

LAS TURMALINITAS ESTRATIFORMES ORDOVICICAS DE LATEDO EN EL FLANCO S DEL SINFORME DE ALCAÑICES (ZAMORA)

A. Fernández Fernández * y M. C. Moro Benito *

RESUMEN

En este trabajo se realiza un estudio geológico, mineralógico y químico del nivel de turmalinitas interestratificado en los materiales volcanosedimentarios de la Formación Cabeza de las Viñas, de edad Ordovícico Inferior, en el flanco S del Sinforme de Alcañices (Zamora). La turmalina que constituye aproximadamente el 70 % de la roca total ha sido estudiada microscópicamente y analizada por M. E. y análisis químico. Los resultados obtenidos indican que estas turmalinas pertenecen a la serie chorlo-dravita. Además, el análisis texto-estructural de esta roca, prácticamente monomineral, sugiere que la turmalina se formó por el metamorfismo de sedimentos pelíticos enriquecidos en B, durante o con posterioridad a la fase I de la deformación hercínica. Por último, para este B se propone un origen exhalativo-hidrotermal, en relación con los procesos de naturaleza volcánica existentes en la zona.

Palabras clave: *Turmalinitas estratiformes, mineralogía, geoquímica, exhalativo-hidrotermal, metabasaltos.*

ABSTRACT

The interstratified tourmalinites found within the volcanosedimentary levels of the «Cabeza de las Viñas» Formation (Lower Ordovician, Southern limb of the Alcañices Synform, Zamora) have been studied from the geological mineralogical and chemical points of view. The tourmalinites, that add up to 70 % of the whole rock, have been studied under the petrographic microscope and analyzed by means of the microprobe and wet chemistry. Results obtained indicate that the tourmalines belong to the schorlite-dravite series. Also text-to-structural analysis of this nearly monomineralic rocks suggest that the tourmaline resulted of the metamorphism of pelitic sediment enriched in boron during or post the first main phase of Hercynian deformation. The origin of the Boron is attributed to exhalative-hydrothermal processes, associated to the volcanism of the region.

Key Words: *Stratiform tourmalinites, mineralogy, geochemistry, exhalative-hydrothermal, metabasalt.*

Introducción

Las turmalinitas estratiformes de Latedo fueron reconocidas por primera vez, durante los trabajos de campo realizados en dicha zona del flanco S del Sinforme de Alcañices, con motivo del estudio geológico y metalogénico de las mineralizaciones sedimentarias de Fe ordovícicas (Fernández, 1989) (figs. 1a y 1b). Posteriormente, en los trabajos cartográficos realizados en todo el flanco S del Sinforme no han sido identificadas de nuevo, ni tampoco el nivel de metabasaltos cartografiado a muro del nivel de tur-

malinitas en la zona de Latedo. Todo ello hace pensar en una relación espacial y probablemente genética entre estos dos niveles (Fernández y Moro, 1991c).

Por otra parte, niveles de esta naturaleza han sido citados en muchas partes del mundo, asociados frecuentemente a yacimientos de sulfuros masivos (Taylor y Slack, 1984; Plimer, 1988). No obstante, aunque la zona de Latedo; en la provincia de Zamora, presenta las características geológicas adecuadas para la existencia de estas mineralizaciones, todavía no han sido reconocidas.

* Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. 37008 Salamanca.

Situación y contexto geológico

El nivel de turmalinitas que se describe en este trabajo está situado en la región Centro-occidental de la provincia de Zamora, que coincide con la megaes-

tructura de replegamiento hercínico denominada Sinforme de Alcañices (Martínez García, 1971; Vacas y Martínez Catalán, 1987). Geológicamente, esta región se sitúa en el sector N de la Zona Centro-Ibérica de Julivert *et al.* (1972) y está limitada al S por

