

LUCAS MALLADA, 21: 285 a 301
ISSN 0214-8315, ISSN-e 2445-060X
<http://revistas.iea.es/index.php/LUMALL>
Huesca, 2019

EXAMEN DE MUESTRAS MINERALES DE LAS MINAS DE BIELSA Y ERISTE

Pablo MARTÍN-RAMOS¹ | Mariella MOLDOVAN-FEIER² |
Jesús MARTÍN-GIL³ | Mariano OLIVÁN⁴ | José Antonio CUCHÍ⁵

RESUMEN.— El presente artículo presenta el análisis mineralógico e isotópico de muestras de mineral y escorias de las minas de plomo de Bielsa y Eriste, como parte de un estudio isotópico de este elemento en el Pirineo oscense.

ABSTRACT.— This work presents the mineralogical and isotopic analysis of ore and slag samples from the lead mines of Bielsa and Eriste, as part of an isotopic study of this element in the Pyrenees.

KEYWORDS.— Isotopic analysis. X rays fluorescence. Lead. Pyrenees. Bielsa, Eriste (Huesca, Spain).

Recepción del original: 10-1-2020

¹ Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 Huesca. pmr@unizar.es

² Departamento de Química Física y Analítica. Universidad de Oviedo. Julián Clavería, 8. E-33006 Oviedo. moldovanmariella@uniovi.es

³ Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Avenida de Madrid, 44. E-34004 Palencia. mgil@iaf.uva.es

⁴ Sección de Espeleología del Club Atlético Sobrarbe. marianoolivan@gmail.com

⁵ Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 Huesca. cuchi@unizar.es

INTRODUCCIÓN

Es conocida la existencia de mineralizaciones de plomo en el Pirineo del Alto Aragón, especialmente en Panticosa (Yenefrito), Bielsa (Parzán, Chisagüés, Barrosa, Suelza) y Benasque (Eriste, Castanesa, Fonchanina, Aстет), que fueron señaladas por MAESTRE (1845), ALDAMA (1846) y MALLADA (1876). A estas hay que añadir las cercanas minas de la cabecera del Noguera Ribagorzana (Cierco).

Las minas fueron trabajadas desde un pasado remoto, con probable interés en el contenido en plata de la galena. Es difícil identificar antiguas labores dado que las posteriores reutilizan y modifican las previas. Las primeras citas históricas son medievales, con repuntes de actividad en el siglo XVIII (ASSO, 1798) y, sobre todo, desde mediados del XIX hasta 1920, al final de la Primera Guerra Mundial. La actividad de alguna mina, sobre todo en Bielsa, continuó hasta después de la Guerra Civil (MAESTRE, 1845; ALDAMA, 1846; MADDOZ, 1845-1850; MALLADA, 1876; CALVO y cols., 1988; CUCHÍ y VILLARROEL, 2017).

Varios autores (GALLARDO FERNÁNDEZ, 1808; BLÁZQUEZ, 1970; DAVIES, 1935; HEALY, 1978; SUBÍAS y cols., 2008) sugieren la explotación de alguna de estas minas para la obtención de plata, componente minoritario de la galena, durante las épocas ibérica y romana, a partir de la acuñación de monedas de este metal (el *argentum* oscense) por Bolskan/Osca. DOMERGUE (1990) niega la existencia de un distrito minero oscense a pesar del cuño TL Osca en un lingote de plomo procedente de un pecio de la isla de Cabrera presentado en VENY (1979).

Como fase previa para valorar la hipótesis de una minería romana de plomo en el Alto Aragón es necesario analizar la composición isotópica del plomo de mineral de plomo y artefactos romanos encontrados en el entorno del valle del Ebro. En esta línea de completar estudios sobre la posibilidad mencionada, el presente artículo ofrece información mineralógica sobre algunas muestras de mineral y escorias de Bielsa (mina Ana) y Eriste (fundición de Tramarrius).

