

# El complejo leucogranítico tardi-hercínico de afinidad alcalina de Tossa de Mar (Cadenas Costeras Catalanas, NE de España)

*The late-Hercynian leucogranitic complex of alkaline affinity of Tossa de Mar (Catalonian Coastal Ranges, NE Spain)*

M. Ferrés Hernández (\*) y P. Enrique Gisbert (\*\*)

\* Dépt. de Minéralogie, Univ. Genève, Rue des Maraichers 13, 1211 Genève 4, Switzerland. \*\* Dept. de Geoquímica i Petrologia, Zona Univ. de Pedralbes, 08071-Barcelona.

## ABSTRACT

The late-Hercynian batholith of the Catalonian Coastal Ranges (NE Spain) represents a typical high-K calc-alkaline association. In the Tossa de Mar area, the calc-alkaline rocks are intruded by a highly acidic leucogranitic complex, which consists of various plutonic and subvolcanic intrusions cut by related felsitic, granophyric, and porphyric dykes. The rocks of this complex show many petrological and geochemical characteristics of alkaline granites. The data suggest that these leucogranites may not be related to the calc-alkaline association by a simple differentiation process. Their extreme acidic composition, their shallow emplacement, and the lack of related intermediate and basic rocks, suggest a crystallization from an ascending water under-saturated acidic magma generated at deep levels.

**Key words:** Hercynian, Catalonian Coastal Ranges batholith, calc-alkaline association, alkaline granites.

Geogaceta, 20 (3) (1996), 601-604

ISSN: 0213683X

## Situación geológica

El batolito tardi-hercínico de las Cadenas Costeras catalanas (NE de España) está formado por numerosas intrusiones plutónicas epizonales esencialmente granodioríticas, tonalíticas y (leuco)graníticas. También se hallan algunos cuerpos menores y subordinados de dioritas, gabros y hornblenditas. El conjunto plutónico está cortado por un sistema asociado de diques hipabisales porfídicos, de composición diorítica a granítica. Geoquímicamente, las rocas constituyen una típica asociación calcoalcalina rica en potasio (Enrique, 1990). Los elementos mayores y traza dibujan tendencias lineales lo cual sugiere que las distintas composiciones están relacionadas por un proceso común de diferenciación. Los datos isotópicos dan edades entre 284 y 291 Ma (K-Ar y  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  sobre biotitas y amfiboles y Rb-Sr sobre roca total, Solé, 1993). La relación isotópica inicial del Sr es de 0.709 en los gabros y de 0.710-0.711 en las granodioritas y granitos, indicando una importante participación cortical en la génesis de los magmas (Solé, 1993).

En la zona de Tossa de Mar (Fig. 1), la asociación calcoalcalina ha sido intruída por un complejo leucogranítico muy ácido (74-77%  $\text{SiO}_2$ ) que consiste en: a) una intrusión plutónica (Cadiretes); b) varios stocks subvolcánicos (Puig de Borrassar, Puig de la