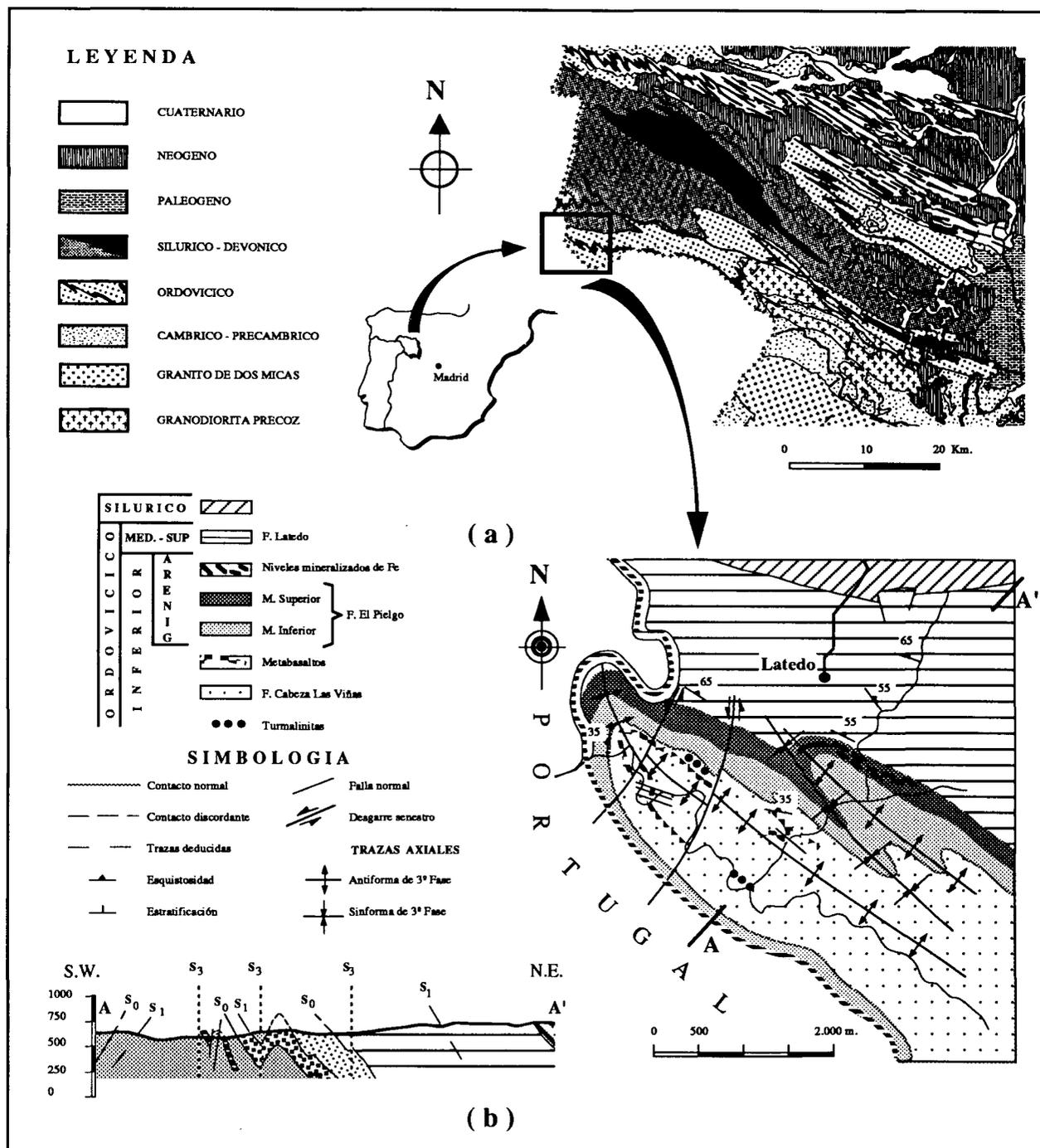


Fig. 1.—a) Esquema geológico regional y situación de la zona de estudio, adaptado de Martínez García (1973) y Quiroga (1981). b) Mapa geológico de la zona de Latedo (Fernández, 1989).

la antiforma de Villadepera (Quiroga, 1981, 1982) y al N por la del Olo del Sapo que separa la zona Asturoccidental-Leonesa de la Centro-Ibérica (Martínez-García, 1971, 1973) (fig. 1a).

Esta región se caracteriza por la presencia de un zócalo néisico de edad probablemente Precámbrico-Cámbrico, un Ordovícico muy desarrollado donde están encajadas las turmalinitas estratiformes y al que le faltan, en ocasiones, los términos finales. Un Silúrico y Devónico inferior de naturaleza volcano-sedimentaria y, por último, los materiales del Devónico superior y Carbonífero inferior (Antona, 1989) con características flyschoides, que constituyen la denominada Formación San Vitero (Martínez García, 1971). Todo este conjunto fue afectado por las tres fases de deformación hercínicas y por la fase de fracturación tardihercínica (Quiroga, 1981, 1982; Vacas y Martínez Catalán, 1987).

Los materiales ordovícicos del Sinforme han sido descritos en distintos sectores del mismo por Martínez García (1973), Quiroga (1981), Vacas y Martí-

nez Catalán (1987) y Fernández (1989). La terminología utilizada es tan variada que hace aconsejable efectuar una correlación esquemática entre las distintas series estratigráficas aportadas por los autores citados (tabla 1). Por otra parte, las principales características litoestratigráficas de la serie establecida por Fernández (1989) en el sector estudiado se resumen igualmente (tabla 2), dado que es en esta serie donde se encuentran encajadas las turmalinitas estratiformes.

Otras características importantes del Ordovícico es la presencia, en el miembro medio de la Formación Cabeza de las Viñas, de rocas volcánicas básicas interestratificadas (Fernández y Moro, 1992). Finalmente, los materiales ordovícicos del Sinforme de Alcañices se caracterizan además por la presencia de mineralizaciones sedimentarias de Fe (Fernández, 1989; Fernández y Moro, 1991a y b y Montero, 1991), situadas en el miembro superior de la Formación Cuarcitas de Pielgo (Arenig), posición estratigráfica similar a la de las descritas por otros autores en los materiales ordovícicos de la Península Ibérica.

Tabla 1.—Esquema comparativo de los materiales ordovícicos en el Sinforme de Alcañices.

O R D O V I C O	Martínez García (1973)		Quiroga (1981)	Vacas y Mtez. Catalán (1987)	Fernández (1989)
	F. San Pedro de las Herrerías	Tramo 3 (Caradoc Llandoverly)	?	F. Campillo (Caradoc-Ashgill)	?
		Tramos 1 y 2 (Llanvirn Llandeilo)	Esquistos y Pizarras de Riofrío (Llandeilo)	F. Villafior (Llanvirn Llandeilo)	F. Latedo (Llanvirn Llandeilo)
	F. Culebra (Arenig)		Cuarcitas Superiores de Ricobayo (Arenig)	F. Peña Gorda (Arenig)	F. Cuarcitas del Pielgo (Arenig)
	F. Puebla (Ordovícico inferior)		Capas de Cerezal (Ordovícico inferior)	F. Santa Eufemia (Tremadoc-Arenig)	F. Cabeza de las Viñas (Ordovícico inferior)

Tabla 2.—Principales características litoestratigráficas del Ordovícico en la zona de estudio (Fernández, 1989).

Formaciones	Miembros	Litología	Potencia (m)		Edad
F. Latedo		Pizarras grises-azuladas monótonas	1.050		Llanvirn-Llandeilo
F. Cuarcitas del Pielgo	M. superior	Cuarcitas micáceas con intercalaciones de esquistos	400	250	Arenig
	M. inferior	Cuarcitas masivas en bancos		150	
F. Cabeza de las Viñas	M. superior	Micaesquistos y cuarcitas micáceas alternantes	300	60	Ordovícico inferior
	M. medio	Metabasaltos, esquistos y turmalinitas		25	
	M. inferior	Esquistos, cuarcitas y cuarcitas micáceas alternantes		200	

Las turmalinitas estratiformes

Las turmalinitas estratiformes de Latedo constituyen un nivel de aproximadamente 3 m de potencia y 1 km de longitud que se encuentra interestratificado en el miembro medio de la Formación Cabeza de las Viñas. Los afloramientos de este nivel han sido reconocidos en los parajes denominados Cabeza de las Viñas, junto al río Arbedal. Todos ellos muestran una concordancia neta con las rocas encajantes y siguen la traza del pliegue anticlinal de la fase III que dibujan los materiales de la zona (fig. 1b).

