

VALOR PATRIMONIAL DE LAS PEGMATITAS DEL CAP DE CREUS

ALFONSO, P. ⁽¹⁾ MELGAREJO, J.C. ⁽²⁾

(1) Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals. Universitat Politècnica de Catalunya, Av. de les Bases de Manresa 61-73, 08242 Manresa. pura@emrn.upc.edu.

(2) Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. joan.carles.melgarejo.draper@ub.edu

RESUMEN

Las pegmatitas graníticas del Cap de Creus constituyen un importante elemento de nuestro patrimonio geológico, con importantes aportaciones, tanto por su gran variedad mineralógica como por la información científica que aporta su estudio. El campo pegmatítico presenta extensos afloramientos que facilitan su estudio. Este campo pegmatítico, con unos 400 cuerpos, consta de cuatro tipos de pegmatitas, encajadas en rocas metapelíticas: microclínicas (I), de berilo-columbita (II), de berilo-columbita-fosfatos (III) y de tipo albítico (IV).

El grado de evolución de estas pegmatitas aumenta hacia las situadas en zonas más internas, siendo éstas las que contienen una mayor variedad mineral: silicatos, fosfatos, óxidos e hidróxidos (minerales de Nb-Ta, casiterita, gahnita, nigerita, crisoberilo, corindón). Los fosfatos presentan una gran variedad, siendo de la asociación Ca-Fe-Mg-Mn en los tipos menos evolucionados y de Li-Al o Li-Fe-Mn en las más evolucionadas. Algunos fosfatos poco comunes presentes en estas pegmatitas son la herderiderita, berlinita y staneckita.

PALABRAS CLAVES: Pegmatitas, Cap de Creus, mineralogía, fosfatos.

INTRODUCCIÓN

En la península del Cap de Creus, localizada cerca de Cadaquès, en el Alt Empordà, se encuentra un campo de pegmatitas graníticas (Fig. 1) que constituyen un importante elemento de nuestro patrimonio geológico, con importantes aportaciones, tanto por su gran variedad mineralógica como por la información científica que aporta su estudio. El campo pegmatítico está formado por alrededor de 400 cuerpos que afloran extensamente, lo que permite la observación de su estructura y ha posibilitado la realización de muestreos detallados confiriendo a las mismas un gran interés desde el punto de vista científico.

Estos afloramientos permiten importantes aportaciones en el estudio de la génesis de este tipo de rocas así como en estudios de la transición entre los procesos magmáticos e hidrotermales, que son claves para establecer el modelo de formación de una gran variedad de yacimientos minerales. La gran diversidad de minerales, algunos de ellos poco frecuentes, constituye otro aspecto del gran interés patrimonial de estas pegmatitas.

