

Estudio de la composición isotópica del Pb en galenas del distrito minero de Linares-La Carolina (Jaén, España)

Pb isotopic composition of galenas from the Linares-La Carolina mining district (Jaén, Spain)

S. García de Madinabeitia, J. Santos Zalduegui, F.J. Larrea, M. Carracedo y J.I. Gil Iburguchi

Dpto. Mineralogía-Petrología, Universidad del País Vasco, Apdo. 644, 48080 Bilbao, España

ABSTRACT

New lead isotope results for twenty-four galenas of the Linares-La Carolina mining district (Jaén, Spain) are reported. While two mineralization types, one near Linares (where filons with low Ag content crosscut the Linares and/or Guadalén-Arquillos plutons) and another at La Carolina (Ag-rich filons cut the Santa Elena granite or its host-rocks) may be distinguished, the Pb isotopic compositions of the galenas from both areas are similar and very homogeneous: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.236 \pm 0.036$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.615 \pm 0.014$ and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.347 \pm 0.046$, giving a model age of 324 ± 18 Ma. These results are very different from the Pb isotopic compositions and model ages recorded on galenas from the nearby El Zumajo vein within the Los Pedroches batholith main body. Notwithstanding, since the μ_2 calculated values from El Zumajo and Linares-La Carolina district are very similar, it is argued that a genetical relationship must exist between the mineralizations of the Los Pedroches batholith and those of Linares-La Carolina. The observed differences in isotopic ratios might reflect two, at least, different events of mineralization.

Key words: Lead isotope, galena, Linares-La Carolina, Los Pedroches

Geogaceta, 34 (2003), 31-34
ISSN:0213683X

Introducción

El estudio de las composiciones isotópicas del Pb en la génesis de menas, principalmente de galenas, constituye una herramienta de gran utilidad para investigar el origen de este elemento así como para estimar la edad de la mineralización o bien para establecer las características de yacimientos situados en diferentes contextos geológicos (e. g., Romer y Wright, 1993; Townley y Godwin, 2001). A fin de completar los datos publicados sobre el filón de El Zumajo (García de Madinabeitia *et al.*, 2002) situado en el batolito de Los Pedroches, se ha investigado la composición isotópica del Pb en galenas del cercano distrito minero de Linares-La Carolina. Este distrito ha sido uno de los mayores productores de Pb del mundo durante los pasados siglos XIX y XX (Ovtracht y Tamain, 1971). Debido a su interés económico, los yacimientos de Linares-La Carolina han sido ampliamente estudiados, habiéndose propuesto para los mismos un origen relacionado con eventos hidrotermales producto de la cristalización de los granitoides hercínicos a los que aparecen asociados (Charpentier, 1976; Rodríguez Sastre, 2000), aunque

sin excluir una participación de materiales sedimentarios (Pineda, 1989; Lillo, 1992). Algunos autores (e. g., Ovtracht y Tamain, 1971) han señalado, no obstante, la existencia de diferencias entre los sectores de Linares y La Carolina relacionadas tanto con el tipo de encajante como con los contenidos en Ag de las mineralizaciones, diferencias que serán analizadas en el presente estudio.

Contexto geológico y muestras

El batolito de Los Pedroches aflora en el sector Sur de la Zona Centro-Ibérica constituyendo una gran alineación magmática de dirección WNW-ESE con una superficie cercana a los 3.500 km² (Figura 1). El emplazamiento del batolito tuvo lugar durante el Carbonífero superior (Westfaliense-Estefaniense; Carracedo *et al.*, 1993, 1994). En la terminación oriental del batolito afloran una serie de cuerpos ígneos de dimensiones menores entre los que destacan: (1) los plutones de Linares y Guadalén-Arquillos, que aunque no presentan ninguna relación especial con el batolito de Los Pedroches estarían relacionados genéticamente con aquel (Larrea *et al.*, 1994; Figs. 1, 2), y (2) el stock de Santa

Elena, situado al norte del plutón de Linares y considerado como una intrusión genéticamente independiente (Larrea *et al.*, 1995; Fig. 1).

