

VARIACIONES MINERALOGICAS Y QUIMICAS
DE ENCLAVES MICROGRANULARES
DE LOS GRANITOIDES TARDIHERCINICOS
DEL SISTEMA CENTRAL ESPAÑOL

POR

J. L. BARRERA *, F. BELLIDO * y M. PEINADO *

RESUMEN

Se estudia una población de enclaves microgranulares en granitoides, representativa de los tipos más frecuentes del Sistema Central español.

Modalmente varían desde términos dioríticos a granodioríticos con un máximo de tipos tonalíticos. Respecto a los minerales máficos, la asociación más frecuente es la biotítica, seguida por la de biotita-anfíbol y biotita-anfíbol-piroxeno, muy subordinada. En general, esta asociación se corresponde con las que muestran los granitoides encajantes respectivos.

El conjunto de texturas, tanto intergranulares como propias de las fases individuales, y la secuencia mineral, acreditan su cristalización a partir de un fundido, extremo corroborado por las correlaciones interminerales.

Su composición química es, en conjunto, homogénea, con pequeñas desviaciones que generalmente marcan una pauta de evolución, tanto para los elementos mayores como para los menores. Estas tendencias de variación se superponen a la de los términos básicos de las series graníticas que las incluyen.

INTRODUCCION

El tipo de enclave microgranular que consideramos en este trabajo es el definido por DIDIER (1973) como enclave oscuro de grano

* Departamento de Petrología. Universidad Complutense. Madrid.

fino sin orientación interna y de apariencia ígnea, que se encuentra con formas redondeadas y bordes netos dentro de los granitos intrusivos calcoalcalinos de áreas orogénicas.

Del amplio sector de rocas graníticas del Sistema Central (SC) hemos escogido preferentemente para su estudio las áreas de Cardenosa y El Espinar, debido a la abundancia de enclaves microgranulares que hay en ellas. Para completar espacialmente el muestreo se han tomado datos también de APARICIO *et al.* (1975) y BELLIDO (1979). En la figura 1 se representan los sectores estudiados.

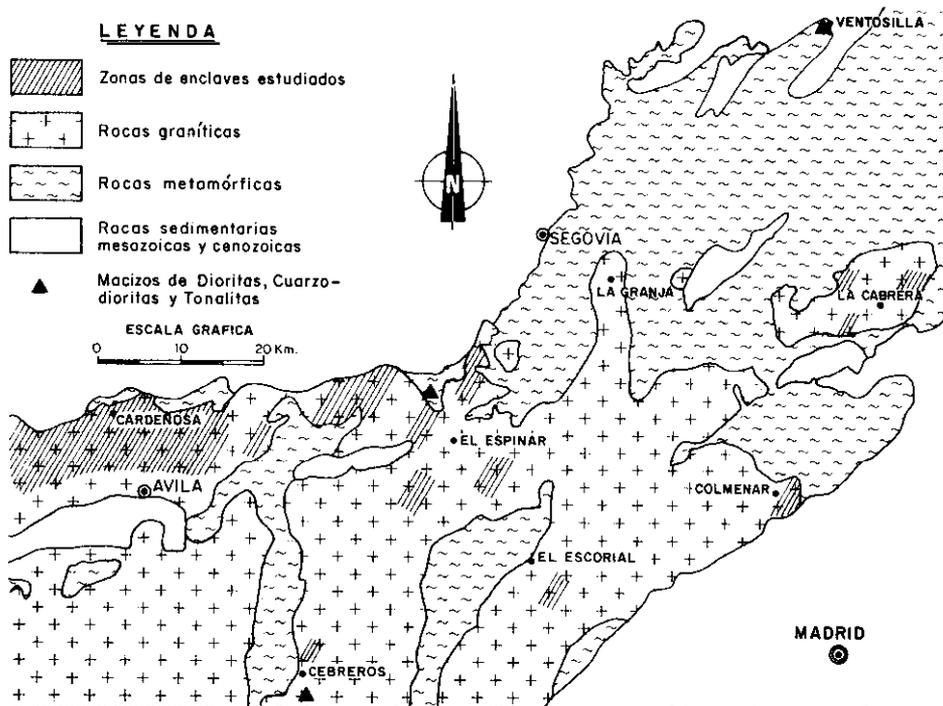


FIGURA 1.

En total se han seleccionado 82 enclaves para su estudio petrográfico, analizándose el contenido de elementos traza de 21 de ellos, a los que se han sumado 10 tomados de los trabajos de los dos autores citados anteriormente.

Hasta ahora, a excepción del trabajo de APARICIO *et al.* (1975), no se han realizado estudios petrológicos detallados sobre este tipo de enclaves. Solamente MARTIN ESCORZA (1978) ha hecho un estudio

de la estructura y orientación de ellos, pero sin llegar a plantearse cuestiones composicionales y genéticas.

CARACTERISTICAS PETROLOGICAS GENERALES

Preferentemente, los enclaves en el campo tienen formas redondeadas (circulares y, mayoritariamente, elipsoidales) con bordes netos de separación respecto al granito encajante. Estas relaciones geométricas producen el aspecto de ser dos rocas ígneas distintas que se han puesto en contacto durante un estadio plástico de ambos, como parecen indicar las morfologías esferoidales y la falta de contactos angulosos.

