

«Rissienne». También los travertinos de Benalmádena se generaron en una etapa de mejora climática: el estadio isotópico 5, que representa en terminología alpina el interglacial Riss-Würm. En cuanto a los travertinos de Torremolinos se encuadran dentro de la glaciación Würmiense, coincidiendo con uno de los máximos en la distribución frecuencial de travertinos en la Península Ibérica, situado, según Durán *et al.* (1988), entre 20 y 30 ka.

También, como puede advertirse fácilmente, existe una relación clara entre altura de las masas de travertinos y su edad. De igual manera parece que la cota de los afloramientos tobáceos coincide con los niveles piezométricos medios de los compartimentos hidrogeológicos detectados

en el acuífero (Zona de Mijas, 400 m.s.n.m.; Zona de Alhaurín de la Torre-Benalmádena, 150-200 m.s.n.m.; Zona de Torremolinos, 60-80 m.s.n.m.) (IGME, 1983), que parecen indicar la existencia de barreras de naturaleza estructural. Esto mismo sugiere la presencia de actividad neotectónica detectada en ambos flancos de la Sierra de Mijas y que podría explicar a la vez el escalonamiento de edificios travertínicos de edades más modernas a menor cota y la compartimentación hidrogeológica del acuífero.

#### Referencias

Blumenthal, M. M. (1949): *Bol. Ins. Geol. Min. España*, LXII, 17-203.

Durán, J. J.; Grün, R. y Soria, J. M. (1988): *II Cong. Geol. de España*, Comunicaciones, 1, 383-386.

Egeler, C. G. y Simón, O. J. (1969): *Verh. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch. Afd. Nat.*, XXV (3), 1-90.

IGME (1983): *Investigaciones hidrogeológicas de la Cuenca del Sur de España* (Sector Occidental). Informe técnico número 1, 86 pp.

Lhenaff, R. (1966): *C. R. som. Soc. Geol. France*, 395-396.

Lhenaff, R. (1981): *Recherches geomorphologiques sur les Cordilleres Betiques Centro-Occidentales* (Espagne). Tesis, 713 pp.

Shackleton, N. J. y Opdyke, N. D. (1973): *Quat. Res.*, 3, 39-55.

Recibido el 30 de septiembre de 1988  
Aceptado el 10 de octubre de 1988

## Las tierras raras en el Plutón de Caldas de Reyes: influencia de la mineralogía en su evolución

A. Cuesta. Departamento de Geología. Universidad de Oviedo. 33080 Oviedo.  
L. G. Corretgé. Departamento de Geología. Universidad de Oviedo. 33080 Oviedo.

#### ABSTRACT

*This paper deals with the role of the mineral phases in the evolution and behaviour of the REE elements in the Caldas de Reyes Zoned Pluton (Galicia-Spain). The study of normative and chemical relationships reveals the preponderant influence of the accessory minerals over REE spectra of the Pluton.*

Cuesta, A. y Corretgé, L. G. (1988): Las tierras raras en el Plutón de Caldas de Reyes: influencia de la mineralogía en su evolución. *Geogaceta*, 5, 63-66.

**Key words:** *Tierras raras, granite, minerales accesorios, Caldas de Reyes, Galicia, España.*

En el Plutón Zonado Hercínico de Caldas de Reyes (C. de R.) (provincias de La Coruña y Pontevedra), se han distinguido tres grupos intrusivos principales (Cuesta, 1987) (fig. 1), que, según datos de campo, petrográficos y geoquímicos, aparecen en el siguiente orden secuencial:

1º *Facies externa más facies externa leucocrata* (FB+FBL): Granitos y granodioritas de biotita ± anfíbol ± moscovita, de grano muy grueso y textura de equigranular a fuertemente inequigranular.

2º *Facies porfídica* (FP): Granodioritas a granitos de biotita y anfí-

bol; de grano muy grueso y textura casi siempre porfídica.