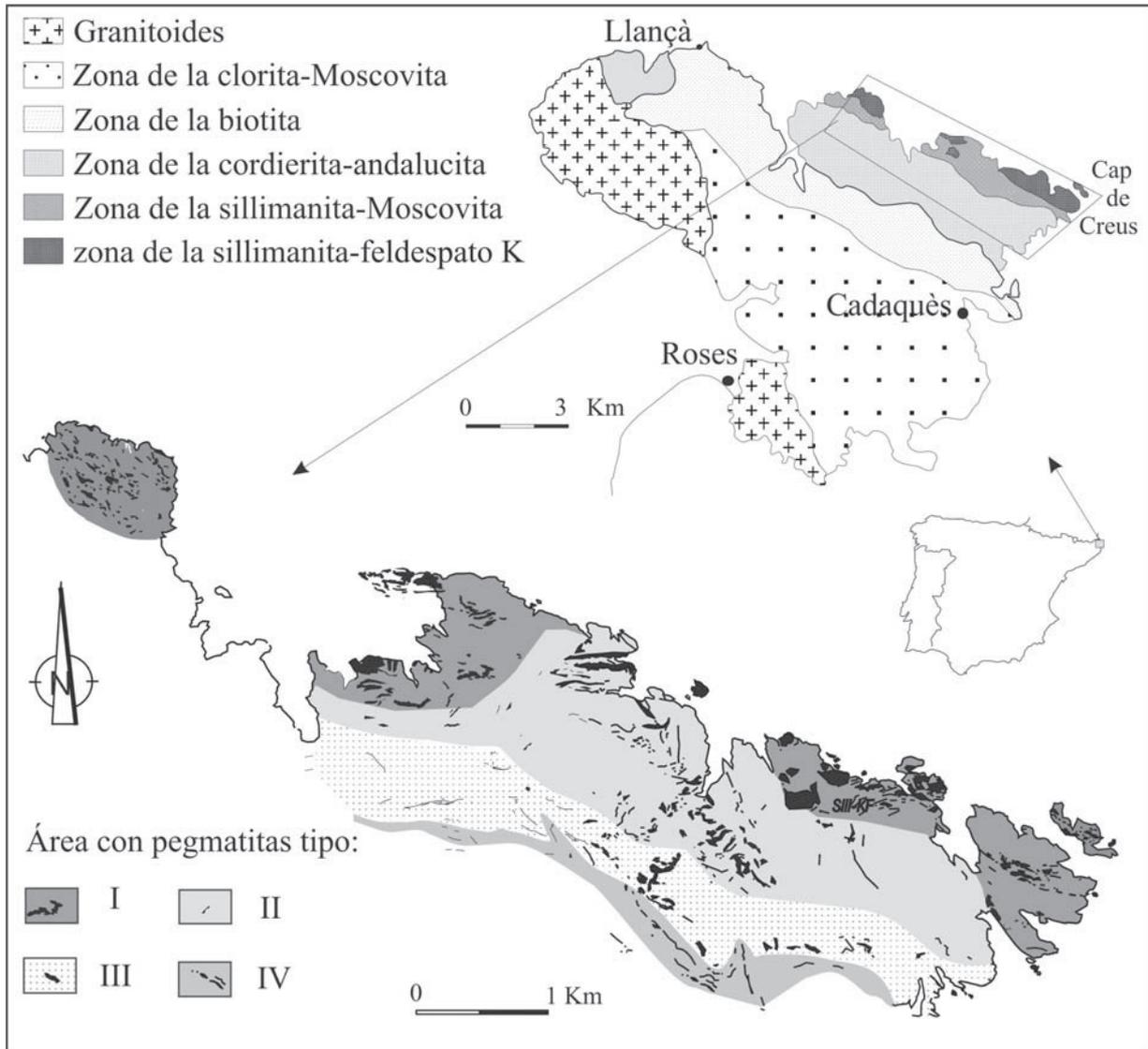


Figura 1. Localización y distribución de las pegmatitas de la Península del Cap de Creus. Modificado de Carreras et al. (1975).

