

El stock de Santa Elena (Jaén): una intrusión genéticamente independiente de la asociación magmática del batolito de Los Pedroches

The Santa Elena stock (Jaén). An intrusion genetically independent from the magmatic association of the Los Pedroches Batholith

LARREA, F. J. ; CARRACEDO, M.; ORTEGA, L. A.; GIL IBARGUCHI, J. I.

The Santa Elena stock has been classically considered as belonging to the magmatic association of the Los Pedroches Batholith. The stock is intrusive into psammo-pelitic materials Ordovician to Carboniferous in age.

The Santa Elena stock is composed of biotite granodiorite to tonalite with gabbro-diorite as enclaves of variable size outcropping in northern sectors of the intrusion. Pelitic xenoliths of various sizes, likely related to magma stopping, are common through the massif. The Santa Elena stock is intruded by a dike complex made of aplite and ore-bearing quartz veins.

The two main lithological units exhibit different geochemical features with local evidence of magma mixing between acid and basic types. The granodiorite-tonalite is chemically homogeneous regarding the content of major and trace elements, including REE. These rocks correspond to mildly peraluminous terms of an alumino-caffemic association of calc-alkaline character. The gabbro-diorite enclaves are meta-aluminous and clearly deviate from the geochemical trend defined by granodiorite and tonalite.

The rocks from the Santa Elena stock are very different from the common granodiorite types of the Los Pedroches Batholith. It appears from the petrological and geochemical data that the Santa Elena stock corresponds to an independent and different magma from that at the origin of the Los Pedroches to which it had been classically associated.

Key words: granodiorite, tonalite, quartzo-monzogabbro, alumino-caffemic association, Los Pedroche Batholith, genetic relationship.

INTRODUCCIÓN

Situado al Sur de la Península Ibérica, el plutón de Santa Elena se ubica en el sector oriental de la Sierra Morena, al Norte de la Provincia de Jaén. Sus afloramientos se hallan comprendidos en las hojas del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 números 862 (Santa Elena), 863 (Aldeaquemada), 884 (La Carolina) y 885 (Santisteban del Puerto), ocupando una superficie aproximada de unos 30 km².

El stock, de morfología subelipsoidal y con su eje mayor orientado en dirección E-O, se emplaza en materiales detríticos del Paleozoico pertenecientes a la zona Centroibérica del Macizo Hercínico Ibérico (ROBARDET, 1976).

Tradicionalmente, el granitoide de Santa Elena ha sido integrado en la asociación magmática del batolito de Los Pedroches (SÁNCHEZ CELA et al., 1969). Sin embargo, sus características tanto de campo, como petrográficas y geoquímicas difieren bastante de las de los litotipos comparables del batolito de Los Pedroches, proporcionando al plutón de Santa Elena una entidad propia e independiente.

En el presente trabajo se presentan los datos petrológicos más relevantes sobre el stock de Santa Elena, enfrentándolos posteriormente a los de los litotipos comparables del batolito de Los Pedroches, asociación magmática con la que inicialmente se pensaba que existía ligazón genética.

EL ENTORNO GEOLÓGICO

El granitoide de Santa Elena se emplaza en condiciones epizonales en materiales paleozoicos de edad diversa. En las zonas central y septentrional, intruye en materia-

les pelítico-areniscosos y cuarcíticos ordovícicos. En el sector meridional, lo hace sobre pizarras silúricas y sedimentos cuarcíticos y/o cuarcítico-pizarrosos del Devónico. Más al Sur contacta con pizarras y grauvacas carboníferas (Viseense medio-superior a Namuriense inferior, QUESADA et al., 1987) del Culm de Los Pedroches (figura 1).

Discontinuamente, hacia el cuadrante noroccidental del plutón, tanto granitoide como encajante se encuentran recubiertos por sedimentos detríticos cuaternarios de origen coluvial.

La intrusión del stock sobre el conjunto de materiales paleozoicos descritos produce una aureola de metamorfismo de contacto de extensión variable y que se prolonga tanto al Este como especialmente hacia el Oeste del plutón (sector de Los Guindos y El Centenillo), en donde ya no afloran asomos de naturaleza ígnea. Las paragénesis minerales observadas en la aureola, además de apuntar hacia un emplazamiento casi sincinemático con respecto a la fase principal de la deformación hercínica de la región, indican que se han alcanzado condiciones de corneanas piroxénicas (isograda de la sillimanita).

El emplazamiento del plutón provoca importantes fenómenos de stoping magmático, tal y como evidencia la notable abundancia de roof pendants (figura 1) y pequeños enclaves xenolíticos distribuidos por el intrusivo. Este hecho, unido a las peculiares características de la aureola de metamorfismo térmico (su extensión cartográfica), inducen a pensar que nos encontramos ante la parte apical o de cúpula de un cuerpo ígneo de notables dimensiones, de morfología alargada, y que en profundidad (bajo el encajante metasedimentario

paleozoico) se prolonga hacia sectores más occidentales como orientales.

EL PLUTON DE SANTA ELENA

Características petrográficas

Cartográficamente, en el stock de Santa Elena se han reconocido y diferenciado diversas facies ígneas (figura 1):

Granodioritas-tonalitas

Conforman la facies principal del plutón. Hacia los bordes occidental y meridional aparecen fuertemente deformadas. Son rocas granudas, de grano medio-grueso y color gris. Presentan una gran variabilidad texturo-estructural (desarrollo de fábricas desde isótropas a planares y/o planolineales), que contrasta con su homogeneidad mineralógica. Salvo en un sector muy concreto —en las inmediaciones de la población de Santa Elena—, en donde afloran rocas básicas, no presenta enclaves microgranulares máficos.

Mineralógicamente están constituidas por: plagioclasa ácida a intermedia (An_{57-26}), de talla variable (hasta 3 cm.), maclada, con zonado de tipo oscilatorio, y que con cierta asiduidad desarrolla texturas dendríticas o celulares; biotita en forma de placas (de hasta 5 mm) o como agregados policristalinos de individuos de pequeño tamaño; cuarzo mayoritariamente xenomorfo, aunque existen individuos idiomorfos; feldespato potásico (microclina-ortosa) xenomorfo, de marcado carácter intersticial. Como minerales accesorios aparecen: circón, apatito y menas metálicas (ilmenita). Los minerales secundarios son: clorita, sericita, moscovita (procedente de la desestabilización de biotita y feldespatos), epidota y opacos.

