

## El plutón de Linares (Jaén): cartografía, petrología y geoquímica

### The Linares granite (Jaén): cartography, petrology and geochemistry

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

Magma emplacement within the Linares granite, a part of the Los Pedroches Batholith, took place in the sequence: biotite granodiorite with microgranular enclaves, biotite monzogranites, and dike swarm complex. Dikes are: WNW-ESE rhyolite to rhyodacite, aplopegmatite and abundant NE-SW ore-bearing quartz.

The Linares intrusion and psamo-pelitic Carboniferous host metasediments (Los Pedroches Culm) are, in part, discordantly covered by Mesozoic (Trias) and Tertiary to Quaternary terrigenous deposits.

Bulk rock chemistry of granodiorite shows minor variations in  $\text{SiO}_2$  (64.75 - 67 wt %) and REE contents ( $\Sigma\text{REE} = 158 - 160$  ppm), and nearly constant A/CNK (ISA) ratio (1.1 - 1.15). Monzogranites have higher  $\text{SiO}_2$  (66.87 - 68.4 wt %), alkali and REE contents ( $\Sigma\text{REE} = 168 - 193$  ppm), with A/CNK (ISA) ratio of 1.06 - 1.09.

Both granodiorite and monzogranites are peraluminous rocks that may correspond to an aluminous association or to evolved terms of an aluminocafemic association (Debon & Lefort, 1983).

Variation diagrams for major and trace elements, including REE, of granodiorite and monzogranites are compatible with magmatic differentiation processes by fractional crystallization starting from a primary granodioritic magma.

**Key words:** granodiorite, monzogranite, peraluminous rocks, fractional crystallization.

## INTRODUCCIÓN

El plutón de Linares (fig. 1) está situado en el borde oriental de la Sierra Morena, ya en plena depresión del río Guadalquivir, al norte de la provincia de Jaén (España). Tiene una superficie de afloramiento de aproximadamente 57 km<sup>2</sup> incluidos en las hojas del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 números 884 (La Carolina) y 905 (Linares).

El stock, tradicionalmente considerado —junto con el plutón de Arquillos— como la prolongación y terminación oriental del batolito de Los Pedroches, se encuentra situado en el sector sur-oriental de la Zona Centroibérica (JULIVERT et al., 1974).

En este trabajo se presentan los más recientes datos cartográficos, petrográficos y geoquímicos del plutón de Linares, así como algunas consideraciones sobre su petrogénesis, en cuanto a los factores de evolución magmática, y que han constituido el complejo ígneo.

## ENTORNO GEOLÓGICO

La morfología cartográfica del granitoide está condicionada por dos factores: la tectónica y la sedimentología. En efecto, el plutón de Linares, junto con su encajante, aflora a favor de un «horst» ligado a una serie de fallas de régimen normal que compartimentan el zócalo paleozoico de la depresión del Guadalquivir. Este sustrato antiguo aparece parcialmente recubierto por materiales de edad triásica, terciaria y cuaternaria. Resultado de todo ello es la morfología bastante irregular que presenta el stock (fig. 1).

El granitoide, con bordes intrusivos rotocados por fracturas, se emplaza en condi-

ciones anqui-epizonales en materiales metapelíticos carboníferos (Viseense medio-superior a Namuriense inferior; QUESADA et al., 1987) conocidos en la literatura geológica regional como Culm de Los Pedroches.

La intrusión del stock, en las últimas etapas de la Orogenia Hercínica, sobre los materiales citados produce una aureola de metamorfismo de contacto de anchura variable, entre 800-1500 m, en donde se alcanzan condiciones de corneanas hornbléndicas, y de forma muy local, condiciones de corneanas piroxénicas.

## CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA

Dentro del plutón de Linares se han reconocido y diferenciado cartográficamente diversas facies ígneas (fig. 1), constituidas por: granodioritas (granodiorita de La Fernandina), monzogranitos, leucogranitos y un complejo filoniano formado por pórfidos riolíticos a riolacíticos, aplitas y pegmatitas (aplopegmatitas) y diques de cuarzo.

### Granodiorita de La Fernandina

Se localiza en el sector nororiental del plutón (geográficamente próxima al poblado minero homónimo) intruyendo a los materiales del culm. De forma muy local, se encuentra recubierta discordantemente por materiales triásicos.

Son litologías granudas, homogéneas, de tamaño de grano medio, y color gris a gris-azulado. Texturalmente son rocas hipidiomórficas e inequigranulares unimodales. Su mineralogía consiste en: plagioclasa ácida a intermedia (An<sub>60-28</sub>) maclada y con zonados de tipo normal y oscilatorio; biotita,