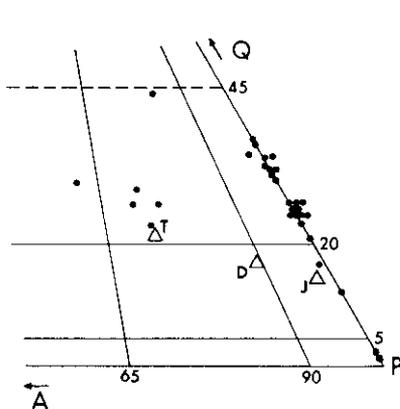
Su distribución espacial dentro de la masa granítica es heterogénea. A escala regional no hay una concentración preferente de ellos, pero localmente se pueden disponer con más abundancia, cerca de los contactos, o próximos a las áreas tonalíticas-cuarzo-dioríticas que hay en la región. A escala de afloramiento también muestran una distribución heterogénea: lo mismo están aisladas, que agrupadas en masas o en «swarm» lineales (APARICIO *et al.*, 1975).

En muchos casos se puede apreciar una orientación según su eje más largo. Esta circunstancia es muy general en otros macizos graníticos orogénicos (DIDIER, 1973) y constituye una regla más que una excepción. Incluso LINK (1970) comprobó una concordancia total entre la orientación de los enclaves y la foliación de los granitos encajantes. Sobre esta cuestión, MARTIN ESCORZA (1978) llega a la conclusión, en el puerto de Guadarrama, de que existen dos direcciones preferentes de orientación que obedecen a dos momentos de esfuerzos durante el ascenso del magma granítico que los engloba.

TIPOS ROCOSOS Y COMPOSICION MINERALOGICA

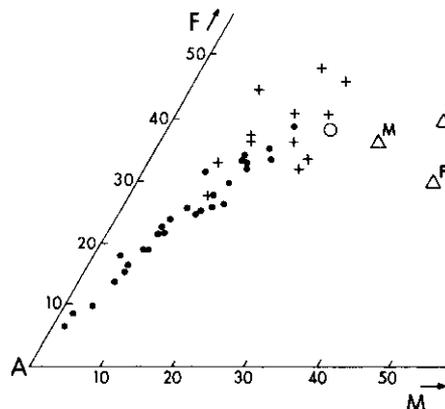
En la figura 2 se han proyectado en el triángulo QAP la composición modal de los 31 enclaves en que se han determinado elementos traza. Como puede observarse, la composición tonalítica es la mejor representada, aunque se encuentran en menor proporción composiciones cuarzodioríticas y granodioríticas.

Ante la duda expresada por GIL IBARGUCHI (1980) de que parte de los enclaves microgranulares del SC fueran rocas vaugneríticas, hemos proyectado en el mismo triángulo QAP la composición modal media que dan DIDIER (1964), TRÖGGER y JOHANNSEN (los dos en BURRI, 1964) para este tipo de roca. Puede verse que las vaugneritas tienen un espectro de variación mediano en relación a la com-



- Enclaves
 - △ Vaugneritas
- | | |
|----|--------------------|
| T: | media de Tröger |
| D: | media de Didier |
| J: | media de Johannsen |

FIGURA 2.



- + Enclaves
 - Granitoides SC
 - Media de Tonalitas de Ventosillo
 - △ Medias de Vaugneritas
- | | |
|-----|-----------------|
| F = | Finisterre |
| M = | Margeride (SCF) |
| V = | Velay (SCF) |

FIGURA 3.

posición cuarzo-feldespática, pero fuera, de manera general, de las concentraciones modales de los enclaves microgranulares. Las vaugneritas contrastan con los enclaves en su menor contenido en cuarzo, mayor proporción de máficos y feldespato potásico. Por tanto, parece que las dos rocas son, en este caso, diferentes. Más adelante tendremos ocasión de demostrarlo nuevamente cuando se trate la composición química de ellas.

Desde el punto de vista petrográfico, las paragénesis de los enclaves y de los granitos encajantes son, en la mayoría de las ocasiones, semejantes, indicando una estabilidad o equilibrio mineralógico entre ambas rocas. Esta característica se ha reconocido como una condición general de este tipo de enclaves en muchos lugares del mundo, DIDIER (1973).

En la tabla I se enumeran y cuantifican las paragénesis reconocidas, sobre el total de 82 muestras estudiadas. Mayoritariamente el tipo rocoso más abundante es la tonalita biotítica, seguida de la tonalita biotítico-anfibólica. Los enclaves tienen unos máficos hidratados (biotita-hornblenda), con cantidades accesorias de clinopiroxeno. No hay pasos graduales, cuantitativamente, entre las paragénesis con clinopiroxeno y las que presentan biotita y/o hornblenda.

La mineralogía accesorias y secundaria está compuesta por apatito, circón, allanita, esfena, opacos, clorita y epidota.

TABLA I

<i>Mineralogía total (%)</i>		<i>Minerales máficos (%)</i>	
Q - Fk - P - B	13,4	B	54,9
Q - Fk - P - B - Hb	11,0	B - Hb	37,8
Q - P - B	40,2	B - Hb - Px	1,2
Q - P - B - Hb	25,6	B - Px	6,1
Q - P - B - Hb - Px	4,9		
Q - P - B - Px	1,2		
P - P	1,2		
P - B - Hb	1,2		
P - B - Hb - Px	1,2		

Desde el punto de vista textural, el 55 % de los enclaves tienen texturas equigranulares de tipo diabásico o microporfídicos (fenocristales de plagioclasa) con matriz grano fino diabásica. Un 15 % tienen texturas poiquilíticas en las que el cuarzo y, a veces, la microclina, engloban a plagioclasa-biotita. El resto de las texturas son mixtas, originadas a partir de las ya citadas. En cualquier caso, la fábrica y el orden de cristalización observado indican con claridad una secuencia de cristalización ígnea a partir de un fundido silicatado.

