

## LAS CLORITAS DE LAS CORDILLERAS BÉTICAS (ESPAÑA). SU COMPOSICION Y FACTORES QUE LA DETERMINAN

F. NIETO GARCÍA y M. RODRÍGUEZ GALLEGO

Departamento de Cristalografía y Mineralogía, y Departamento de Investigaciones Geológicas del C.S.I.C., Facultad de Ciencias, Universidad de Granada

**RESUMEN.** — Se dan datos sobre los parámetros químicos y estructurales, medidos mediante difracción de rayos X, de cloritas metapelíticas correspondientes a un metamorfismo de grado bajo y de retrometamorfismo. También se presentan análisis por microsonda electrónica de cloritas de metabasitas, correspondientes a la facies de esquistos verdes y anfibolitas en sentido lato. En ambos casos se estudian las diferencias de composición entre las cloritas de distintas unidades geológicas y se relaciona la composición de la clorita con la de su correspondiente roca de caja.

Tanto en las metapelitas como en las metabasitas, se ha llegado a la conclusión de que la composición química de la clorita se encuentra determinada fundamentalmente por la composición química de la roca en que se ha formado. No obstante, la temperatura de formación se revela como un segundo factor determinante de la composición química, formándose cloritas tanto más magnésicas cuanto más alta es la temperatura.

**ABSTRACT.** — Data about chemical and structural parameters, measured by X-ray diffraction, of metapelitic chlorites belonging to a low grade and retrograde metamorphism are given. Microprobe analyses of metabasite chlorites, from the greenschists and amphibolites facies (s.l.) are also shown. In both cases the differences in composition between the chlorites of several geological units are discussed and the chemical composition of the chlorites is related to that of their corresponding host rocks.

In all cases, it has been obtained that the chemical composition of the samples is essentially determined by the chemical composition of the host rock. However, the formation temperature is a second determining factor of the chemical composition, chlorites became more magnesium rich with an increase in the temperature, reached in the formation.

### Introducción

Las zonas internas de las Cordilleras Béticas comprenden tres complejos tectónicamente superpuestos: Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide. Cada uno de ellos

ha sufrido una evolución tectónica y metamórfica diferente. En este trabajo se dan datos de cloritas correspondientes a los dos primeros, relacionando las características de las mismas con su temperatura de formación y la composición de la roca en que se han formado. Las características de ambos complejos y la cantidad y distribución de las cloritas en los mismos, han condicionado diferentes metodologías y enfoques del trabajo para uno y otro caso.

En el Complejo Alpujárride existen formaciones metapelíticas potentes y monótonas con un gradiente metamórfico progresivo, en cuyas rocas de bajo grado la clorita es muy abundante y forma parte de la paragénesis fundamental de la roca. En este caso se ha llevado a cabo un estudio estadístico, mediante difracción de Rayos X (la metodología empleada es la presentada por NIETO y RODRÍGUEZ GALLEGO en esta misma Reunión).

En cambio, en el Complejo Nevado-Filábride la clorita suele ser una fase minoritaria o bien es el producto de la transformación de otros minerales ferro-magnesianos, en fases tardías del proceso metamórfico. En este caso se ha llevado a cabo un estudio por microsonda electrónica de ocho muestras correspondientes a metabasitas.

### Complejo Alpujárride

Se han estudiado las cloritas correspondientes a cuatro muestreos de filitas (HU, MU, CM, ALC), dos de micaesquistos de grano fino (LH y SA) y las correspondientes a una fase de retrometamorfismo en micaes-

quistos (*MT*), obteniéndose las medias correspondientes a relación  $F/FM$  y  $d_{001}$  que se recogen en la tabla 1.

Con el fin de estudiar la relación de tales parámetros con la composición química de la roca en la que se ha formado la clorita, se han analizado dichas rocas. Se considera que los elementos que pueden tener influencia sobre la composición de la clorita son Fe (en sus dos formas de oxidación), Mg, Al y Mn, como componentes de la misma, y K y Na de forma indirecta, ya que determinan la cantidad de moscovita y paragonita formadas en la roca y por tanto la cantidad real de Al que queda disponible para entrar en la red de la clorita.

De la tabla 2 se deduce que el  $Fe^{2+}$  es el elemento de la roca que tiene una influencia más marcada sobre la relación  $F/FM$  de la

clorita. En segundo lugar y de forma mucho más patente, también tienen influencia  $Fe^{3+}$  y Mg. Al sumar el MnO al FeO la correlación mejora ligeramente.