3º *Facies central* (GA): Integrada por varias subfacies dispuestas concéntricamente: *subfacies biotítica*, o granito biotítico de grano medio a grueso a veces porfídico. *Subfacies moscovítica*, o granito de dos micas equigranular de grano medio a grueso. *Dique semianular*, petrográficamente muy similar a la subfacies biotítica, aunque nunca posee carácter porfídico; separado espacialmente de las subfacies precedentes. *Diques graníticos menores*, granitos a aplitas de grano fino y equigranulares.

#### Las tierras raras (REE) en el Plutón de Caldas

Sobre las distintas facies del Plutón de C. de R. se han realizado análisis de REE sobre once muestras, representativas del espectro composicional abarcado por las tres facies principales (tabla I).

En la figura 2 se representa la variación y espectros característicos de las distintas muestras analizadas; de ella puede deducirse que: a) Todos los espectros son comparables a los propuestos para rocas similares (granodioritas-monzogranitos), por Fourcade (1981). b) En todas las muestras se aprecia un considerable índice de frac-

Tabla 1

Nº M.	359FB	509FB	229FB	543FB	414FP	456FP	280GA	312GA	197GA	497DA	484DM
La	50,01	56,62	50,26	25,44	41,66	50,24	44,99	39,59	40,66	40,17	20,03
Ce	109,35	127,16	111,65	61,90	93,86	112,45	98,53	93,60	84,76	88,87	48,36
Nd	41,61	47,11	44,33	23,50	33,45	43,59	35,98	31,23	27,81	31,14	16,24
Sm	9,86	11,74	10,90	5,55	8,27	10,96	7,92	7,29	6,50	7,72	4,59
Eu	2,25	1,91	0,83	0,49	1,54	1,98	1,73	2,12	0,84	1,09	0,69
Gd	7,21	8,84	7,80	4,09	5,59	8,15	4,75	4,70	3,96	5,42	3,52
Dy	6,41	8,12	7,15	3,78	5,77	7,59	3,89	3,71	2,78	5,89	3,88
Er	3,10	3,58	3,42	2,08	3,17	3,81	1,99	2,10	1,41	3,56	2,41
Yb	3,17	3,63	3,34	2,22	3,69	3,81	2,02	2,34	4,54	4,58	3,32
Lu	0,45	0,50	0,46	0,28	0,49	0,53	0,28	0,38	0,24	0,65	0,47
ΣREE	247,46	285,51	254,94	137,41	209,43	258,11	213,75	197,84	179,89	200,63	110,04
Ce/Dy	17,05	15,66	15,61	16,37	16,26	14,81	25,32	25,22	30,48	15,08	12,46
ΣREE/cond	64	73	66	35	54	66	55	51	46	52	28

Ce/Dy: Calculado sobre valores normalizados. Condrito extraído de Evensen *et al.* (1976). Análisis ICP: Realizados en el CRPG (Nancy-Francia).