Las mineralizaciones asociadas a estas intrusiones menores se han englobado clásicamente en el denominado distrito minero de Linares-La Carolina. Las muestras estudiadas del sector de Linares se asocian a los plutones de Linares y Guadalén-Arquillos (muestras L y ARQ); las mineralizaciones forman venas de dirección N20-30E encajadas en las rocas graníticas con contenidos en Ag bajos (160-250 g Ag/t). En el sector de La Carolina (muestras SE y C), los filones aparecen como venas de dirección N90-180E tanto en el encajante metasedimentario como en las rocas ígneas del stock de Santa Elena, siendo sus contenidos en Ag superiores a los del sector de Linares (máximo 1.500 g Ag/t) (Ovtracht & Tamain, 1971).

La edad de los filones en ambos sectores sería posterior al Westfaliense (300-310 Ma), ya que no han sido afectadas por la deformación hercínica (Lillo, 1992), las edades K-Ar de concentrados de arcillas asociados a los filones oscilan entre 285 y 210 Ma (Halliday y Mitchell, 1984). La

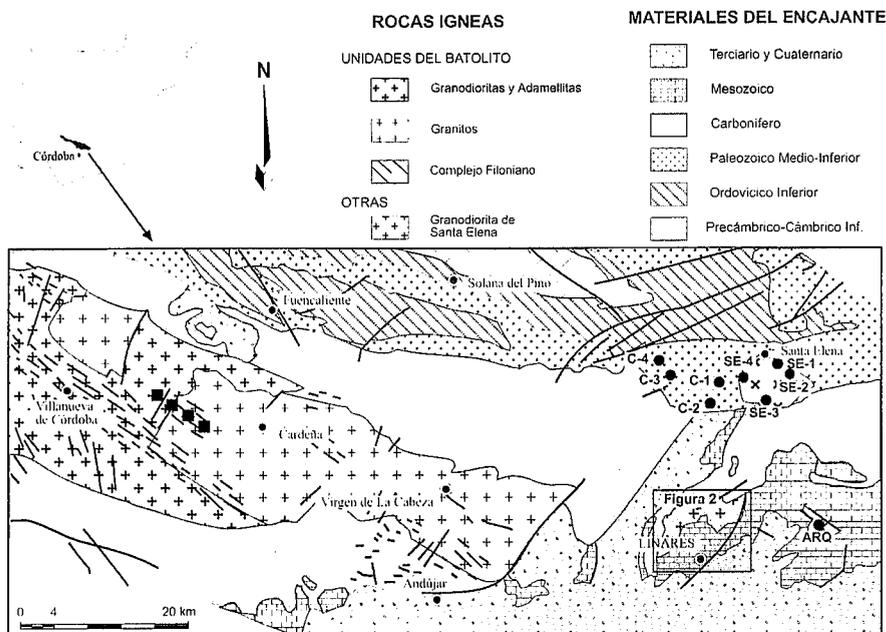


Fig. 1.- Esquema geológico del batolito de Los Pedroches (según Defalque et al., 1992; Carracedo et al., 1994) y situación de las muestras estudiadas de Arquillos (sector de Linares) y del sector de La Carolina. Cuadros negros: muestras del filón de El Zumajo (García de Madinabeitia et al., 2002).

Fig. 1.- Geological sketch from the Los Pedroches batholith (after Defalque et al., 1992; Carracedo et al., 1994) and sample location from the Arquillos (Linares sector) and the La Carolina sector. Black squares: samples from the El Zumajo vein (García de Madinabeitia et al., 2002).

datación de una galena del filón Mirador ha proporcionado una edad de 270 ± 30 Ma (Tamain, 1972).