MARCO GEOLÓGICO

Las características mineralógicas de las zonas mineras con galena en el Alto Aragón han sido estudiadas por diversos autores: ROMERO (1929), IGME (1974), JOHNSON y cols. (1996) y, sobre todo, FANLO y cols. (1998), SUBÍAS y cols. (1997, 2008, 2010 y 2015) y YUSTE y cols. (1995 y 1998).

Más información sobre las minas del valle de Benasque puede encontrarse en <<http://www.fundacion-hospital-benasque.org>>. Para el valle de Bielsa, consúltese el trabajo de VIVEZ (1997).

MUESTREO

En la mina Ana (figs. 1-4) se dispuso de una muestra de interior proporcionada por Mariano Oliván (muestra de mina Ana 1, fig. 5) y se realizó una visita al exterior el 11 de noviembre de 2017 (muestra de mina Ana 2, fig. 6). En el valle de Eriste, el 24 de noviembre del mismo año se realizó una visita a la antigua fundición de Tramariius (fig. 7) y a la escombrera vecina, donde se tomaron una muestra de mineral (fig. 8, izquierda) y otra de escoria (fig. 8, derecha).



Fig. 1. Imagen exterior de la mina Ana (Bielsa).



Fig. 2. Escombrera de la mina Ana.



Figs. 3-4. Detalle de la mina Ana y mineral en escombrera.



Fig. 5. Muestra de mina Ana 1 (interior de la mina).



Fig. 6. Muestra 2 de la mina Ana (exterior de la mina).



Fig. 7. Detalle de la fundición de Tramarius (Eriste).



Fig. 8. Muestras de mineral (izquierda) y de escoria (derecha) de Tramarius.

ANÁLISIS DE MUESTRAS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X (XRF)

Metodología

La composición de elementos mayoritarios (salvo Na y C) y minoritarios se determinó directamente sobre muestras (sin reducir las a polvo) usando un espectrómetro XRF portátil modelo Niton XL3t (Thermo Fisher Scientific), en el modo TestAll™ Geomode de análisis rápido de elementos mayoritarios y traza. Tubo de rayos: ánodo de oro, 50 kV, 200 μ A. Los datos se procesaron en el *software* Niton Data Transfer (NDT™) PC *software suite*.

Resultados y discusión

De la mina Ana se realizaron cuatro análisis de XRF. De la muestra 1, muy homogénea, solo se hizo un análisis, mientras que de la muestra 2, mucho más heterogénea, tres diferentes XRF. Los registros XRF (figs. 9-12) permiten identificar la presencia de galenas impurificadas con fluorita, carbonatos mixtos de hierro y granates.

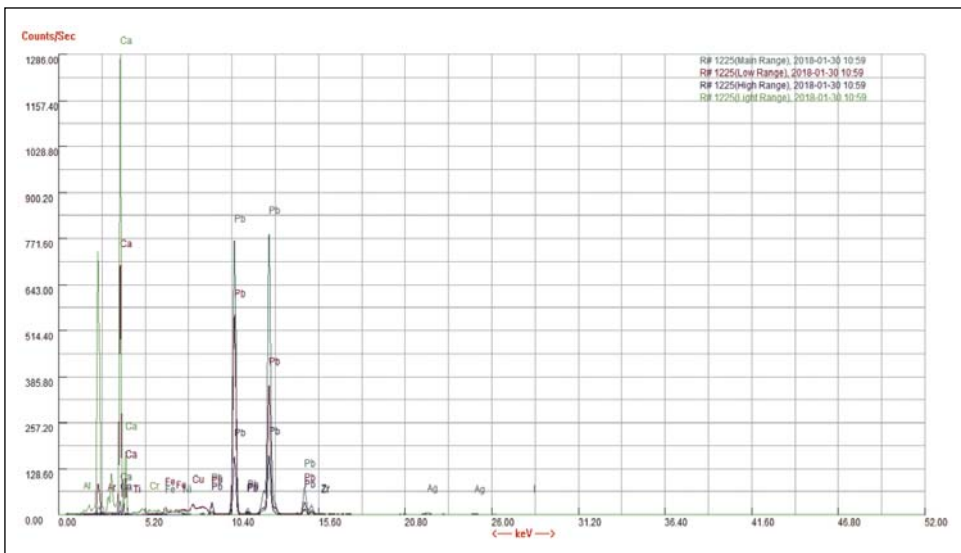


Fig. 9. Bielsa (mina Ana 1). Mineral de composición: Pb (39,48 %), Ca (32,7 %), S (14,63 %), Al (1,02 %), Si (1,12 %). Puede corresponder a galena impurificada con minerales ganga como fluorita y a granates como glosularita ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$).