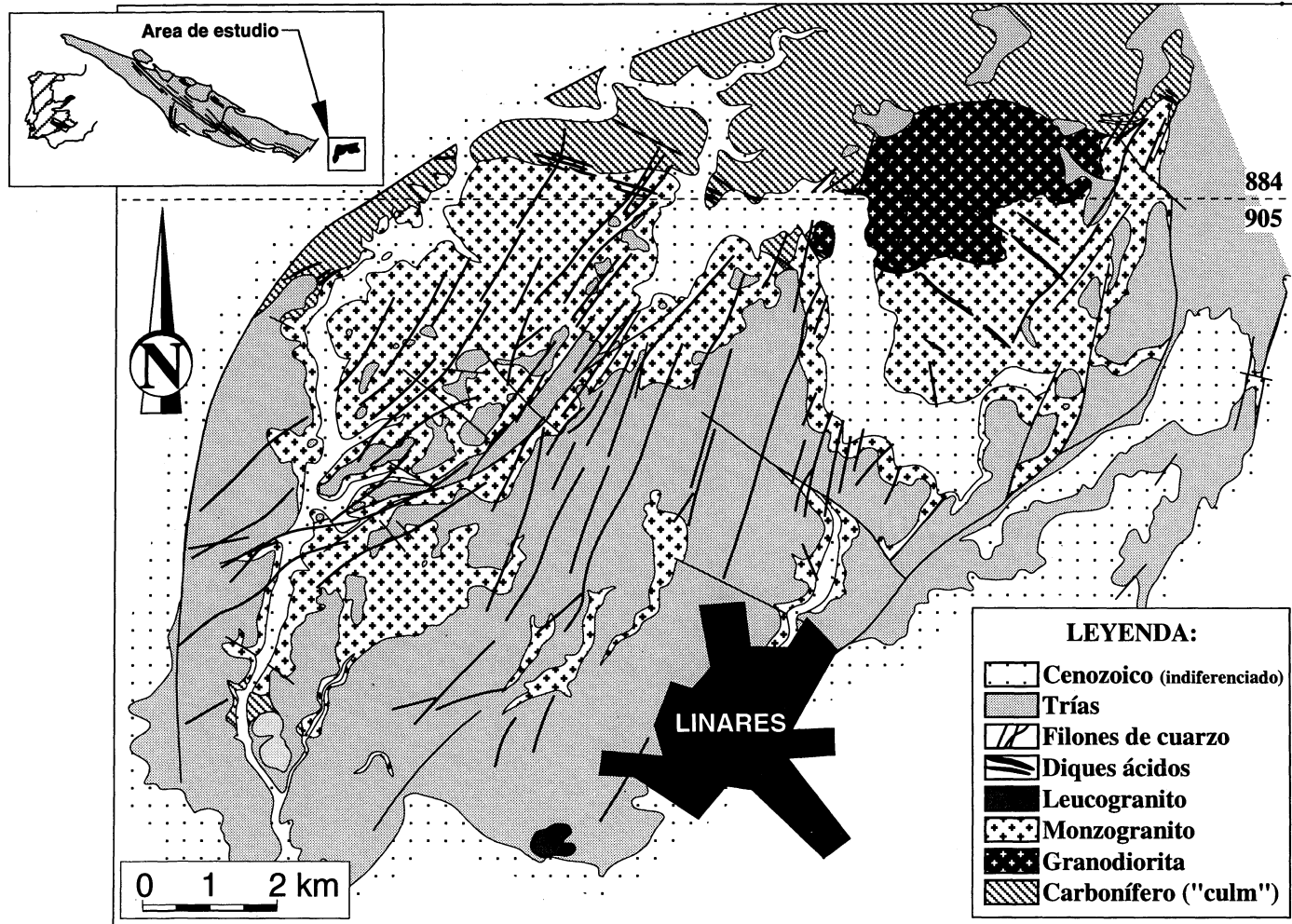


Fig. 1. Esquema cartográfico del plutón de Linares

en forma de placas marcadamente pleocroicas; cuarzo mayoritariamente xenomorfo, aunque existen individuos tendentes al idiomorfismo; feldespato potásico (ortosa) con hábito xenomorfo, de marcado carácter intersticial y poiquilítico. Como minerales accesorios aparecen: circón; apatito; menas metálicas (ilmenita). En las muestras estudiadas al menos, y en comparación con la granodiorita del sector central del batolito de Los Pedroches, no aparece anfíbol. Los minerales secundarios son: clorita, sericita, moscovita (procedente de la desestabilización de biotita y feldespatos), epidota y opacos.

constituídos esencialmente por: plagioclasa (presente tanto en forma de fenocristales, como en la matriz), biotita y cuarzo (en ocasiones de carácter poiquilítico); anfíbol, apatito, zircón y menas metálicas son accesorios.

### Monzogranitos

Constituyen la facies dominante dentro del plutón. Presentan contactos netos e intrusivos sobre las granodioritas, así como sobre el encajante carbonífero. La práctica totalidad de la mitad meridional del granitoide, monzogranítica, se encuentra recubierta por sedimentos triásicos discordantes dibujando característicos relieves en mesa.

Son rocas granudas, inequigranulares (en ocasiones ligeramente porfídicas), de color gris claro y tamaño de grano grueso-medio. Al microscopio presentan textura hipidiomórfica-inequigranular seriada, a menudo de carácter porfídico. Mineralógicamente están formadas por: cuarzo como individuos y/o agregados globuloso-redondeados, o cristales xenomorfos de carácter intersticial; feldespato potásico peritítico tanto en forma de fenocristales subidiomorfos como xenomorfo; plagioclasa ácida-intermedia ( $An_{50-20}$ ) maclada y con zonados mayoritariamente de tipo normal; biotita fuertemente pleocroica en forma de placas o agregados policristalinos de pequeño tamaño. Los minerales accesorios son circón, apatito y menas metálicas (ilmenita). A diferencia de los monzogranitos de los demás plutones graníticos que integran el batolito de Los Pedroches, aquí no se ha detectado la presencia de cordierita. Como minerales secundarios aparecen: clorita, sericita, moscovita (procedente de la des-

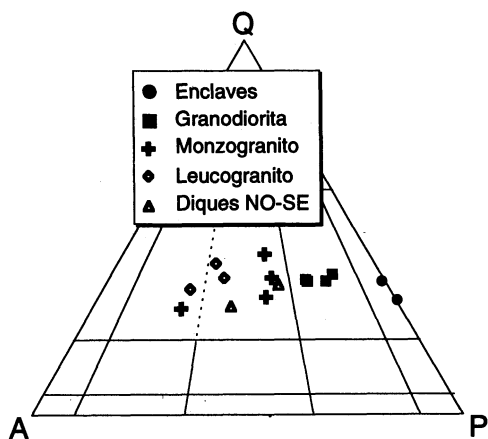


Fig. 2. Diagrama «QAP» en el que se reflejan las composiciones modales de las litologías que componen el plutón de Linares

Es destacable la presencia, además de schlierens biotíticos, de numerosos enclaves microgranulares de morfología subredondeada, entre 5 y 25 cm de diámetro y de composición diorítico-tonalítica (figs. 2, 3). Presentan una textura hipidiomórfica inequigranular ligeramente porfídica y poiquilítica. Mineralógicamente están

tabilización de feldespato y/o biotita), carbonatos, epidota y opacos.