La fig. 1 recoge la relación entre el parámetro  $F/FM$  de la clorita y el de la roca. Se puede observar que la composición de la roca es el principal factor determinante del parámetro  $F/FM$  de la clorita. No obstante, los puntos correspondientes a las muestras de las diferentes unidades estudiadas, se distribuyen de forma diferente respecto a la recta general según la  $T$  de formación de la clorita. Así las cloritas de retrometamorfismo (*MT*) que son las de menor temperatura, presentan una relación  $F/FM$  mayor que la que les correspondería si la composición de la roca fuera el único factor determinante. Por el contrario, las de micaesquistos de gra-

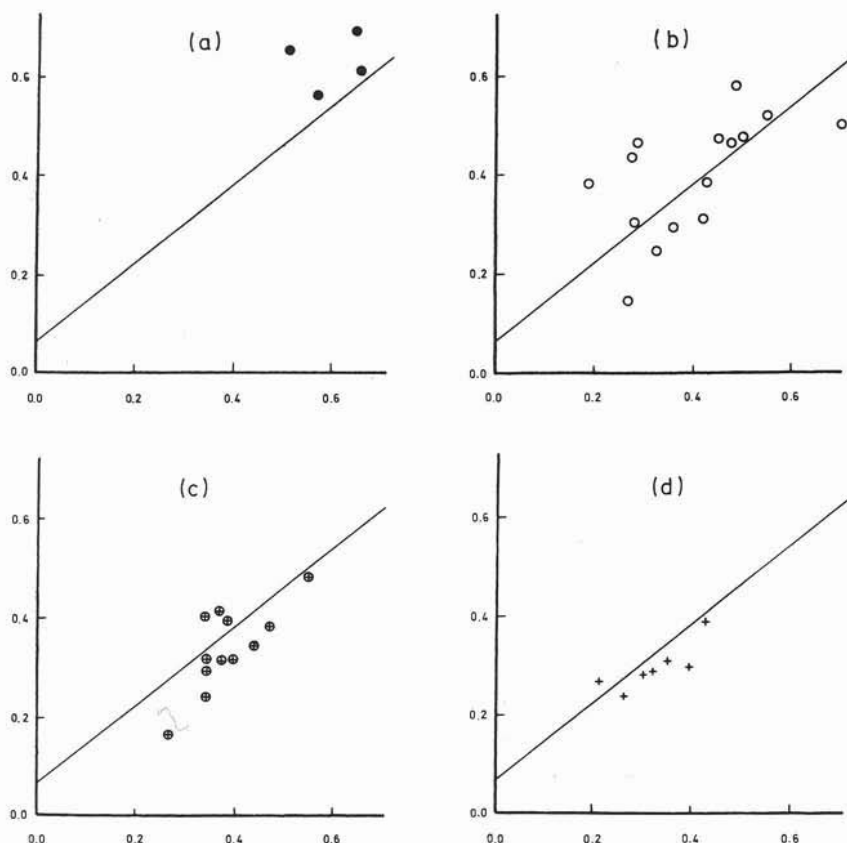


Fig. 1. — Relación entre  $F/FM$  de la clorita y  $FeO + MnO/FeO + MnO + MgO$  de la roca (expresado en porcentajes moleculares) para cada una de las unidades estudiadas: *a*) cloritas de retrometamorfismo en micaesquistos; *b*) filitas de Alcázar; *c*) filitas de Murta; *d*) micaesquistos de grano fino de la Herradura y Salobreña. La recta es en todos los casos la general.

no fino (LH y SA) que son las de mayor temperatura, presentan relaciones  $F/FM$  menores. Finalmente, las de filitas (ALC y MU) que corresponden a temperaturas intermedias entre los dos tipos anteriores, presentan así mismo relaciones  $F/FM$  de tipo intermedio, observándose diferencia, incluso, entre los dos mantos, de forma que Murtas que es un manto de mayor gradiente térmico, que Alcázar, presenta asimismo una relación  $F/FM$  menor que este último.

Una forma relativa de cuantizar la temperatura de formación de la clorita, es la medida de los parámetros  $b_0$  y la diferencia

TABLA 1

Valores medios de relación  $F/FM$  y  $d_{001}$  para las cloritas analizadas en el complejo Alpujarride

Micasquistos de grano fino	$\bar{x}$	$\sigma_x$	$\bar{x}$	$\sigma_x$
La Herradura (LH)	0,27	0,02	14,137	0,012
Salobreña (SA)	0,29	0,02	14,135	0,009
<b>Filitas</b>				
Huareca (HJ)	0,33	0,06	14,128	0,010
Murtas (MU)	0,34	0,07	14,124	0,011
C. Motril (CM)	0,36	0,07	14,122	0,009
Gorgoracha (ALC)	0,39	0,10	14,127	0,016
Cloritas de retrometamorfismo (micasquistos)	0,60	0,11	14,098	0,012

angular  $d_{00,10}$  moscovita -  $d_{00,10}$  paragonita de las micas asociadas a la clorita, formadas en una misma fase metamórfica. Mientras el primero de ellos es función, tanto de la presión como de la temperatura (VELDE, 1967; SASSI et al., 1974; MARTÍN RAMOS y RODRÍGUEZ GALLEGO, 1976; entre otros) el segundo lo es fundamentalmente de la temperatura, estando su valor aproximadamente exento de influencias de la presión (MARTÍN RAMOS y RODRIGUEZ GALLEGO, 1976).

La fig. 2 demuestra que para el caso de los muestreos de filitas aquí estudiados, las diferencias de valores de unos cortes a otros, vienen determinadas por la misma causa para ambos parámetros, dado el elevado coeficiente de correlación. Esta causa debe ser la temperatura, siendo por tanto muy pequeñas las diferencias de presión de unos cortes a otros.