Muchas de las muestras estudiadas presentan síntomas de deformación que se manifiestan por la presencia de micas flexuradas-kinkeadas, plagioclasas fracturadas, cuarzos con extinción ondulante y/o en ribbons, y feldespato potásico microclinizado con marcada extinción ondulante. Todas estas características se plasman en el desarrollo de fábricas planares (foliaciones), cuyo origen se ha interpretado por flujo en estado sólido («solid state foliations», PATTERSON et al., 1989).

A efectos de clasificación modal son mayoritariamente granodioritas. Sin embargo, ligeras variaciones mineralógicas cuantitativas —en ningún caso cualitativas— se traducen en la presencia de litotipos que van desde tonalitas a monzogranitos (figura 2).

Rocas básicas

Se hallan en la parte septentrional del plutón, en las proximidades de la localidad de Santa Elena. Afloran a modo de megaenclaves y/o de enjambres de enclaves monogénicos en el seno de la facies tonalítico-granodiorítica. Las relaciones de intrusión con la facies principal apuntan, con ciertas reservas, hacia la cohetaneidad en el emplazamiento de ambas.

Constituyen un conjunto litológico bastante heterogéneo tanto desde el punto de vista mineralógico como textural. Mayoritariamente son rocas holocristalinas de color verde oscuro, de tamaño de grano medio y textura hipidiomórfica inequigranular.

Los minerales principales que las componen son: plagioclasa intermedia (An_{77-30}), a menudo dendrítica, maclada y/o con zonado de tipo oscilatorio; anfíbol magnésico-cálcico (hornblenda, hornblenda-actinolita,

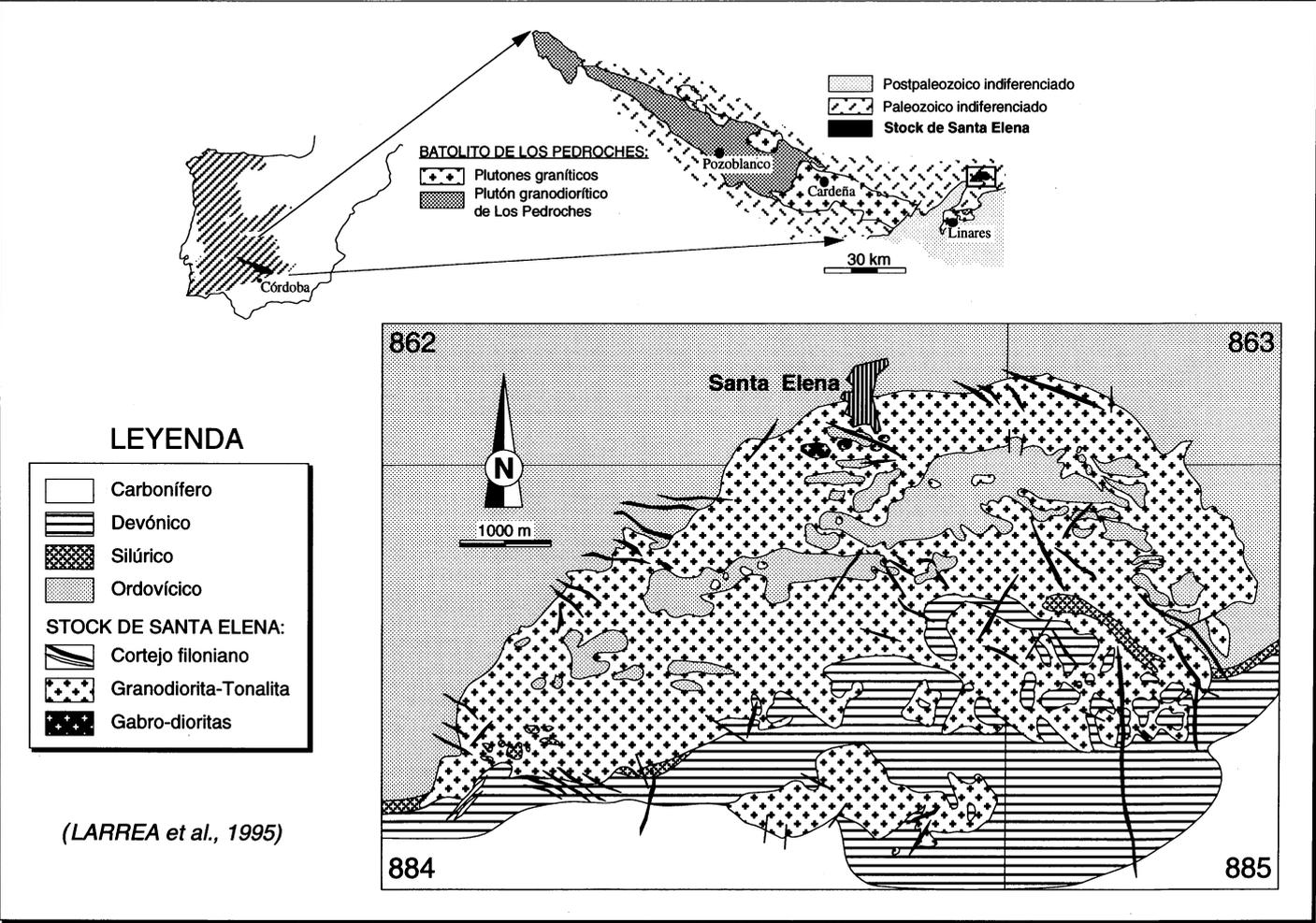


Fig. 1. Esquema cartográfico del plutón de Santa Elena.

pargasita, tschermakita y magnesio-hastingsita), bien en forma de grandes individuos aislados con inclusiones de plagioclasa, bien como agregados de numerosos cristales de reducida talla («clots» anfibólicos); biotita marcadamente pleocroica y que, sea en forma de placas o en agregados policristalinos de individuos de pequeño tamaño, aparece en íntima relación con el anfíbol; cuarzo en proporciones ya escasas (cristales intersticiales xenomorfos). Como minerales accesorios se observan: esfena, circón, apatito, allanita y opacos. La mineralogía secundaria se compone de: clorita, actinolita-tremolita, sericita, moscovita (procedente de la desestabilización de feldespato), epidota, feldespato alcalino y opacos.