**Leucogranitos**

Se localizan en el sector sur y a modo de afloramiento satélite parcialmente recubierto por sedimentos postpaleozoicos, lo que impide observar sus relaciones espacio-temporales con los litotipos ya descritos.

Se caracterizan por ser granudas, de tamaño de grano fino-medio y color blanquecino sobre el que destaca la notable presencia de nódulos turmaliníferos subredondeados de hasta 5-6 cm de diámetro.

Presentan textura alotrinomórfica inequigranular, en ocasiones de carácter granofídico. Su mineralogía, granítica banal, está constituida por: cuarzo xenomorfo; feldespato potásico generalmente intersticial, aunque esporádicamente se observan pequeños fenocristales; plagioclasa normalmente albítica maclada y raramente zonada, aunque se han detectado núcleos de plagioclasa zonada con  $An_{40-50}$ ; biotita en forma de acumulaciones de individuos de pequeño tamaño; turmalina tardía, en forma de agregados de cristales zonados y pleocroicos; apatito, opacos y circón son minerales accesorios; como minerales secundarios se presentan sericita, moscovita, clorita, epidota y opacos.

**Complejo filoniano**

Excluyendo a los filones de cuarzo —que por su importancia económica en este sector de la cadena hercínica merecen un apartado propio— y a las manifestaciones aplopegmatíticas, de escasa relevancia, el complejo filoniano está básicamente formado por un conjunto de diques de dirección N-

120 a N-140. En la parte nororiental del plutón la orientación de los diques, intrusivos sobre los materiales del «culm», varía hasta N-70-80 adaptándose a las directrices estructurales del encajante.

Esta red de diques, constituida por no más de una decena de filones de menos de 8 m de potencia y con corridas inferiores a 2 km, corta a los litotipos mayoritarios que integran el plutón (granodioritas y monzogranitos). En función de su quimismo, se clasifican como pórfidos riolítico-riodacíticos (fig. 3). Con bastante variabilidad textural, la mineralogía que presentan consiste en fenocristales de cuarzo con golfos de corrosión, feldespato potásico, plagioclasa y biotita envueltos por una mesostasis microgranuda a microcristalina constituida por feldespato potásico, cuarzo y escasa biotita; en una de las muestras estudiadas se ha reconocido la presencia accesorias de granate xenocrystalino.

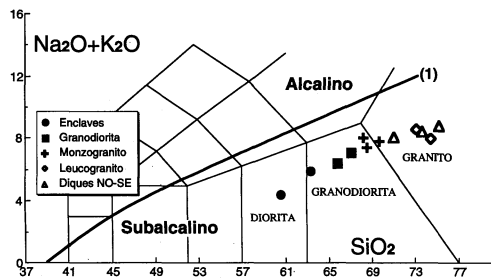


Fig. 3. Proyección de los datos químicos de rocas del plutón de Linares sobre el diagrama de variación «TAS» (total álcalis vs. SiO<sub>2</sub>). (1) Línea de IRVINE & BARAGAR (1971) separando los campos alcalino y subalcalino.

### Filonos de cuarzo

Afloran por todo el plutón, con direcciones variables entre N- 25 y N-65, subverticales, potencias muy variables (unos cm - 15 m) y corridas de hasta 5 km. En su práctica totalidad están mineralizados (sulfoantimoniuros de Pb y Ag, sulfuros de Cu y Fe, AZCÁRATE et al., 1976) por lo que históricamente—desde hace 2.500 años—

hasta la actualidad han sido sometidos a una intensísima explotación. Incluso en aquellas zonas donde aparecen recubiertos por los sedimentos triásicos, y a causa de las labores mineras de cata y desmonte, se puede seguir la traza de los filones. Esta importante actividad minera llevó al distrito de Linares a ser el primer productor mundial de plomo entre finales del s. XIX y comienzos del XX.