La fig. 3 recoge la relación de estos dos parámetros de las micas con  $F/FM$  de la clorita. En la misma queda de manifiesto la relación de este último parámetro de la clo-

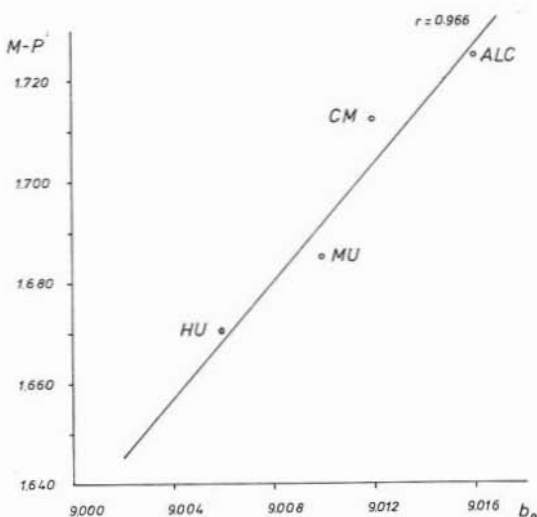


Fig. 2. — Relación entre el  $b_0$  de la moscovita y la diferencia angular de las reflexiones 00,10 de la moscovita y paragonita, para los cuatro cortes de filitas.

TABLA 2

Coefficientes de correlación y rectas de regresión que relacionan la composición química de la roca con el contenido en Fe y  $F/FM$  de la clorita

	Fe			F/FM		
	r	a	b	r	a	b
$\frac{Al_2O_3}{FMAKN}$ (1)	0,063	—	—	—	—	—
$\frac{K_2O}{FMAKN}$	-0,066	—	—	—	—	—
$\frac{Na_2O}{FMAKN}$	-0,183	—	—	—	—	—
$\frac{MgO}{FMAKN}$	-0,413	-2,605	2,438	-0,417	-0,561	0,518
$\frac{FeO}{FMAKN}$	0,626	7,524	0,722	0,620	1,586	0,154
$\frac{FeO+MnO}{FMAKN}$	0,631	7,579	0,677	0,625	1,597	0,144
$\frac{Fe_2O_3}{FMAKN}$	0,473	8,125	1,394	0,477	1,747	0,294
$\frac{FeO+Fe_2O_3+MnO}{FMAKN}$	0,741	7,126	0,356	0,739	1,513	0,074
$\frac{FeO+MgO}{FMAKN}$	—	—	—	-0,028	—	—
$\frac{FeO+Fe_2O_3+MgO}{FMAKN}$	—	—	—	0,101	—	—
$\frac{Al_2O_3+Fe_2O_3}{FMAKN}$	—	—	—	0,132	—	—
$\frac{Al_2O_3-K_2O-Na_2O}{FMAKN}$	—	—	—	0,066	—	—

(1)  $FMAKN = FeO + Fe_2O_3 + MgO + MnO + Al_2O_3 + K_2O + Na_2O$

rita con los de las micas y por tanto, con la temperatura de formación.

Finalmente, la fig. 4 recoge la variación

del contenido en Fe, relación  $F/FM$  y parámetros de difracción de rayos X, relacionados a lo largo de uno de los cortes estudiados. Las distancias entre los puntos de muestreo son aproximadas.

El espaciado basal de la clorita es una medida del contenido en Al de ésta. El primer dato que se deduce de los valores medios recogidos en la tabla 1, es las escasas diferencias existentes en este parámetro, tanto dentro de un mismo muestreo como entre unos y otros.

Las escasas diferencias existentes parecen tener relación con la temperatura de formación, siendo mayor el espaciado basal conforme más elevada es ésta, ya que se observa una gradación: micaesquistos de grano fino filitas-cloritas de retrometamorfismo. Esta relación se pone asimismo de manifiesto al correlacionar el  $d_{001}$  con la relación  $F/FM$  de la clorita (fig. 5), que como se ha expresado anteriormente está también relacionado con la temperatura media de formación de cada muestreo.

Tampoco la composición química de la roca tiene una influencia marcada sobre el  $d_{001}$ , como puede comprobarse en la tabla 3. Tanto el Fe como el Mg de la clorita pueden situarse, bien en la capa octaédrica de la unidad 2:1 o bien en la interlamina. De acuerdo con la tabla 4, se puede observar que el Fe tiende a concentrarse preferentemente en la capa octaédrica. La temperatura de formación tiene una influencia mucho más marcada sobre la composición de la capa octaédrica que sobre la de la interlamina y la composición química del metasedimento reparte su influencia entre ambas capas, de

TABLA 3  
Coeficientes de correlación del  $d_{001}$  con diferentes factores químicos de la roca

$\frac{Al_2O_3}{FMAKN}$ , - 0,158;	$\frac{K_2O}{FMAKN}$ , - 0,191;	$\frac{Na_2O}{FMAKN}$ , 0,240;
$\frac{MgO}{FMAKN}$ , 0,355;	$\frac{FeO}{FMAKN}$ , - 0,276;	$\frac{FeO+MnO}{FMAKN}$ , - 0,278;
$\frac{Fe_2O_3}{FMAKN}$ , - 0,317;	$\frac{FeO+Fe_2O_3+MnO}{FMAKN}$ , - 0,406;	
$\frac{FeO+MgO}{FMAKN}$ , 0,184;	$\frac{FeO+Fe_2O_3+MnO+MgO}{FMAKN}$ , 0,085;	
$\frac{Al_2O_3-2K_2O}{FMAKN}$ , - 0,050;		
$\frac{Al_2O_3-K_2O-Na_2O}{FMAKN}$ , - 0,264;	$\frac{K_2O+Na_2O}{FMAKN}$ , 0,069;	
$\frac{Al_2O_3+Fe_2O_3}{FMAKN}$ , - 0,288		

%  $SiO_2$  = 0,189; P. C. <sup>(1)</sup> 0,182  
(1) Pérdida por calcinación

forma que el contenido en Fe influye más sobre la octaédrica, y la concentración inicial de Mg sobre la interlamina. Finalmente, el Mn tiene un comportamiento paralelo al Fe (ver tabla 5).

