficas. Una secuencia progresiva en el aumento de  $b_0$  se encuentra en el paso entre las unidades Alpujarride  $\rightarrow$  Maláguide  $\rightarrow$  Nevado-Filábride.

-Las diferencias del espaciado Iilita-paragonita que se reflejaría en variaciones de temperatura guarda una cierta relación con el esquema isotérmico establecido por paragénesis.

-La entrada en el grado medio metamórfico (aparición de estaurólita) condiciona la total desaparición de paragonita.

-Una gran similitud en la paragénesis y en las condiciones del metamorfismo se encuentran al comparar el metamorfismo hercínico de bajo grado del Sistema Central y el metamorfismo de bajo grado de la cordillera Bética, que pasa gradualmente en ambos casos a secuencias metamórficas de grado medio idénticas (Tipo Barrow).

-No se observa una correlación con otras áreas metamórficas más próximas (Faja Pirítica), aunque definen igualmente un metamorfismo de baja presión.

## AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas y amigos que siempre han colaborado y ayudado con su esfuerzo a la realización de estos trabajos V. ARAÑA, J. ARROYO, M. CASTILLEJO, J. ELVIRA, A. FERNANDEZ, M. C. SENDRA, A. VILORIA.

## REFERENCIAS

- AKKERMAN, J. H., MAIER, G., SIMON, O. J. (1980): On the geology of the alpujarride complex in the western Sierra de las Estancias (Betic Cordillera, SE Spain). *Geologie in Mijnbouw*, 59, 363-374.
- ANDRIESEN, P. A. M., HEBEDA, E. H., SIMON, O. J., VERSCHURE, R. H. (1991). Tourmaline K-Ar ages compared to other radiometric dating systems in Alpine anatectic leucosomes and metamorphic rocks (Cyclades and Southern Spain). *Chem. Geology*, 91, 33-48.
- APARICIO, A., GALAN, E. (1978): El metamorfismo de bajo grado en el área central del Macizo Hespérico Español (Sistema Central-Toledo). *Bol. Geol. Min.*, 89, 475-486.
- APARICIO, A., GALAN, E. (1990): Las características del metamorfismo hercínico de bajo y muy bajo grado en el sector oriental del Sistema Central (Provincia de Guadalajara). *Est. Geol.*, 36, 75-84.
- APARICIO, A., GARCIA, L. (1987): Geología del Sistema Central Español. *Memoria CSIC-Comunidad de Madrid*, 32 pp.
- APARICIO, A., BRELL, J. M., DOVAL, M. (1988): El metamorfismo de los afloramientos paleozoicos de la Sierra de Rata, Mojón Alto, Albarracín, Menera y Ventosa en la Cordillera Ibérica (Provincias de Guadalajara y Teruel). *Bol. Geol. Min.*, 99, 847-854.
- APARICIO, A., BRELL, J. M., GARCIA, R., GUARAS, B. (1995): El metamorfismo hercínico de la faja pirítica (Pro-

vincias de Sevilla y Huelva). *Rev. Acad. Ciencias Zaragoza* (en prensa).

AZAÑON, J. M., SOTO, J. I. (1993): Estauroлита rica en Zn en las metapelitas de bajo grado de la Unidad de Salobreña (Complejo Alpujárride). *Geogaceta*, 14, 143-145.

BAKKER, H. E., DE JONG, K., HELMERS, H., BIERMANN, C. (1989): The geodynamic evolution of the internal zone of the Betic Cordilleras (southeast Spain): a model based on structural analysis and geotherm barometry. *J. Metamorphic Geology*, vol. 7, 359-381.

BUCHER, K., FREY, M. (1994): Petrogenesis of metamorphic rocks. 6th Edition. *Springer-Verlag*. Berlin, 318 pp.

CUEVAS, J. (1989a): Microtectónica y metamorfismo de los mantos Alpujárrides del tercio central de las Cordilleras Béticas (entre Motril y Adra) Parte II. Las zonas miloníticas. *Bol. Geol. Min.* 100, 719-766.

CUEVAS, J. (1989b): Microtectónica y metamorfismo de los mantos Alpujárrides del tercio central de las Cordilleras Béticas (Entre Motril y Adra) Parte III. La estructura interna del manto de Adra. Las traslaciones hacia el Norte. Discusión y Conclusiones. *Bol. Geol. Min.* 100, 935-970.

DE JONG, K., WIJBRANS, J. R., FERAUD, G. (1992): Repeated thermal resetting of phengites in the Mulhacén Complex (Betic zone southeastern Spain) shown by  $Ar^{40}/Ar^{39}$  step heating and single grain laser probe dating *Earth and Planetary Sci. Letters*, 110, 173-191.