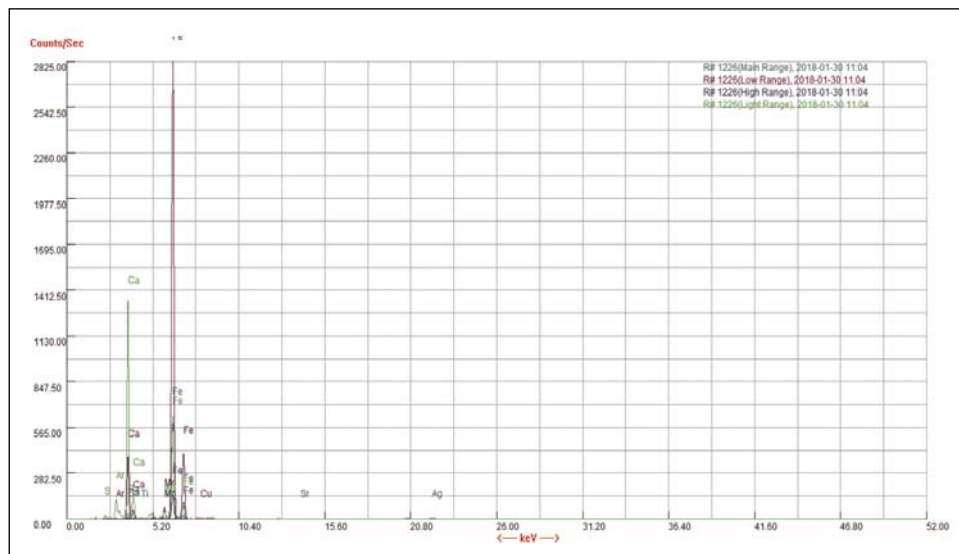


Fig. 10. Bielsa (mina Ana 2a). Mineral: Fe (48,42 %), Ca (14,44 %), Mn (1,04 %), Si (0,80 %), Al (0,42 %). Puede corresponder a carbonatos mixtos de calcio y hierro, tipo calciosiderita $[(\text{Fe,Ca})\text{CO}_3]$, con restos de granates.