Tanto en una capa como en otra, los cationes ocupan huecos octaédricos. Sin embargo, mientras en la octaédrica estos huecos se presentan fuertemente deformados, debido al acoplamiento de dicha capa con las dos tetraédricas entre las que se encuentra, en la interlamina la estructura es mucho más abierta. Por tanto, para los elementos de tran-

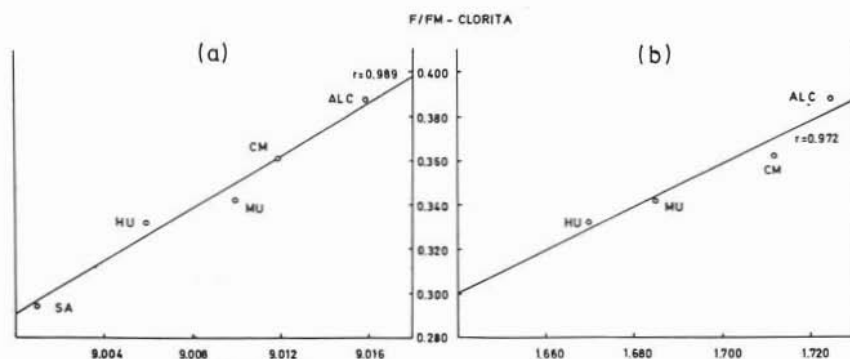


Fig. 3. — Relación entre  $F/FM$  de la clorita y los parámetros de las micas: a) con el  $b_0$ ; b) con diferencia angular 00,10 moscovita-paragonita.

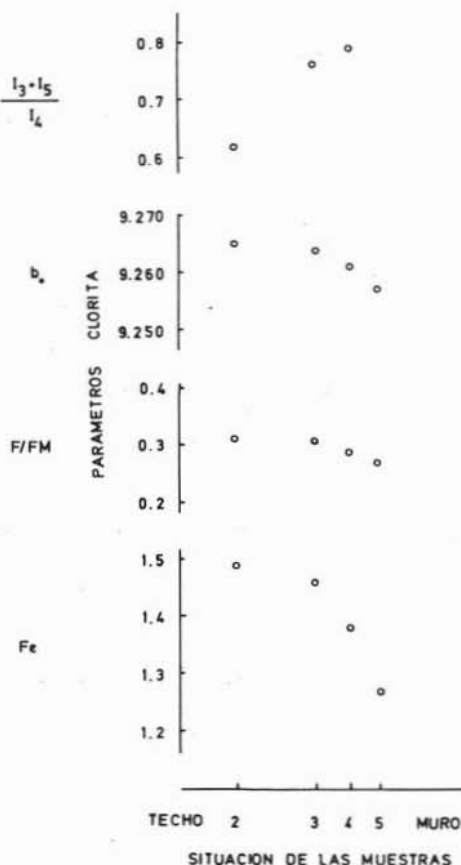


Fig. 4. — Variación del contenido en Fe, F/FM, parámetro  $b_0$ , y relación de intensidades de las reflexiones basales a lo largo del corte de Salobreña (las distancias entre puntos de muestreo son sólo aproximadas).

sición (en nuestro caso Fe y Mn fundamentalmente) los huecos octaédricos ofrecen posiciones más estables que los interlaminares (efecto Jahn Teller). Este hecho explicaría que estos elementos, cuando existan en cantidad suficiente en la roca y pueden entrar en la clorita en función de la temperatura, lo hacen preferentemente en la capa octaédrica, mientras la interlaminares está constituida fundamentalmente por Mg.

**Complejo Nevado-Filábride**

De los tres complejos que constituyen las zonas internas de las Cordilleras Béticas, el Nevado-Filábride es el que ocupa la posición tectónica inferior. A partir del estudio de GÓMEZ-PUGNAIRE (1981), se han seleccionado ocho muestras para un estudio detallado

de la clorita de las mismas: un metabasalto (GW-136'''), un metagabro (CH-46), tres anfibolitas (GW-122'; GW-98 y C-773), una roca con silicatos cálcicos (CH-33H) y dos clorititas (C-162 y C-13).

A partir de las fórmulas estructurales (tabla 6), calculadas de los datos de microsonda electrónica, se han estudiado las relaciones entre los diferentes parámetros químicos de la clorita (tabla 7).