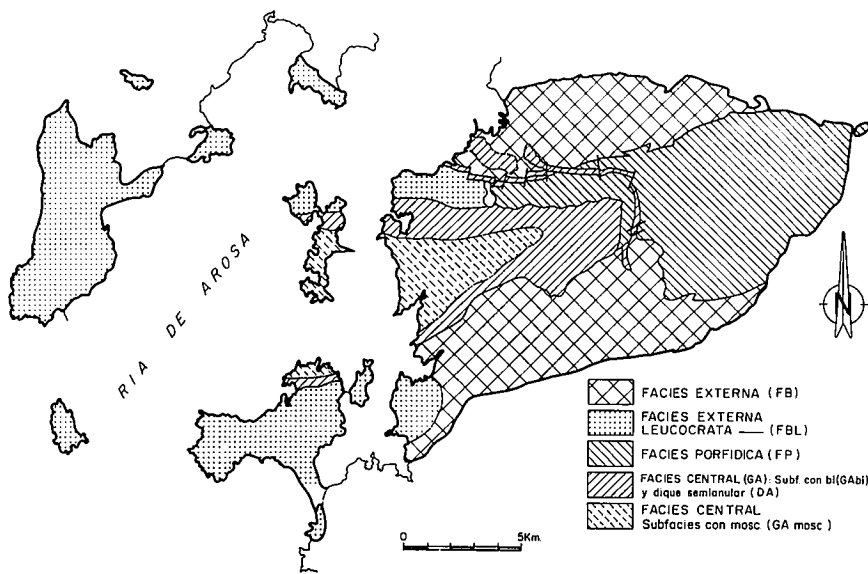


Fig. 1.—Esquema geológico del plutón zonado de Caldas de Reyes.

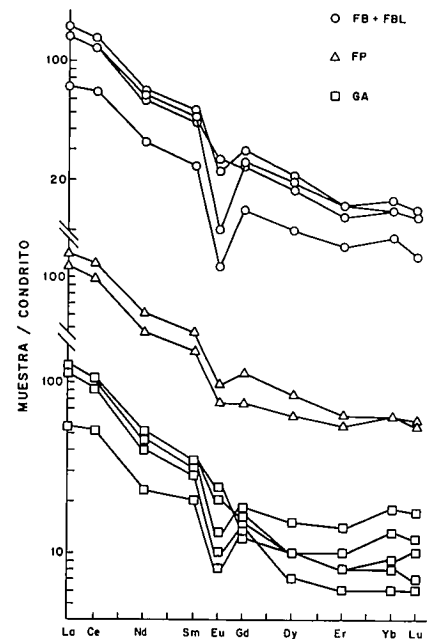


Fig. 2.—Diagrama de contenidos en tierras raras en las tres facies representativas del plutón de Caldas de Reyes.

cionación (Ce/Dy) para las REE ligeras e intermedias; este fenómeno es algo más acusado para las muestras de la GA. c) El contenido total de tierras raras (ΣREE), así como la relación ΣREE/condrito, disminuyen progresivamente según la secuencia de emplazamiento. d) Dentro de cada facies la evolución del Eu ilustra con claridad el proceso de cristalización fraccionada: la anomalía en Eu aumenta con el grado de diferenciación dentro de cada facies. e) Las muestras representativas de la actividad filoniana (incluidas en la GA) presentan un comportamiento canónico para las tierras raras pesadas según se describe en la literatura (Cocherie, 1979; Fourcade, 1981).

**Evolución de las REE en Caldas: factores determinantes**

El estudio de las REE y aplicación en la interpretación de procesos petrogenéticos de rocas ígneas adquiere gran importancia a partir del momento en que se revelan algunas de sus peculiares características. De este modo, el conocimiento de los coeficientes de distribución ( $K_D$ ) de las REE para los diferentes minerales ha permitido el establecimiento de diversos modelos evolutivos (tanto cualitativos como cuantitativos) de tierras raras para las rocas ígneas. Existen fundamentalmente dos tendencias interpretativas en abierta controversia. Por un lado algunos autores han estable-

cido modelos, considerando el papel determinante de los minerales esenciales, obteniendo resultados eventualmente coherentes, pero teóricamente discutibles Cocherie (op. cit.), Ortega (1987) y Ortega y Gil Ibarguche (en prensa). De otro lado, autores como Arth y Hanson (1975), Fourcade (op. cit.) y Mahood y Hildreth (1983) han revelado la existencia de  $K_D \geq 1$  para algunas fases accesorias, y por ello les atribuyen un papel primordial en la evolución de las REE. Hasta tal punto esto es así que Gromet y Silver (1983) consideran que entre el 80 y el 95% del contenido total de REE se

aloja en allanita y esfena; opinión compartida por Miller y Mittlefehldt (1982) y Sawka *et al.* (1983), quienes afirman, además, que el comportamiento de las REE en magmas félsicos es claramente compatible.