GEOLOGÍA DEL ÁREA

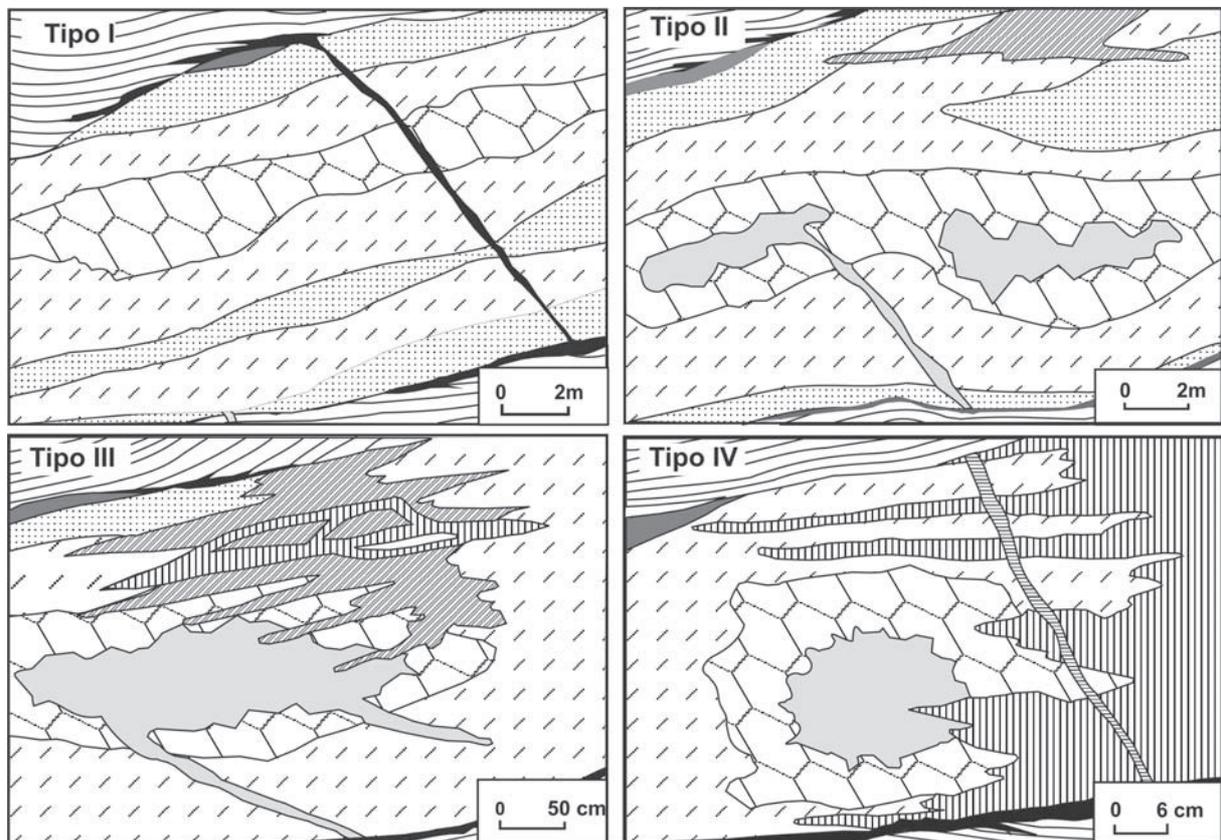
El Cap de Creus constituye el afloramiento más oriental de los materiales hercínicos de los Pirineos (Fig. 1). Las series paleozoicas de esta zona constan de una secuencia metapelítica de 2000m de espesor alternando con calizas y cantidades menores de rocas volcánicas félsicas y rocas detríticas más gruesas. Esta secuencia se ha visto afectada por dos fases principales de deformación hercínica, produciendo la foliación principal, y un episodio de deformación dando lugar a un plegamiento y que terminó con el desarrollo de NW-SE-bandas de tendencias de corte (Carreras et al., 1975). Un metamorfismo regional, de baja presión y alta temperatura, se produjo entre los dos episodios de deformación. Éste aumenta desde la zona de la clorita-moscovita, en el sur a las zonas cordierita-andalucita, sillimanita-moscovita y sillimanita-feldespató potásico en el norte.

Las rocas intrusivas presentes en el área del Cap de Creus consisten en granitos porfídicos pre-hercínicos y dos tipos de rocas graníticas hercínicas formadas por unos pequeños cuerpos sintectónicos de leucogranitos a cuarzo gabros, en el norte y las granodioritas tardías de Roses y Rodés en el sur.

El Campo pegmatítico del Cap de Creus está constituido por cuerpos de pegmatitas con dimensiones variables desde pocos m hasta varios cientos de m de longitud y principalmente alineadas en dirección W-E y NNW-ESE (Fig. 1). En base a la clasificación de Černý (1991) se han establecido cuatro tipos de pegmatitas de acuerdo con la estructura interna y criterios mineralógicos (Corbella y Melgarejo 1990) microclínicas, o de tipo I, tipo berilo (subtipo berilo-columbita, o tipo II; subtipo berilo-columbita-fosfato, o tipo III) y tipo Albita, o tipo IV. Todos estos tipos están distribuidos progresivamente de acuerdo con las zonas metamórficas, las pegmatitas microclínicas se encuentran en la zona feldespato potásico -sillimanita, y pegmatitas de tipo albita en la zona de cordierita-andalucita.

ESTRUCTURA Y MINERALOGÍA

Las pegmatitas del Cap de Creus presentan una estructura caracterizada por una zonación concéntrica que crece en complejidad desde las pegmatitas de tipo I hasta las de tipo IV (Fig. 2).