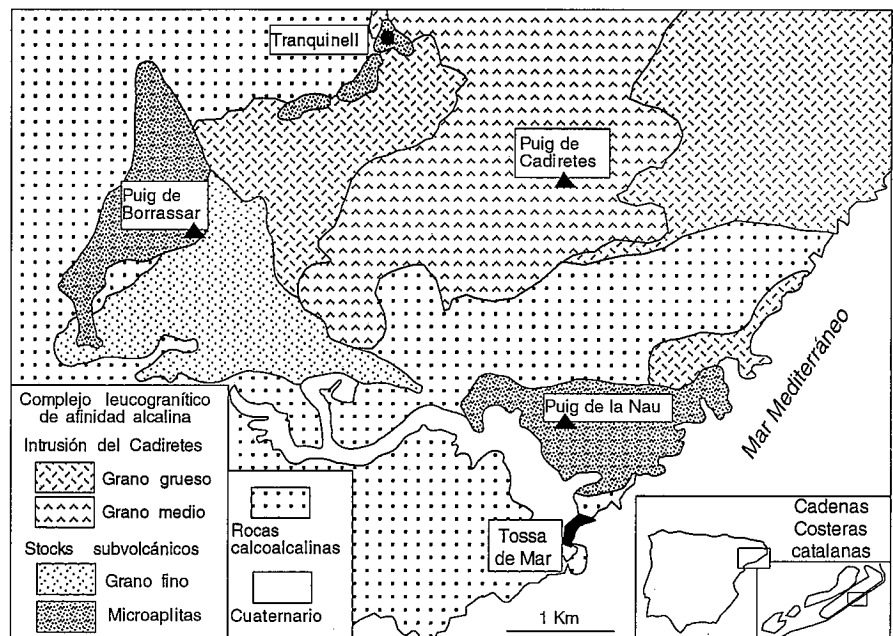


Fig. 1.- Cartografía geológica del área de Tossa de Mar, Cadenas Costeras catalanas.

Fig. 1.- Geologic map of the Tossa de Mar area, Catalan Coastal Ranges.

Nau y Tranquinell); y c) un sistema asociado de diques compuesto por felsitas, granófidos y pórfidos graníticos. El conjunto, que cubre una superficie de unos 40 Km<sup>2</sup>, muestra diferencias petrológicas y geoquí-

micas notables con los granitos calcoalcalinos de igual índice de diferenciación del resto del batolito. Su caracterización, objeto de este trabajo, pone de manifiesto su afinidad con granitos alcalinos, siendo particu-

	Loc.	Granitos calcoalcalinos						Complejo de afinidad alcalina					
		s.s.			Pobres en CaO			Leucogranitos				Granodior.	
		Mnt	Mnt	Mnt	Mnt	Mnt	T	TBor	TBor	TCad	TCad	TBor	TBor
Tipo	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gm	ma	Gf	Gm	Gg	E	E	
Muestra	A5	A11	A27	A1	A110	M131	M216	M37	M26	M291	M280	M34	
% en peso	SiO <sub>2</sub>	76.38	75.33	75.42	76.89	76.80	75.64	76.19	76.51	75.70	76.55	68.96	65.64
	TiO <sub>2</sub>	0.12	0.12	0.14	0.15	0.07	0.13	0.08	0.15	0.11	0.05	0.39	0.52
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.72	13.56	13.62	12.42	12.82	12.69	12.95	12.78	12.77	12.39	15.23	16.31
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.17	1.30	1.35	0.61	0.64	0.96	0.29	1.08	1.18	1.01	3.53	4.84
	MnO	0.05	0.04	0.04	0.02	0.03	0.05	0.01	0.04	0.06	0.05	0.07	0.12
	MgO	0.17	0.23	0.38	0.12	0.32	0.13	0.10	0.33	0.19	0.07	1.32	0.67
	CaO	1.07	1.58	1.66	0.56	0.56	0.70	0.45	0.69	0.42	0.51	0.51	0.75
	Na <sub>2</sub> O	3.38	3.19	3.24	3.57	3.18	3.57	4.24	3.47	3.86	3.61	4.18	3.69
	K <sub>2</sub> O	4.66	4.67	4.65	4.91	5.05	4.49	4.25	4.50	4.64	4.58	3.49	3.55
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.04	0.00	0.01	0.03	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.14	0.02
	PF	0.39	0.46	0.49	0.55	0.40	0.40	0.50	0.34	0.55	0.00	1.70	2.88
Total	100.2	100.5	101.0	99.8	99.9	98.8	99.0	99.9	99.5	98.8	99.5	99.0	
ppm	Rb	158	146	133	131	161	205	210	193	236	256	113	219
	Ba	764	564	455	77	78	103	88	72	66	99	683	314
	Sr	84	102	99	33	30	32	25	32	28	24	138	84
	Ga	17	17		15	17	17	22	20	22	21	21	29
	Nb	10	9	8	11	13	13	19	15	17	20	14	33
	Zr	80	76	84	61	66	74	75	83	77	78	270	333
	Y	24	22	35	32	49	41	59	38	46	52	23	60
	Th	16	17	14	17	17	19	26	22	22	24	15	22
ppm	La	22.78	25.41				14.17	17.67	16.76	10.96	16.67	50.45	
	Ce	46.41	50.31				30.56	34.84	37.54	24.01	41.04	102.8	
	Nd	21.56	23.83				15.66	24.54	20.49	13.16	23.35	37.58	
	Sm	5.10	5.31				5.77	8.89	6.50	5.02	8.17	6.68	
	Eu	0.66	0.76				0.35	0.34	0.30	0.24	0.17	1.13	
	Gd	4.50	4.33				6.02	8.51	6.36	5.26	8.50	5.26	
	Dy	4.27	3.85				7.12	9.73	7.15	6.16	10.13	4.09	
	Er	2.39	2.04				3.90	4.91	4.19	3.09	5.82	2.50	
	Yb	2.92	2.38				4.77	6.03	4.85	3.91	6.29	2.80	
	Lu	0.47	0.41				0.80	0.99	0.71	0.64	0.93	0.44	