DIAZ DE FEDERICO, A., GOMEZ PUGNAIRE, M. T., PUGA, E., SASSI, F. P. (1978): New problems in the Sierra Nevada Complex (Betic Cordillera, Spain). *N. J. Geol. Paläont.* 10, 577-585.

DUNOYER DE SEGONZAÇ, G. (1969): Les minéraux argileux dans la diagenèse passage au métamorphisme. *Mem. Serv. Carte Géologique Alsace et Lorraine*, 29, 317 pp.

ESQUEVIN, J. (1969): Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité. *Bull. Centre Rech. Pau SNPA* 3, 147-154.

FREY, M. (1987): Very low-grade metamorphism of clastic sedimentary rocks. En: *Low temperature metamorphism* (M. Frey ed.) Blackie & Son Ltd. New York, 9-57.

FUSTER, J. M., APARICIO, A., CASQUET, C., GARCIA CACHO, L., MORA, A., PEINADO, M. (1974): Interacciones entre los metamorfismos plurifaciales y polifásicos del Sistema Central Español. *Bol. Geol. Min.* 85, 595-600.

GALLEGOS, J. A., RODRIGUEZ-GALLEGO, M. (1973): Las micas incoloras en las filitas alpujárrides. Aplicaciones al estudio del metamorfismo. (NO de Sierra Nevada. Cordilleras Béticas). *Estudios Geológicos*, 29, 329-333.

GOMEZ PUGNAIRE, M. T., PUGA, E., SASSI, F. P. (1977): New data on the Alpine metamorphic history of the Nevado-Filabride Complex in the Sierra de Baza area (Betic Cordilleras, Spain). *Miner. Petrol. Acta* 21, 29-41.

GOMEZ PUGNAIRE, M. T., SASSI, F. P., VISONA, D. (1978): Sobre la presencia de paragonita y pirofilita en las filitas del complejo Nevado-Filabride en la Sierra de Baza (Cordilleras Béticas, España). *Bol. Geol. Min.*, 89, 468-474.

GOMEZ PUGNAIRE, M. T., SASSI, F. P. (1983): Pre-alpine metamorphic features and alpine overprints in some parts of the Nevado-Filabride basement (Betic Cordillera, Spain). *Memorie Soc. Geologica de Padua* 36, 49-72.

GOMEZ PUGNAIRE, M. T., FRANZ, G. (1988): Metamorphic evolution of the Paleozoic series of the Betic Cordilleras (Nevado-Filabrides Complex, SE Spain) and his relationship with the alpine orogeny. *Geologische Rundschau* 77, 619-640.

GOMEZ PUGNAIRE, M. T., FRANZ, G., MUÑOZ, M. (1989): Progressive metamorphic evolution of eclogites containing kyanite veins in the Betic Cordilleras (SE Spain). *Rend. Soc. Italiana Min. Petr.* 43, 671-685.

GONZALEZ MARTINEZ, J., FENOLL HACH-ALI, P., MARTIN VIVALDI, J. L. (1970): Estudio mineralógico de niveles arcillosos del Trías Alpujárride. *Bol. Geol. Min.* 81, 620-629.

GUIDOTTI, C. V., SASSI, F. P. (1976): Muscovite as a petrogenetic indicator mineral in pelitic schists. *Neues Jb. Miner. Abh.* 127- 97-142.

GUIDOTTI, C. V., SASSI, F. P. (1986): Classification and correlation of Metamorphic facies series by means of muscovite  $b_0$  data from low-grade metapelites. *Neues Jb. Miner. Abh.* 153, 3, 363-380.

KIRSCH, H. J. (1991): Illite cristallinity: recomendations on sample preparation x-ray diffraction settings and interlaboratory samples. *J. Metamorphic Geology*, 9, 665-670.

KUBLER, B. (1968): Evaluation quantitative de metamorphisme par la cristallinité de l'illite. Etat des progrès réalisés ces dernières années. *Bull. Centre Rech. Pau SNPA*, 2, 385-397.

LOPEZ RUIZ, J., APARICIO, A., GARCIA CACHO, L. (1975): El metamorfismo de la Sierra de Guadarrama. *Mem. Inst. Geol. Min.*, 87, 127 pp.

MÄKEL, G. H., RONDEL, H. E. (1979): Differences in stratigraphy and metamorphism between superposed Malaguide and Alpujárride units in the Espuña area (Betic Cordilleras, Spain). *Estudios Geol.*, 35, 109-117.

MARTIN RAMOS, D. (1977): *Las micas de las Cordilleras Béticas zonas internas*. Tesis Univ. Granada, 300 pp.