- | | | | |
|--------------------|-------------------|-----------------|---------------------------|
| Roca encajante | Zona de borde | Zona de pared | 1ª zona intermedia |
| 2ª zona intermedia | Núcleo de cuarzo | Vetas de albita | Vetas de cuarzo-muscovita |
| Turmalinización | Vetas de fosfatos | | |

Figura 2. Estructura interna de los diferentes tipos de pegmatitas presentes en el Cap de Creus (modificado de Alfonso y Melgarejo, 2000).

Las pegmatitas de tipo I, o microclínicas, son muy ricas en microclina, presentan una zonación concéntrica, desde afuera hacia el interior se distingue una zona de borde con cristales de tamaño de orden centimétrico, una zona de pared o aplítica, primera zona intermedia y segunda

zona intermedia. Estas zonas presentan una mineralogía similar pero se diferencian en el tamaño de los cristales que va desde pocos milímetros en la zona aplítica hasta de más de un m en la segunda zona intermedia. El conjunto aparece cortado por algunas vetas de cuarzo o de turmalina. Los minerales mayoritarios son cuarzo, microclina y Albita; como minerales accesorios aparecen sillimanita, biotita, cordierita, turmalina, granate, moscovita y escasos cristales de rutilo rico en Nb y columbita-tantalita (Fig. 3). Los fenómenos de turmalinización son muy abundantes en el contacto del encajante con estas pegmatitas.

MINERAL (o grupo)	Tipo de pegmatita			
	I	II	III	IV
Cuarzo	xxxxx	xxxx	xxxxx	xxx
Microclina	xxx	xxxx	xx	
Ortosa	xxx	xx	xxx	
Albita	xxx	xxx	xxxx	xxxxx
Biotita	xx	x		
Moscovita	xx	xx	xxx	xxx
Grupo de Al_2SiO_5	xx	xx	x	x
Granates	xx	xx	x	
Turmalina	xx	xx	x	
Berilo		x	xx	xx
Fenaquita, euclasa		x		
Fosfatos de Ca-Fe-Mn		xx	xx	xx
Fosfatos metasomáticos		x	xx	xx
Fosfatos de Be		x	x	
Fosfatos de Li-Fe-Mn			x	xx
Fosfatos de Li-Al			x	xxx
Apatito	x	xx	xx	xx
Rutilo	x	x		x
Circón	x	xx	xx	xx
Crisoberilo		x		x
Gahnita		x	xx	xx
Nigerita				x
Grupode la columbita	x	xx	xx	xxx
Fergusonita		x	x	
Grupo del pirocloro				x
Uraninita	x		x	
Casiterita			x	xx
Grafito				x

Figura 3. Principales minerales presentes en las pegmatitas del Cap de Creus. xxxxx, muy abundante; xxxx, abundante; xxx, moderadamente abundante; xx, poco abundante y x, escaso.

Las pegmatitas de tipo II consisten en alrededor de 100 cuerpos de decenas de m de largo y varios m de ancho. Estas consisten principalmente en las mismas zonas descritas en las pegmatitas de tipo I pero además en la parte central aparece un núcleo de cuarzo. Los minerales mayoritarios también son el cuarzo, microclina y albita; como accesorios se encuentran moscovita, granate, turmalina, berilo (parcialmente sustituidos por una asociación de crisoberilo, fenaquita y euclasa), andalucita gahnita y sillimanita), y, en menor cantidad, rutilo rico en Nb, columbita y uraninita.

Los fosfatos están formados por una asociación primaria de minerales ricos en Ca-Mg-Mn-Fe se forman en las zonas intermedias y en el núcleo de cuarzo. Esta asociación mineral se compone de sarcópsido, graftonita, wyllieita y magniotriplita. En la una etapa tardía se produce

una albitization en sustitución del feldespato potásico y el desarrollo de vetas Albita, en estas vetas los minerales de columbita-tantalita son especialmente abundantes. En esta etapa se forman los fosfatos hurlbutita y hidroxilo-herderita y apatito por la desestabilización de los silicatos de Be y del crisoberilo. Todos estos fosfatos son posteriormente substituidos por fosfatos metasomáticos alcalinos y supergénicos (Corbella y Melgarejo, 1990). También en este caso la turmalización del encajante es abundante.