**Tabla I: Datos geoquímicos del plutón de Linares**

	ENCLAVES		GRANODIOR.		MONZOGRANITO			LEUCOGRAN.		DIQUES N-120-140		
	L-25	L-26	L-22	L-27	L-15	L-37	L-41	L-51	L-54	L-2	L-13	L-21
SiO <sub>2</sub>	59.37	62.29	66.02	64.75	68.4	67.71	66.87	72.09	73.14	73.81	72.5	69.81
TiO <sub>2</sub>	0.77	0.83	0.48	0.6	0.44	0.51	0.48	0.16	0.22	0.07	0.11	0.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.42	16.92	16.48	16.42	14.86	15.41	15.38	14.86	13.58	13.46	15.28	14.85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	6.91	5.83	3.9	4.49	3.62	3.87	3.75	1.54	2.11	1.7	1.18	3
MgO	3.72	2.45	1.66	2.16	0.96	1.04	1.2	0.4	0.5	0.05	0.24	0.7
CaO	5.08	3.9	2.75	3.54	2.04	2.62	2.22	0.83	0.8	0.6	0.68	1.66
MnO	0.16	0.08	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03	0.04		0.05
Na <sub>2</sub> O	1.62	2.99	3.08	3.02	2.95	3.27	2.83	3.9	3.02	3.39	4.25	3.02
K <sub>2</sub> O	2.72	2.82	3.9	3.25	4.74	4.08	5.01	4.57	5.16	5.33	4.24	4.94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.2	0.19	0.17	0.2	0.22	0.2	0.26	0.17	0.07	0.25	0.17
PPC	1.79	1.47	1.22	1.25	1.47	0.94	1.67	1.2	1.06	0.85	1.06	1.17
<b>TOTAL</b>	<b>99.73</b>	<b>99.78</b>	<b>99.73</b>	<b>99.7</b>	<b>99.72</b>	<b>99.71</b>	<b>99.66</b>	<b>99.84</b>	<b>99.79</b>	<b>99.37</b>	<b>99.79</b>	<b>99.71</b>
Ba	458	398	521	442	606	633	616	274	275	516	146	556
Be	2.5	3.5	4.08	3.5	2.4	2.2	2	21.2	3.2	3.08	14.1	2.7
Co	64	60	83	86	87	64	73	78	81	94	75	69
Cr	109	41	70	80	20	20	19	25	7	14	17	20
Cu	44	17	5	5.7	9	9			7	5		
Ga	14	19	19	15	9	20	15	12	16	12	29	9
Nb			6									
Ni	19	18	31	32		9	9	7	6			5
Rb	126	134	159	142	189	169	191	227	271	232	262	211
Sc	21.5	17.28	9.3	12.1	8.8	10	9.3	3	5.08	7.4	1.7	7.4
Sr	227	237	248	237	144	166	147	88	46	41	88	121
Th	7		12	512	18	14		9	12		14	
V	94	60	47	58	36	42	40	11	15		8	28
Y	18	17	14	17	23	23	21	6	17	26		21
Zn	88	77	61	58	69	73	63	57	52	46	75	60
Zr	138	112	136	150	192	194	191	43	87	105	41	151
La	28.68	26.77	33.13	33.45	37.16	38.6	32.9	10.01	16.59	30.63	12.15	28.6
Ce	57.8	51.47	72.67	72.74	79.51	87.58	74.46	19.01	37.25	64.72	25.43	60.77
Nd	28.11	25.82	31.4	30.17	39.47	40.04	35.73	8.74	19.73	31.1	11.01	29.42
Sm	6.8	6.35	8.77	6.76	9.34	8.89	8.41	2.57	5.09	8.13	3.65	7.28
Eu	1.36	1.17	1.37	1.24	1.11	1.06	1.05	0.39	0.21	0.72	0.63	0.91
Gd	5.52	4.2	6.12	5.64	7.66	7.08	6.44	1.12	4.85	7.26	3.34	6.13
Dy	3.95	3.48	3.43	3.72	6.29	5.02	4.49	1.68	3.73	7.04	1.73	5.36
Er	2.17	2	1.76	1.85	2.71	2.19	2.15	0.72	2.06	3.2	0.69	2.43
Yb	1.99	1.68	1.45	1.82	2.55	2.43	2.31	0.67	2.31	3.22	0.41	2.46
Lu	0.33	0.27	0.27	0.27	0.44	0.36	0.38	0.08	0.35	0.51	0.11	0.39