Hacia el contacto con las granodioritas-tonalitas circundantes, las rocas básicas muestran importantes variaciones de índole mineralógica: es habitual una paulatina disminución en el contenido en anfíbol (éste prácticamente aparece sólo en forma de agregados—clots—de varios individuos en íntima asociación con biotita) y, en menor medida, de plagioclasa, coincidiendo con un notable incremento en el contenido en cuarzo y la aparición de feldespato potásico (ortosamicroclina), ambos de marcado carácter intersticial y poiquilítico. La plagioclasa sufre además notables variaciones composicionales (se han detectado dos máximos en el contenido en anortita de la plagioclasa: An_{42-30} y An_{75-61}), mientras que la biotita se torna más férrica a pesar de no sufrir aparentes variaciones modales. Estas observaciones, junto con las características de campo y los datos geoquímicos (que se verán más adelante), apuntan hacia fenómenos de mezcla magmática entre fundidos ácidos-intermedios (que dieron lugar a la granodiorita-tonalita) y básicos (en forma de enclaves).

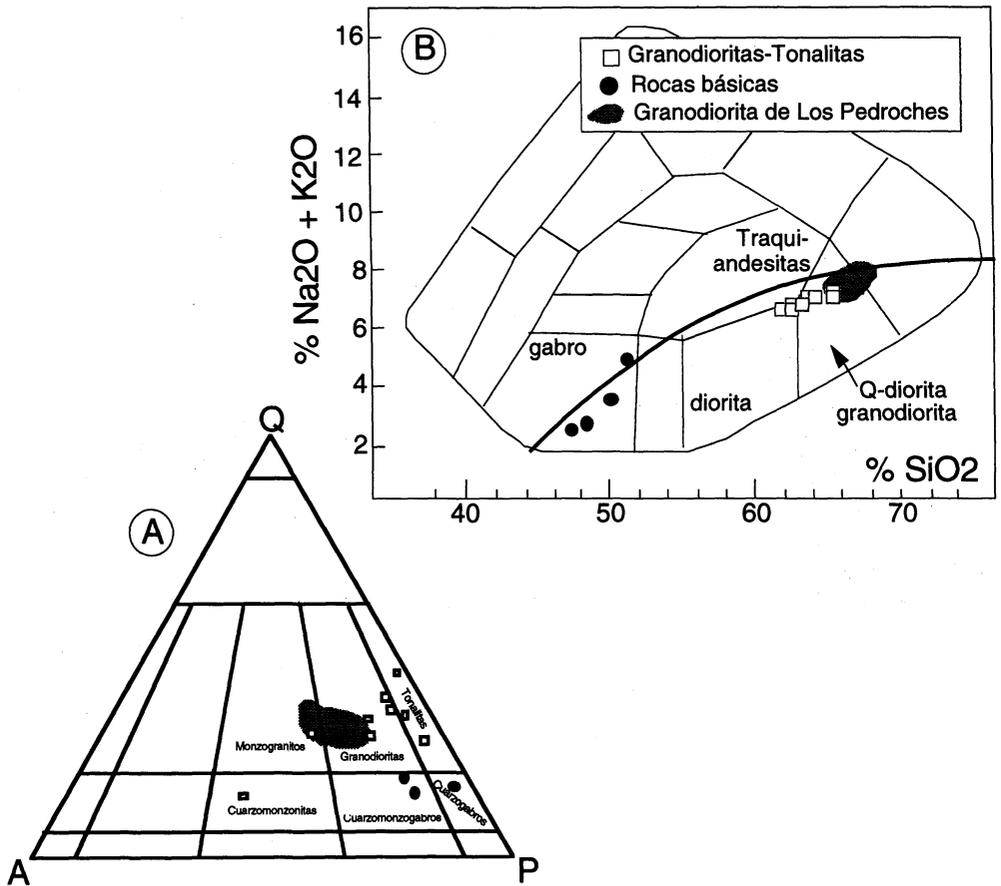
Modalmente los enclaves de rocas básicas pueden clasificarse como cuarzogabros, cuarzomonzodioritas y cuarzomonzogabros. En función de su composición química son gabros (figura 2).

Complejo filoniano

Se encuentra compuesto básicamente por diques aplíticos y filones de cuarzo.

Las aplitas se encuentran representadas por todo el granitoide en forma de filoncillos centimétricos a decimétricos de escasa continuidad. Sin embargo alcanzan un importante desarrollo (reflejable incluso a escala cartográfica) en la parte sur-occidental del plutón, mostrando morfologías tabulares subverticales de dirección NE-SO con potencias y corridas variables que llegan a alcanzar, en los diques más extensos, del orden de 20 metros y 1 km respectivamente. Se trata de rocas de color blanquecino, granudas, de tamaño de grano fino-medio con textura aplítica, localmente algo porfídica. Los minerales principales que las constituyen son: cuarzo (xenomorfo); feldespato potásico (mayoritariamente intersticial aunque esporádicamente puede observarse algún fenocristal centimétrico); plagioclasa (albita) maclada. Como minerales accesorios aparecen: biotita, apatito, circón, opacos, turmalina y granate. La mineralogía secundaria se compone de: sericita, epidota, clorita, moscovita y opacos. Algunas muestras presentan texturas grano-fídicas, con desarrollo de intercrecimientos gráficos micropegmatíticos y mirmequitas.

Los filones de cuarzo se distribuyen por el stock y su encajante dibujando direcciones tendentes a N-S y E-W, buzamientos subverticales, y espesores muy variables



Caracterización geoquímica

Fig. 2. Diagramas de clasificación A) «QAP» (I. U. G. S., 1989) y B) «TAS» (COX et al., 1979), en los que se proyectan las rocas del stok de Santa Elena y las granodioritas de Los Pedroches.

(centimétricos a decamétricos), prolongándose desde unos metros hasta 4-5 km. Muchos de ellos se hallan mineralizados (sulfoantimoniuros de Pb y Ag, sulfuros de Cu y Fe, ENADIMSA en CASTELLÓ Y ORVIZ, 1976), por lo que hasta épocas muy recientes han sido sometidos a una intensa explotación.

Caracterización geoquímica

Granodioritas-tonalitas

Las granodioritas-tonalitas son rocas muy

homogeneas también desde el punto de vista químico (Tabla I). La escasa variación del SiO_2 (61.6 a 64.9%) caracteriza una geoquímica de elementos mayores y trazas, incluidas REE, un tanto «restringida». Dentro de este estrecho margen de variación puede observarse que los elementos mayores (salvo el K_2O) se empobrecen durante la diferenciación. Esta misma pauta es seguida por muchos de los elementos traza (Cr, Sr, V, Zr...). Otros elementos, tales como Rb, Ba, Y,... muestran un comportamiento incompatible (figura 3).

TABLA I: Datos geoquímicos estadísticos de las principales litologías que conforman el stock de Santa Elena.