Métodos analíticos

Los análisis isotópicos del Pb de las galenas han sido efectuados en la Universidad del País Vasco utilizando un espectrómetro de masas Finnigan Mat 262 con 8 cajas de Faraday. Las muestras a analizar se han obtenido a partir de pequeños cristales cúbicos de galena seleccionados con ayuda de una lupa binocular y molidos posteriormente en mortero de ágata. Aproximadamente 1 mg de galena se disuelve en 2 ml de ácido nítrico 6N bidestilado. El depósito se efectúa sobre un filamento de Re utilizando 3 ml de silicagel y ácido fosfórico (más detalles en Santos et al., 2001).

Los datos presentados corresponden a la media de 10 bloques de 10 barridos cada uno obtenidos en modo estático. La corrección para la fraccionación de masas se efectúa por comparación con medidas repetidas del estándar NBS-981 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16,899 \pm 0,023$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15,439 \pm 0,024$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36,536 \pm 0,028$; n = 41). Las edades modelo y los valores μ_2 y ω_2 (Tabla 1) se han calculado a partir de los

parámetros propuestos por Stacey y Kramers (1975) para la evolución isotópica del Pb.

Resultados

Sector de Linares: Se han analizado 16 galenas pertenecientes a diferentes filones, mayoritariamente situados a lo largo de un transversal E-W del plutón de Linares, con la finalidad de investigar posibles variaciones locales de composición isotópica del Pb dentro del plutón. No se ha observado ninguna relación entre la posición geográfica y la composición isotópica ya que esta última es relativamente homogénea: $18,190 \leq ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \leq 18,302$; $15,596 \leq ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \leq 15,649$ y $38,284 \leq ^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \leq 38,474$ (Tabla 1). Esto se traduce en una homogeneidad para las edades modelo, así como en los valores de μ_2 y ω_2 calculados, que son de 323 ± 20 Ma, $9,79 \pm 0,06$ y $38,54 \pm 0,41$, respectivamente (Tabla 1). En el diagrama $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ los resultados obtenidos se agrupan bastante bien en un campo de pequeñas dimensiones que se superpone parcialmente a la curva del modelo para la evolución del Pb de Stacey y Kramers (1975) y que se sitúa entre las curvas modelo del Orógeno y Corteza Superior de Zartman y Doe (1981; Fig. 3A). Sin embargo, en el

diagrama $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ los datos obtenidos definen un campo paralelo a las curvas modelo (Fig. 3B).

Sector de La Carolina: A pesar de que en este sector se incluyen muestras asociadas tanto al stock de Santa Elena (muestras SE) como a las rocas metasedimentarias cercanas (muestras C; Fig. 2), su composición isotópica global es muy homogénea: $18,199 \leq ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \leq 18,262$; $15,600 \leq ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \leq 15,633$ y $38,311 \leq ^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \leq 38,394$ (Tabla 1). Por su parte, las edades modelo y los valores de μ_2 y ω_2 calculados son de 334 ± 13 Ma, $9,79 \pm 0,05$ y $38,61 \pm 0,31$, respectivamente (Tabla 1). Estos valores son muy similares a los del sector de Linares y, como puede comprobarse en los diagramas Pb vs. Pb, los campos composicionales para ambos sectores se superponen (Figs. 3A y 3B).

Discusión

Los escasos datos disponibles hasta la fecha sobre la composición isotópica del Pb en el área del batolito de Los Pedroches procedían de dos zonas geográficas diferentes: Linares-La Carolina (Lillo, 1992 basados en ENADIMSA, 1971; Arribas, 1993) y filón de El Zumajo (García de Madinabeitia et al., 2002), y presentaban importantes discrepancias entre sí (García de Madinabeitia et al., 2002).

Los datos obtenidos en el presente estudio permiten resolver las discrepancias observadas dado que, por una parte, se ha podido delimitar con precisión un campo composicional único para los datos isotópicos de Pb en galenas de Linares-La Carolina (cf. Canals y Cardellach, 1997) y, por otra, el campo así definido se diferencia claramente del establecido por los datos del filón de El Zumajo. Cabe señalar que los datos aquí presentados se han obtenido utilizando la misma metodología que para los análisis de El Zumajo (García de Madinabeitia et al., 2002) por lo que las diferencias composicionales observadas no deben corresponder a errores analíticos.