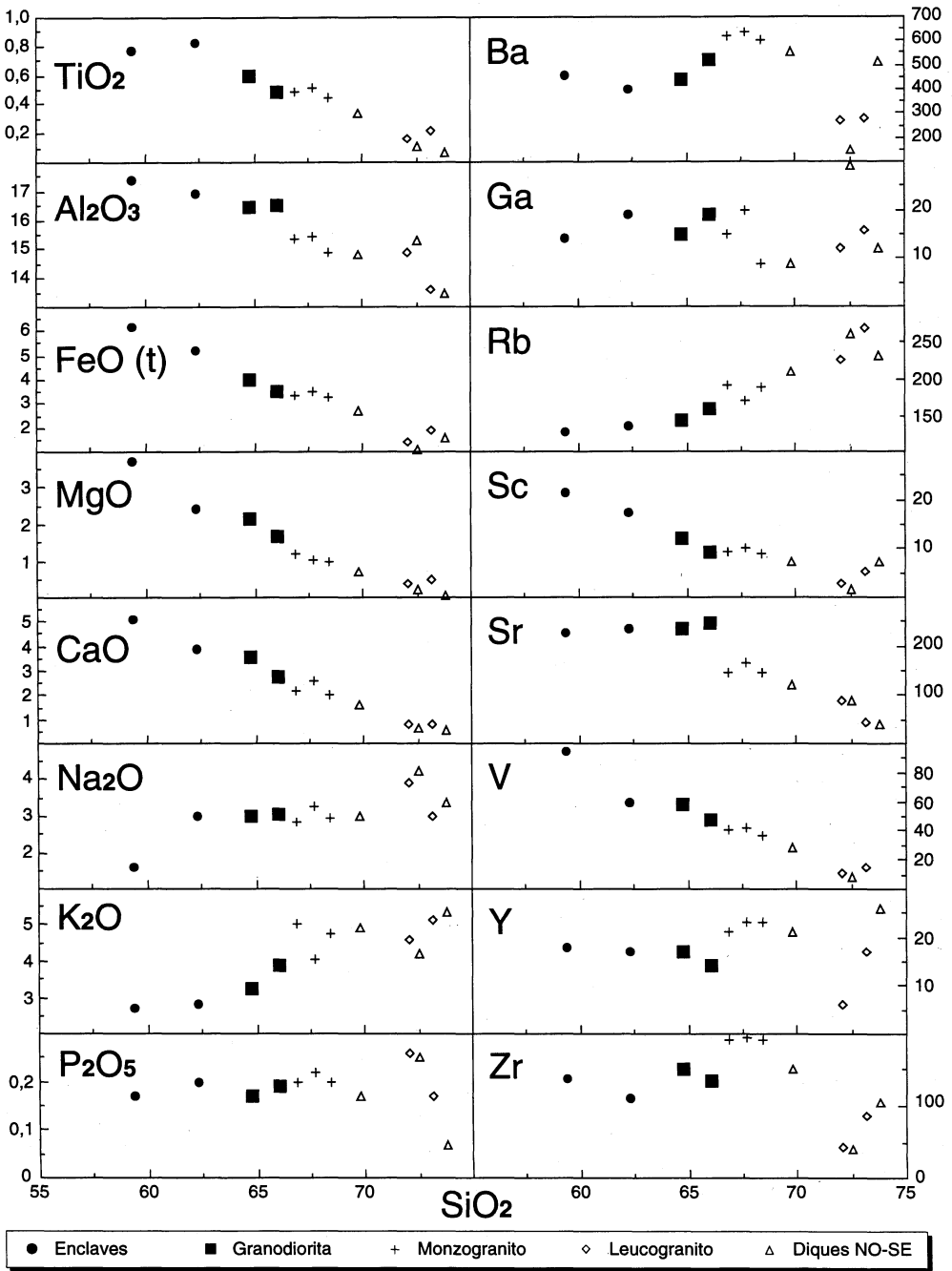


Fig. 4. Diagramas de variación SiO<sub>2</sub> vs. elementos mayores y traza para las rocas del plutón de Linares.

## CARACTERIZACION GEOQUIMICA

La representación de los datos químicos de los litotipos descritos sobre diagramas de variación de tipo Harker (fig. 4) muestra una evolución continua en la variación de  $\text{SiO}_2$  (entre 59-74%). En lo referente a elementos mayores, tanto granodioritas como monzogranitos definen pautas de evolución caracterizadas por el descenso en el contenido en  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}(t)$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ , y el incremento en  $\text{K}_2\text{O}$  a medida que crece el contenido en sílice.  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$ , aunque con suaves oscilaciones, tienden a mantenerse constantes. Es preciso resaltar que, en tanto que los enclaves se integran perfectamente, el leucogranito, junto algunos diques, se desvían ligeramente de las pautas evolutivas marcadas para algunos de los elementos mayoritarios ( $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

Los elementos traza (fig. 4) muestran un comportamiento incompatible del Rb, y un comportamiento compatible del V, Sc y Ga; el Ba y el Sr presentan pautas de evolución más complejas, mientras que el resto de elementos traza analizados, por la dispersión que presentan, no llegan a definir tendencias concretas. Leucogranito y complejo filoniano se integran relativamente bien dentro de las pautas de variación marcadas por los elementos traza.

A pesar de la escasez de datos químicos, resulta interesante analizar el comportamiento segmentado que ofrecen Sr, Ba y Rb. En efecto, tanto Sr como Ba presentan inicialmente conductas suavemente incompatibles hasta niveles de aproximadamente el 67% en  $\text{SiO}_2$  desde donde pasan a comportarse como elementos incompatibles. Este cambio también aparece reflejado en el comportamiento del Rb, incrementando su carácter incompatible a partir de los mismos valores de sílice. Este hecho, observado ya al

estudiar la geoquímica en otros sectores del batolito de Los Pedroches (CARRACEDO et al., 1989; CARRACEDO, 1991; LARREA et al., 1992), ha sido relacionado con variaciones en la contribución cuantitativa y cualitativa de las fases minerales implicadas en los procesos de cristalización fraccionada.

Observando los espectros de tierras raras (fig. 5) se extrae que las litologías mayoritarias, monzogranitos y granodioritas, muestran espectros en REE bastante semejantes: el monzogranito es ligeramente más rico en REE y presenta anomalía negativa en Eu algo más marcada. Los enclaves muestran espectros similares a la granodiorita encajante, son ligeramente más pobres en LREE, pasando a enriquecerse en las HREE. El leucogranito es la litología más empobrecida en REE y la que presenta una anomalía en Eu mayor. Los diques muestran espectros similares al monzogranito.

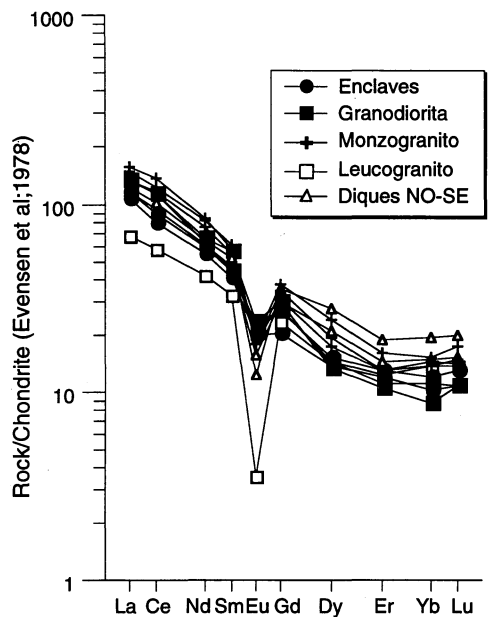


Fig. 5. Diagramas de REE normalizados a condrito (Evensen et al., 1978) para las litologías del plutón de Linares.