En la tabla II están representados los coeficientes de correlación de los minerales modales. Hay que advertir que, dado el bajo contenido (en muy raras ocasiones pasan del 2 %) en Px-AP-Zir-All-Esf-Op-Ep, cualquier correlación con los minerales principales, o entre ellos, es meramente tentativa, pero nunca definitiva, debido al posible error de determinación en sus cantidades.

Observando dicha tabla, y uniéndola las características petrográficas estudiadas, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- El cuarzo tiene una alta correlación negativa con el anfíbol, y en segundo lugar con plagioclasa, clinopiroxeno y esfena. Petrográficamente es siempre intersticial y el último mineral en cristalizar. Si hay abundante cuarzo, aparecen texturas poiquilíticas en las que engloba plagioclasa y máficos. Todas estas características indican un proceso ígneo de diferenciación en cuarzo, como ya quedó también expresado en la distribución modal QAP. Es decir, conforme la roca va enriqueciéndose en cuarzo, aumenta ligeramente el contenido en biotita (correla-

ción positiva débil) y disminuye plagioclasa y anfíbol, hasta alcanzar la paragénesis más típica de tonalita biotítica (o incluso granodiorítica).

- El feldespató potásico es microclina. Tiene correlación negativa alta con la plagioclasa y biotita y en segundo lugar con el anfíbol. Sin embargo, la tiene positiva débil con el cuarzo. Esto parece indicar una cristalización póstuma junto con el cuarzo, corroborado también por el carácter intersticial y poiquilítico con que se presenta.

Hay que destacar, como ya pusieron de manifiesto APARICIO *et al.* (1975), la posible existencia de procesos de alcalinización sobre el enclave con la introducción de feldespató potásico y cuarzo, durante el período de consolidación de ambas rocas.

- La plagioclasa tiene correlación positiva con el anfíbol, luego con la esfena y muy débilmente con el cuarzo. Altamente negativa con la microclina. Estos datos están en gran parte de acuerdo con lo esperado dentro de un proceso de diferenciación.

La plagioclasa siempre está zonada. Cuando aparece como microfenocristales su zonado es oscilatorio, y cuando lo hace como microlitos tiene zonado normal. El hecho de incluir algunas veces biotitas y anfíboles, hace pensar que su cristalización se realiza en un amplio rango temporal.

- La biotita tiene correlación negativa con todos los minerales menos con el cuarzo, apatito, circón y allanita. Parece, pues, evidente, que su cristalización se hace a partir de los estadios intermedios, en asociación íntima con el apatito y circón, como es habitual en las rocas de la suite granítica.

Algunas biotitas crecen sobre el anfíbol. Otras veces exhibe texturas dactílicas, intercreciendo biotita-anfíbol-cuarzo.

- El anfíbol (de tipo hornblenda) tiene correlación positiva con el clinopiroxeno, plagioclasa y esfena, y altamente negativa con el cuarzo. Todo esto concuerda con lo esperado en un proceso de diferenciación.

Gran parte de él presenta buen idiomorfismo, indicativo de su origen primario, aunque algunas veces hay microagregados anfibólicos que pudieran representar pseudomorfos de otros minerales máficos anteriores, tales como piroxenos.

- En cuanto a los minerales accesorios sólo se pueden hacer algunas indicaciones, debido a su escasa abundancia.

La allanita y el circón están ligados positivamente, lo que parece bastante normal en rocas de esta naturaleza. Tanto el apatito como el circón son positivos con el cuarzo y la biotita, y negativos con los minerales más básicos del enclave, indicando, por tanto, etapas intermedias-finales para su cristalización.

Es importante hacer observar que el apatito tiene unas morfologías aciculares y esqueléticas, tanto con caras rectas como curvas, que localmente se pueden disponer en agregados paralelos de varios cristales aciculares. Está incluido en parte de la plagioclasa pero, generalmente, en los cuarzos. Este tipo de morfologías, como la textura microgranular, demuestran un enfriamiento rápido a partir de un fundido, en el momento en que habían cristalizado algunas fases, como piroxeno, plagioclasa, anfíbol, biotita, y es prueba evidente del origen ígneo de estos enclaves.

El circón es más abundante en las tonalitas biotíticas, como podía intuirse de sus correlaciones positivas con el cuarzo y la biotita.

- Los minerales secundarios como la clorita, epidota y algunos de los opacos, guardan entre sí altas correlaciones positivas, lo que confirma su asociación como subproductos de la transformación hidrotermal de la biotita, con la que los tres tienen correlación negativa.

Hay que destacar también en estos enclaves de naturaleza ígnea básica, la poca abundancia de minerales opacos, sobre todo pensando en que algunos de ellos son secundarios. Puede que en los primeros estadios de la cristalización no hubiese suficiente Po_2 para formarlos.

En resumen, desde el punto de vista mineralógico, los enclaves microgranulares de los granitoides del S. C. español, presentan unas paragénesis y relaciones texturales acordes con las que se producen en los procesos de cristalización magmática de los fundidos calcoalcalinos gabroideo-granítico.

GEOQUIMICA DE ELEMENTOS MAYORES

En la tabla III se dan las medias de 12 enclaves microgranulares representativos del sector oriental del S. C. Se han incluido también datos de rocas graníticas, tonalíticas y vaugneritas como términos comparativos.