Las rocas encajantes

Las rocas encajantes del nivel de turmalinitas corresponden a una alternancia de esquistos cloríticos-moscovíticos y cuarcitas micáceas situadas a techo de los metabasaltos de Latedo (fig. 2a). Estas rocas esquistosas presentan una estructura compacta bandeada debido a la alternancia de lechos y lenticiones fundamentalmente silíceos con otros más micáceos. En estos últimos, las orientaciones de las micas definen la esquistosidad de flujo (S_1), que a su vez se presenta crenulada, dando la (S_3). Los lechos silíceos en algunos casos constituyen verdaderos niveles cuarcíticos. Mineralógicamente estas rocas están constituidas fundamentalmente por cuarzo, micas blancas (moscovita e illita) y clorita. Como accesorios presentan rutilo, ilmenita, óxidos de Fe, turmalina y circón. Las cuarcitas micáceas presentan una coloración negruzca debido a los altos contenidos en materia carbonosa. Están constituidas esencialmente por cuarzo y moscovita y, como minerales accesorios, presentan clorita, biotita, turmalina, cir-

cón, rutilo y apatito. También son abundantes los óxidos de Fe que proceden probablemente de la alteración de la biotita y de la clorita.

En conjunto, la Formación Cabeza de las Viñas, corresponde a una secuencia metasedimentaria depositada en un medio marino poco profundo, afectada por dos fases de deformación hercínicas y un metamorfismo regional de grado muy bajo a bajo, que abarca la zona de la clorita y parte de la de la biotita. La primera fase de deformación dio lugar a la esquistosidad de flujo (S_1) y la segunda, correspondiente a la fase III hercínica, a la gran antiformalidad de plano axial subvertical (fig. 1b) y a una esquistosidad de crenulación (S_3) paralela a dicho plano, observables ambas en el área.

Para caracterizar geoquímicamente estas litologías se efectuó el análisis químico de nueve muestras situadas a techo y a muro de las turmalinitas (fig. 2b, tabla 3). De los resultados obtenidos, cabe destacar, respecto a los elementos mayores, las variaciones en los contenidos en SiO_2 , Al_2O_3 y álcalis que reflejan la naturaleza más cuarcítica o más micácea de las muestras analizadas. De los elementos traza señalar los valores anómalos en Cr, Ni, Ba, Zr, Zn, Sr y V que presentan la mayoría de las muestras.

Por otra parte, si los contenidos en Al_2O_3 y SiO_2 se representan en un diagrama binario (fig. 3) se observa que existe entre ellos una correlación negativa, lo que significa la presencia de una fase silícea constituida fundamentalmente por cuarzo y otra aluminosa de naturaleza filosilicatada que, como puede verse en el diagrama K_2O frente a Al_2O_3 , corresponde fundamentalmente a micas blancas (illita-moscovita) (fig. 4). El K_2O es el constituyente principal que está ligado a la fracción aluminosa. No obstante, la representación del diagrama ternario Al_2O_3 ,

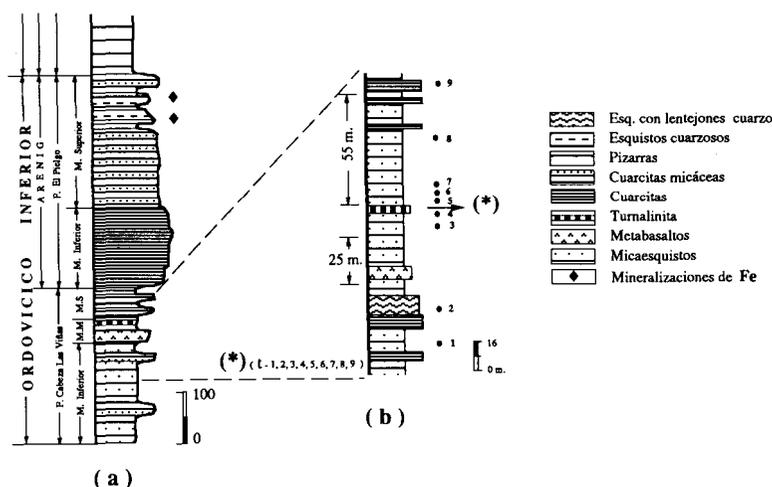


Fig. 2.—Columna estratigráfica general (a) y detallada (b) de las rocas encajantes de las turmalinitas de Latedo.

Tabla 3.—Composición química de las rocas encajantes de las turmalinitas.

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mayores (%)									
SiO ₂	60,07	67,08	66,01	63,01	62,15	60,02	58,82	57,28	74,02
TiO ₂	1,07	1,05	0,96	1,01	0,76	1,07	1,06	1,08	0,73
Al ₂ O ₃	18,95	15,80	16,35	17,85	18,88	19,74	19,05	21,04	12,67
Fe ₂ O ₃	6,13	4,61	5,22	6,31	5,82	6,12	6,29	5,94	2,82
MgO.....	1,47	1,07	1,15	1,60	1,39	1,26	1,23	1,33	0,90
MnO.....	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,03	0,04	0,02	0,05
CaO.....	0,12	0,09	0,23	0,09	0,04	0,08	0,16	0,23	1,31
Na ₂ O.....	1,25	0,87	1,04	0,96	0,16	1,03	1,89	1,25	1,34
K ₂ O.....	5,65	5,01	3,60	4,86	4,97	4,83	5,03	5,39	2,54
P ₂ O ₅	0,03	0,03	0,07	0,03	0,17	0,13	0,14	0,10	0,06
M.V.....	5,14	4,33	5,04	4,23	4,96	5,65	6,17	6,01	3,14
C.org (%).....									
	—	—	0,248	0,343	0,596	—	—	—	—
Traza (ppm)									
Cr.....	91	136	85	74	113	125	91	113	147
Ni.....	50	25	38	19	44	63	63	44	50
Ba.....	1.011	1.187	848	757	1.130	1.379	1.226	1.090	831
Cu.....	12	8	15	8	18	27	23	21	7
Zr.....	265	640	570	230	385	390	375	285	650
Zn.....	95	60	85	65	465	155	110	115	40
Sr.....	90	65	95	60	155	170	155	180	520
V.....	140	125	105	110	145	155	135	155	85
Y.....	28	24	31	19	37	37	29	29	26
Nb.....	30	30	30	30	24	30	30	18	12
F.....	—	—	490	523	471	—	—	—	—
Cl.....	—	—	21	44	31	—	—	—	—

Fe₂O₃ * + MgO y K₂O + Na₂O + CaO de los contenidos en estos óxidos corrobora que la fase aluminosa corresponde fundamentalmente a illita (fig. 5).