Las diferencias en las relaciones isotópicas son también observables en las edades modelo calculadas para las mineralizaciones de Linares-La Carolina y de El Zumajo: 324 ± 18 Ma y 201 ± 7 Ma, respectivamente. Las edades modelo de las galenas de Linares-La Carolina son similares a la edad de la intrusión del batolito de Los Pedroches que afecta a materiales del Namuriense (Quesada et al., 1987) y que ha sido es-

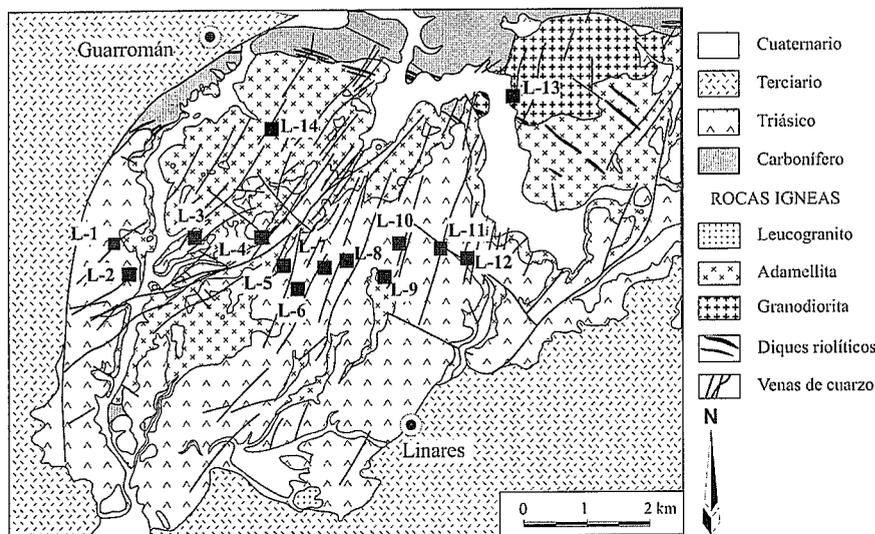


Fig. 2.- Detalle del sector de Linares y muestras estudiadas (ver Tabla 1). Modificado a partir de Larrea (1998).

Fig. 2.- Detail for the Linares sector and samples localities (see also Table 1). Modified from Larrea (1998).

tablecida en un rango de edades que oscila entre los 291 ± 15 Ma (K-Ar en micas, Penha y Arribas, 1974) y 310 ± 12 Ma (Rb-Sr roca total, Larrea *et al.*, 1999). Estas edades modelo del distrito de Linares-La Carolina son, sin embargo, superiores a las de una galena del filón Mirador, incluida en el grupo Centenillo (muestra C-4) datada en 270 ± 30 Ma por Tamain (1972).

Cabe señalar que las edades K-Ar de concentrados de arcillas asociadas a las mineralizaciones dan edades muy variables: de 285 a 210 Ma (Halliday y Mitchell, 1984), es decir, a 'grosso modo' incluirían los dos grupos de edades aquí diferenciados. Sin embargo, esos mismos autores reconocen la dificultad de relacionar los minerales arcillosos con eventos específicos, sugiriendo que sus muestras pueden incluir varias generaciones de arcillas. Así mismo, Palero *et al.* (en prensa) consideran que estas arcillas pueden representar materiales de "fault gouge" generados por movimientos en las fracturas que contienen las venas y que son posteriores a la mineralización.

Conviene resaltar que a pesar de las diferencias composicionales y de edad observadas, las muestras de Linares-La Carolina y de El Zumajo presentan unos valores de μ_2 y ω_2 cercanos a 9,80 y 38,60, respectivamente, en ambos casos. Esto permite suponer que ambas mineralizaciones podrían derivar de una misma fuente, correspondiendo la diferencia entre las mismas a distintos eventos de formación y/o emplazamiento.