El rango de variación es bastante restringido, como lo demuestran las bajas desviaciones típicas que presentan la mayoría de los elementos. Estas composiciones son muy semejantes a las dadas por

TABLA III
 MEDIAS COMPOSICIONALES Y NORMAS C.I.P.W. DE ENCLAVES
 Y ROCAS ASOCIADAS Y VAUGNERITAS

	(A)	(A')	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)
SiO ₂	62,09	3,31	69,17	60,90	60,98	49,27	50,52	57,48
Al ₂ O ₃	15,88	1,24	14,61	17,04	16,05	14,05	14,65	15,14
Fe ₂ O ₃	0,89	0,59	0,69	1,22	1,20	2,89	1,93	2,85
FeO	5,41	1,66	2,32	4,49	4,35	3,81	6,19	4,43
MnO	0,16	0,05	0,04	0,07	0,08	0,11	0,08	0,09
MgO	2,59	0,93	1,35	2,52	3,25	8,95	11,43	5,93
CaO	3,33	0,90	2,63	4,49	5,97	7,50	7,59	4,57
Na ₂ O	4,29	0,90	3,50	3,56	3,22	0,80	1,81	2,78
K ₂ O	3,08	1,00	3,85	2,79	2,33	5,59	2,82	3,75
TiO ₂	0,91	0,20	0,47	0,95	0,86	1,64	1,02	1,06
P ₂ O ₅	0,23	0,11	0,20	0,38	0,19	0,95	0,51	0,52
H ₂ O	1,24	0,50	1,02	1,24	1,41	2,70	1,03	1,14
Q	11,37		25,63	14,57	14,90	—	—	8,21
Or	18,20		22,75	16,49	13,77	33,04	16,55	22,16
Ab	36,30		29,62	30,13	27,25	6,77	15,23	23,52
An	14,99		11,74	19,80	22,47	18,24	23,50	17,77
Di	0,03		—	—	4,83	10,03	8,74	1,20
Ol	—		—	—	—	4,13	10,12	—
Hy	14,43		6,35	12,07	11,45	13,85	18,45	18,39
Mt	1,29		1,00	1,77	1,74	4,19	2,75	4,13
Il	1,73		0,89	1,80	1,63	3,11	1,90	2,01
Ap	0,53		0,46	0,88	0,44	2,20	1,16	1,20
C	—		0,39	0,91	—	—	—	—

(A) Media de 12 enclaves microgranulares del Sistema Central (APARICIO et al., 1975; BELLIDO, 1979). (A' = desviaciones típicas).

(B) Media de 29 análisis de granitos del S. Central (APARICIO et al., 1975).

(C) Tonalita, Guisando (APARICIO et al., 1975).

(D) Media de tonalitas de Ventosilla (FUSTER y RUBIO, 1980).

(E) Media de 3 Vaugneritas de Finisterre (GIL IBARGUCHI, 1980).

(F) Media de 6 Vaugneritas de Velay (DIDIER, 1973).

(G) Media de 12 Vaugneritas de la Margeride (COUTURIÉ, 1977).

TABLA IV

ANFIBOLES					MICAS				
	1	2	3	4		1	2	3	4
SiO ₂	48,30	48,17	54,08	51,11	SiO ₂	35,51	34,14	38,76	36,75
Al ₂ O ₃	6,09	4,86	3,66	2,84	Al ₂ O ₃	12,62	12,00	16,48	14,52
FeO(T)	17,96	20,87	8,20	7,77	FeO	21,67	22,74	11,73	13,33
MnO	0,63	0,93	0,41	0,50	MnO	0,30	0,26	0,42	0,43
MgO	11,94	12,45	17,33	20,09	MgO	11,37	11,32	15,90	19,12
CaO	12,20	10,72	12,08	13,10	CaO	—	—	0,38	—
Na ₂ O	1,01	0,54	0,54	1,63	Na ₂ O	—	—	0,28	0,50
K ₂ O	0,47	0,17	0,16	0,45	K ₂ O	9,32	8,83	9,65	8,95
H ₂ O	2,02	2,00	0,41	0,53	TiO ₂	4,07	3,76	2,65	3,00
	100,62	100,71	97,11	98,02	H ₂ O	3,89	4,27		
						98,70	97,32	96,24	96,61

FORMULAS ESTRUCTURALES					FORMULAS ESTRUCTURALES				
	×	×	+	+		×	×	+	+
Si	7,17	7,20	7,67	7,31	Si	5,55	5,49	5,63	5,39
Al ^{IV}	0,83	0,80	0,33	0,48	Al ^{IV}	2,33	2,27	2,36	2,51
Al ^{VI}	0,24	0,06	0,28	—	Al ^{VI}	—	—	0,46	—
Fe	2,23	2,61	0,97	0,93	Ti	0,48	0,45	0,29	0,33
Mn	0,08	0,12	0,08	0,06	Fe	2,83	3,06	1,43	1,64
Mg	2,64	2,77	3,67	4,28	Mn	0,04	0,04	0,05	0,05
Ca	1,94	1,72	1,84	2,01	Mg	2,65	2,71	3,44	4,18
Na	0,29	0,16	0,15	0,45	Ca	—	—	0,06	—
K	0,09	0,03	0,03	0,08	Na	—	—	0,08	0,14
OH	2,00	2,00			K	1,86	1,81	1,79	1,68
					OH	4,00	4,00		

(× BASE 24-0; + BASE 22-0)

1. Hornblenda. Enclave microgranular (BELLIDO, 1979).
2. Hornblenda. Granodiorita-biotítico-anfibólica (BELLIDO, 1979).
- 3-4. Tremolitas. Vaugneritas (GIL IBARGUCHI, 1980).

(× BASE 24-0; + BASE 20-0)

1. Biotita. Enclave microgranular (1) (BELLIDO, 1979).
2. Biotita. Granodiorita-biotítico-anfibólica (2) (BELLIDO, 1979).
- 3-4. Flogopitas. Vaugneritas (GIL IBARGUCHI, 1980).