	Granodiorita-Tonalitas				Rocas Básicas			
	Máx	mín	med	DEV	Máx	mín	med	DEV
SiO ₂	64.87	61.62	62.88	1.05	50.34	46.84	48.22	1.42
TiO ₂	0.96	0.72	0.86	0.08	0.89	0.48	0.66	0.16
Al ₂ O ₃	17.17	16.42	16.79	0.31	18.07	12.90	15.07	1.88
Fe ₂ O _{3t}	6.49	5.04	5.80	0.45	9.70	6.53	8.53	1.20
MgO	1.92	1.43	1.67	0.15	12.96	6.69	11.10	2.56
CaO	4.25	2.91	3.73	0.49	10.16	8.30	9.48	0.72
MnO	0.08	0.06	0.07	0.01	0.16	0.10	0.13	0.02
Na ₂ O	3.02	2.45	2.81	0.23	1.88	0.88	1.27	0.40
K ₂ O	4.30	3.25	3.71	0.35	2.87	1.29	1.95	0.62
P ₂ O ₅	0.30	0.26	0.28	0.02	0.20	0.12	0.16	0.04
LOI	1.61	0.88	1.09	0.23	3.41	2.72	3.12	0.26
Ba	731.00	654.00	701.14	29.81	363.00	134.00	250.50	97.79
Be	2.50	2.20	2.24	0.10	1.79	1.10	1.45	0.35
Co	83.00	51.00	71.71	10.31	63.00	34.00	52.00	10.84
Cr	59.00	33.00	44.14	7.10	765.00	539.00	643.75	84.16
Cu	26.00	8.00	17.29	5.34	36.00	22.00	29.00	7.00
Ga	25.00	17.00	20.57	2.77	18.00	7.00	12.50	5.50
Nb	10.00	7.00	9.00	1.10	4.10	2.30	3.20	0.90
Ni	23.00	17.00	20.43	1.92	160.00	57.00	131.50	43.11
Rb	164.00	126.00	141.57	11.51	91.00	46.00	71.25	19.32
Sc	16.78	13.00	15.07	1.21	38.00	30.70	34.55	2.64
Sr	259.00	204.00	241.43	17.87	515.00	288.00	412.00	81.68
Th	21.00	8.00	15.86	3.94	8.00	8.00	8.00	0.00
V	87.00	62.00	75.57	7.80	252.00	195.00	211.50	23.67
Y	29.00	25.00	27.29	1.58	22.00	14.50	17.88	3.21
Zn	102.00	71.00	83.86	9.00	58.00	50.00	54.00	4.00
Zr	295.00	238.00	272.71	16.33	87.00	54.00	69.50	14.26
La	51.96	41.38	47.87	3.54	19.00	10.33	14.58	3.54
Ce	115.80	87.04	104.12	8.98	45.70	22.85	33.89	8.97
Nd	55.07	43.08	49.49	3.75	24.25	14.24	19.62	4.55
Sm	13.39	9.20	11.23	1.61	6.00	4.18	5.09	0.91
Eu	1.84	1.54	1.70	0.10	1.40	1.00	1.16	0.15
Gd	10.00	7.85	8.86	0.82	5.59	3.40	4.50	1.10
Dy	6.90	5.62	6.26	0.41	4.01	2.80	3.42	0.59
Er	3.27	2.68	2.96	0.21	2.10	1.27	1.72	0.34
Yb	3.34	2.61	2.99	0.24	1.80	0.99	1.44	0.36
Lu	0.51	0.41	0.47	0.04	0.26	0.13	0.20	0.07