Conclusiones

Los resultados del estudio efectuado indican que las relaciones isotópicas del Pb, las edades modelo y los valores de μ_2 y ω_2 en galenas de los sectores de Linares

y de La Carolina son muy similares entre sí, definiendo un campo composicional homogéneo en los diagramas Pb/Pb.

Las composiciones isotópicas y edades modelo para dichos sectores son claramente diferentes de las publicadas para muestras procedentes del cercano filón de El Zumajo. Sin embargo, la similitud de los valores de μ_2 y ω_2 en las mineralizaciones de las dos áreas permite asumir que existe algún tipo de relación genética entre ellas.

Agradecimientos

La realización del presente trabajo ha sido posible gracias a la financiación obtenida a través de los Proyectos de Investigación BTE2001-0071 y MAT2000-0142 y del Programa Ramón y Cajal del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Referencias

Arribas, Jr A. (1993) En: *Current research in geology applied to ore deposits* (Fenoll Hach-Alí, Torres-Ruiz y Gervilla, Eds) 29-32.
 Canals, A. y Cardellach, E. (1997) *Mineral. Deposita* 32, 243-249

MUESTRA	GRUPO MINERO	ENCAJANTE	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb #	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb #	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb #	Edad modelo (Ma)*	μ_2 *	ω_2 *
Sector Linares								
L-1	Matacabras	Granítico	18,224	15,603	38,312	308	9,74	38,17
L-2	Matacabras	Granítico	18,302	15,649	38,474	343	9,92	39,42
L-3	Matacabras	Granítico	18,211	15,619	38,357	351	9,81	38,87
L-4	La Esperanza	Granítico	18,211	15,618	38,356	349	9,81	38,84
L-5	El Cobre	Granítico	18,273	15,645	38,440	356	9,91	39,38
L-6	Matacabras	Granítico	18,283	15,613	38,369	285	9,77	38,24
L-7A	Matacabras	Granítico	18,231	15,605	38,319	306	9,74	38,19
L-7B	Matacabras	Granítico	18,239	15,619	38,365	329	9,80	38,67
L-8	La Cruz	Granítico	18,293	15,627	38,412	306	9,83	38,69
L-9	La Cruz	Granítico	18,205	15,609	38,324	334	9,77	38,51
L-10	La Cruz	Granítico	18,263	15,616	38,364	306	9,79	38,43
L-11	Arrayanes	Granítico	18,198	15,602	38,300	325	9,74	38,28
L-12	La Fernandina	Granítico	18,192	15,597	38,284	319	9,72	38,14
L-13	San Andres	Granítico	18,291	15,625	38,376	303	9,82	38,46
L-14	Santa Margarita	Granítico	18,190	15,596	38,284	320	9,72	38,15
ARQ	Arquillos	Granítico	18,192	15,598	38,287	323	9,72	38,19
Sector La Carolina								
SE-1	San Gabriel	Metasedimentario	18,248	15,617	38,355	319	9,79	38,52
SE-2	La Venta	Metasedimentario	18,203	15,600	38,311	319	9,73	38,28
SE-3	La Trinidad	Granítico	18,199	15,605	38,312	331	9,75	38,42
SE-4	La Aliseda	Granítico	18,204	15,618	38,351	353	9,81	38,86
C-1	El Sinapismo	Metasedimentario	18,203	15,609	38,323	336	9,77	38,52
C-2	El Sinapismo	Metasedimentario	18,262	15,633	38,394	341	9,86	38,97
C-3	Los Guindos	Metasedimentario	18,243	15,630	38,392	348	9,85	39,03
C-4	El Centenillo	Metasedimentario	18,203	15,601	38,303	321	9,74	38,25

Valores corregidos para la fraccionación de masas
 * Valores calculados a partir de los parámetros de Stacey y Kramers (1975)

Tabla I. Composición isotópica de las galenas del distrito minero de Linares-La Carolina. Edad modelo y parámetros μ_2 y ω_2 establecidos a partir del modelo de Stacey y Kramers (1975).

Table I. Isotope composition of galenas from the Linares-La Carolina mining district. Model age and μ_2 and ω_2 parameters established according to the Stacey and Kramers (1975) model.