Las pegmatitas de tipo III constan de unos de 70 cuerpos encajados en esquistos de la zona de la cordierita-andalucita. Presentan un modelo de zonación similar a las anteriores. Una diferencia importante en cuanto a su mineralogía con respecto a los otros dos tipos es que muchas de las pegmatitas de este tipo son pobres en Al, lo que queda reflejado en la mineralogía con la escasez del granate y la turmalina (Fig. 3). Las zonas intermedias consisten principalmente en cuarzo, albita y feldespato potásico; moscovita, berilo, minerales de Nb-Ta y fosfatos primarios de Li (montebrasita y trifilita) o fosfatos de Al-Ca-Mn-Fe (wylieita, graftonita, sarcópsido) son muy comunes (Fig. 4). El núcleo de cuarzo está bien desarrollado, y los fenómenos de reemplazamiento están abundantemente distribuidos. Dos tipos de vetas cortan las unidades anteriores: vetas albíticas y vetas de cuarzo-moscovita. Alrededor de las vetas de albita se forman unas unidades de reemplazo o albítización, constituidas por albita sacaroide, muy rica en columbita-tantalita, tapiolita, fergusonita y casiterita.

MINERAL	FÓRMULA	ESTADIO MAGMÁTICO	ESTADIO HIDROTHERMAL	ALTERACIÓN SUPERGENICA
Montebrasita	$\text{LiAl}(\text{PO}_4)(\text{OH},\text{F})$	—	—	
Lazulita	$(\text{Mg},\text{Fe})\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$	—		
Scorzalita	$(\text{Fe},\text{Mg})\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$	—		
Vivianita	$\text{Fe}^{2+}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$			—
Rockbridgeita	$(\text{Fe}^{2+},\text{Mn}^{2+})\text{Fe}^{3+}_4(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_5$			—
Cacoxenita	$(\text{Fe},\text{Al})_{25}(\text{PO}_4)_{17}\text{O}_6(\text{OH})_{12} \cdot 75\text{H}_2\text{O}$			—
Wyllieita	$(\text{Na},\text{Ca},\text{Mn}^{2+})(\text{Mn}^{2+},\text{Fe}^{2+})(\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Mg})\text{Al}(\text{PO}_4)_3$	—		—
Rosemaryita	$(\text{Na},\text{Ca},\text{Mn}^{2+})(\text{Mn}^{2+},\text{Fe}^{2+})(\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Mg})\text{Al}(\text{PO}_4)_3$		—	
Sarcópsido	$(\text{Fe}^{2+},\text{Mn}^{2+},\text{Mg})_5(\text{PO}_4)_2$	—		
Graftonita	$(\text{Fe}^{2+},\text{Mn}^{2+},\text{Ca})_3(\text{PO}_4)_2$	—		
Magniotriplita	$(\text{Mg},\text{Fe}^{2+},\text{Mn}^{2+})_2\text{PO}_4\text{F}$	—		
Wolfeita	$(\text{Fe}^{2+},\text{Mn}^{2+})_2(\text{PO}_4)(\text{OH})$	—		
Fillowita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{Mn},\text{Fe}^{2+})_2(\text{PO}_4)_6$		—	
Arrojadita	$\text{KNa}_4\text{CaMn}^{2+}_4\text{Fe}^{2+}_{10}\text{Al}(\text{PO}_4)_{12}(\text{OH},\text{F})_2$		—	
Alluaudita	$\text{NaCaFe}^{2+}_2(\text{Mn}^{2+},\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Mg})_2(\text{PO}_4)_3$		—	
Stanekita	$\text{Fe}^{3+}(\text{Mn},\text{Fe}^{2+},\text{Mg})\text{PO}_4\text{O}$		—	
Fluorapatito	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$		—	—
Herderita	CaBePO_4F		—	
Lazulita	$(\text{Mg},\text{Fe})\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$		—	
Scorzalita	$(\text{Fe},\text{Mg})\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$		—	
Souzalita	$(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_3(\text{Al},\text{Fe}^{3+})_4(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		—	—
Lipscombite	$(\text{Fe}^{2+},\text{Mn}^{2+})\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$		—	—
Rockbridgeita	$(\text{Fe}^{2+},\text{Mn}^{2+})\text{Fe}^{3+}_4(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_5$		—	—
Jahnsita	$\text{CaMn}^{2+}\text{Fe}^{2+}_2\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$		—	—
Cyrilovita	$\text{NaFe}^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		—	—
Mitridatita	$\text{Fe}^{2+}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$		—	—
Vivianita	$\text{Fe}^{2+}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$		—	—
Dufrenita	$\text{Ca}_{0.5}\text{Fe}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		—	—
Autunita	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$		—	—

Figura 4. Fosfatos presentes en las pegmatitas de tipos III, o pegmatitas de berilo-columbita-fosfatos, donde se aprecia su secuencia de cristalización.