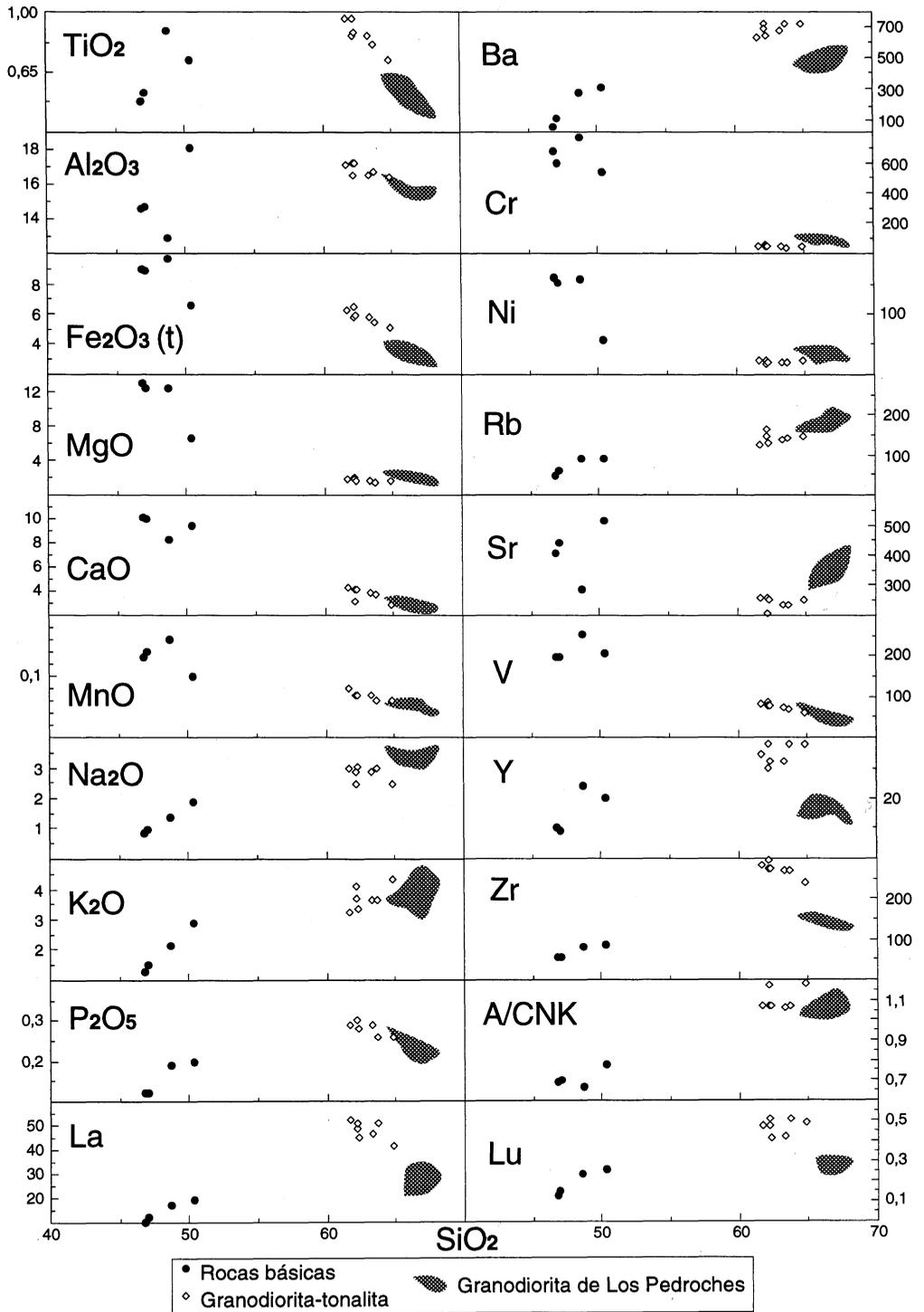


Fig. 3. Diagramas de variación frente a la sílice, de las principales litologías de stock de Santa Elena y de la granodiorita de Los Pedroches.

Los espectros de tierras raras (Diagramas normalizados a condrito; EVENSEN et al., 1978) son todos muy semejantes, caracterizándose por sus elevados contenidos. Así mismo, muestran una notable fraccionación, con relaciones $(La/Lu)_n = 8.7-11.5$ y marcadas anomalías negativas en Eu ($Eu/Eu^* = 0.45-0.65$). Con el incremento en SiO_2 puede observarse que el contenido global en tierras raras disminuye, decrece la abundancia en LREE y incrementándose ligeramente los valores de HREE. Estas pautas evolutivas señalan una menor fraccionación de los espectros de tierras raras con la diferenciación (figura 4).

Son rocas débilmente peraluminosas que pueden integrarse dentro de una asociación aluminó-cafémica de carácter calco-alcalino en función de la posición que ocupan en los diagramas de DEBON Y LE FORT (1983) (figura 5). Efectivamente, la composición mayoritariamente granodiorítica-tonalítica de las rocas, los valores medios de A/CNK (1.06), la forma de los espectros de REE, el contenido en álcalis y los elevados valores de CaO apuntan hacia rocas aluminó-cafémicas, propias de granitoides de tipo I o híbridas, de tendencia calcoalcalina. El carácter más peraluminó de algunas muestras ($A/CNK=1.17$) se interpreta en parte condicionado por la alteración que presentan (sericitización y cloritización de plagioclasas y biotitas, respectivamente), además de por el grado de contaminación con el encajante pelítico próximo.

Rocas básicas

Constituyen un grupo litológico de carácter fuertemente metaaluminoso ($A/CNK= 0.77-0.78$), desviándose claramente de los trends evolutivos que muestra la

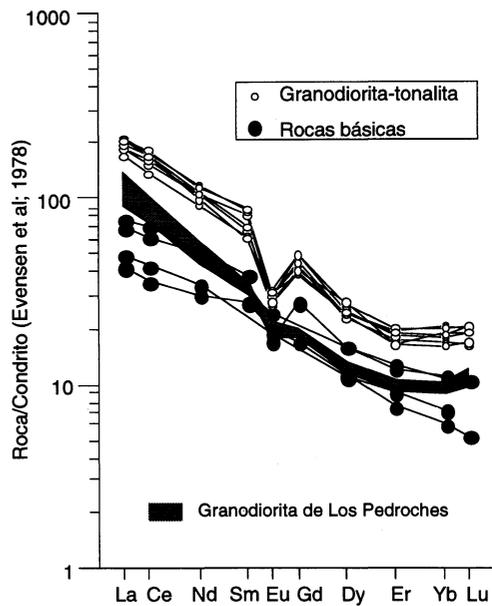


Fig. 4. Modelos de tierras raras normalizados a condrito (EVENSEN et al., 1978) de los litotipos del stock de Santa Elena y de la granodiorita de Los Pedroches.

facies principal. Los enclaves básicos integrarían una asociación magmática de tipo cafémico (DEBON Y LE FORT, 1983).

Las pautas evolutivas que reflejan los diagramas de variación son netamente diferentes de las de la facies principal. Puede observarse un mayor contenido en ferromagnesianos, Ca, Sr, y elementos de transición (V, Ni, Cr...) y más bajo tenor en álcalis, alúmina, P, Ba, Rb, Zr y elementos de las tierras raras (figura 3).

La distribución de las tierras raras (figura 4) en las rocas básicas (diagramas normalizados a condrito; EVENSEN et al., 1978) muestra un grado de fraccionación comparable a la de las rocas huesped ($La_n/Lu_n = 7.59-8.25$), aunque son más pobres en REE ($\sum REE = 61.4-109.6$). El enclave más básico (SE-3) es la muestra más empobrecida

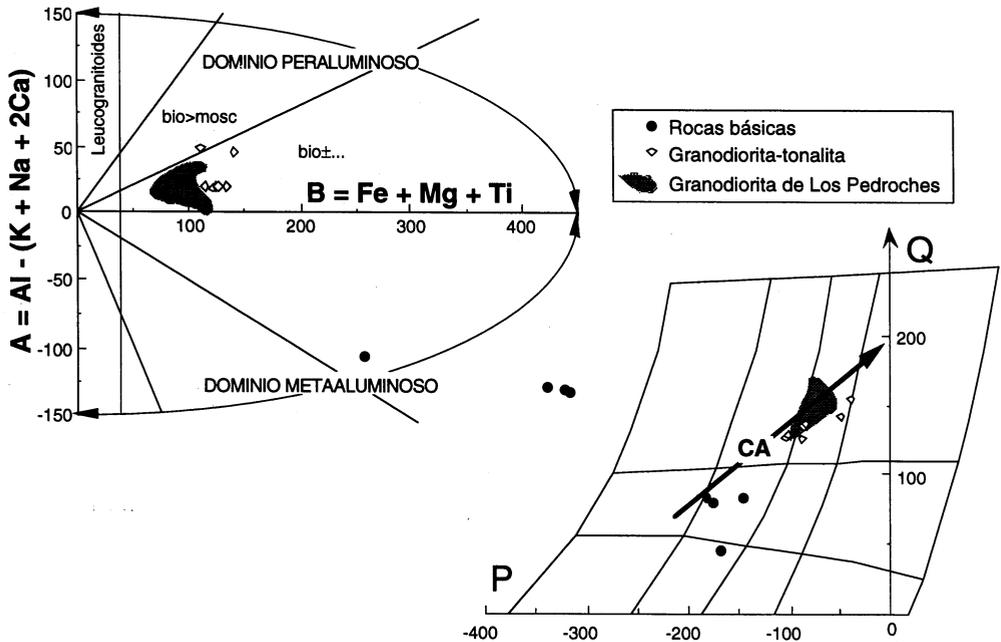


Fig. 5. Diagramas «A-B» y «P-Q» de DEBON Y LE FORT (1983) en el que se proyectan los litotipos del stock de Santa Elena del plutón granodiorítico de Los Pedroches.

en REE, dibujando una anomalía en Eu muy escasa ($Eu/Eu^* = 0.93$). Las otras muestras analizadas (en particular la SE-4) presentan características intermedias entre la SE-3 y la granodiorita que los engloba. Este hecho podría interpretarse como el producto de la mezcla magmática entre dos fundidos: uno básico y otro granodiorítico, tal y como se ha apuntado previamente al analizar las características petrográficas y de campo.