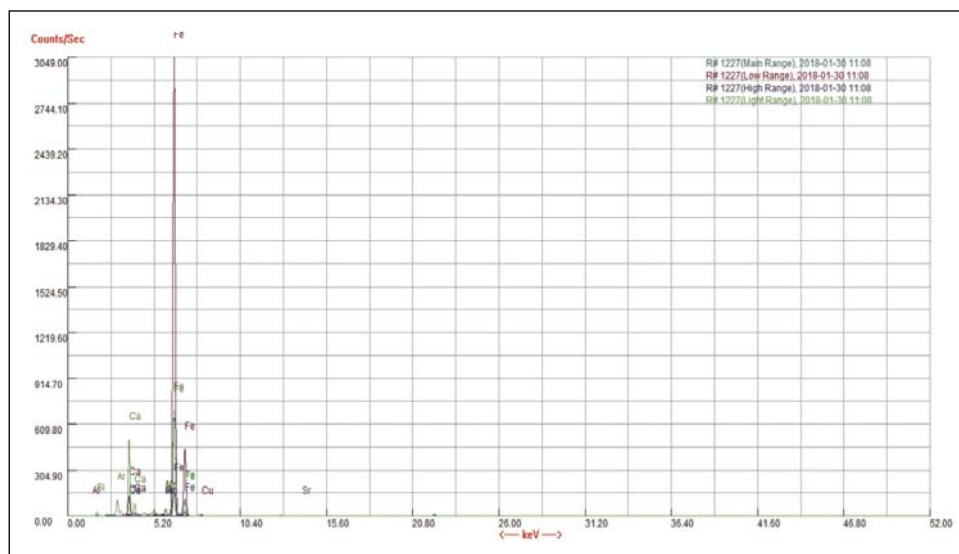


Fig. 11. Bielsa (mina Ana 2b). Mineral: Fe (55,6 %), Ca (6,21 %), Si (2,35 %), Mn (0,57 %), Al (0,33 %). Puede corresponder a carbonatos mixtos de hierro y calcio o a una mezcla de pirita y fluorita, con granates tipo grosularita como componentes minoritarios.

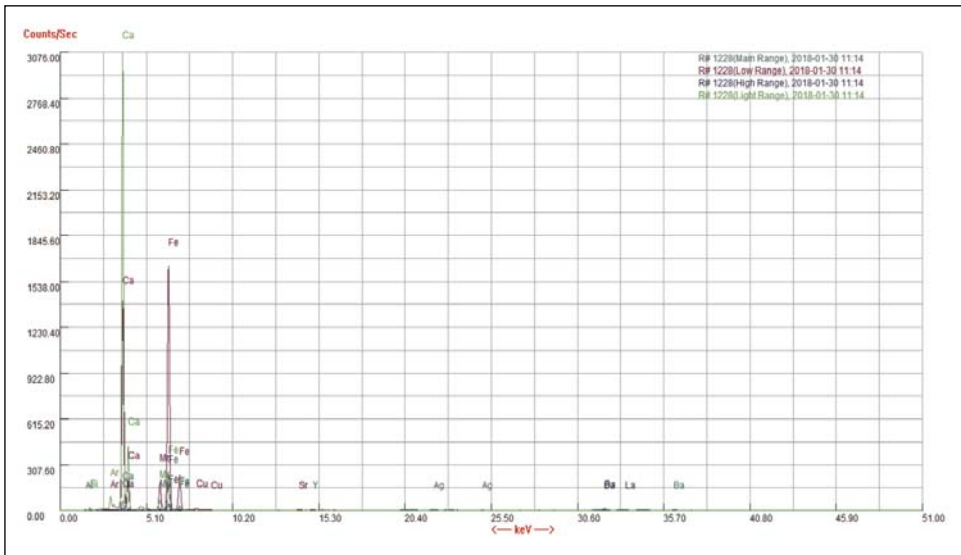


Fig. 12. Bielsa (mina Ana 2c). Mineral: Fe (16,03 %), Ca (32,81 %), Mn (1,80 %), Si (0,95 %). Composición acorde con una mezcla de minerales como fluorita y grosularita.