OTTO (1974), GIL IBARGUCHI (1980), para las zonas alemana y gallega, respectivamente. En otros casos hay ligeras diferencias que se traducen en composiciones algo más básicas (PABST, 1928), o con mayor contenido en Al_2O_3 y más elevada relación K/Na (ALBUQUERQUE, 1973). Aún teniendo en cuenta estas pequeñas dispersiones, el aspecto composicional de los enclaves del S. C., es más reducido que el que da DIDIER (1973). La causa está en que dicho autor incluye globalmente en sus histogramas tipos de enclaves granudos de distintas provincias y de diferentes naturalezas, obteniendo lógicamente un amplio espectro de variaciones.

La tendencia de variación de los 12 enclaves en el diagrama AFM (Figura 3) se alinea en el extremo básico de la curva de diferenciación del conjunto granítico que los incluye. Se aprecia igualmente un quimismo similar entre los enclaves microgranulares y las tonalitas de macizos estudiados en este sector del S. C., por APARICIO *et al.* (1975), FUSTER y RUBIO (1980), con tránsitos a términos cuarzodioríticos-granodioríticos.

Normativamente, hay que destacar la cantidad de cuarzo libre y la proporción de ortosa. Esta última se agotaría si se combinara con la hiperstena para la formación teórica de biotita que es, realmente, el mineral modal presente.

La proporción media de diópsido es reducida y el corindón es inexistente, lo que se encuentra plenamente de acuerdo con la mineralogía observada, en la que el ferromagnesiano mayoritario es la biotita con cantidades subordinadas de anfíbol.

En la tabla IV figura la composición de micas y anfíboles en granitos, enclaves y, como términos comparativos, vaugneritas de Finisterre. La similitud que guardan la composición de estas fases en el enclave y granito encajante es grande. Este hecho demuestra el equilibrio existente entre una y otra roca, reforzando la idea de su relación químico-mineralógica. Las vaugneritas tienen composiciones distintas para sus micas y anfíboles.

GEOQUIMICA DE ELEMENTOS TRAZA

La tabla V incluye los 31 análisis de elementos traza de enclaves, y la tabla VI sus medias, junto con los valores promedio de los granitos del S. C. relacionados con ellos.

En la figura 4 se han enfrentado las concentraciones de elementos menores (incluyendo las rocas graníticas), frente al índice de coloración de Jung y Brousse. Las pautas de evolución seguidas por los enclaves se disponen según un «trend» asociado a los granitos, si bien, en algunos casos, fundamentalmente en el Ni, la variación es errática.

TABLA V

	<i>Ba</i>	<i>Ce</i>	<i>La</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Rb</i>	<i>Sr</i>	<i>Th</i>	<i>Zr</i>
Adamellitas	593	48	9	17	37	194	133	11	173
	695	84	35	2	26	154	184	0	193
	539	17	23	10	24	178	151	1	157
Granodioritas	391	390	85	12	23	253	37	71	360
	410	90	26	4	26	243	70	17	227
	502	120	23	5	31	290	83	17	228
	248	17	1	0	15	169	118	7	144
	417	57	17	0	39	115	188	5	170
	423	54	49	3	21	158	147	1	174
	291	52	45	9	36	149	140	13	193
	203	80	67	27	26	117	115	4	172
	288	103	60	4	20	148	140	11	190
	172	74	41	28	21	140	134	5	165
	463	90	68	18	19	134	136	4	217
	355	81	45	0	28	178	127	7	160
	106	31	7	36	29	222	98	0	163
Tonalitas	335	42	40	21	21	118	184	2	172
	283	41	23	15	35	163	135	3	161
	169	105	39	34	68	157	98	2	201
	320	22	24	23	23	96	135	0	158
	481	36	24	11	21	121	178	5	145
	427	40	31	21	12	85	253	9	185
	330	31	35	17	13	165	275	23	194
	367	54	40	28	17	171	260	25	320
	434	67	105	27	18	246	190	45	490
	191	21	27	0	15	176	293	20	193
	779	54	29	0	0	157	264	16	175
	379	26	18	6	26	138	111	0	165
Cuarzodioritas	734	106	2	6	0	118	239	11	263
	229	11	0	50	21	122	124	0	161
Dioritas	272	2	67	8	21	89	140	0	164