Con el fin de elaborar una cuantificación aproximada sobre cuál ha sido el hipotético grado de participación relativo de los fundidos ácido y básico en la génesis de rocas híbridas (presentes en forma de enclaves), se han elaborado diferentes «tests de mezcla» basados en los trabajos de LANGMUIR et al. (1978) y FOURCADE Y ALLÈGRE (1981). Uno de los ensayos más satisfacto-

rios en cuanto a resultados, es aquel en el que se han considerado las muestras SE-3 y EM-30 como representantes de las composiciones de los polos básico y ácido (respectivamente), tomando la muestra SE-4 como resultado de la mezcla magmática (Tabla II, figura 6).

COMPARACION CON LA GRANODIORITA DE LOS PEDROCHES

El batolito de Los Pedroches, asociación magmática tardihercínica de primer orden situada en el sector meridional de la Zona Centro-Ibérica (JULIVERT et al., 1974; ROBARDET, 1976), se extiende en dirección NW-SE por las provincias de Badajoz, Córdoba y Jaén. Está constituido básicamente por un plutón granodiorítico \pm anfíbol

TABLA II: Datos químicos utilizados en el test de mezcla realizado. La columna SE-4C contiene los resultados obtenidos en el modelo.

	EM-30	SE-4	SE-3	SE-4C
SiO ₂	61.62	50.34	46.84	52.25
TiO ₂	0.96	0.72	0.48	0.66
Al ₂ O ₃	17.10	18.07	14.60	15.52
Fe ₂ O _{3t}	6.25	6.53	8.99	7.99
MgO	1.79	6.69	12.96	8.87
CaO	4.25	9.50	10.16	8.00
MnO	0.08	0.10	0.13	0.11
Na ₂ O	2.97	1.88	0.88	1.64
K ₂ O	3.25	2.87	1.29	2.01
P ₂ O ₅	0.29	0.20	0.12	0.18
Ba	654.00	363.00	134.00	324.32
Co	73.00	34.00	63.00	66.66
Cr	43.00	539.00	671.00	441.15
Cu	22.00	22.00	36.00	30.88
Ga	24.00	18.00	7.00	13.22
Ni	22.00	57.00	160.00	109.49
Rb	126.00	91.00	46.00	75.28
Sc	16.50	30.70	35.50	28.55
Sr	259.00	515.00	407.00	352.83
V	82.00	204.00	195.00	153.64
Y	27.00	20.00	15.00	19.39
Zn	88.00	50.00	58.00	68.98
Zr	284.00	87.00	54.00	138.18
La	51.96	19	10.33	25.57
Ce	112.7	45.7	22.85	55.74
Nd	55.07	24.25	14.24	29.18
Sm	13.18	6	4.18	7.47
Eu	1.84	1	1.15	1.40
Gd	10	5.59	3.4	5.82
Dy	6.24	4.01	2.87	4.10
Er	2.95	1.99	1.27	1.88
Yb	2.91	1.8	0.99	1.69
Lu	0.47	0.26	0.13	0.25

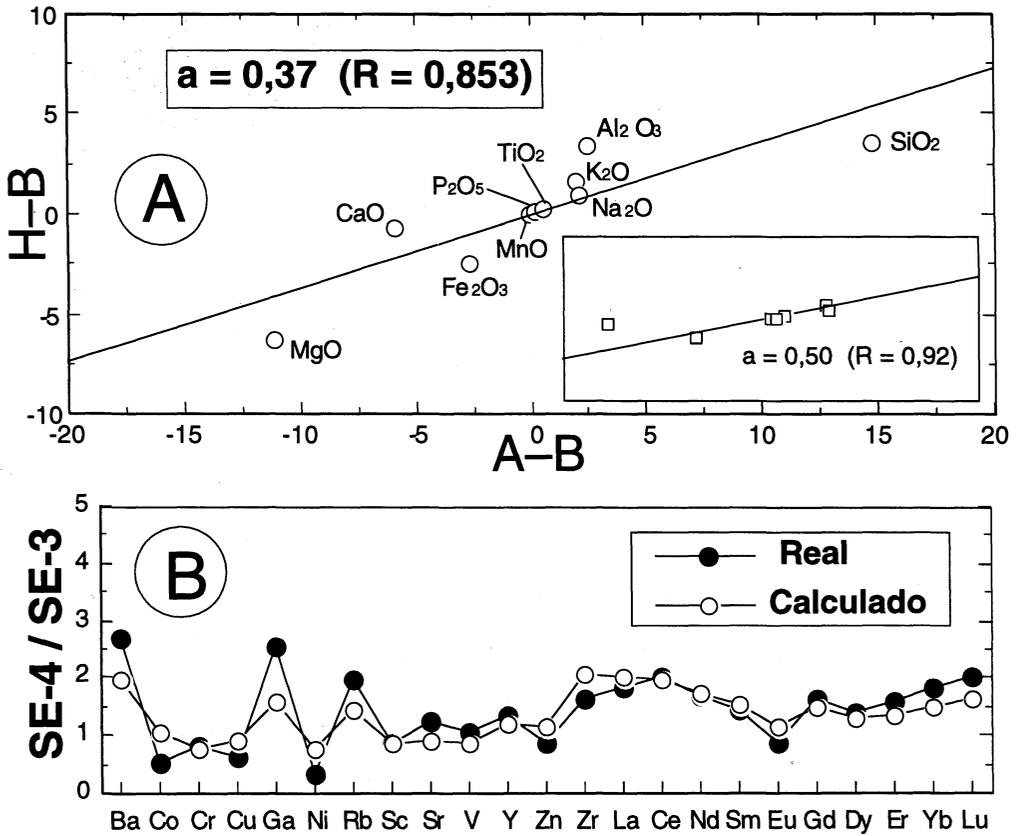


Fig. 6. A) Test de mezcla de elementos mayores para las muestras A(ácido)=Em-30, B(básico)=SE-3, H(híbrido)=SE-4; «a» representa la fracción de magma ácido en la mezcla; «R» es el coeficiente de correlación. B) Diagrama normalizado en el que se comparan las composiciones de elementos trazas (T. R. incluidas) reales y calculadas a partir del test de mezcla.