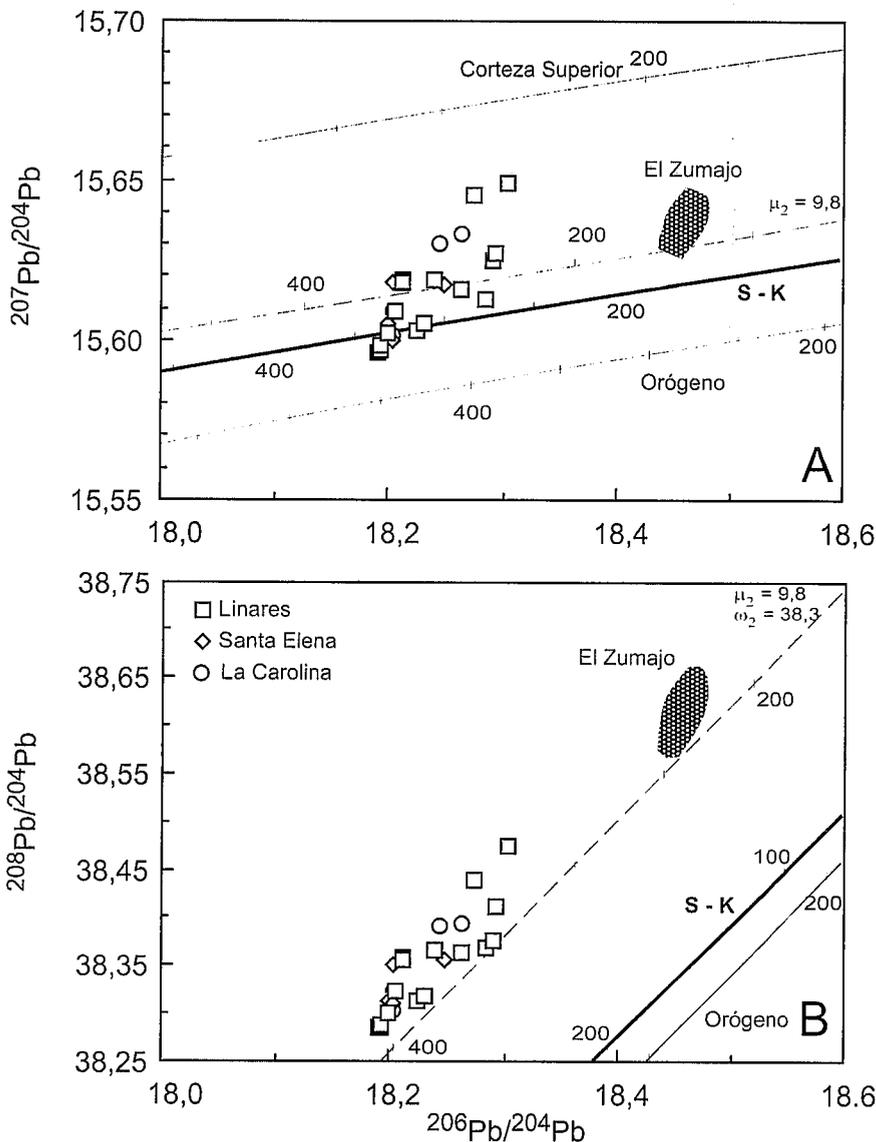


Fig. 3.- Composición isotópica del Pb de las galenas del distrito minero de Linares-La Carolina. Las líneas representan la evolución del plomo para diferentes modelos: S-K (Stacey y Kramers, 1975); Orógeno y Corteza Superior (Zartman y Doe, 1981); $\mu_2 = 9.8$ y $\omega_2 = 38.56$, valores calculados para las muestras analizadas utilizando los parámetros de Stacey y Kramers (1975). Edades indicadas para las curvas de evolución en millones de años. Campo para las muestras de El Zumajo según García de Madinabeitia et al. (2002).