El nivel de turmalinitas

Características texto-estructurales y mineralógicas

A escala de afloramiento y en muestra de mano esta roca, mayoritariamente monomineral, presenta una coloración negruzca, brillante, un tamaño de grano fino y una estructura pizarrosa. Al microscopio, se observa una textura bandeada, granonematoblástica, debido a la alternancia de lechos más cuarzosos con otros más pelíticos constituidos esencialmente por turmalina, cuarzo y moscovita, y biotita, rutilo, ilmenita, clorita y óxidos de Fe como minerales accesorios y secundarios respectivamente (fig. 6a). En estos lechos la orientación de la moscovita, la concentración de la materia carbonosa y el estiramiento de los granos de cuarzo marcan la esquistosidad de flujo (S₁), que en determinados puntos se encuentra crenulada (S₃) por la fase III de deformación.

La turmalina se presenta en cristales idiomorfos y subidiomorfos, con un tamaño medio de 63 μm en sección basal y de 229 μm en sección longitudinal. Presentan abundantes texturas zonadas y poiquiloblásticas (fig. 6b) y constituyen aproximadamente el 70 % de la roca total. Estos cristales, por las relacio-

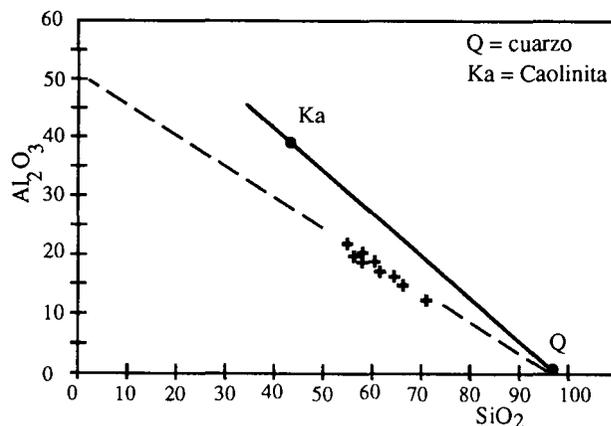
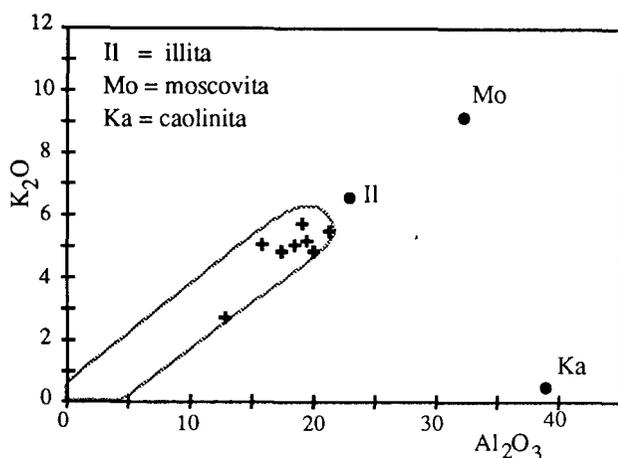
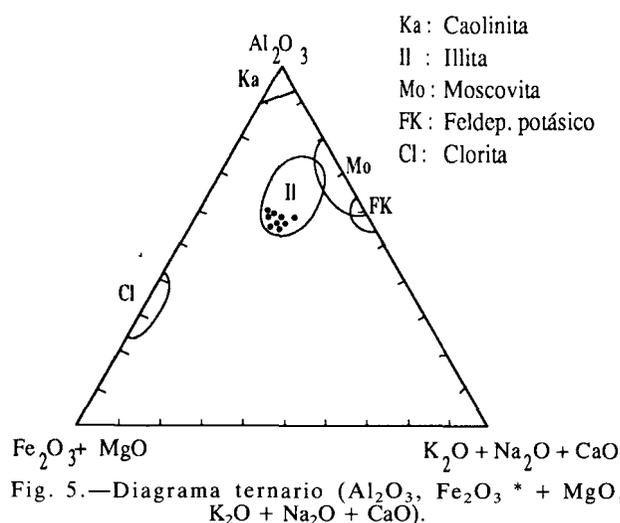


Fig. 3.—Diagrama binario de Al₂O₃ en función de SiO₂.

Fig. 4.—Diagrama binario de K₂O en función de Al₂O₃.Fig. 5.—Diagrama ternario (Al₂O₃, Fe₂O₃ + MgO, K₂O + Na₂O + CaO).

nes texturales que presentan, parece que se han formado durante o con posterioridad a la fase I de deformación hercínica que afectó a los materiales del área.

La ilmenita, al igual que el rutilo, se presenta de forma accesoria, en cristales idiomorfos o subidiomorfos, con un tamaño medio que oscila entre 562 y 112 μm de longitud, siendo los del tamaño 325 y 137 μm los más frecuentes. Estos cristales se disponen oblicuos a la esquistosidad principal de la roca (S₁), o bien paralelos a la misma (fig. 6a). En ambos casos, dichos cristales parecen haberse formado con anterioridad a la fase I de deformación hercínica.

Características químicas y geoquímicas

La caracterización química de la turmalina se ha realizado por microsonda electrónica (CAMEBAX SX 50) (tabla 4) y por el análisis químico de tres muestras de cristales de turmalina concentrados de la roca total (tabla 5). Los resultados son muy similares y únicamente cabe destacar las diferencias observables por microsonda electrónica respecto a los contenidos en MgO y en Fe₂O₃ y TiO₂ del núcleo y el borde de los cristales. Esta zonación química puede explicar el zonado óptico que presentan los cristales de turmalina (fig. 6b).