Con el objeto de determinar en el Plutón Zonado de C. de R. los factores cualitativamente determinantes sobre los que se apoyan los mecanismos de evolución de las REE, se ha intentado un acercamiento al problema tratando de lograr dos objetivos: 1º) Determinar el comportamiento compatible/incompatible de las REE en rocas ácidas como las de C. de R. 2º) Establecer qué minerales (esenciales y/o accesorios) condicionan con mayor grado de influencia el comportamiento evolutivo de las tierras raras.

Para tratar de resolver *el primero* se han proyectado las diferentes muestras frente a un índice de diferenciación, en este caso el contenido en SiO<sub>2</sub> (fig. 3). La disposición de las muestras indica que: a) La tendencia es claramente compatible en los dos casos mejor representados: FB+FBL y GA; la FP (con peor definición debido a la escasez de datos) manifiesta una tendencia similar a las anteriores. b) La variación de contenidos totales en REE parece estar íntimamente relacionada con la secuencia de emplazamiento propuesta para las tres unidades intrusivas.

Para resolver *el segundo objetivo* se utilizan dos métodos diferentes pero complementarios; por un lado se correlaciona el ΣREE con porcentajes modales de minerales accesorios (en este caso allanita) (fig. 4) o con contenidos en elementos traza como P y Zr (fig. 5), constituyentes mayoritarios de algunos accesorios (apatito y circonio en este caso) tomados como representativos de los mismos si no se dispone de contenidos modales; este

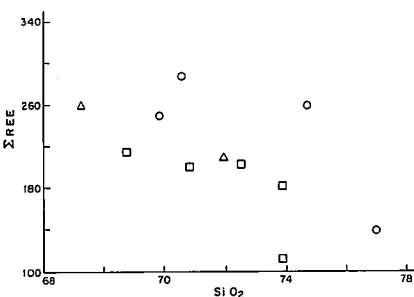


Fig. 3.—Variación en el contenido en tierras raras con respecto al SiO<sub>2</sub>. Símbolos: Ver figura 2.

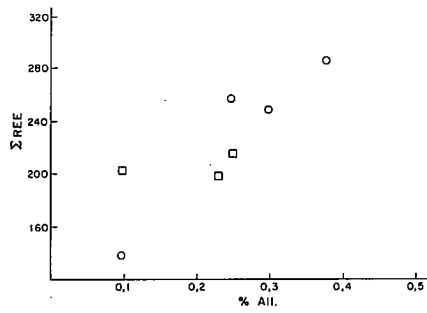


Fig. 4.—Variación en el contenido en tierras raras con respecto al porcentaje modal de allanita. Símbolos: Ver figura 2.

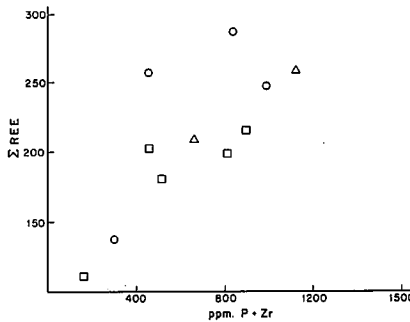


Fig. 5.—Variación en el contenido en tierras raras con respecto al contenido en fósforo más circonio. Símbolos: Ver figura 2.

procedimiento ofrece además algunas ventajas si se tienen en cuenta las dificultades metodológicas para obtener porcentajes modales exactos y precisos de minerales accesorios como allanita, esfena, apatito, etcétera. Por otro lado se han tratado de establecer una correlación gráfica entre tierras raras y algunos minerales normativos: feldespato potásico, plagioclasa e hiperstena. El procedimiento establecido para su cálculo (norma CIPW) resulta adecuado para el propósito perseguido (con la leve excepción del feldespato potásico normativo que no está corregido para la biotita), en el sentido de que el método puede permitir evaluar el grado de influencia de determinados elementos o conjunto de elementos, en relación con la evolución de las REE.