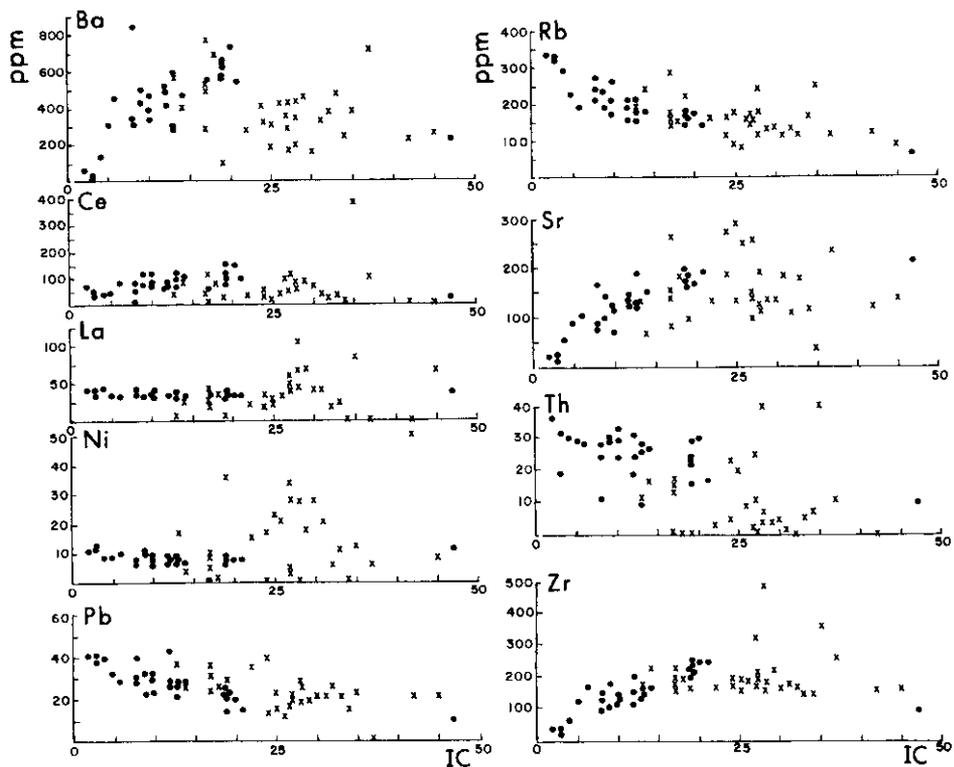


FIGURA 4

La dispersión en los enclaves es parecida a la de los granitos, aunque para ciertos elementos es más acentuada.

Al comparar los valores medios se aprecia el carácter más básico de los enclaves, con contenidos superiores en Ni, Sr y Zr, e inferiores en Rb, Th, Ce.

RELACION MINERALOGIA-ELEMENTOS TRAZA

Se han calculado los coeficientes de correlación entre la composición modal de los enclaves y los contenidos de elementos traza (Tabla VII). Tratamos de averiguar así, cuál es el control ejercido por la fases minerales mayoritarias, sobre estos elementos.

El cuarzo tiene correlación positiva con el Rb, Pb, Th y Ce. Dado que ninguno de estos elementos tiene posibilidad de incorporarse en este mineral, se considera que dicha correlación es inducida y debida, exclusivamente, a la tendencia de estos elementos a concentrar-

TABLA VI

	ENCLAVES MICROGRANULARES		GRANITOS	
	\bar{X}	STD	\bar{X}	STD
Ba	381	164	430	205
Ce	66	68	83	35
La	36	24	34	3
Ni	14	13	9	2
Pb	24	12	28	8
Rb	160	49	207	61
Sr	157	63	127	55
Th	11	15	25	7
Zr	201	72	143	64
	n = 31 análisis		n = 29 análisis	

TABLA VII

	Ba	Ce	La	Ni	Pb	Rb	Sr	Th	Zr
Q	-0,04	0,28	0,05	-0,22	0,34	0,40	-0,02	0,29	0,03
Fk	0,44	0,18	-0,18	-0,22	0,22	0,53	-0,31	0,10	0,03
Pl	-0,09	-0,59	-0,08	0,20	-0,31	-0,48	0,41	-0,44	-0,15
Bi	-0,26	0,52	0,44	0,15	0,04	0,01	0,01	0,41	0,33
Anf	-0,10	-0,27	-0,18	0,38	-0,25	-0,53	0,02	-0,30	-0,18
Clpx	-0,14	-0,17	0,27	-0,05	-0,06	-0,30	-0,07	-0,16	-0,11
Ap	0,08	0,15	0,08	-0,23	0,08	0,04	0,07	-0,11	0,01
Zir	-0,27	0,12	0,02	0,31	0,66	0,01	-0,24	-0,15	-0,03
All	0,20	0,22	0,27	-0,08	0,06	0,05	-0,03	-0,01	0,12
Esf	-0,09	-0,18	-0,25	0,47	-0,11	-0,18	-0,05	-0,14	-0,05
Op	-0,08	-0,15	-0,35	-0,32	-0,02	-0,03	0,02	-0,07	-0,16
Ep	-0,12	-0,15	-0,28	-0,26	-0,13	0,04	-0,14	-0,07	-0,17

se en los líquidos finales. Lógicamente, para este tipo de roca, los líquidos finales son los ricos en cuarzo, como ya se vio en la petrografía.

El Rb y Ba están, preferentemente controlados por el feldespató potásico con el que guardan una estrecha correlación positiva. De la misma manera, la biotita es la que controla el Ce, La, Th y, en menor proporción el Zr. Es decir, los tres minerales que se acumulan en los diferenciados finales (cuarzo, microclina, biotita) son los que controlan al Ba, Ce, La, Rb, Pb, Th, aunque como ya se ha dicho, el cuarzo lo hace de forma inducida. Por otra parte, salvo pequeños cambios en algunos de los coeficientes, hay un ligero paralelismo entre el cuarzo y el feldespató potásico, lo cual es debido al carácter póstumo de ambos.

La plagioclasa es el mineral que determina de manera casi exclusiva el comportamiento del Sr, como es habitual en los procesos ígneos de diferenciación. La correlación entre los dos es altamente positiva.

El comportamiento entre biotita y plagioclasa es bastante antagónico, en parte parecido a lo que se observó en sus correlaciones modales. Esto puede explicarse por el hecho de que al ser la composición de los enclaves de naturaleza intermedia, el proceso de solidificación hace cristalizar la biotita en las etapas medias y finales de la evolución, mientras que la plagioclasa y el anfíbol lo hacen en los primeros estadios.

El anfíbol es el mineral que ejerce un mayor control sobre el Ni y, a grandes rasgos, tiene una conducta similar a la de la plagioclasa.