Tabla 4.—Análisis químico de las turmalinas por M. E. (C: centro; B: borde).

Muestras	t-4					t-5						
	Puntos	1-C	1-B	2-C	2-B	3-B	1-C	3-C	3-B	5-C	6-C	6-B
SiO ₂	35,841	35,915	35,624	36,184	34,998	35,356	35,628	36,034	36,410	50,465	36,295	
TiO ₂	0,182	0,589	0,407	1,003	1,160	0,440	1,702	1,179	0,575	0,434	0,530	
Al ₂ O ₃	33,132	32,779	30,841	32,036	31,025	31,603	29,793	30,241	30,464	25,416	31,550	
B ₂ O ₃ *	9,430	8,980	10,330	9,330	10,360	12,570	10,517	11,502	11,030	6,182	11,520	
FeO	9,623	9,995	10,446	9,758	10,464	9,811	10,858	10,226	10,095	7,854	9,535	
MgO	4,818	4,690	5,185	4,766	4,650	4,296	4,587	4,542	4,987	3,845	4,482	
MnO	—	—	—	—	—	0,000	0,058	0,000	0,027	0,038	0,021	
CaO	0,660	0,757	1,057	0,753	0,981	0,520	0,890	0,659	0,806	0,449	0,553	
Na ₂ O	1,868	1,853	1,860	1,899	1,915	1,540	1,608	1,658	1,621	1,358	1,576	
K ₂ O	0,370	0,020	0,000	0,000	0	0,040	0,015	0,016	0,016	0,000	0,000	
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	0,000	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000	
Cr ₂ O ₃	0,166	0,107	0,000	0,026	0,196	0,049	0,076	0,025	0,000	0,041	0,098	
V ₂ O ₃	—	—	—	—	—	0,025	0,160	0,061	0,006	0,041	0,050	
CoO	—	—	—	—	—	0,000	0,088	0,000	0,000	0,000	0,000	
NiO	—	0,089	—	—	0,006	0,000	0,134	0,000	0,090	0,000	0,016	
CuO	—	—	—	—	—	0,168	0,253	0,099	0,196	0,213	0,114	
ZnO	—	—	—	—	—	0,630	0,667	0,749	0,732	0,724	0,677	
BaO	—	—	—	—	—	0,000	0,000	0,028	0,003	0,000	0,041	

B₂O₃ *: Contenido estimado.

Tabla 5.—Composición química de las turmalinitas.
(Roca total: t-1, t-2 y t-3)
(Concentrado de turmalinas: t-4, t-5 y t-6)

Muest. (%)	t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6
SiO ₂	54,86	45,24	54,72	38,57	35,95	38,60
TiO ₂	1,15	1,43	1,05	0,95	2,77	3,26
Al ₂ O ₃	24,63	33,05	26,95	25,69	34,16	29,83
Fe ₂ O ₃	5,10	5,18	4,66	9,07	10,42	9,96
MgO	1,55	1,73	1,39	4,05	3,57	3,54
MnO	0,03	0,04	0,04	0,04	0,10	0,14
CaO	0,07	0,07	0,08	0,63	0,34	0,30
Na ₂ O	0,29	0,69	0,30	1,70	1,42	1,58
K ₂ O	4,80	4,86	4,04	0,45	0,78	0,53
P ₂ O ₅	0,08	0,03	0,07	0,05	0,05	0,06
M. V.	4,19	4,25	4,78	4,03	2,76	2,80
C.org %	1,35	0,791	0,892	—	—	—
(ppm)						
Cr	136	85	51	102	142	164
Ni	32	44	25	58	57	57
Ba	1.034	1.808	435	210	254	209
Cu	11	6	5	20	5	34
Zr	405	300	110	142	310	315
Zn	120	120	25	189	255	290
Sr	260	280	105	354	550	725
V	150	125	8	163	155	190
Y	30	33	10	41	32	22
Nb	36	30	24	6	30	49
F (%)	0,13	0,19	0,15	0,22	0,18	0,19
Cl (ppm)	122	24	31	53	69	103

Elementos mayores y traza determinados por espectroscopia ICP. El C mediante analizador elemental múltiple LECO, Cs-244 y el F y Cl por pirohidrólisis.

La representación de la composición de las turmalinas en los diagramas binarios de K₂O + Na₂O = f (Fe₂O₃ + MgO) y MgO = f (Fe₂O₃) muestran que en ambos casos se trata de una turmalina de la serie chorlo-dravita (fig. 7a y 7b).

Por otro lado, del estudio comparativo realizado entre la composición química de las turmalinas de Latedo, las turmalinas ígneas y las asociadas a yacimientos de sulfuros masivos (tabla 6), se deduce lo siguiente:

Respecto a las relaciones FeO/(FeO + MgO) y Na₂O/(Na₂O + K₂O) las turmalinas de Latedo presentan unos valores similares a las de origen ígneo y superiores a las asociadas con yacimientos de sulfuros masivos. Respecto a los contenidos medios de algunos de los elementos traza son destacables los contenidos altos en Cr, Ni, Cu, Zn y V de las turmalinas de Latedo con respecto a las ígneas y a las asociadas a sulfuros masivos. Por último, la relación F/Cl de las turmalinas de Latedo, es semejante al de las asociadas a sulfuros masivos. En consecuencia, se



Fig. 6a.—Aspecto microscópico del bandeado mineralógico que presentan las turmalinitas. Nótese igualmente la presencia de cristales de rutilo e ilmenita dispuestos paralelos y oblicuamente a la S₁ (LN × 63).