El coeficiente de correlación en Fe y Mg demuestra claramente que este par de elementos constituye la principal serie de solución sólida de la capa octaédrica de la clorita y por tanto, el contenido de estos dos elementos constituye prácticamente un solo parámetro químico cuantizable en la forma de F/FM. En cuanto al Al, existe una estrecha relación del contenido total en este elemento con el grado de sustitución de Fe por Mg, de forma que al ser mayor el Fe, el Al presenta valores más elevados. No

TABLA 4  
Distribución del Fe entre ambas capas octaédricas de la estructura de la clorita

Muc. de grano fino	Fe octaédrico		Fe interlaminares		Fe <sub>oct</sub> /Fe <sub>tot</sub>
	Σ	%	Σ	%	
La Herradura	0,88	0,12	0,40	0,06	2,20
Salobreña	1,08	0,16	0,35	0,07	3,09
<b>Filitas</b>					
Hozas	1,12	0,17	0,61	0,17	1,64
Murtas	1,15	0,22	0,70	0,23	1,64
C. Molril	1,14	0,28	0,63	0,21	1,81
Gorgoracha	1,26	0,28	0,76	0,23	1,66
Micasquistos (retromet.)	1,77	0,27	1,13	0,29	1,57
<b>Filitocilitas</b>					
Murtas	1,06	0,20	0,51	0,15	2,08
Alcázar	1,21	0,17	0,64	0,18	1,89
<b>TOTAL</b> (n=111)	1,19	0,28	0,67	0,25	1,78

TABLA 5  
Coeficientes de correlación de los factores determinantes del contenido en Fe con la distribución del mismo

	Fe octaédrico	Fe interlaminares
Temperatura (parámetros de las micas)	$\left\{ \begin{array}{l} b_0 \\ M-P \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,878 \\ 0,614 \end{array} \right.$
Composición química	$\frac{MgO}{FMAKN}$	-0,297
	$\frac{FeO+MnO}{FMAKN}$	0,651
	$\frac{FeO}{FMAKN}$	0,648
	$\frac{Fe_2O_3}{FMAKN}$	0,341
	$\frac{FeO+Fe_2O_3+MnO}{FMAKN}$	0,719

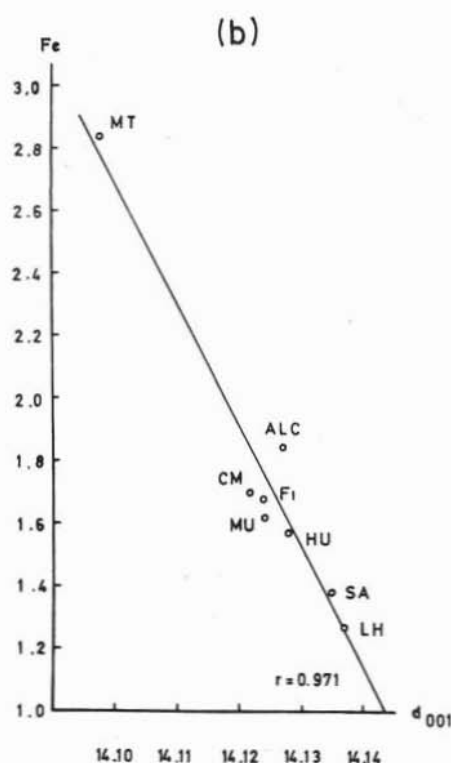
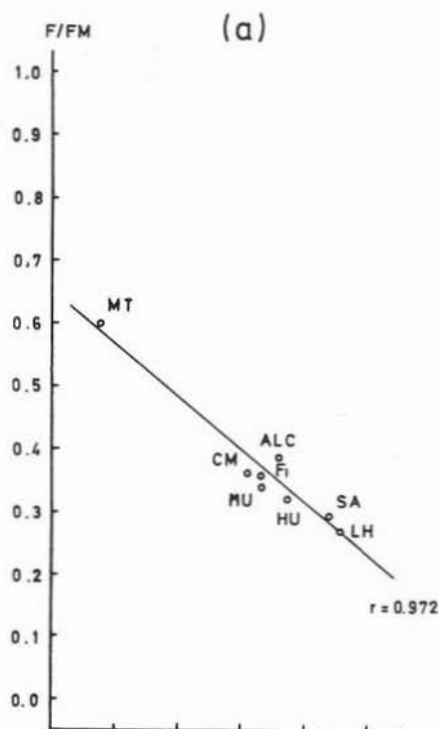


Fig. 5. — Relación entre  $d_{001}$  y  $F/FM$  (Complejo Alpujarride).

TABLA 6  
Fórmulas estructurales  
de la cloritas analizadas

	Si	Al <sup>IV</sup>	Mg	Fe	Al <sup>VI</sup>	Mn
GW-136***	2,51	1,49	4,26	0,86	0,88	0,00
CH-46	2,72	1,28	4,30	0,78	0,92	0,00
CH-33-H	2,48	1,52	2,54	2,20	1,25	0,01
GW-98	2,60	1,40	3,27	1,54	1,18	0,01
C-773	2,47	1,53	3,71	1,36	0,94	0,00
GW-122'	2,58	1,42	3,25	1,69	1,06	0,00
C-162	2,42	1,58	3,78	1,38	0,82	0,01
C-13	2,47	1,53	3,19	1,79	1,00	0,02
$\bar{x}$	2,53	1,47	3,56	1,45	1,01	0,01
$\sigma_x$	0,09	0,09	0,55	0,44	0,14	0,01

obstante, éste no se reparte proporcionalmente entre ambas capas. Así, mientras el valor de Al<sup>VI</sup> depende en gran medida del contenido total en Al, el Al<sup>IV</sup> es prácticamente independiente de este valor.