Tabla 1.- Composición química de roca total de muestras seleccionadas. Mnt: Macizo del Montnegre, zona S del batolito Costero-catalán; T: Tossa de Mar; TBor: Tossa de Mar, intrusión del Borrassar; TCad: Tossa de Mar, intrusión del Cadiretes; ma: microaplititas; Gf, Gm, Gg: granitos de grano fino, medio y grueso; E: enclaves granodioríticos.

Table 1.- Whole-rock analyses of selected samples. Mnt: Montnegre Massif, southern part of the Coastal batholith; T: Tossa de Mar; TBor: Tossa de Mar, Borrassar intrusion; TCad: Tossa de Mar, Cadiretes intrusion. ma: micro-aplites; Gf, Gm, Gg: fine-grained, medium-grained and coarse-grained granites; E: granodioritic enclaves.

larmente comparables (Ferrés y Enrique, 1994) a los granitos alcalinos biotíticos subsolvus de Córcega (Bonin, 1990; Poitrasson et al., 1995).

**Cronología relativa**

En el área de Tossa de Mar se distinguen numerosas intrusiones plutónicas pertenecientes a la asociación calcoalcalina. Dichas intrusiones cubren un amplio espectro composicional, desde gabroides (50% SiO<sub>2</sub>) con hornblenditas asociadas (44% SiO<sub>2</sub>), hasta leucogranitos (77% SiO<sub>2</sub>), si bien predominan claramente los tipos granodioríticos. El conjunto está intruido por diques porfídicos calcoalcalinos (geoquímicamente análogos) de composición diorítica

a leucogranítica.

Las relaciones de campo evidencian que el complejo leucogranítico de afinidad alcalina es posterior a la asociación calcoalcalina. Los contactos intrusivos observados muestran que los stocks subvolcánicos cortan a algunos diques porfídicos calcoalcalinos y a los filones aplíticos (2-10 cm de potencia) generados por los últimos fluidos magmáticos de las intrusiones calcoalcalinas. El stocks subvolcánico del Puig de la Nau corta filones de cuarzo hidrotermales desarrollados en algunas granodioritas calcoalcalinas. Esta relación indica que los stock subvolcánicos se emplazaron cuando dichas granodioritas se encontraban a una temperatura muy por debajo del sólido, reflejando un importante lapso de tiempo

entre los dos tipos intrusivos.

Los stocks subvolcánicos y la intrusión del Cadiretes están cortados por numerosos diques de dirección predominante E-W. Son característicos del magmatismo de afinidad alcalina los granófidios y las felsitas (0.5-20 m de potencia). Los diques porfídicos (2-20 m de potencia) son graníticos. Su composición y su matriz felsítica a granofídica (generalmente microgranuda en los pórfidos calcoalcalinos) los relaciona directamente con el magmatismo de afinidad alcalina. Aunque mucho menos abundantes, también existen algunos diques de pórfidos dioríticos que cortan a los granitos alcalinos.