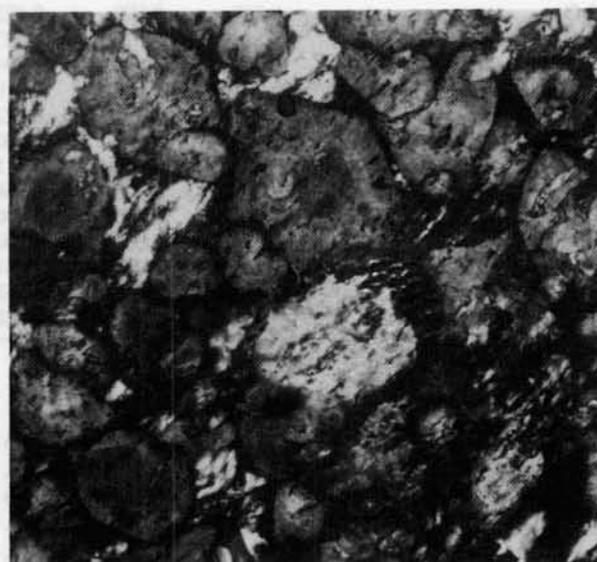


Fig. 6b.—Cristales idiomorfos o subidiomorfos de turmalina con abundantes texturas zonadas y poiquiloblásticas (LN×630).

puede afirmar que la composición química de las turmalinas de Latedo no muestra similitud con ninguno de los dos tipos de turmalinas considerados.

Por otra parte, la caracterización geoquímica de las turmalinitas se ha realizado a partir del análisis de 3 muestras de roca total. Los resultados están recogidos en la tabla 5, donde se observa que los contenidos en SiO₂ y en K₂O aumentan en la roca total con

Tabla 6.—Composición química media de turmalinas de distintos orígenes.

	Turmalinas de Latado	Sul. masivos (Taylor y Slack, 1984)	Granitos de Portugal (Neiva, 1974)	Granitos de Inglaterra (Power, 1968)
N.º de muestras	11	15	18	17
FeO/(FeO+MgO)	0,68	0,21	0,86	0,91
Na ₂ O/(Na ₂ O+CaO)	0,69	0,66	0,97	0,82
F/Cl	28,50	33,00	2,00	21,00
Cr	533	78	10	17
Ni	290	5	4	23
Cu	1.389	77	22	7
Zn	5.599	387	517	
V	387	195	4	28

Tabla 7.—Análisis químico por M.E. de la Ilmenita y el rutilo, minerales accesorios de las turmalinitas, y de la moscovita.

Mineral	Ilmenita				Rutilo		Moscovita	
	t-5				t-4		t-5	
	Puntos	Pto. 3A	Pto. 3B	Pto. 4-A	Pto. 6-A	Pto. 1	Pto. 2A	Pto. 2B
SiO ₂	0,126	0,407	0,044	0,003	4,487	0,476	0,194	45,197
TiO ₂	48,445	48,434	48,341	48,457	95,769	99,215	99,388	0,658
Al ₂ O ₃	0,145	0,307	0,000	0,072	0,030	0,176	0,041	31,062
FeO	43,041	43,224	43,358	43,205	0,200	0,167	0,231	4,138
MgO	0,017	0,000	0,022	0,018	0,046	0,000	0,000	0,877
MnO	3,588	3,376	3,593	3,838	0,000	0,000	0,000	0,065
CaO	0,000	0,000	0,004	0,000	0,088	0,242	0,151	0,019
Na ₂ O	0,047	0,012	0,019	0,000	0,000	0,000	0,010	0,168
K ₂ O	0,051	0,107	0,022	0,060	0,000	0,000	0,040	9,908
P ₂ O ₅	0,000	0,000	0,000	0,000	—	—	—	0,059
Cr ₂ O ₃	0,000	0,072	0,011	0,000	0,121	0,039	0,032	0,095
V ₂ O ₃	3,379	3,478	3,368	3,353	—	—	—	0,134
CoO	0,037	0,000	0,000	0,000	—	—	—	0,000
NiO	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CuO	0,215	0,085	0,131	0,061	—	—	—	0,124
ZnO	0,994	0,733	0,762	0,927	—	—	—	0,701
BaO	0,734	0,738	0,821	0,925	—	—	—	0,277

respecto a las turmalinas puras, dada la presencia abundante de cuarzo y micas blancas en este nivel, en cambio, los contenidos en Fe₂O₃, MgO y Na₂O disminuyen dado que están controlados mayoritariamente por la turmalina. Respecto a los elementos traza, se observan como más destacable contenidos anómalos en Ba dado que este elemento probablemente está controlado por los feldespatos y micas existentes en dicha roca.

La presencia de abundante materia carbonosa asociada al nivel de turmalinitas, como sugieren los contenidos elevados en C orgánico que presentan (tabla 3) y las identificaciones de abundante grafito al microscopio, sugieren unas condiciones reductoras para el medio de formación.

Igualmente, la ilmenita, el rutilo y la moscovita han sido analizados por microsonda electrónica. Los

resultados obtenidos se recogen en la (tabla 7). Respecto a las ilmenitas cabe señalar los contenidos elevados en MnO, V₂O₃, ZnO y BaO que presentan, siendo también destacables los de CuO. Por otra parte, cabe destacar que los contenidos altos en MnO frente a los de MgO que presentan son propios de ilmenitas asociadas a metapelitas. Además, por sí solos los contenidos altos en MnO son indicativos de la existencia en la zona de un metamorfismo regional de grado muy bajo a bajo, lejos de alcanzar la zona del granate, ya que el contenido en este óxido decrece con el aumento del grado de metamorfismo (Cassidy y Groves, 1988) y con la proporción de granate en la roca (Tracy, 1982). Por su parte el rutilo presenta valores relativamente altos en SiO₂, FeO* y Cr₂O₃, que pueden encontrarse como impurezas en la red del propio mineral. Por último, respecto a la

composición química de la moscovita cabe destacar igualmente los altos contenidos en ZnO y BaO, V_2O_5 y CuO.

Discusión de resultados y consideraciones genéticas

Las características texto-estructurales del nivel de turmalinitas descrito sugieren que este mineral se formó sin o postcinemáticamente con la F1. La ausencia de granitos sin o postcinemáticos en la zona descarta un origen metasomático de las turmalinitas. De acuerdo con Slack *et al.* (1984) la estructura bandeada que presenta este nivel es indicativa de una sedimentación primaria de estos materiales. Sin embargo, los cristales de turmalina se han originado por el metamorfismo regional desarrollado durante la fase I de deformación hercínica.