y varios plutones compuestos por granitos porfídicos \pm cordierita (accesoria). Los tipos litológicos principales (granodioritas y granitos), genéticamente relacionados por un proceso de diferenciación magmática dominado por cristalización fraccionada (CARRACEDO, 1991; LARREA et al., 1992), forman una asociación ígnea de tipo aluminico-cafémica de carácter calcoalcalino (DEBON Y LE FORT, 1983) y rica en K₂O.

El granitoide de Santa Elena, por su proximidad, ha sido integrado clásicamente en la asociación magmática del batolito de

Los Pedroches (SÁNCHEZ CELA et al., 1969). Sin embargo sus características petrológicas muestran notables diferencias con las de los litotipos comparables del batolito de Los Pedroches: las granodioritas de Los Pedroches.

La granodiorita de Los Pedroches

Constituye una de las unidades litológicas que definen el batolito de Los Pedroches. De gran uniformidad petrográfica y geoquímica, su rasgo estructural más característico

es, además de su aspecto isótropo, la omnipresencia de enclaves microgranulares máficos regularmente distribuidos por toda la masa granodiorítica. Asociado a estas rocas se desarrolla un complejo filoniano compuesto por pórfidos dacíticos y pórfidos riolíticos.

La intrusión del plutón granodiorítico se produce con posterioridad a la primera fase –fase principal y sinquistosa, de edad Namuriense– de deformación hercínica (QUESADA et al., 1987), antes (CARRACEDO, 1991; QUESADA et al., 1987; PASCUAL, 1984) y probablemente durante (CASTRO, 1990) el desarrollo de la segunda fase(s) de deformación, de difícil correlación y significado a escala regional.

Petrográficamente, la granodiorita de Los Pedroches se caracteriza por presentar una mineralogía compuesta por cuarzo, plagioclasa, ortosa, biotita y anfíbol accesorio, definiendo una textura hipidiomórfica inequigranular seriada de tamaño de grano medio. Apatito y circón son accesorios habituales, y esfena y allanita ocasionales.

Geoquímicamente destacar su gran homogeneidad: son rocas ácidas de escasa variación en sílice (contenidos medios en SiO_2 del 67%), presentando pautas evolutivas bien definidas tanto para elementos mayores como trazas (tierras raras incluídas). De carácter subaluminoso a moderadamente aluminoso ($A/\text{CNK}_{\text{medio}} = 1.06$), se integran en una asociación magmática de tipo aluminico-cafémico calcoalcalino.

Granodiorita–tonalita de Santa Elena vs. granodiorita de Los Pedroches

De la exposición efectuada hasta ahora pueden extraerse notables diferencias (tanto de campo, como microscópicas y geoquími-

cas) entre la facies principal que constituye el stock de Santa Elena y la granodiorita de Los Pedroches, litología comparable a aquella. Las principales diferencias observadas (figura 7) se resumen a continuación.

- A escala regional se ha apuntado que el emplazamiento de la granodiorita de Los Pedroches es posterior a la fase principal de la deformación hercínica, a diferencia del emplazamiento quasi–sincinemático del granitoide de Santa Elena. Indicar así mismo que, exceptuando las aptitas, no existe en el stock de Santa Elena cortejo filoniano asociado.

- A nivel macroscópico subrayar la práctica total ausencia de enclaves microgranulares máficos (elemento estructural más característico de la granodiorita de Pedroches) regularmente distribuidos en la granodiorita-tonalita de Santa Elena. También se ha señalado el desarrollo de fábricas planares/planolineales en las granodioritas de Santa Elena, característica muy puntualmente perceptible en el ámbito de la granodiorita de Los Pedroches.

- Petrográficamente resaltar la ausencia de anfíbol (además de allanita y esfena), el mayor contenido tanto en biotita como en la fracción anortítica de la plagioclasa, además de una manifiesta tendencia a la triclinicidad del feldespato alcalino (presencia de microclina).

- En cuanto a las características geoquímicas las diferencias más notables corresponden al carácter más máfico de la granodiorita-tonalita de Santa Elena, con menores contenidos medios en sílice (de hasta un 4.5%) y contenidos más elevados en hierro y cal. Las concentraciones en elementos traza son por lo general, a excepción del Rb, superiores especialmente Ba, Sc, Y, Zn Zr y tierras raras. Todo este conjunto de

		Granodiorita-tonalita de Santa Elena	Granodiorita de Los Pedroches	
				
Caracteres regionales		emplazamiento casi sincinemático con F1 hercínica	emplazamiento postcinemático respecto a F1 hercínica	
		complejo filoniano (aplítico) de escaso desarrollo	importante y variado complejo filoniano asociado	
Caracteres macroscópicos		heterogeneidad estructural: tipos desde isótopos a orientados y deformados	gran homogeneidad estructural	
		práctica total ausencia de enclaves microgranulares máficos	omnipresencia y regular distribución de enclaves microgranulares máficos	
Caracteres microscópicos	Textura	secuencial (hipidiomórfica inequigranular) a deformada	secuencial (hipidiomórfica inequigranular seriada)	
	Mineralogía	plagioclasa, biotita, cuarzo, microclina, ortosa	cuarzo, plagioclasa, ortosa, biotita	
	Acces. Ppales.	circón, apatito, ilmenita	anfíbol, esfena, allanita, apatito, circón	
	Clasificación modal	granodioritas ± tonalitas ± monzogranitos ± cuarzomonzonitas	granodioritas ± monzogranitos	
Caracteres geoquímicos	Mayores	SiO ₂ CaO XFe ISA	62.5% 3.5% > 0.7 1.06-1.17	
	Trazas	Comp.	Sr, Zn, Zr, LREE	Cr, Sc, Y, Zn, Zr
		Incom.	Ba, Rb, HREE	Ba, Rb, Sr
	Tierras raras		∑ REE = 203.8-259.4 (La/Sm) _n = 2.35-3.32 Eu/Eu* = 0.45-0.65	∑ REE = 106-142 (La/Sm) _n = 2.88-3.87 Eu/Eu* = 0.76-0.86

Fig. 7. Cuadro comparativo de las principales características petrológicas de las granodioritas de Santa Elena y de Los Pedroches.

peculiaridades geoquímicas refleja importantes implicaciones genéticas, pues ambas granodioritas (de Santa Elena y de Los Pedroches) no podrían originarse mediante un mecanismo sencillo de diferenciación magmática (cristalización fraccionada) a partir de un mismo fundido parental. De otra parte, incluso diferentes tasas de fusión parcial a partir de un protolito común, podrían difícilmente explicar las características geoquímicas de ambos granitoides.