En los bordes y en el techo de los stocks subvolcánicos se hallan enclaves métricos (a decimétricos) de una roca gris de composición granodiorítica (Tab. 1), que se caracteriza por el desarrollo de la biotita en grandes láminas desorientadas. El tamaño de grano varía, según los diferentes puntos donde se han observado los enclaves, de fino a medio. Los enclaves están deformados plásticamente y a veces agrupados poniendo de manifiesto la ruptura de diques sin-plutónicos. Su presencia y disposición indica la coexistencia del magma granítico de afinidad alcalina con un magma menos ácido.

**Mineralogía y texturas**

Los granitos de afinidad alcalina de Tossa de Mar son monzogranitos o sienogranitos. Están esencialmente constituidos por cuarzo, feldespatos potásico peritico (ortosa con exsoluciones de albita) plagioclasa ácida (albita a oligoclasa sódica) y biotita. Los feldespatos se hallan en proporciones equiparables, lo que indica una cristalización subsolvus. La biotita es el único mineral máfico. No supera el 4% de la composición modal, muestra un intenso pleocroísmo verde y su composición está enriquecida en el componente annita (Fig. 2) y en F, respecto de las biotitas de los granitos calcoalcalinos. Las fases accesorias son el circón, el apatito, la magnetita y localmente la moscovita. Las fases secundarias son esencialmente la clorita y ocasionalmente la epidota.

En contraste con una mineralogía muy monótona, los leucogranitos estudiados presentan una gran heterogeneidad textural, la cual en parte es debida a la variedad de niveles de emplazamiento: intrusiones plutónicas y subvolcánicas y diques hipabisales (felsitas, granófidios y pórfidos). En todas las intrusiones calcoalcalinas se desconocen equivalentes subvolcánicos, o felsíticos y granofídicos tan desarrollados.

La intrusión plutónica del Cadiretes es

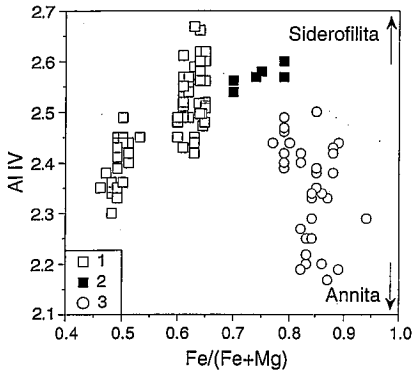


Fig. 2.- Composición de las biotitas. 1: rocas calcoalcalinas SiO<sub>2</sub><74%; 2: rocas calcoalcalinas SiO<sub>2</sub>=74-77%; 3: granitos de afinidad alcalina.

Fig. 2.- Biotites composition. 1: calc-alkaline rocks SiO<sub>2</sub><74 wt.%; 2: calc-alkaline rocks SiO<sub>2</sub>=74-77 wt.%; 3: granites of alkaline affinity.

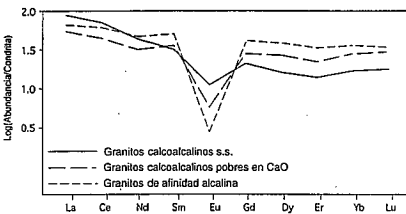


Fig 3.- Abundancias de las tierras raras normalizadas a los condritos.

Fig 3.- Chondrite normalized rare-earth element pattern.

de tamaño de grano grueso en las zonas más internas. Hacia las facies de borde y de techo pasa gradualmente a un granito de grano medio (a fino).

Los stocks subvolcánicos son de textura porfídica. Las fases minerales esenciales constituyen tanto la matriz como los fenocristales generalmente automorfos (0.5-5 mm). Dichos fenocristales se presentan en proporción variable. Los fenocristales félsicos tienden a desarrollar texturas glomeroporfídicas de 5 a 10 cristales, de cuarzo, o bien de feldespato. Las ortosas muestran frecuentemente una zonación oscilatoria (observada también puntualmente en la intrusión del Cadiretes). La matriz de los stocks subvolcánicos es fina a extremadamente fina (microaplítica, casi afanítica), y desarrolla localmente texturas micrográficas. En los bordes y en el techo de los stocks, el tamaño de grano de la matriz es muy heterogéneo. Pasa gradualmente, sobre pocos centímetros y sucesivamente, de microaplítico a tamaño medio. En las mismas zonas de borde o de techo, se desarrollan cavidades

miarolíticas centimétricas y algunas bolsas pegmatíticas centimétricas a decimétricas.