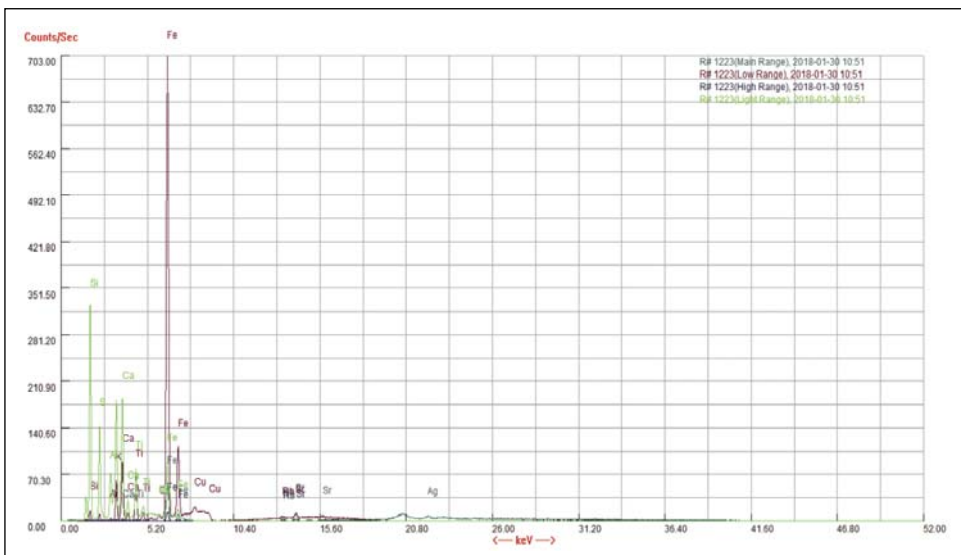


Fig. 13. Eriste. Mezcla mineral con la composición Si (24,82 %), Al (7,50 %), Fe (3,64 %), S (3,50 %), Ca (2,27 %), Ti (0,71 %). Puede tratarse de una mezcla de las especies minerales almandina ($\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) y schorlomita ($\text{Ca}_3(\text{Ti},\text{Fe}^{3+})_2(\text{Si},\text{Fe})_3\text{O}_{12}$).

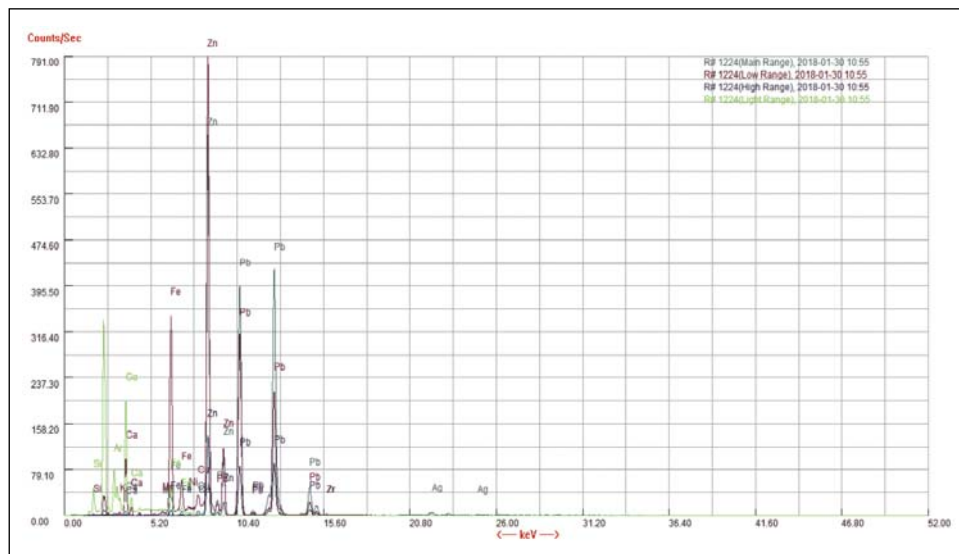


Fig. 14. Eriste. Escoria con concentrado de plomo y cinc [Pb (27,44 %) y Zn (22,95 %)], a partir de minerales que debían de contener galena y esfalerita, con restos de almandina y glosuralita [Ca (4,52 %), Si (4,46 %), Fe (3,64 %)].

En las muestras de Eriste (figs. 13-14) se han encontrado minerales ricos en almandina, schorlomita y glosuralita y un concentrado de plomo y cinc [Pb (27,44 %) y Zn (22,95 %)] procedente de minerales que debían de contener galena y esfalerita.

ANÁLISIS ISOTÓPICO

Metodología

Digestión de las muestras. Para esta operación se tomó una cantidad de muestra variable en función de la disponibilidad de la misma: 0,097 g para la de Benasque (Erise) y 0,052 g para la de Bielsa (mina Ana). Estas muestras se colocaron en sendos viales de PFA de 15 mililitros con fondo plano y tapón de rosca. A continuación se añadieron 8 mililitros de agua regia (HCl/HNO₃, 3:1) y se calentaron en una placa calefactora a una temperatura de 110 °C durante 24 horas. Tras la consiguiente evaporación hasta sequedad, se añadieron 2 mililitros de HNO₃ 1M y los viales cerrados se calentaron nuevamente a 110 °C durante 30 minutos, dejando las muestras

preparadas para la separación química del plomo de su matriz, la cual se llevó a cabo utilizando la resina selectiva PbSpec.