CONCLUSIONES

El stock de Santa Elena esta compuesto fundamentalmente por granodioritas-tonalitas biotíticas y rocas básicas gabrodioríticas minoritarias que afloran como megaenclaves sólo en la parte septentrional del plutón. Completa el conjunto ígneo un complejo filoniano constituido únicamente por diques de aplitas y filones mineralizados de cuarzo.

La gran abundancia de roof pendants repartidos por todo el plutón y la distribución cartográfica de la aureola de metamorfismo de contacto revelan una localización apical del cuerpo ígneo. Precisamente las características de la aureola de metamorfismo de contacto configuran la presencia de un yacimiento ígneo alargado, que se prolonga hacia sectores más orientales y occidentales con respecto al actual nivel de erosión, e intruido cohetaneamente

(sincinemático) al desarrollo de la fase principal de deformación en la región.

Las granodioritas-tonalitas, químicamente muy homogéneas, son litologías moderadamente peraluminosas que constituyen probablemente una asociación aluminio-cafémica de tendencia calcoalcalina. Las rocas básicas son metaaluminosas e integrantes de una asociación de tipo cafémico.

Se han detectado relaciones de mezcla magmática entre dos tipos de fundidos: los que han dado lugar a la granodiorita (polo ácido) y las rocas básicas (polo básico).

Del amplio espectro de datos barajados, se extraen importantes diferencias entre las litologías mayoritarias que conforman el stock de Santa Elena y los litotipos comparables del plutón granodiorítico de Los Pedroches. En este sentido, el granitoide de Santa Elena muestra unas características cartográficas, petrográficas y geoquímicas que le confieren una entidad propia, claramente independiente del magmatismo del batolito de Los Pedroches con el cual se creía inicialmente asociado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco de los Proyectos de Investigación «001.310-EA 077/93» y «PB 93-0410-C 03-03» financiados respectivamente por la Universidad del País Vasco y DGICYT.

BIBLIOGRAFIA

- CARRACEDO, M. (1991). *Contribución al estudio del batolito de Los Pedroches*. Tesis Doctoral, Univ. País Vasco, 443 p.
- CASTELLÓ, R.; ORVIZ, F. (1976). *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, nº 884 (La Carolina)*. 2ª Serie. (MAGNA). I.G.M.E. (Madrid).
- CASTRO, A. (1990). Microgranular enclaves of the Quintana granodiorite (Los Pedroches batholith): Petrogenetic significance. *Rev. Soc. Geol. España*, 3 (1-2): 7-21.
- COX, K. G.; BELL, J. D.; PANKHURST, R. J. (1979). *The interpretation of the igneous rocks*. Allen and Unwin. 450 pp. Londres.
- DEBON F. & LEFORT P. (1983). A chemical-mineralogical classification of plutonic rocks and associations. *Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, t. 73: 135-197.
- EVENSEN, M.M., HAMILTON, P. J. & O'NIONS, R.K. (1978). Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geoch. Cosmoch. Acta*, t. 42: 1199-1212.
- FOURCADE, S.; ALLÈGRE, C.J. (1981). Trace elements behaviour in granite genesis: a case study the calc-alkaline plutonic association from the Querigut complex (Pyrénées, France). *Contrib. Mineral Petrol.* 76: 177-195
- JULIVERT, M., FONTBOTE, J. M., RIBEIRO, A. Y NABAIS, L.E. (1974). *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares, escala 1:1.000.000*. Memoria explicativa. I. G.M.E. (Madrid)
- LANGMUIR, C. H.; VOCKE, R. D.; HANSON, G. N. (1978). A general mixing equation with applications to icelandic basalts. *Earth and Planetary Science Letters*, 37: 380-392.
- LARREA F. J. (in prep.). *Caracterización petrológica del sector oriental del batolito de Los Pedroches (Jaén, España)*. Tesis Doctoral, Univ. País Vasco.
- LARREA, F. J.; CARRACEDO, M.; CUETO, L. A.; QUESADA, C.; GIL IBARGUCHI, J. I.; FERNANDEZ, F. J.; ORTEGA, L. A. (1992). Petrología y geoquímica del plutón de Cardeña-Virgen de La Cabeza (batolito de Los Pedroches). *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*. Vol. 17: 209-222.
- LARREA, F. J.; CARRACEDO, M.; ORTEGA, L. A.; GIL IBARGUCHI, J. I. (1993). Caracterización cartográfica, petrológica y geoquímica del stock de Santa Elena (Jaén, España). *Comun. XII Reun. Geol. Oeste Penins.*, vol. 1: 143-153.
- LE MAITRE, R.W. (Ed.) (1989). *A classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms*. 193 pp. I.U.G.S. Blackwell Sci. Pub. Oxford
- PATTERSON, S. R.; VERNON R. H.; TOBISCH, O. T. (1989). A review of criteria for the identification of magmatic and tectonic foliations in granitoids. *J. Struct. Geol.*, t. 11, pp. 349-363.
- QUESADA, C., FLORIDO, P., GUMIEL, P., OSBORNE, J., LARREA, F. J., BAEZA, L., BAÑAN, L. & DE LA CRUZ, E. (1987). *Mapa geológico de Extremadura*. Consejería de Industria y Energía (Junta de Extremadura), 131 pp.
- ROBARDET, M. (1976). L'originalité du segment hercynien sud-ibérique au Paleozoique inférieur: Ordovicien, Silurien et Devonien dans le nord de la province de Séville. *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 283 (Serie D): 125-135.
- SÁNCHEZ CELA, V.; APARICIO YAGÜE, A. (1969) Estudio petrológico de los afloramientos graníticos de Santa Elena y Linares (Jaén). *Bol. Geol. Min.*, t. LXXX-IV: 344-351.

Recibido: 2/6/95

Aceptado: 8/8/95