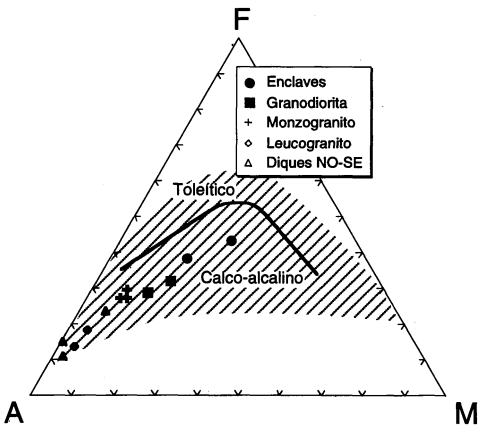


Fig. 6. Diagrama «A F M» con las litologías del plutón de Linares. La línea separa los campos toleítico y calco-alcalino (Irvine & Baragar, 1971).

La proyección de las muestras analizadas sobre un diagrama «AFM» (fig. 6) ofrece términos evolucionados de una serie de tendencia calco-alcalina.

Sobre los diagramas «A-B» y «P-Q» de DEBON & LEFORT (1983) se reconoce el carácter eminentemente peraluminoso de las litologías del plutón de Linares ( $A/CNK = 1.10-1.15$  para las granodioritas;  $A/CNK = 1.05-1.09$  para los monzogranitos), inte-

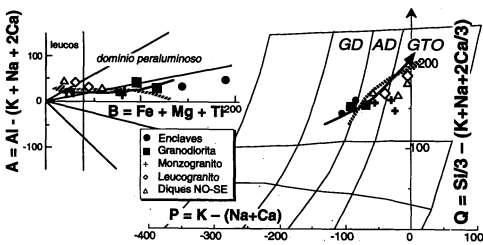


Fig. 7. Diagramas A-B y P-Q de Debon & Lefort (1983) con los diferentes litotipos del plutón de Linares representados en ellos. La flecha continua indica una asociación magmática de tipo aluminoso; la flecha rayada indica un tipo de asociación alumino-cafémica.

grando lo que podría definirse como una asociación aluminosa o aluminocafémica de tendencia, en cualquier caso, calcoalcalina (fig. 7).

Petrogénesis: cristalización fraccionada.

### Modelizaciones

Las características químicas en lo referente a elementos traza y REE de los litotipos mayoritarios (granodiorita y monzogranito) del plutón de Linares, inducen a relacionarlos genéticamente por procesos de cristalización fraccionada (fig. 8).

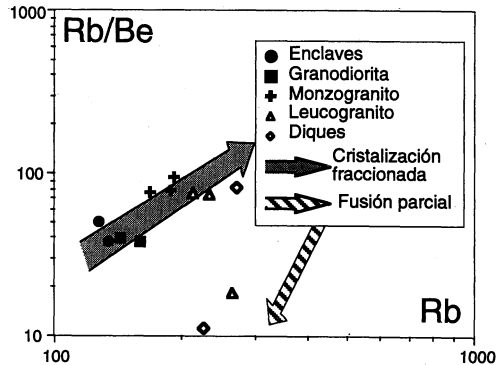


Fig. 8. Diagrama de variación de elementos traza en relación con el proceso genético

Se han realizado algunos modelos de cuantificación con el fin de obtener hipotéticas tasas de cristalización adecuadas para explicar las características químicas ya descritas que presentan los tipos litológicos mayoritarios, granodioritas y monzogranitos. El software informático empleado ha sido el «OXICRIST» (ORTEGA & VELASCO, en prep), en el cual se contemplan los balances de masas para la determinación de elementos mayores y diversos cálculos basados en las ecuaciones de HANSON (1978) y RAYLEIGH (1986)

para obtener las concentraciones de los elementos traza según se considere, respectivamente, cristalización en equilibrio o cristalización fraccionada.

Los resultados obtenidos pueden calificarse como satisfactorios. En la tabla II se resumen los datos obtenidos en dos de los modelos analizados. En ambos modelos, y tomando la granodiorita como líquido parental (muestra L-27), se ha considerado la fraccionación de diferentes fases minerales en distintas proporciones, obteniendo hipotéticos líquidos derivados de composición química muy semejante al monzogranito (muestra L-37). Las composiciones químicas de las fases fraccionadas se han obtenido bien analíticamente, por microsonda electrónica sobre la muestra considerada como parental, o bien de la bibliografía (composiciones «standard», DEER, HOWIE & ZUSSMAN, 1965). En lo que respecta a los coeficientes de distribución utilizados en los cálculos, éstos han sido tomados de la bibliografía (LOPEZ RUIZ, 1986).

### Discusión

Los ensayos de modelización propuestos varían sensiblemente en sus resultados dependiendo de la contribución cualitativo-cuantitativa de las fases que hipotéticamente intervienen en la fraccionación.

Así, en el modelo-A (Tabla II) y a partir de un magma parental de composición granodiorítica (muestra L-27), puede observarse que fraccionando plagioclasa, biotita, apatito y cuarzo en diferentes proporciones se obtiene un magma derivado composicionalmente muy similar al monzogranito (L-37) con una tasa de cristalización del 59.79%.

Las objeciones que se podrían plantear

a este modelo, a pesar de sus óptimos resultados ( $\Sigma r^2 = 0.297$ ), radican fundamentalmente en la elevada tasa de cristalización implicada, y que exige una importante participación de cuarzo en la obtención de un buen valor numérico. Si en el modelo no se fraccionara cuarzo, el balance de masas dejaría de ser aceptable ( $\Sigma r^2 > 4.0$ ).