En la fig. 6 se observa la existencia de cuatro grupos de composiciones claramente individualizadas. Las diferencias vienen marcadas fundamentalmente por la relación  $F/FM$ , si bien se observa una ligera tendencia en el Al<sup>VI</sup> a incrementarse conforme es mayor  $F/FM$ .

Ante la disyuntiva de explicar esta diferenciación en grupos por diferencias, bien en la composición química global de la roca o bien en las variables termodinámicas intensivas del metamorfismo, se estimó necesario realizar análisis químicos de roca global, ya que en principio estos cuatro grupos no parecen responder a diferentes fases metamórficas o conjuntos de condiciones de formación.

Por tanto, se han seleccionado muestras correspondientes a cada uno de los grupos de la fig. 6, y se han llevado a cabo análisis de roca total (tabla 8).

Entre los diagramas correspondientes a clorita y roca total (fig. 7), se observa una

TABLA 7  
Relaciones entre los diferentes parámetros  
químicos de la clorita

$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{z}$	$\bar{a}$	$\bar{b}$
Al <sup>IV</sup>	Al <sup>VI</sup>	0,462	0,7924	1,312
Al <sup>IV</sup>	Fe	-0,135	-0,2076	1,311
Al <sup>IV</sup>	Mg	0,444	2,1618	-1,726
Al <sup>IV</sup>	F/FM	-0,326	-1,9947	6,467
Al <sup>VI</sup>	Al <sup>VI</sup>	0,421	0,4403	-0,355
Al <sup>VI</sup>	Fe	0,816	0,7309	-0,803
Al <sup>VI</sup>	Mg	0,917	3,5982	-4,981
Al <sup>VI</sup>	F/FM	-0,938	-3,3480	11,823
Al <sup>VI</sup>	Fe	0,933	0,5693	-1,117
Al <sup>VI</sup>	Mg	0,735	3,3260	-0,891
Al <sup>VI</sup>	F/FM	-0,836	-3,3324	6,890
Al <sup>VI</sup>	Mg	0,769	0,5238	-0,235
Al <sup>VI</sup>	F/FM	-0,986	-1,2415	5,337

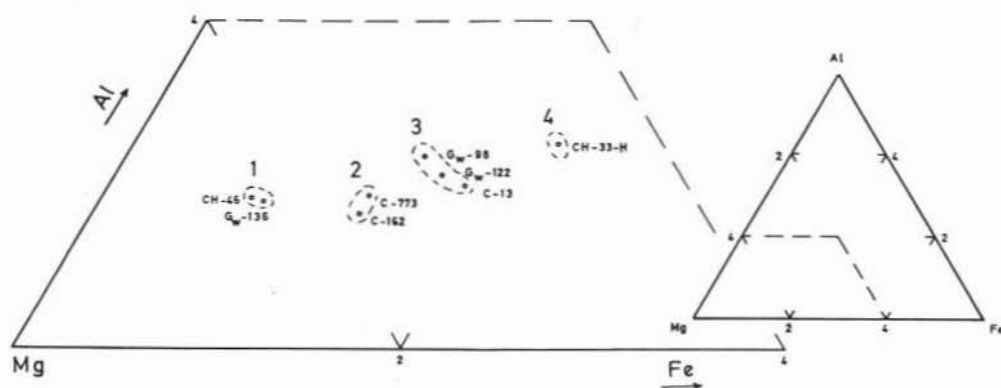


Fig. 6. — Relación entre Al<sup>3+</sup>, Mg y Fe para las cloritas analizadas en el Complejo Nevado-Filábride.

analogía general, lo que no excluye ciertas matizaciones que es necesario señalar. Así los cuatro grupos de composiciones de cloritas de la fig. 6, responden en realidad sólo a tres grupos de composiciones de roca total, de forma que las rocas correspondientes a los grupos 2 y 3 de cloritas, tienen composiciones extraordinariamente semejantes.

Por otra parte, la distribución de composiciones en el diagrama es muy parecida para el caso de cloritas y el de roca total, sobre todo en lo referente a la relación F/FM. Es decir, salvo el caso de los grupos 2 y 3, las diferencias en el parámetro F/FM de la clorita parecen ser consecuencia de diferencias en la composición de la roca. En el caso del Al estas diferencias parecen tener una influencia mucho menor sobre la composición de la clorita, que en lo referente a este elemento es mucho más homogénea.