Los resultados obtenidos (fig. 4, 5, 6, 7 y 8) indican, en términos generales, que: se aprecia una correlación positiva mucho más acusada en el caso de la allanita (fig. 4) y P+Zr (fig. 5), que en el caso del feldespato potásico normativo (fig. 6), cuya característica es una gran dispersión de valores. La plagioclasa e hiper-

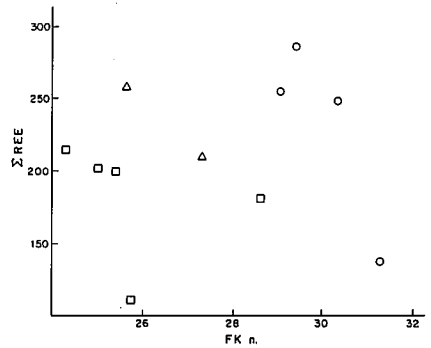


Fig. 6.—Variación en el contenido en tierras raras con respecto al contenido en feldespato potásico normativo. Símbolos: Ver figura 2.

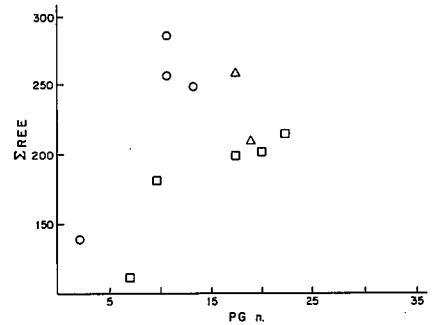


Fig. 7.—Variación en el contenido en tierras raras con respecto al contenido en plagioclasa normativa. Símbolos: Ver figura 2.

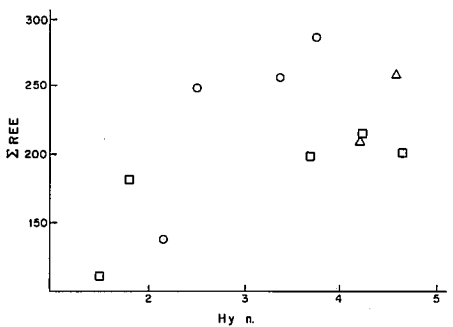


Fig. 8.—Variación en el contenido en tierras raras con respecto al contenido en hiperstena normativa. Símbolos: Ver figura 2.

stena normativa, por su parte (figs. 7 y 8) ofrecen mejor correlación que el feldespato potásico, pero siempre peor que allanita y P+Zr. Es decir, existe una correlación mejor y más marcada de las REE con los minerales accesorios que con los esenciales.

**Conclusiones**

Los contenidos y evolución de las REE en el Plutón de C. de R. permi-

ten extraer las siguientes conclusiones: 1.<sup>a</sup>) El mecanismo evolutivo principal (a la luz de las tierras raras) en C. de R. parece haber sido un proceso de cristalización fraccionada no necesariamente sencillo. Asimismo parece existir una cierta relación de interdependencia genética de unas facies con respecto a la anterior o anteriores. 2.<sup>a</sup>) El comportamiento de las REE resulta compatible con la diferenciación hacia términos ácidos, al menos en rocas que, como estas, poseen contenidos en SiO<sub>2</sub> superiores al 68%, en concordancia con las ideas expuestas por Fourcade (op. cit.) y Sawka *et al.* (op. cit.). El contenido en fases accesorias como allanita, esfena, apatito, etcétera, resulta fundamental en la interpretación de las tierras raras. Las correlaciones entre ΣREE y diversos minerales (representados por contenidos modales, composiciones normativas u óxidos representativos de los mismos) señalan sin lugar a dudas la preponderancia de las fases accesorias

sobre las esenciales, tal y como defienden numerosos autores: Arth y Hanson (op. cit.), Mahood y Hildret (op. cit.), etcétera. 4.<sup>a</sup>) La utilización de minerales normativos (según norma CIPW u otras como la de Rittmann, 1973) resulta ser un método cómodo y práctico para la determinación del grado de influencia cualitativa de los diferentes minerales en el comportamiento de las REE.