Quizás un argumento más concluyente en relación con la elevada tasa de cristalización sea el que proporcionan los datos cartográficos: resulta extremadamente anómalo observar un monzogranito muy diferenciado y que curiosamente constituye la facies principal del plutón.

También el comportamiento inconsistente de algunos elementos traza y tierras raras (por ejemplo caso del Ba, de esperado comportamiento incompatible, se comporta como elemento compatible en el modelo) puede interpretarse en relación a la contribución cuantitativa de alguna de las fases participantes en la fraccionación (en el caso del comportamiento anómalo del Ba, sería la participación de biotita).

Un modelo alternativo (Tabla II, Modelo-B) que salvaría en gran medida las objeciones del anterior, sería aquel en el que se introduce anfíbol en lugar de biotita en el proceso de cristalización fraccionada. Ello conduce a reducir notablemente la tasa de cristalización hasta valores próximos al 17% (balance de masas  $\Sigma r^2 = 1.0$ ), además de favorecer una distribución de elementos traza bastante más acorde con los valores observados.

El mayor escollo que presenta esta alternativa radica en que en el estudio petrográfico no se ha detectado anfíbol en la granodiorita de La Fernandina, sin embargo la presencia de esta fase mineral resulta patente en los enclaves microgranulares asociados a aquella.

**Tabla-II: Datos obtenidos a partir de diferentes modelizaciones por procesos de cristalización fraccionada (Fe2O3 recalculado como FeO)**

Recalculado al 100% sin H <sub>2</sub> O						MODELO-A					MODELO-B				
	L-27	L-37	Predic	Dif	Residuo	L-27	L-37	Predic	Dif	Residuo	L-27	L-37	Predic	Dif	Residuo
SiO <sub>2</sub>	66.07	68.82	68.88	-0.064	50.63	66.07	68.82	68.85	-0.03	27.41	66.07	68.82	68.85	-0.03	27.41
TiO <sub>2</sub>	0.61	0.52	0.36	0.16	0.63	0.61	0.52	0.6	-0.082	0.34	0.61	0.52	0.6	-0.082	0.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.76	15.66	15.78	-0.117	13.82	16.76	15.66	16.07	-0.413	10.56	16.76	15.66	16.07	-0.413	10.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	4.12	3.54	3.46	0.078	3.64	4.12	3.54	3.49	0.049	3.79	4.12	3.54	3.49	0.049	3.79
MnO	0.05	0.04	-0.28	0.321	0.23	0.05	0.04	0.03	0.009	0.08	0.05	0.04	0.03	0.009	0.08
MgO	2.2	1.06	1.39	-0.33	2.21	2.2	1.06	1.7	-0.642	2.44	2.2	1.06	1.7	-0.642	2.44
CaO	3.61	2.66	2.72	-0.062	3.37	3.61	2.66	2.25	0.411	5.42	3.61	2.66	2.25	0.411	5.42
Na <sub>2</sub> O	3.08	3.32	3.17	0.152	2.39	3.08	3.32	2.89	0.425	2.09	3.08	3.32	2.89	0.425	2.09
K <sub>2</sub> O	3.32	4.15	4.2	-0.055	2.11	3.32	4.15	3.89	0.259	0.26	3.32	4.15	3.89	0.259	0.26
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.22	0.29	-0.07	0.06	0.17	0.22	0.2	0.016	0	0.17	0.22	0.2	0.016	0
Total	99.99	99.99	99.98		79.1	99.99	99.99	99.99		52.39	99.99	99.99	99.99		52.39
		Solución	% Acumul.	nombre			Solución	% Acumul.	nombre			Solución	% Acumul.	nombre	
Parental	1			L-27		Parental	1		L-27		Parental	1		L-27	
Pl	0.2699	46.7		L-27-22		Pl	0.0941	55.98	L-27-22		Pl	0.0941	55.98	L-27-22	
Bt	0.1483	25.66		L-27-28		Hbl	0.074	44.02	St		Hbl	0.074	44.02	St	
Ap	0.0011	0.19		St											
Qtz	0.1587	27.45		St											
Derivado	0.4221			L-37		Derivado	0.8319		L-37		Derivado	0.8319		L-37	
		Suma de residuos al cuadrado = .29718						Suma de residuos al cuadrado = 1.00996					Suma de residuos al cuadrado = 1.00996		
		Tasa de cristalización = 57.791 %						Tasa de cristalización = 16.807 %					Tasa de cristalización = 16.807 %		
		Masa de líquido = 42.209						Masa de líquido = 83.193					Masa de líquido = 83.193		
	L-27	L-37	Rayleigh	Hanson		L-27	L-37	Rayleigh	Hanson		L-27	L-37	Rayleigh	Hanson	
La	33.45	38.6	63.03	58.12		33.45	38.6	37.13	36.98		33.45	38.6	37.13	36.98	
Ce	72.74	87.58	136.02	125.28		72.74	87.58	75.19	75.01		72.74	87.58	75.19	75.01	
Nd	30.17	40.04	56.08	51.6		30.17	40.04	25.13	25.86		30.17	40.04	25.13	25.86	
Sm	6.76	8.89	12.88	11.9		6.76	8.89	4.27	4.76		6.76	8.89	4.27	4.76	
Eu	1.24	1.06	1.11	1.16		1.24	1.06	0.79	0.88		1.24	1.06	0.79	0.88	
Gd	5.64	7.08	11.01	10.22		5.64	7.08	2.99	3.57		5.64	7.08	2.99	3.57	
Dy	3.72	5.02	7.41	6.91		3.72	5.02	1.55	2.07		3.72	5.02	1.55	2.07	
Er	1.85	2.19	3.73	3.49		1.85	2.19	0.84	1.07		1.85	2.19	0.84	1.07	
Yb	1.82	2.43	3.69	3.45		1.82	2.43	1.1	1.25		1.82	2.43	1.1	1.25	
Lu	0.27	0.36	0.56	0.53		0.27	0.36	0.21	0.22		0.27	0.36	0.21	0.22	
Ba	442	633	107.91	227.28		442	633	512.87	511.48		442	633	512.87	511.48	
Rb	142	169	201.55	185.54		142	169	169.78	169.69		142	169	169.78	169.69	
Sr	237	166	76.23	134.66		237	166	180.74	189.97		237	166	180.74	189.97	
Y	17	23	24.05	22.14		17	23	12.44	13.23		17	23	12.44	13.23	
Zr	150	194	219.25	201.16		150	194	129.07	131.89		150	194	129.07	131.89	