Las correlaciones frente a los minerales accesorios no se consideran, ya que su escasa proporción y pequeño tamaño hacen que su determinación cuantitativa sea susceptible de errores.

VAUGNERITAS «Versus» ENCLAVES MICROGRANULARES

Ya en el apartado de composición mineralógica se adelantaron diferencias en el contenido modal entre unas rocas y otras. Aquí vamos a tratar el tema desde el punto de vista geoquímico.

En el diagrama AFM (Fig. 3) se ha representado junto con las rocas graníticas y los enclaves microgranulares, composiciones de enclaves vaugneríticos de otros lugares graníticos macizo Central francés, DIDIER (1964), COUTURIE (1973) en GIL IBARGUCHI (1980), Finisterre, GIL IBARGUCHI (1980).

Sus proyecciones se apartan de la línea evolutiva general de granitos-enclaves, situándose fuera del campo de proyección de estos últimos.

También atendiendo a los contenidos en otros elementos mayores (Tabla III) puede verse que las vaugneritas tienen menor proporción de SiO_2 , mayores contenidos en CaO , MgO , P_2O_5 y unas relaciones $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ claramente invertidas. Igualmente, el contenido en Ni de la vaugneritas de DIDIER (1973) es mucho más alto. Estas diferencias quedan lógicamente puestas de manifiesto en sus valores normativos, donde las vaugneritas tienen una menor proporción de cuarzo, llegando a términos con olivino e incluso con nefelina en algunos casos individuales.

Por último, los datos composicionales de micas y anfíboles (Tabla IV) contribuyen a acentuar las diferencias puestas de manifiesto por los demás criterios. Así, los enclaves tienen biotitas y hornblendas, mientras que en las vaugneritas se presentan flogopitas y tremolitas.

En resumen, por lo que respecta a los enclaves microgranulares del sector granítico estudiado del S. C., no existen datos que hagan pensar en predecesores vaugneríticos para ellas, contrariamente a lo que sospecha GIL IBARGUCHI (1980).

DISCUSION

Tanto las formas, composiciones y manera de presentarse, de los enclaves microgranulares del S. C. español que hemos estudiado, son bastante habituales en otras provincias graníticas orogénicas calcoalcalinas pertenecientes a la serie I de CHAPPELL y WHITE (1974).

Esta cuestión hace que muchos investigadores se planteen la estrecha relación genética que parece existir entre enclave y granito.

Hoy en día, casi nadie piensa ya en que sean xenolitos de roca caja transformados por el magma granítico en su ascenso, ya que ni los datos geoquímico-mineralógicos, ni las texturas apuntan hacia una hipótesis de este tipo.

Hay autores que opinan que los enclaves microgranulares son restitas del proceso de fusión parcial que ha dado origen a los líquidos granodioríticos y graníticos, mientras que otros piensan que son rocas ígneas de cristalización directa de rocas básicas-intermedias, que interaccionan con los líquidos graníticos en las áreas crustales donde se están generando éstos (OTTO, 1974; OTTO y WIMMENAUER, 1973). Entre los partidarios de la primera postura están ALBURQUERQUE (1971, 1973), WYLLIE (1977), WHITE y CHAPPELL (1977). Estos últimos autores consideran que durante el ultrametamorfismo de rocas intermedias (\approx andesitas) se genera por fusión parcial un fundido de composición granodiorítica que constituiría los términos ro-

cosos de su serie I granítica. El residuo tendrá una paragénesis de \pm plagioclasa \pm clinopiroxeno \pm ortopiroxeno que es, evidentemente, granulítica. Esta paragénesis se reequilibraría con el líquido granítico para dar composiciones anfibólicas cercanas a las que presentan los enclaves microgranulares en su momento actual. Aunque parece atrayente esta explicación, cabe puntualizar las siguientes objeciones. Los enclaves microgranulares del Sistema Central (y muchos de otros lugares) tienen unas variaciones en su composición mineralógica, en el contenido de elementos mayores y traza, un orden de cristalización de sus fases minerales, unas morfologías esqueléticas de sus apatitos, unas zonaciones progresivas de sus plagioclasas, y unas texturas diabásicas y poiquilíticas, que indican la intervención de un mecanismo de cristalización ígnea para su formación. Entrando en detalles se puede añadir que los enclaves estudiados no presentan anomalías negativas en Rb, Th, lo cual es característico de los procesos de granulitización, HEIER (1973), entre otros, sino que muestran además apreciables contenidos de elementos granitófilos, que los hacen incompatibles con un proceso de restitización. Igualmente, los enclaves tienen una relación K/Rb baja, lo cual es otra objeción al origen restítico de ellos, ya que todo proceso de fusión parcial tiende a empobrecer en Rb la roca original, a través de los mecanismos de extracción del fundido granítico. Hay que resaltar, por último, que todas las características geoquímicas y mineralógicas de los enclaves estudiados, apuntan a definir en ellos, unas propiedades similares a las de los extremos más básicos de la serie evolutiva granítica, en continuidad con los granitoides encajantes. Esta hipótesis coincide con la segunda enunciada al comienzo de este apartado.

Según todo lo expuesto, los enclaves microgranulares del S. C. proceden de un fundido de composición intermedia y con H₂O presente, que se va diferenciando progresivamente a líquidos cada vez más tonalíticos. El fundido comienza cristalizando pequeños volúmenes de paragénesis dioríticas-cuarzodioríticas (Q — P — Hb — Clpx) para ir evolucionando a los mejor representados de tonalitas con Q — P — B. En un momento intermedio de esta cristalización, en el que el líquido residual es rico en SiO₂, se produce la insolubilidad del P₂O₅ (representado en el apatito esquelético), dada la incompatibilidad de estos dos compuestos (WATSON, 1980) y, junto con un enfriamiento brusco del fundido, provoca la textura microgranular diabásica característica, y la aparición esquelética del apatito. Posteriormente, continuará otra vez la cristalización final del cuarzo, que englobará a este mineral y, en las texturas poiquilíticas, a plagioclasa y máficos. Este enfriamiento brusco corresponderá con el mo-

mento en que el magma básico se pone en contacto con líquidos graníticos de menor temperatura.