Las felsitas, los granófidos y los porfidos graníticos presentan la misma mineralogía descrita. Las felsitas son el producto de la desvitrificación de vidrios riolíticos, lo cual indica que se emplazaron en estado líquido. Algunas son porfídicas en la parte central del dique, donde presentan pequeños fenocristales milimétricos (de cuarzo y feldespato). Algunos diques muestran textura esferulítica en los bordes, y pasan gradualmente a desarrollar una textura granofídica hacia las partes más internas (granófidos). Los porfidos graníticos presentan fenocristales (0.1-1 cm) de cuarzo, feldespato y biotita automorfos. Su matriz es felsítica a granofídica. Las facies de borde del conjunto de los diques descritos presentan texturas felsíticas fluidales de color verde claro característico.

Los enclaves grises granodioríticos, de grano fino a medio, que se hallan en los bordes de los stocks subvolcánicos, presentan las mismas fases minerales. Sin embargo, los feldespatos potásicos apenas desarrollan perfitas y, junto con el cuarzo, forman grandes placas alotriomorfas poiquilíticas; la plagioclasa es menos sódica (oligoclasa) y automorfa; la biotita (hasta 14% de la composición modal) forma láminas extremadamente finas; el apatito se desarrolla en largas agujas, y el circón se encuentra en agregados de 3-4 cristales. También se hallan trazas de allanita. La morfología de los apatitos y de las biotitas, sin orientación preferente, indica una cristalización de enfriamiento brusco (quenching).

**Geoquímica**

El complejo leucogranítico estudiado en Tossa de Mar es muy ácido (SiO<sub>2</sub>=74-77%) y ligeramente peraluminico (A/CNK=1.04-1.13). Su caracterización geoquímica se ha realizado en comparación con los (leuco)granitos de igual contenido en SiO<sub>2</sub> de la asociación calcoalcalina del batolito de las Cadenas Costeras catalanas, cuyas composiciones químicas se han tomado como valores de referencia (Tab. 1). En base al contenido en CaO y a los elementos traza, se pueden discriminar, en el batolito, tres tipos de granitos con SiO<sub>2</sub>=74-77% (Ferrés et al., 1995): a) los granitos calcoalcalinos s.s. (CaO>1%), b) los granitos calcoalcalinos pobres en calcio (CaO=0.5-1%) y, c) el complejo leucogranítico de afinidad alcalina de Tossa de Mar (CaO<0.5%).

En el sector septentrional del batolito, los granitos calcoalcalinos pobres en CaO