**CONCLUSIONES**

El plutón de Linares está mayoritariamente constituido por dos litologías con un tiempo de emplazamiento sucesivo: granodioritas y monzogranitos. Este conjunto plutónico se completa con un cortejo filoniano compuesto por diques riódacíticos, aplo-pegmatitas y una importante red de diques de cuarzo mineralizados. Aunque no se observan relaciones de campo con los litotipos mayoritarios, se ha detectado la presencia de rocas plutónicas más diferen-

ciadas –leucogranitos con nódulos de turmalina– muy probablemente relacionadas genéticamente con aquellos.

Geoquímicamente el stock se caracteriza por la presencia de litologías peraluminosas que pueden definir una asociación aluminosa o aluminocafémica de carácter, en cualquier caso, calco-alcalino.

Teniendo en cuenta la limitación que supone la escasa cantidad de datos químicos barajados, éstos apuntan hacia la existencia de una serie de diferenciación magmática generada por mecanismos de cristalización

fraccionada que evoluciona desde granodioritas hasta monzogranitos. Los modelos propuestos señalan bien a la plagioclasa, biotita, cuarzo y apatito o bien plagioclasa y hornblenda, como fases minerales que mayor repercusión han tenido en la fraccionación.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos de investigación 121.310EA7793 y 130.310EB033, financiados por la Universidad del País Vasco.

## BIBLIOGRAFIA

- AZCÁRATE, J. E. ; ESNAOLA, J. M.; MALDONADO, M. (1977): *Mapa Geológico de España* a escala 1:50.000, nº 905 (Linares). 2ª Serie. (MAGNA). I.G.M.E. (Madrid).
- CARRACEDO, M.; ORTEGA, L.A.; GIL IBARGUCHI, J.I.; SANCHEZ CARRETERO, R. (1989). Aportación a la geoquímica de tierras raras en el batolito de Los Pedroches (Córdoba, España). *Studia Geol. Salm.*, vol 4, pp. 93-104.
- CARRACEDO, M. (1991). *Contribución al estudio del batolito de Los Pedroches*. Tesis Doctoral (U. País Vasco).
- 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).
- DEBON F. & LEFORT P. (1983). A chemical-mineralogical classification of plutonic rocks and associations. Royal Society of Edimburgh: *Earth Sciences*, tomo 73 pag. 135-197.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1965). An introduction to the rock-forming minerals. LONGMAN Ed., 528 pp. (New York).
- EVENSEN, M.M., HAMILTON, P. J. & O'NIONS, R.K. (1978). Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geoch. Cosmoch. Acta*, tomo 42, pag. 1199-1212.
- HANSON, G.N. (1978). The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. *Earth and Planetary Sc. Let.*, 38, pp.26-43
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canad. J. Earth Sc.*, vol. 8, pp. 523-548.
- JULIVERT, M., FONTBOTE, J.M., RIBEIRO, A. & NABAIS, L.E. (1974). *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares*, escala 1:1.000.000. Memoria explicativa. 113 pp. I. G.M.E. (Madrid)
- LARREA, F. J.; CARRACEDO, M.; CUETO, L. A.; QUESADA, C.; GIL IBARGUCHI, J.I.; FERNÁNDEZ, F. J.; ORTEGA, L. A. (1992). Petrología y geoquímica del plutón de Cardena-Virgen de La Cabeza (batolito de Los Pedroches). *Cuad. Lab. Xeol. de Laxe*, vol. 17, pp. 209-222.
- 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.
- LOPEZRUIZ, J. (1986). Aplicación de la geoquímica de elementos traza a la génesis de rocas ígneas. *Estudios Geológicos*, 42, pp. 239-258.
- ORTEGA, L.A.; VELASCO, F.E. (in prep.). OXICRIST: a basic program for simulation major and trace elements during differentiation processes in a magmatic liquid.
- QUESADA, C., FLORIDO, P., GUMIEL, P., OSBORNE, J., LARREA, F.J., BAEZA, L., BAÑAN, L. & DE LA CRUZ, E. (1987). Mapa geológico de Extremadura, 131 pp. Consejería de Industria y Energía. Junta de Extremadura.
- RAYLEIGH, J.W.S. (1986). Theoretical considerations respecting the separation of gases by diffusion and similar processes. *Phil. Mag.*, 42, pp.77-107.
- SÁNCHEZ CELA, V.; APARICIO YAGÜE, A. (1969). Estudio petrológico de los afloramientos graníticos de Santa Elena y Linares (Jaén). *Boletín Geológico y Minero*, t. LXXX-IV, pp.344-351.
- TAMAIN, G. (1968). Le district minier de Linares-La Carolina et son cadre métallogénétique en Sierra Morena Orientale (Espagne). *Bull. Soc. Geol. de France* (7), X, pp. 97-102.

Recibido: 5-IV-94

Aceptado: 20-VI-94