Separación del plomo de la matriz de la muestra. A aproximadamente 15 g de resina se le añadieron 100 mililitros de agua Milli-Q. El sobrenadante se reemplazó por agua Milli-Q (dos veces) y la resina se cargó en una columna Bio-Rad de polipropileno con el fin de obtener una base de 0,5 mililitros de resina. Las columnas de separación se lavaron antes de su uso mediante un protocolo de limpieza de tres pasos, consistente en inmersiones sucesivas (24 horas cada una) en baños de HCl *sub-boiling* 10 % (v/v), HNO₃ *sub-boiling* 10 % (v/v) y agua Milli-Q. Una vez cargada la resina, se añadieron 2 mililitros de agua Milli-Q para eliminar el posible plomo residual. Inmediatamente después, se utilizó 1 mililitro de HNO₃ 1M para el acondicionamiento de la resina, seguido de la adición de 1 mililitro de muestra en medio HNO₃ 1M. A continuación se eliminó la matriz de la muestra mediante el empleo de 6 mililitros de HNO₃ 0,14M. La elución del plomo se realizó con 5 mililitros de oxalato de diamonio [(NH₄)₂C₂O₄·H₂O] 0,05M, que posteriormente se evaporaron hasta sequedad a 110 °C. Tras ello, se adicionaron 4 mililitros de agua regia (HCl/HNO₃ 3:1) para digerir el posible contenido orgánico introducido por el oxalato de diamonio. Tras calentar 24 horas a 110 °C, las muestras se evaporaron nuevamente hasta sequedad y, finalmente, se redisolviéron en 2 mililitros de HNO₃ 0,42 M.

Medida de relaciones isotópicas de plomo mediante MC-ICP-MS. Las fracciones de plomo puro obtenidas se diluyeron con HNO₃ 0,42M, en relación 1 : 100. Todas las muestras se introdujeron en el equipo MC-ICP-MS (Neptune, Thermo Scientific) siguiendo la secuencia estándar – muestra – estándar (*sample standard bracketing*). Para este propósito se utilizó una disolución de 200 µg·L⁻¹ del material de referencia certificado en composición isotópica de plomo NIST SRM 981. Además, también se añadió (ajustando su concentración a 100 µg·L⁻¹) el material de referencia NIST SRM 997, certificado en composición isotópica de talio, muestras y estándares para poder corregir el efecto de discriminación de masas mediante normalización externa. Tras la medida de cada disolución, el sistema de introducción de muestra se lavó con una disolución de HNO₃ 0,42M hasta que las intensidades de las diferentes relaciones m/z monitorizadas alcanzaron nuevamente valores de blanco. En este punto, las muestras ya están listas para su

medida. Los parámetros de adquisición del equipo MC-ICP-MS para la medida de las relaciones isotópicas de plomo se muestran en la tabla I.

Tabla I. Parámetros de adquisición del equipo MC-ICP-MS para la medida de las relaciones isotópicas.

<i>Parámetros instrumentales MC-ICP-MS</i>					
Potencia RF aplicada		1210 W			
Flujo de gas plasmógeno		15 L/min			
Flujo de gas auxiliar		0.75 L/min			
Flujo de gas portador		0.9 L/min			
Posición de la antorcha		X: 2,430 mm; Y: -0,320 mm; Z: -3,030 mm			
Tiempo de integración		4,194 s			
Número de ciclos		50			
Número de bloques		1			
<i>Configuración de copas MC-ICP-MS</i>					
L2 ²⁰³ Tl	L1 ²⁰⁴ Pb	C ²⁰⁵ Tl	H1 ²⁰⁶ Pb	H2 ²⁰⁷ Pb	H3 ²⁰⁸ Pb

Resultados y discusión

Los resultados de los cocientes isotópicos obtenidos en el presente artículo se presentan en la tabla II.

Tabla II. Datos propios sobre relaciones isotópicas en minas del Pirineo oscense.