Respecto a la naturaleza del sedimento precursor de las turmalinitas, según Plimer (1988) puede ser de tres tipos: evaporítico con boratos y/o borosilicatos en su composición, sílico-arcilloso con altos contenidos en B o turmalinífero-silíceo. Para las turmalinitas de Latedo se descarta un sedimento de naturaleza evaporítica dado que no se han encontrado en la serie sedimentaria evidencias de una posible existencia de salmueras en la cuenca. Tampoco parece probable la de un sedimento silíceo-arcilloso, dado que el metamorfismo de un sedimento de esta naturaleza originaría una roca con un 4 % de turmalina como máximo (Plimer, 1988), y no un 70 % como en el caso estudiado, ya que una arcilla rica en B puede contener 2.000 ppm de este elemento en sustitución y unos 1.000 ppm adsorbidos (Harder, 1959; Stubican and Roy, 1962). No obstante, un trabajo experimental de estos dos últimos autores demuestra que una saponita férrico-magnésica rica en B constituye una excepción. Ahora bien, este mineral según las características geoquímicas de la serie encajante no ha sido identificado.

Por tanto, en función de los datos que se tienen en la actualidad y a la espera de realizar estudios de inclusiones fluidas y de isótopos en ellas, las turmalinitas de Latedo parecen corresponder al metamorfismo de un sedimento turmalinífero-silíceo primario rico en B y con cantidades variables de cuarzo y turmalina (Slack *et al.*, 1984; Plimer, 1988). Otra posibilidad que sugieren Ethier y Campbell (1977) es la que corresponde al metamorfismo de un gel rico en B. Esta segunda posibilidad no parece probable dado que según Taylor y Slack (1984) la zonación de las turmalinitas, texturas que son muy abundantes en las turmalinitas de Latedo, sugiere cambios químicos en el fluido enriquecido en B durante el crecimiento de las mismas. El B fue, probablemente, aportado a la cuenca de depósito por las fuentes exhalativo-hidro-

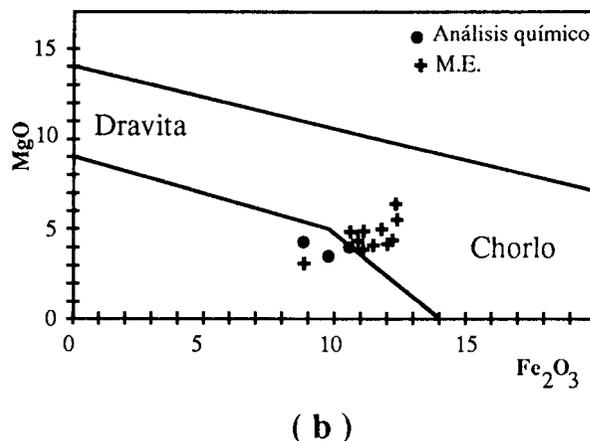
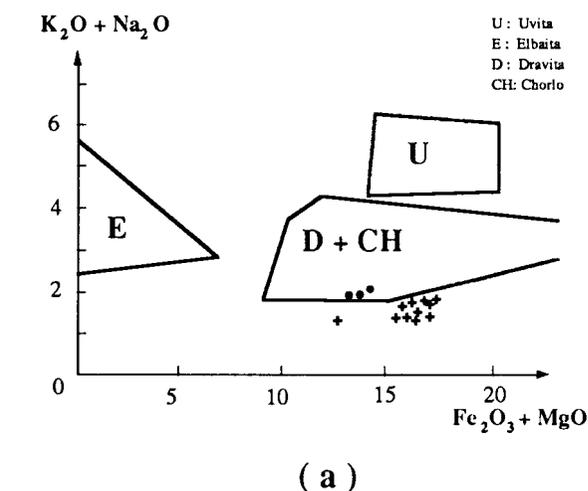


Fig. 7.—Afinidad geoquímica de las turmalinitas de Latedo en el diagrama $K_2O + Na_2O = f(Fe_2O_3 + MgO)$ (a) y en el diagrama $MgO = f(Fe_2O_3)$ (b).

termales existentes en la zona y relacionadas con los procesos volcánicos que dieron lugar a los metabasaltos de Latedo.

Finalmente, la relación espacial puesta de manifiesto entre las turmalinitas y metabasaltos de Latedo (figs. 1b y 2) y la probablemente genética que ha sido deducida entre estas dos formaciones, justifica la no presencia de ambas en otras zonas del sinforme. Un mecanismo similar al propuesto por Plimer (1988) podría aplicarse a la zona de estudio. Esto es, la circulación de las aguas marinas a través de las fracturas de los basaltos submarinos y de los sedimentos arcillosos que se encuentran sobre ellos lixiviarían al B y otros elementos asociados, siendo posteriormente conducidos por fuentes exhalativo-hidrotermales al fondo de la cuenca. Taylor y Slack (1984)

mantiene para las turmalinas apalachianas-caledonianas una hipótesis similar.

Importancia de las turmalinitas estratiformes en la prospección de los yacimientos de sulfuros masivos

La presencia de turmalinitas estratiformes en los metasedimentos del Ordovícico Inferior de Latedo merece una atención especial en el estudio metalogénico del Sinforme de Alcañices tanto desde el punto de vista genético como desde el punto de vista más importante de la prospección de yacimientos de sulfuros masivos (Moro, 1990).

Niveles de turmalinitas estratiformes han sido citados en muchas partes del mundo, asociados frecuentemente a yacimientos de sulfuros masivos (Slack y Plimer, 1983; Taylor y Slack, 1984). Estos autores sugieren a las turmalinitas como una guía de prospección potencial de los yacimientos de esta naturaleza. Slack *et al.* (1984), aparte de la importancia económica de las turmalinitas, señalan además el interés de su estudio en la comprensión de los procesos genéticos de los depósitos minerales y en el conocimiento geológico y geotectónico de su ambiente de formación. Bone (1988) y Plimer (1988) están de acuerdo con lo anteriormente expuesto, y únicamente este último autor mantiene que si bien es verdad que las turmalinitas estratiformes están asociadas normalmente a mineralizaciones exhalativas-hidrotermales, se conocen ejemplos en que esto no ocurre.