La fig. 8 recoge la relación del parámetro F/FM de la clorita con FeO/FeO + MgO de la roca, y da la clave sobre el desdoblamiento del grupo central de composiciones de roca en los grupos 2 y 3 de composiciones de clorita. Las tres muestras de estos grupos, que han sido analizadas, presentan composiciones de roca muy semejantes. Sin embargo, las muestras GW-122 y GW-98 presentan razones F/FM de la clorita anormalmente altas respecto al valor previsible a partir de la composición de la roca. La clorita en estas dos rocas es claramente tardía y puede ser relacionada con la tercera fase de metamorfismo de GÓMEZ-PUGNAIRE (1981) (facies de los esquistos verdes). Las otras tres muestras corresponden, en cambio,

a la segunda fase de metamorfismo (según GÓMEZ-PUGNAIRE, op. cit.) y no han sido reequilibradas posteriormente, habiéndose formado por tanto, a mayor temperatura que las anteriores. Como se indica en la fig. 8, la línea que une estas tres muestras podría separar diferentes fases de metamorfismo.

Por tanto, si bien la composición de la

TABLA 8  
Análisis de roca total

	GW-136 <sup>(x)</sup>	CH-33-H	GW-98	C-772	GW-122 <sup>*</sup>
Si O <sub>2</sub>	47,60	46,63	43,16	48,16	79,58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,92	18,27	17,58	16,24	7,12
MgO	6,15	3,27	8,37	9,15	3,45
FeO	3,88	9,75	6,97	6,17	2,68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,10	5,99	6,20	2,63	1,56
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,13	0,14	0,10	0,04
CaO	9,50	11,92	9,82	7,54	0,55
K <sub>2</sub> O	0,44	0,26	0,82	0,45	0,22
Na <sub>2</sub> O	4,18	0,88	2,44	2,94	1,70
TiO <sub>2</sub>	1,38	1,16	1,19	0,55	0,63
P. C.-2	3,22	2,71	3,06	3,19	2,28
TOTAL	99,44	100,97	99,75	99,12	99,81

(x) Datos tomados de Gómez-Pugnaire (1981)

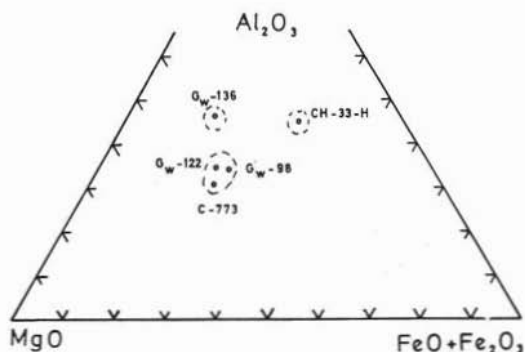


Fig. 7. — Diagrama representativo de las relaciones de Al, Fe y Mg, correspondiente a los análisis de la roca total (porcentajes moleculares).

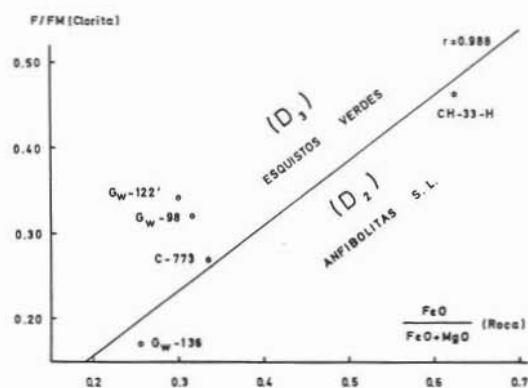


Fig. 8. — Relación entre el parámetro  $F/FM$  de la clorita y  $FeO/FeO + MgO$  de la roca (Complejo Nevado-Filábride).

roca es el principal factor determinante de la composición de la clorita, el grado metamórfico constituye un segundo factor que modifica sustancialmente la composición previsible, a partir del primero, de forma que las  $T$  más altas determinan relaciones de  $F/FM$  más bajas.

### Conclusiones comunes a los Complejos Alpujárride y Nevado-Filábride

Los estudios llevados a cabo sobre dos complejos de características tectónicas y evolución metamórfica tan diferente han permitido, no obstante, alcanzar conclusiones semejantes, comparables entre sí y extrapolables, pues a otras áreas metamórficas.

En ambos complejos se ha llegado a la conclusión de que el parámetro  $F/FM$  de la clorita se encuentra determinado fundamentalmente por la composición química de la roca en la que la misma se ha formado, coincidiendo así con lo establecido hasta el momento en la bibliografía (HORIKOSHI, 1965; KAWACHI, 1974, 1975; ERNST, 1976; ERNST y DAL PIAZ, 1978; entre otros). No obstante, la temperatura de formación se revela como un segundo factor modificador del valor teórico predecible a partir de la composición química. Así, el grado metamórfico jugaría, también, un papel fundamental en la composición de las cloritas, de forma que éstas se hacen más magnéticas conforme aumenta la temperatura y más ferríferas conforme disminuye aquélla. En la fig. 9 se recogen las rectas de regresión obtenidas para el Com-

plejo Alpujárride (fig. 1) y la fase  $D_2$  del Complejo Nevado-Filábride (fig. 8) así como el punto medio de los correspondientes a las cloritas de la fase  $D_3$  de este último complejo. Las rectas responden a las siguientes ecuaciones de regresión:

$$F_2 = \frac{FeO + MnO}{FeO + MnO + MgO}$$

#### Complejo Nevado-Filábride

(Fase  $D_2$ . Facies de anfibolitas S. Lat.):

$$F/FM = 0,753 F_2 - 0,01$$

#### Complejo Alpujárride:

$$F/FM = 0,802 F_2 + 0,06$$

La fase  $D_3$  del Complejo Nevado-Filábride se encuentra muy próxima en la gráfica a las posiciones correspondientes a las filitas alpujárrides (*ALC* y *MU*). Por tanto, la recta de regresión correspondiente al Complejo Alpujárride puede ser representativa de las condiciones de la facies de esquistos verdes, común a estas últimas y a la fase  $D_3$  del Complejo Nevado-Filábride.