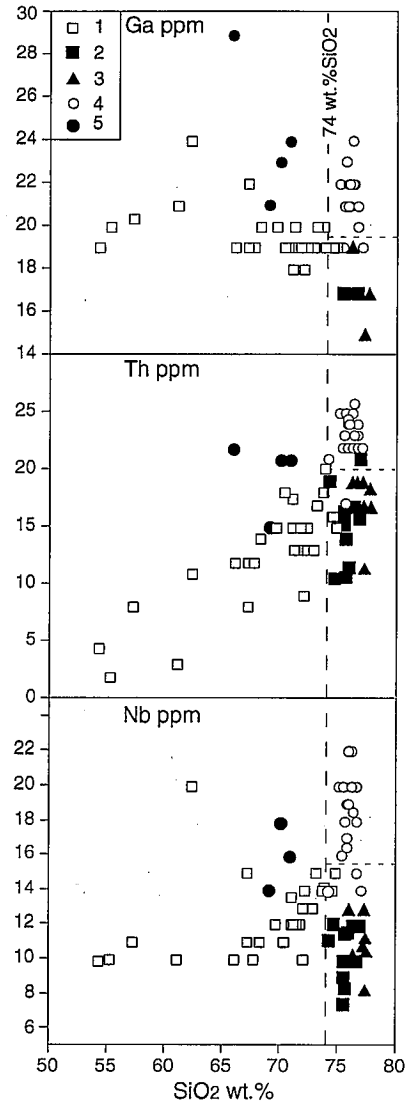


Fig 4.- Ga, Th y Nb vs. SiO<sub>2</sub>. 1: rocas calcoalcalinas SiO<sub>2</sub><74%; 2: granitos calcoalcalinos s.s.; 3: granitos calcoalcalinos pobres en CaO; 4: granitos de afinidad alcalina; 5: enclaves granodioríticos en los stocks subvolcánicos.

Fig 4.- Ga, Th, and Nb vs. SiO<sub>2</sub>. 1: calc-alkaline rocks SiO<sub>2</sub><74 wt.%; 2: calc-alkaline granites s.s.; 3: low-CaO calc-alkaline granites; 4: granites of alkaline affinity; 5: granodioritic enclaves in the subvolcanic stocks.

forman pequeñas intrusiones con moscovita y/o granate accesorios. En el sector central y meridional, se hallan como estrechas facies de borde o apicales de las intrusiones graníticas calcoalcalinas s.s., pudiendo representar fraccionados calcoalcalinos extremos.

Los granitos de afinidad alcalina presentan un cierto solapamiento composicional con los granitos calcoalcalinos pobres en CaO. Ambos grupos muestran, a diferencia de los granitos calcoalcalinos s.s.,

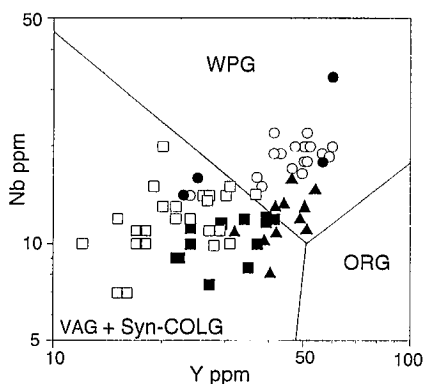


Fig 5.- Y vs. Nb (Pearce et al., 1984). Símbolos: Fig. 4. VAG: volcanic arc granites, ORG: ocean ridge granites, Syn-COLG: syn-collision granites; WPG: within-plate granites.

Fig 5.- Y vs. Nb (Pearce et al., 1984). Markers: Fig. 4. VAG: volcanic arc granites, ORG: ocean ridge granites, Syn-COLG: syn-collision granites; WPG: within-plate granites.

bajas abundancias en Sr y en Ba y altas en Rb. Asimismo, sus abundancias en tierras raras normalizadas a los condritos muestran espectros menos fraccionados y con una mayor anomalía negativa del europio (Fig. 3). Sin embargo, por su contenido en CaO extremadamente bajo y por su mayor abundancia relativa en Ga y en elementos incompatibles (Nb, Th), los leucogranitos de Tossa de Mar aparecen como un grupo geoquímico distinto que escapa a la tendencia definida por la asociación calcoalcalina (Fig. 4). Estos elementos han sido utilizados por numerosos autores para clasificar y distinguir a los granitos alcalinos de los calcoalcalinos: en los diagramas de Pearce et al. (1984) los leucogranitos estudiados se proyectan como granitos de intraplaca (WPG, Fig. 5) y en los de Whalen et al. (1987) como granitos de tipo-A (Fig. 6).

Los enclaves granodioríticos asociados a los stocks subvolcánicos también muestran abundancias relativamente altas en Ga y en elementos incompatibles, respecto de las granodioritas calcoalcalinas (Figs. 4 a 6).