MARTIN RAMOS, D., RODRIGUEZ GALLEGO (1978): Barometría y termometría geológica mediante parámetros cristalográficos de micas (aplicaciones a la Cordillera Bética). Reunión Geodinámica de la Cordillera Bética y Alborán, Granada, 115-123.

MARTINEZ, J. M. (1980): Evolución de deformaciones y metamorfismo alpinos en el complejo Nevado-Filabride de la Sierra de Los Filabres SE de España. *Guad. Geol.* 11 (Univ. Granada), 82-106.

MARTINEZ, J. M., VISONA, D. (1981): Coexistencia de moscovita y paragonita en las metapelitas del complejo Nevado-Filabride (Cordilleras Béticas, España). *Estudios Geol.*, 37, 109-114.

MUKHAMET-GALEYEV, A. P., ZOTOV, A. V., POKROVSKIY, V. A., KOTOVA, Z. Y. (1986): Stability of the 1M and 2M1 polytypic modifications of muscovite as determined from solubility at 300°C at saturation steam pressure. *Dokl. Acad. Sci. USSR. Earth Science Section*, 278, 140-143.

NIETO, F., VELILLA, N., PEACOR, D. R., ORTEGA, M. (1994): Regional retrograde alteration of sub-greenschist facies chlorite to smectite. *Contr. Min. Petrol.*, 115, 243-252.

PADAN, A., KISCH, H. J., SHAGAM, R. (1982): Use of lattice parameter  $b_0$  of dioctahedral illite/muscovite for the characterization of PIT gradients of incipient metamorphism. *Contr. Min. Petrol.* 79, 85-95.

PRIME, H. N. A., BOELRIJK, N. A. I. M., HEBEDA, E. H., VERSCHURE, R. W. (1966): Isotopic age determinations on tourmaline granite gneisses and a metagranite in the eastern Betic Cordillera (Southeastern Sierra de los Filabres). S.E. Spain. *Geol. Mijnbouw*, 45, 184-187.

PUGA, E., DIAZ DE FEDERICO, A. (1978): Metamorfismo polifásico y deformaciones alpinas en el complejo de Sierra Nevada (Cordillera Bética). Implicaciones geodinámicas. Reunión sobre la geodinámica de la Cordillera Bética y Alborán. Univ. de Granada, 79-114.

SASSI, F. P. (1972): The petrological and geological significance of the  $b_0$  values of potassic white micas in low grade metamorphic rocks. An application to the Eastern Alps. Viena, *J. M. Petr. Mitt.* 18, 105-113.

SASSI, F. P., SCOLARI, A. (1974): The  $b_0$  value of the potassic white micas as a barometric indicator in low-grade metamorphism of pelitic schists. *Contr. Min. Petrol.*, 45, 143-152.

TORRES ROLDAN, R. L. (1974): El metamorfismo progresivo y la evolución de la serie de facies en las metapelitas Alpujárrides al SE de Sierra Almiijara (Sector central de las Cordilleras Béticas S. de España). *Guad. Geol.*, 5, 21-77.

TORRES ROLDAN, R. L. (1981): Plurifacial metamorphic evolution of the Sierra Bermeja peridotite aureole (Southern Spain). *Estudios Geol.* 37, 115-133.

TUBIA, J. M., NAVARRO-VILLA, F., CUEVAS, J. (1991): La evolución tectonometamórfica del manto de Los Reales y el Malaguide al oeste de Málaga. *Geogaceta*, 10, 141-143.

VAN WEES, J. D., DE JONG, K., CLOETINGH, S. (1992): Two-dimensional P-T-t modelling and the dynamics of extension and inversion in the Betic Zone (SE Spain). *Tectonophysics*, 203, 305-324.

ZECK, H. P., ALBAT, F., HANSEN, B. T., TORRES ROLDAN, R. L., GARCIA CASCO, A., MARTIN-ALGARRA, A. (1989): A  $21 \pm 2$  Ma age for the determination of the ductile Alpine deformation in the internal zone of the Betic Cordilleras, south Spain. *Tectonophysics*, 169, 215-221.

ZECK, H. P., MONIE, P., VILLA, I. M., HANSEN, B. T. (1992): Very high rates of cooling and uplift in the alpine belt of the Betic cordilleras, southern Spain. *Geology*, 20, 79-83.

WEAVER CH. E., BROEKSTRA, R. (1984): Illite-mica. En: *Shale-slate metamorphism in southern Appalachians. Developments in Petrology* 10 (Elsevier) 67-95.

Original recibido: Julio de 1995.

Original aceptado: Agosto de 1995.