Todas estas consideraciones ponen de manifiesto la importancia de continuar con los estudios de las turmalinitas estratiformes en la provincia de Zamora.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Dr. Marín García, jefe de los Servicios Analíticos de la Fábrica de Juzbado (ENUSA), por las determinaciones de C, S, F y Cl. Igualmente agradecemos al Prof. Dr. G. Corretge y a D. Miguel Angel Hernández del Servicio de Microsonda Electrónica de la Universidad de Oviedo, por facilitarnos la utilización de dicha técnica analítica.

Referencias

- Antona, J. F. (1989). *Interpretación de la Formación San Vitero en relación con la Orogenia Hercínica. Análisis de la deformación del Sinclinal de Alcañices (Área de Domez)*. Tesis de Licenciatura, Univ. Salamanca (inédita).
- Bone, Y. (1988). The geological setting of tourmalinite at Rum Jungle, N.T., Australia - genetic and economic implications. *Mineral Deposita*, 23, 34-41.
- Cassidy, K. F. y Groves, D. I. (1988). Manganese ilmenite formed during regional metamorphism of Archean mafic and ultramafic rocks from Western Australia. *Can. Mineral.*, 26, 999-1012.
- Ethier, V. G. y Campbell, F. A. (1977). Tourmaline concentrations in Proterozoic sediments of the southern Cordillera of Canada and their economic significance. *Canadian J. Earth Sci.*, 14, 2348-2363.
- Fernández, A. (1989). *Geología y metalogenia de las mineralizaciones sedimentarias de hierro asociadas a los materiales ordovícicos de Latedo (Zamora)*. Tesis de Licenciatura, Univ. Salamanca, 172 págs. (inédita).
- Fernández, A. y Moro, M. C. (1991a). Estudio de las magnetitas de Latedo: I. contribución al conocimiento geológico y metalogénico de las mineralizaciones de hierro asociadas a los materiales ordovícicos de la provincia de Zamora. *Studia Geol. Salmant.*, 27, 113-130.
- Fernández, A. y Moro, M. C. (1991b). Las mineralizaciones sedimentarias de hierro ordovícicas de Latedo (Zamora, España). *Mem. e Not.* (en prensa).
- Fernández, A. y Moro, M. C. (1991c). Nota preliminar sobre la presencia de turmalinitas estratiformes en el Ordovícico Inferior de Latedo (NO de Zamora). *Geogaceta*, 11 (en prensa).
- Fernández, A. y Moro, M. C. (1992). Caracterización geoquímica de los metabasaltos ordovícicos de Latedo (NO de Zamora) (en preparación).
- Harder, H. (1959). Beitrag zur Geochemie des Bors, III. Bor in sedimenten. *Nachrichten akad. wissensch. Göttingen II Math-phys. Klasse*, 6, 123-175.
- Julivert, M.; Marcos, A. y Truyols, J. (1972). L'évolution paleogeographique du NW de L'Espagne pendant l'Ordovicien-Silurien. *Bull. Soc. géol. minéral. Bretagne. Coll. Ordovicien-Silurien (c)*, IV, 1, 1-7.
- Martínez García, E. (1971). Esquema geológico del NW de la provincia de Zamora (NO de España). *Publ. I Congr. Hisp. Luso Amer. Geol. Econ.*, 1, 273-286.
- Martínez García, E. (1973). Deformación y metamorfismo en la zona de Sanabria. *Stvd. Geol.*, 5, 7-106.
- Montero, J. M. (1991). *Las mineralizaciones de Fe, P y sulfuros de Fe, Cu, Pb y Zn asociadas a los metasedimentos ordovícicos y silúricos en la zona de Figueruela-Riomanzanas (Zamora)*. Tesis de Licenciatura, Univ. Salamanca (inédita).
- Moro, M. C. (1990). Las mineralizaciones volcanosedimentarias de Fe, Mn, Ba y P del Sinforme de Alcañices (provincia de Zamora). *Mem. inédita*, 144 págs.
- Plimer, I. R. (1988). Tourmalinites Associated with Australian Proterozoic Submarine Exhalative Ores. *Special Publication No 5 of the Society for Geology applied to Mineral Deposits. Base Metal Sulfide deposit. Springer-Verlag*, 255-283.
- Quiroga, J. L. (1981). *Estudio geológico del Paleozoico del W de Zamora (Alba y Aliste)*. Tesis doctoral, Univ. Oviedo, 210 págs. (inédita).
- Quiroga, J. L. (1982). Estudio geológico del Paleozoico del W de Zamora. *Trabajos de Geología*, 12, 205-226.
- Slack, J. F. y Plimer, I. R. (1983). Associations of tourmaline-rich rocks with stratiform sulfide deposits (abs). *Geol. Assoc. Canada-Mineralog. Assoc. Canada. Program with Abstracts*, 8, pág. A62.
- Slack, J. F.; Herriman, N.; Barnes, R. G. y Plimer, I. R. (1984). Stratiform tourmalinites in metamorphic terranes and their geologic significance. *Geology*, 12, 713-717.

- Stubican, V. y Roy, R. (1962). Boron substitutions in synthetic micas and clays. *Amer. Miner.*, 47, 1166-1173.
- Taylor, B. E. y Slack, J. F. (1984). Tourmalines from Appalachian-Caledonian Massive Sulfide Deposits: Textural, Chemical and Isotopic Relationships. *Econ. Geol.*, 79, 1703-1726.
- Tracy, R. J. (1982). Compositional zoning and inclusions in metamorphic minerals. *Rev. Miner.*, 10, 355-397.
- Vacas, J. M. y Martínez Catalán, J. R. (1987). El Sinforme de Alcañices en la transversal de Manzanal del Barco. *Studia Geol., Salmant.*, 24, 151-175.

Recibido el 20 de enero de 1992
Aceptado el 5 de marzo de 1992