Fig. 3.- Pb isotope composition of galenas from the Linares-La Carolina mining district. Lines show values for different models of Pb evolution: S&K (Stacey and Kramers, 1975); Orogen and Upper Crust (Zartman and Doe, 1981); $\mu_2 = 9.8$ and $\omega_2 = 38.56$ are the values calculated for the samples analysed using the parameters of Stacey and Kramers (1975). Age values in the evolution lines are in M.y. Field for the El Zumajo data after García de Madinabeitia et al. (2002).

Carracedo M.; Larrea, F.J.; Ortega, L.A. y Gil Ibarguchi, J.I. (1993) En: *Terra abstracts: Abstract supplement N° 6 to Terra Nova*, 5, 9.
 Carracedo M.; Larrea, F.J.; Ortega, L.A. y Gil Ibarguchi, J.I. (1994) *Cuad. Lab.*

Xeol. Laxe, 19, 305-317.
 Charpentier J.L. (1976) *Thèse Univ. Paris-Sud (Centre d'Orsay)*, 153 pp.
 Defalque, G.; Démaiffe, D.; Dumont, P. y Lalieux, Ph. (1992) *Ann. Soc. Geol. Belgique*, T. 115 (fascicule 1), 77-89.

ENADIMSA (1971) *Unpublished Internal Report*, 9-41.
 García de Madinabeitia, S.; Santos Zalduegui, J.F.; Carracedo, M.; Larrea F.J y Gil Ibarguchi, J.I. (2002) *Geogaceta* 32, 233-236
 Halliday, A.N. y Mitchell, J.G. (1984) *Earth Planet. Sci. Letters* 68: 229-239
 Larrea, F.J.; Carracedo, M.; Ortega, L.A. y Gil Ibarguchi, J.I. (1994) *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 19, 335-346
 Larrea, F.J.; Carracedo, M.; Ortega, L.A. y Gil Ibarguchi, J.I. (1995) *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 20, 151-166
 Larrea, F.J. (1998). *Tesis Univ. del País Vasco*. 459 pp.
 Larrea, F.J. Carracedo, M.; Alonso, A., Ortega, L.A. y Menendez, M. (1999) En: *XV Reunión de geología del oeste peninsular, Badajoz. Extended abstracts* 159-170
 Lillo, J. (1992) *European Journal Mineralogy*, 4, 337-343
 Ovtchacht, A. y Tamian G. (1971) En: *Colloque en homage au Professeur Raquin*. (Masson Ed) Paris, 192-211
 Palero, F.; Both, R.A.; Arribas, A.; Boyce, A.J. y Mangas, J. (in press) *Econ. Geol.*
 Penha, M. y Arribas, A. (1974) *Bol. Geol. Min.*, LXXXV-III, 271-273
 Pineda, A. (1989) *Bol. Geol. Min.*, C-IV, 653-665.
 Quesada, C.; Florido, P.; Gumiel, P.; Osborne, J.; Larrea, F.J.; Baeza, L.; Bañón, L. y de la Cruz, E. (1987) *Mapa geológico de Extremadura. Consejería de industria y energía, Junta Extremadura*, 1131 pp
 Rodríguez Sastre, M.A.; Palero, F.J. y Martín Izard, A. (2000) *Bol. Soc. Esp. Min.*, 23, 1-16
 Romer, R.L. y Wright, J.E. (1993) *Geochim Cosmochim Acta* 57, 2555-2570
 Santos Zalduegui JF, García de Madinabeitia S, Gil Ibarguchi JI (2001) En: *Proceedings III Iberian Geochemistry meeting*. (Lago Arranz y Galé, Eds) Zaragoza, 443-446
 Stacey, J.S. y Kramers, J.D. (1975) *Earth Planet. Sci. Letters*, 26, 207-221.
 Tamain, G. (1972) *Thèse 3ème cycle, Univ. Paris-Sud (Orsay)* 870 pp.
 Townley, B.K. y Godwin, C.I. (2001) *Mineral. Deposita*, 36, 45-57
 Zartman, R.E. y Doe, B.R. (1981) *Tectonophysics*, 75, 135-162.