<i>Mineralización</i>	$\frac{Pb^{206}}{Pb^{204}}$	2s	$\frac{Pb^{207}}{Pb^{204}}$	2s	$\frac{Pb^{208}}{Pb^{204}}$	2s	$\frac{Pb^{207}}{Pb^{206}}$	2s	$\frac{Pb^{208}}{Pb^{206}}$	2s
Bielsa, mina Ana	18,4509	0,0216	15,6815	0,0197	38,6815	0,0546	0,8499	0,0003	2,0965	0,0011
Eriste	18,4680	0,0108	15,7099	0,0117	38,5836	0,0339	0,8507	0,0002	2,0892	0,0008

2s = incertidumbre.

Se han recopilado los resultados de SUBÍAS y cols. (2015) y de GARCÍA-SANSEGUNDO y cols. (2014) para minas cercanas (tablas III-IV). En dichos estudios, el cociente Pb^{207}/Pb^{206} tiene un valor medio de 0,852 para Bielsa-Parzán y de 0,859 para Benasque. El valor moda para Bielsa-Parzán es 0,850 (un valor muy similar al obtenido en el presente artículo para la mina Ana). En lo que respecta a los valores medios de los cocientes Pb^{208}/Pb^{206} ,

son de 2,101 para Bielsa-Parzán y de 2,103 para Benasque. Con estos resultados parece posible proponer, como relaciones isotópicas características de las zonas mineras del Pirineo oscense, los valores $Pb^{207} / Pb^{206} = 0,855 \pm 0,005$ y $Pb^{208} / Pb^{206} = 2,102 \pm 0,009$.

Tabla iii. Cocientes isotópicos de mineralizaciones de plomo de Bielsa-Parzán (SUBÍAS y cols., 2015).

<i>Mineralización</i>	Pb^{206} / Pb^{204}	Pb^{207} / Pb^{204}	Pb^{208} / Pb^{204}	Pb^{207} / Pb^{206}	Pb^{208} / Pb^{206}
Bielsa-Parzán, <i>Ana 1</i>	18,518	15,678	38,912	0,846	2,101
Bielsa-Parzán, <i>P4-7</i>	18,488	15,753	38,563	0,852	2,086
Bielsa-Parzán, <i>PF5-1</i>	18,239	15,865	38,762	0,869	2,125
Bielsa-Parzán, <i>PS-4</i>	18,589	15,808	39,142	0,850	2,106
Bielsa-Parzán, <i>PS-5</i>	18,595	15,812	39,157	0,850	2,106

Tabla iv. Cocientes isotópicos de mineralizaciones de plomo de Benasque (GARCÍA-SANSEGUNDO y cols., 2014)

<i>Mineralización</i>	Pb^{206} / Pb^{204}	Pb^{207} / Pb^{204}	Pb^{208} / Pb^{204}	Pb^{207} / Pb^{206}	Pb^{208} / Pb^{206}
Benasque 1	18,087	15,690	38,299	0,867	2,117
Benasque 2	18,094	15,692	38,321	0,867	2,118

Estos valores son significativamente diferentes de los de las áreas plumíferas de Cartagena ($Pb^{207} / Pb^{206} = 0,837 \pm 0,001$; $Pb^{208} / Pb^{206} = 2,083 \pm 0,002$) (TRINCHERINI y cols., 2009), Almería ($Pb^{207} / Pb^{206} = 0,813-0,835$; $Pb^{208} / Pb^{206} = 2,072-2,018$) o Andújar ($Pb^{207} / Pb^{206} = 0,835$; $Pb^{208} / Pb^{206} = 2,066 \pm 0,027$). Sin embargo, guardan similitud con los de las zonas de Alcudia-Almadén ($Pb^{207} / Pb^{206} = 0,859$; $Pb^{208} / Pb^{206} = 2,106$) y, especialmente, con Linares –La Carolina ($Pb^{207} / Pb^{206} = 0,856$; $Pb^{208} / Pb^{206} = 2,102$), que se presentan en la tabla v. Resulta, pues, obligado, para establecer las relaciones isotópicas características (*isotopic signature*) de las zonas estudiadas del Pirineo oscense, incluir un requerimiento adicional, bien sea el valor de la relación Pb^{206} / Pb^{204} o, mejor, el de la relación Pb^{207} / Pb^{204} .