#### Referencias

- Arth, J. G. y Hanson, G. N. (1975): *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 39, 325-362.  
 Cocherie, A. (1978): *These 3<sup>eme</sup> Cycle*. Univ. de Rennes, 181 pp.  
 Cuesta, A. (1987): *Resum. IX Reun. de Xeol. e Min. do NO Peninsular. Laxe*, pp. 3-5.  
 Evensen, M. M.; Hamilton, P. J. y O'Nions, R. K. (1976): *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 42, 1.199-1.212.

- Fourcade, S. (1981): *Géochimie des granotoïdes. These 3<sup>eme</sup> Cycle*. Univ. de París, VII, 189 pp.  
 Gromet, L. P. y Silver, L. T. (1983): *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 47 (5), 925-939.  
 Mahood, G. y Hildreth, W. (1983): *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 47 (1), 11-30.  
 Miller, C. F. y Mittlefehldt, D. W. (1982): *Geology*, 10 (3), 129-133.  
 Ortega Cuesta, L. A. (1987): *Tipología de tierras raras de granitos post-cinemáticos de Galicia (NW de España)*. Tesis de Licenciatura. Universidad del País Vasco, 135 pp.  
 Ortega Cuesta y Gil Ibarra, J. I. (en prensa): *Rare earth elements composition of late to post-kinematic hercynian granitoids from Galicia (NW Spain)*.  
 Rittman, A. (1973): *Stable mineral assemblages of igneous rocks*. Springer-Verlag. Heidelberg.  
 Sawka, W. N.; Chapell, B. W. y Norrish, K. (1984): *Geology*, 12 (3), 1131-1134.

Recibido el 30 de septiembre de 1988  
 Aceptado el 10 de octubre de 1988

## Gabros coroníticos en el macizo cristalino de Toledo

L. Barbero. Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas. 28040 Madrid.  
 C. Villaseca. Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas. 28040 Madrid.

#### ABSTRACT

*The Bastida gabbros massif is formed by olivine norites and piroxene gabbro-norites. The metamorphic conditions are those of the intermediate to low pressure granulite facies, producing the coronitic texture that exhibit this gabbros.*

Barbero, L. y Villaseca, C. (1988): Gabros coroníticos en el macizo cristalino de Toledo. *Geogaceta*, 5, 66-68.

**Key words:** *Coronitic gabbros, Hercynian Toledo massif.*

#### Encuadre geológico

El único afloramiento de gabros coroníticos que se conoce hasta el momento en el macizo cristalino de Toledo está situado en la Ermita de La Bastida. Afloran como una lámina plegada en antifirma de dirección N140E concordante con las estructuras visibles de la unidad migmatítica de Toledo. Son masivos macroscópicamente, pero hacia los bordes presentan una foliación paralela a la del encajante. Pueden aparecer intruidos por los leucogranitos anatécnicos del

sector, con fenómenos de brechificación y transformación variable (Aparicio, 1971). Son intrusivos en momentos previos a la etapa metamórfica principal del área.

#### Descripción petrográfica

El macizo de gabros de La Bastida está constituido principalmente por dos tipos de rocas: gabros olivínicos de grano medio a fino y gabros piroxénicos de un tamaño de grano algo mayor y más leucocráticos. Esporádi-

camente aparecen también algunos términos más diferenciados, cuarzo-dioríticos, en los bordes transformados del macizo.

Los gabros olivínicos están formados por plagioclasa (An<sub>60</sub>), olivino (Fo<sub>90</sub>), ortopiroxeno (En<sub>85</sub>), anfíbol (de tipo magnesiohastingsita), biotita y espinela. Se clasifican como noritas olivínicas.

Los gabros piroxénicos están constituidos por plagioclasa (An<sub>50</sub>), ortopiroxeno (En<sub>85</sub>), clinopiroxeno de tipo endiopsido, magnesiohastingsita y bio-