**Conclusiones**

El complejo leucogranítico de Tossa de Mar se diferencia de las demás intrusiones (leuco)graníticas del batolito de las Cadenas Costeras catalanas, las cuales forman parte de una asociación calcoalcalina, por: a) emplazamiento posterior a la asociación calcoalcalina, b) presencia de stocks subvolcánicos; c) asociación con felsitas y granófidios; d) biotita enriquecida en el componente anita y en F y; e) muy bajos contenidos en CaO y abundancias relativamente altas en Ga, Nb y Th. Por las características descritas, los leucogranitos estudiados en Tossa de Mar se asemejan a granitos alcalinos. Su emplazamiento tardío, su volumen importante y sus abundancias en algunos elementos traza hacen difícil explicarlos como un diferenciado extremo calcoalcalino, generado por un proceso simple de diferenciación, el cual vendría representado, probablemente, por los granitos calcoalcalinos pobres en CaO.

Por otro lado, la presencia de felsitas con texturas fluidales y a veces sin fenocristales, los granófidios casi afíricos, y la matriz microaplítica de los stocks subvolcánicos, evidencian que los magmas que die-

ron origen a los granitos de afinidad alcalina se hallaban en un elevado grado de fusión (algunos casi totalmente en estado líquido) cuando alcanzaron su nivel de emplazamiento. El alto grado de fusión de los magmas ácidos en condiciones tan superficiales implica, o bien una diferenciación in situ de un magma básico, o bien el ascenso de un magma granítico subsaturado en agua originado a elevadas temperaturas en niveles profundos. La escasísima proporción de rocas más básicas junto a los granitos de afinidad alcalina (algunos enclaves granodioríticos y escasos pórfidos dioríticos) y la ausencia de intrusiones básicas relacionadas al complejo estudiado en los alrededores, prácticamente excluyen una génesis por diferenciación in situ de un magma básico y favorece la hipótesis del ascenso de un magma ácido subsaturado de origen profundo para la génesis de los leucogranitos estudiados.

**Análítica**

Roca total, elementos mayores y traza: FRX, Philips PW 1400, excepto Na<sub>2</sub>O: AA, Perkin Elmer 603 y PF: calcinación (Servicios Científico-Técnicos, Univ. Barcelona); tierras raras: ICP-MS (C.N.R.S Nancy).

Composición de las biotitas: microsonda electrónica CAMECA CAMEBAX SX 50, 15KV, 10nA (Univ. Lausanne).

**Referencias**

Bonin, B. (1990): *Geol. J.*, Pitcher Spec. Issue, 25, 261-270.  
 Enrique, P. (1990): *Acta Geol. Hisp.*, 25, 39-64.  
 Ferrés, M. y Enrique, P. (1994): *Bol. Soc. Esp. Min.* 17(1), 75-76.  
 Ferrés, M., Enrique, P., Delaloye, M. y Solé, J. (1995): *U.S. Geological Survey Circular: Rept. No.:* C 1129. p. 50.  
 Pearce, J.A., Harris, N.B.W. y Tindle, A.G. (1984): *J. Petrol.*, 25(4), 956-983.  
 Poitrasson, F, Duthou, J.L. y Pin, Ch. (1995): *J. Petrol.*, 36(5), 1251-1274.  
 Solé, J. (1993): *Thèse Docteur ès Sciences de la Terre.* Univ. Genève, 201 pp.  
 Whalen, J.B., Currie, K.L. y Chappel, B.W. (1987): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 95, 407-419.

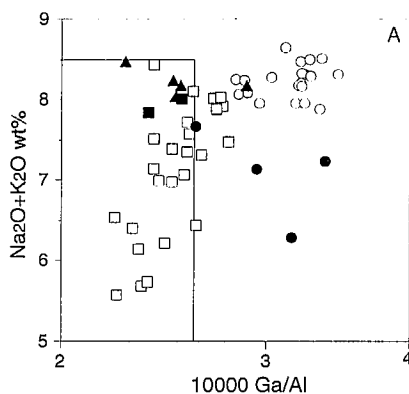


Fig 6.- 10000Ga/Al vs. Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O (Whalen et al., 1987). Símbolos: Fig. 4. A: media de los granitos de tipo-A.

Fig 6.- 10000Ga/Al vs. Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O (Whalen et al., 1987). Markers: Fig. 4. A: average of A-type granites.