La albitización de los primeros feldespatos potásicos formados también es común, y la hurlbutita e hidroxilo-herderita sustituyen parcialmente al Berilo. Los fosfatos metasomáticos alcalinos y óxidos ricos en tántalo también están relacionados con los procesos de sustitución (Alfonso et al., 1995). El circón es un mineral accesorio común en todas las zonas. La turmalinización está muy extendida en el contacto con el encajante. En este contacto también aparecen fenómenos de grafitización, moscovitización y apatitización.

Las pegmatitas de tipo IV, o albíticas, están formadas por unos diez cuerpos que presentan una disposición zonal como el grupo anterior de pegmatitas. Consisten principalmente en albita, cuarzo y menores cantidades de moscovita; el feldespato potásico está ausente. Los minerales accesorios son montebrasita, scorzalita, graftonita, sarcópsido, gahnita, berilo y crisoberilo, columbita-tantalita, aeschynita y rutilo rico en Ta. La turmalina sólo se encuentra en la zona de borde. En el núcleo de cuarzo, aparecen nódulos de scorzalita. Las vetas de cuarzo-moscovita están fuertemente mineralizadas en casiterita, gahnita (localmente desestabilizada a nigerita), miembros de la serie columbita-tantalita ricos en Ta, microlita y otros minerales con Tierras Raras pesadas. Estas pegmatitas se hallan atravesadas por vetas de fosfatos, que contienen berlinita, trolleíta, scorzalita, wyllieita y montebrasita. Además otras vetas muy tardías, con una mineralización en Tierras Raras ligeras con clorita y Albita, también puede aparecer en algunas pegmatitas. El circón rico en Hf es común en todas estas unidades. Al igual que en las pegmatitas de tipo III, en encajante aparecen fenómenos metasomáticos como la grafitización, apatitización, moscovitización y turmalinización.

INTERÉS CIENTÍFICO DE ESTAS PEGMATITAS

Las pegmatitas del Cap de Creus aparecen formando afloramientos de grandes dimensiones en el que se pueden observar todas las diferentes unidades internas de que consta su estructura. Esta característica ha favorecido la realización de muestreos sistemáticos que han permitido involucrarlas en la realización de exhaustivos estudios mineralógicos, petrológicos y estructurales.

Algunos de estos estudios son importantes ya que contribuir al conocimiento de aspectos relacionados con las condiciones de formación de las pegmatitas (Bons et al., 2004). Otros trabajos además representan contribuciones al conocimiento en campos de gran interés en la actualidad. Uno de estos aspectos es el estudio de los procesos que se producen en la transición magmático-hidrotermal, los cuales favorecen la formación de gran número de yacimientos minerales.

En este sentido tiene gran importancia el estudio de los minerales de Nb-Ta en las pegmatitas del Cap de Creus. El Tántalo es un elemento llamado “del futuro” debido a que cada día se le encuentran más aplicaciones en las modernas tecnologías. La gran mayoría de este metal se explota en las pegmatitas. Sin embargo, existe una gran controversia a la hora de establecer los mecanismos de transporte del tántalo en los fluidos que conducen a la formación de estos yacimientos. Para entender los mecanismos de transporte y acumulación de óxidos de Nb-Ta es necesario un fuerte conocimiento de los procesos que generan las rocas fuente de estos elementos raros.