De los datos morfológicos de los enclaves deducidos en campo, parece evidente que los enclaves exhiben formas y relaciones con el granito semejantes a los que cabe esperar de dos rocas en estado plástico. Así, el líquido básico se incluye en estado plástico dentro del fundido granítico antes de que éste alcance su solidez. Una vez dentro, los enclaves serán ascendidos siguiendo las líneas de flujo internas de la masa granítica hasta su emplazamiento actual, como han demostrado LINK (1970) y MARTIN ESCORZA (1978). Durante esta etapa de contacto entre los dos fundidos, los enclaves sufren ligeras modificaciones en sus características composicionales, que explican las pequeñas variaciones que a veces pueden presentar en relación con macizos de rocas semejantes (FUSTER y RUBIO, 1980).

A la vista del estudio realizado, consideramos que los enclaves microgranulares no parecen representar una restita, sino la consolidación de un magma intermedio, más o menos evolucionado, dentro de la serie plutónica calcoalcalina de los granitoides de la serie I continental. Futuros estudios tratarán de precisar el origen de este magma y su relación genética con el granito encajante.

AGRADECIMIENTOS

El muestreo utilizado procede de los archivos del Departamento de Petrología de Madrid, a cuyos miembros expresamos nuestro agradecimiento, especialmente al profesor J. M. Fúster, colector de la mayor parte de dicho material. Igualmente, a M. J. Domingo por la labor mecanográfica.

BIBLIOGRAFIA

- ALBUQUERQUE, C. A. R. de (1971): «Petrochemistry of a Series of granitic rocks from northern Portugal». *Geol. Soc. Am. Bull.*, 82, 2783-2798.
- (1973): «The origin of enclaves in granitic rocks from northern Portugal». *Spec. Publ. Geol. Soc. S. Afr.*, 3, 479-493.
- APARICIO, A.; BARRERA, J. L.; CARABALLO, J. M.; PEINADO, M., y TINAO, J. M. (1975): «Los materiales graníticos hercínicos del Sistema Central español». *Mem. Inst. Geol. Min. Esp.*, 88, 145 págs.
- BELLIDO, F. (1979): *Estudio petrológico y geoquímico del plutón granítico de La Cábrega (Madrid)*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 331 págs.
- BURRI, C. (1964): *Petrochemical calculations*. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalén, 304 págs.

- CHAPPELL, B. W., y WHITE, A. J. R. (1974): «Two contrasting granite types». *Pacific Geology*, 8, 173-174.
- DIDIER, J. (1964): «Etude petrographique des enclaves de quelques granites du Massif Central français». *Ann. Fac. Sci. Univ. Clermont-Ferrand*, 23, 254 págs.
- (1973): *Granites and their enclaves*. Ed. Elsevier, 393 págs.
- FUSTER, J. M., y RUBIO, J. I.: «El afloramiento granodiorítico-tonalítico de Ventosilla (Guadarrama Central)». *Bol. Inst. Geol. Min.*, III, 494-502.
- GIL IBARGUCHI, J. I. (1980): «Las vaugneritas de la región de Finisterre (Galicia, NW España). Probables productos de magmas anatéticos residuales». *Reunión de Xeoloxia do Noroeste Peninsular. Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 1, Sada, La Coruña.
- HEIER, K. S. (1973): «Geochemistry of granulite facies rocks and problems of their origin». *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.*, 273, 429-442.
- LINK, A. J. (1970): *Inclusions in the Half Dome Quartz-Monzonite, Yosemite National Park-California*. Thesis, Northwestern University, Evanston, III, 113 págs.
- MARTÍN ESCORZA, C. (1978): «Estructura y deformación de los enclaves microgranulares negros (gabarros) del Alto de los Leones, Guadarrama». *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol.)*, 76, 57-87.
- OTTO, J. (1971): *Die quartzdioritischen Einschlüsse im Granit von Oberkirch (Nordschwarzwald), und deren Herkunft aus intrusiven Dioriten*. Thesis, Freiburg in Breisgau Univ., 221 págs.
- (1974): «Die einschlüsse im Granit von Oberkirch (Nordschwarzwald)». *Ber. Naturf. Ges. Freiburg/Br.*, 64, 83-174.
- OTTO, J., y WIMMENAUER, W. (1973): «Les enclaves dans les granites de la Forêt Noire». *Bull. Soc. Geol. France*, XV, 199-208.
- PABST, A. (1928): «Observations on inclusions in the granitic rocks of the Sierra Nevada». *Univ. Calif. Publ. Bull.*, Dept. Geol. Sci., 17, 325-386.
- WATSON, E. B. (1980): «Apatite and phosphorus in mantle source regions: an experimental study of apatite/melt equilibria at pressures to 25 Kbar». *Earth and Planetary Science Letters*, 51, 322-335.
- WHITE, A. J. R., y CHAPPELL, B. W. (1977): «Ultrametamorphism and granulite genesis». *Tectonophysics*, 43, 7-22.
- WYLLIE, P. J. (1977): «Crustal anatexis: an experimental review». *Tectonophysics*, 43, 41-71.