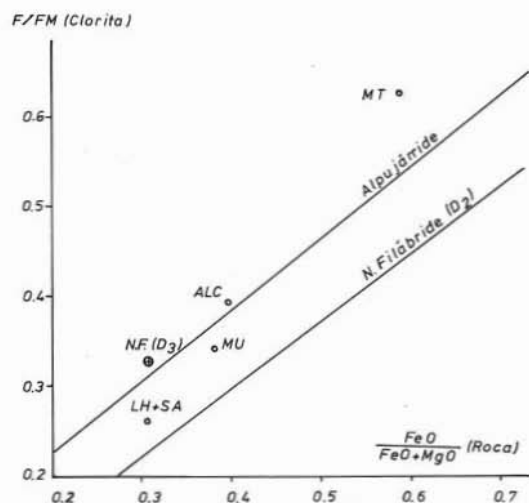


Fig. 9. — Relación entre composición química de la roca y de la clorita para las diferentes fases, Complejos y Unidades estudiados. *N.F. (D<sub>3</sub>)* = Fase  $D_3$  del Complejo Nevado-Filábride; *LH+SA* = Fase  $D_2$  de los micaesquistos de grano fino de los mantos de La Herradura y Salobreña; *Mu* = Fase  $D_2$  de las filitas del manto de Murtas; *ALC* = Idem, manto de Alcázar; *MT* = cloritas de retrometamorfismo de los micaesquistos alpujárrides.



Si bien esta figura no puede considerarse más que como una aproximación a la realidad, y sería necesario contar con más número de medidas y muestras correspondientes a una gama más amplia de temperaturas para poder cuantizar cuidadosamente la relación entre grado metamórfico y posición en la gráfica, la medida de la relación entre  $F/FM$  de la clorita y  $FeO/FeO+MgO$  de la roca se revela como un importante instrumento de trabajo, que puede permitir conocer con cierta aproximación, la temperatura media de una determinada formación o fase meta-

mórfica. Las dos rectas de regresión recogidas en la fig. 9 pueden considerarse como líneas isotermas, y constituir el esqueleto básico para el trazado de otras nuevas.

*Agradecimientos.* — Los estudios recogidos en este trabajo se han podido llevar a cabo gracias a la estrecha colaboración y orientación de FLORENCIO ALDAYA, en el Complejo Alpujárride, y de M<sup>a</sup> TERESA GÓMEZ-PUGNARIE en el Nevado-Filábride. Son también suyas la mayoría de las muestras estudiadas. A ellos, pues, nuestro más sincero agradecimiento por su labor en la investigación de la geología de las Cordilleras Béticas.

## BIBLIOGRAFIA

- ERNST W.G. (1976) - *Mineral chemistry of eclogites and related rocks from the Voltri Group, Western Liguria, Italy*. Schweiz Mineral. Petrog. Mitt., vol. 56, p. 293-343.
- ERNST W.G. y DAL PIAZ G.V. (1978) - *Mineral parageneses of eclogitic rocks and related mafic schist of the Piemonte ophiolite nappè, Breuil-St. Jacques area, Italian Western Alps*. Am. Mineral., vol. 63, p. 621-640.
- GOMEZ-PUGNAIRE M.T. (1981) - *Evolución del metamorfismo alpino en el Complejo Nevado-Filábride de la Sierra de Baza (Cordilleras Béticas, España)*. Tecniterre, vol. 41, 130 pp..
- HORIKOSHI E. (1965) - *Chlorite from Sambagawa schists*. Journal of the geological society of Japan, vol. 71, p. 419-424.
- KAWACHI (1974) - *Geology and petrochemistry of weakly metamorphosed rocks in the upper Wakatipu district, South Island, New Zealand*. N.Z. Journal of Geology and Geophysics, vol. 17, p. 169-208.
- KAWACHI Y. (1975) - *Pumpellite-actinolite and contiguous facies metamorphism in part of upper Wakatipu district, South Island, New Zealand*. N.Z. J. Geol. Geoph., vol. 18, p. 401-441.
- MARTIN RAMOS J.D. y RODRIGUEZ GALLEGO M. (1976) - *Barometría y termometría geológica mediante parámetros cristalográficos de micas. (Aplicación a la Cordillera Bética)*. Reunión sobre la geodinámica de la Cordillera Bética y Mar de Alborán, Granada, p. 115-124.
- SASSI F.P., SCOLARI A., BOCQUET J. y DAL PIAZ G.V. (1974) - *L'utilité de la mesure de  $b_0$  des micas blancs potassiques dans l'étude des ensembles métamorphiques. Application aux Alpes Occidentales*. Bull. Soc. Géol. Fr., vol. 7/16, p. 247 abstract.
- VELDE B. (1967) -  *$Si^{++}$  content of natural phengites*. Contr. Min. Petrol., vol. 14, p. 250-258.