Actualmente los modelos experimentales previstos para el transporte de Nb y Ta establecen que ambos elementos se forman exclusivamente por precipitación en los estadios magmáticos (Linnen y Keppler, 1997). No obstante, las evidencias texturales, observadas en algunos lugares como por ejemplo el Cap de Creus (Alfonso et al., 1995), sugieren que el mecanismo

puede ser más complejo y que los fluidos hidrotermales pueden ser clave en los procesos de cristalización o de redistribución de ambos elementos. Estas pegmatitas son muy ricas en óxidos de Nb-Ta en todas las unidades, siendo las unidades tardías especialmente ricas en ellos y además, en los miembros ricos en Ta. Esto permite obtener información acerca del transporte del Ta en los diferentes fluidos formadores de las pegmatitas.

Los procesos de formación de estas pegmatitas así como las características físico-químicas de los fluidos formadores de las mismas se pueden conocer a través del estudio de las inclusiones fluidas. Estas inclusiones están ampliamente representadas en las pegmatitas de tipos II a IV (Alfonso y Melgarejo, 2008). A partir de este estudio se encuentra que estas pegmatitas se formaron a partir de un magma del que se ha exsuelto un fluido acuoso hipersalino y rico en CO₂.

En los estadios finales de la cristalización pegmatítica el fluido acuoso se desmezcló en (1) un fluido acuoso- carbónico de baja salinidad, relacionado con la formación del núcleo de cuarzo presente en la parte central de las pegmatitas y (2) un fluido muy salino y pobre en CO₂ que circuló a través de una red de fracturas y formó las vetas de albita y causó la albitización de las unidades previamente formadas. En el caso de las pegmatitas de tipo III estos procesos tuvieron lugar en 415-450 ° C y 2.2-2.7 kbar Esta interacción, o metasomatismo, provocó que el fluido residual se enriqueciese en potasio y a diese lugar a la formación de vetas de cuarzo-moscovita. Finalmente, en algunos cuerpos pegmatíticos se formaron vetas de fosfatos y de albita con clorita.

CONCLUSIONES

Las pegmatitas del Cap de Creus constituyen un valioso elemento de nuestro Patrimonio Geológico: desde el punto de vista mineralógico. Presentan gran variedad de minerales, algunos de ellos muy poco comunes.

Desde el punto de vista científico. Sus extensos afloramientos permiten un estudio detallado que contribuye al conocimiento de este tipo de materiales así como al conocimiento de los procesos que tienen lugar durante la transición magmático-hidrotermal, de gran importancia en la formación de los yacimientos minerales.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfonso, P. y Melgarejo, J.C. (2000). Boron vs Phosphorus in granitic pegmatites: the Cap de Creus case (Catalonia, Spain). *Journal of the Czech Geological Society* 45, 131-141.
- Alfonso, P. y Melgarejo, J.C. (2008). Fluid evolution in the zoned rare-element pegmatite field at Cap de Creus, Catalonia, Spain. *Canadian Mineralogist* 46, 597- 617.
- Alfonso, P., Corbella, M. y Melgarejo, J.C. (1995). Nb-Ta-Minerals from the Cap de Creus pegmatite field, eastern Pyrenees: distribution and geochemical trends. *Mineralogy and Petrology* 55, 53-69.
- Bons, P.D., Druguet, E., Hamann, I, Carreras, J., Passchier, C.W. (2004). Apparent boudinage in dykes. *Journal of Structural Geology* 26, 625-636.
- Carreras, J., Casas, J.M. (1987). On folding and shear zone development: a mesoscale structural study on the transition between two different tectonic styles. *Tectonophysics* 135, 87-98.
- Carreras, J., Orta, J.M., San Miguel, A. (1975). El área pegmatítica del litoral N de la Península del Cap de Creus y su contexto metamórfico y estructural. *Revista de Investigaciones Geológicas de la Universidad de Barcelona* 30, 11-34.

- Černý, P. (1991). Rare-element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. *Geoscience Canada* 18, 49-67.
- Corbella, M., Melgarejo, J.C. (1990). Características y distribución de los fosfatos de las pegmatitas graníticas de la Península del Cap de Creus (Pirineo Oriental Catalán). *Boletín de la Sociedad Española de Minineralogía* 13, 169-182.
- Linnen, R.L., Keppler, H. (1997). Columbite solubility in granitic melts: consequences for the enrichment and fractionation of Nb and Ta in the Earth's crust. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 28, 213-227.