Los cocientes Pb^{206} / Pb^{204} tienen una larga historia en geoquímica y han sido utilizados para establecer la edad del mineral. Valores del cociente Pb^{206} / Pb^{204} por debajo de 18,5 corresponden a dominios del alpino antiguo (< 90-Ma) y, en particular, a los del Egeo y cordilleras Cantábrica y Bética; y valores por encima de 18,6 corresponden al mucho más antiguo

Tabla v. Datos sobre relaciones isotópicas en minas del sur peninsular (KLEIN y cols., 2009).

Mineralización	Pb^{206} / Pb^{204}	Pb^{207} / Pb^{204}	Pb^{208} / Pb^{204}	Pb^{207} / Pb^{206}	Pb^{208} / Pb^{206}
Andújar	18,7639	15,6563	38,74378	0,8347	2,0664
Alcudia-Almadén	18,1855	15,5238	38,3052	0,8591	2,1063
Linares – La Carolina	18,2419	15,6125	38,3470	0,8559	2,1018

basamento herciniano (250- a 400- Ma) (DESAULTY y cols., 2011). Las minas de Benasque presentan valores de Pb^{206} / Pb^{204} por debajo de 18,5 (como las de Alcudia-Almadén, Linares – La Carolina y Cerro del Plomo); las de Bielsa-Parzán, entre 18,5 y 18,6; y las de Azuaga – Fuente Obejuna, Cartagena-Mazarrón y cabo de Gata varían entre 18,7 y 19,3.

Para la zona pirenaica, los valores del cociente Pb^{207} / Pb^{204} se mantienen por encima del valor de corte 15,68, ligeramente por encima de los de Cartagena y Almería (15,67) y significativamente superiores a los de Alcudia-Almadén (15,52), Linares – La Carolina (15,61) y Cerro del Plomo (15,40-15,63) y Andújar-Montoro (15,65).

Alternativa a las anteriores, a efectos de discriminación, es la utilización de las representaciones $^{208}Pb / ^{206}Pb$ vs. $^{207}Pb / ^{206}Pb$ (fig. 15), que reducen el ruido analítico eliminando las correlaciones inducidas por los errores de conteo relativamente altos asociados a las bajas abundancias de ^{204}Pb ; o la de representaciones tridimensionales $^{208}Pb / ^{206}Pb - ^{207}Pb / ^{206}Pb - ^{207}Pb / ^{204}Pb$ (fig. 16).

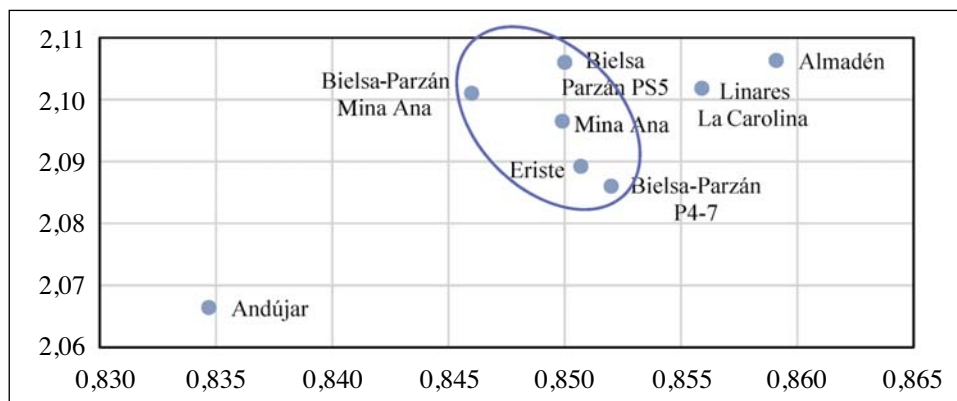


Fig. 15. Diagrama de dispersión $^{208}Pb / ^{206}Pb$ vs. $^{207}Pb / ^{206}Pb$ para mineralizaciones pirenaicas y de las cordilleras Béticas.

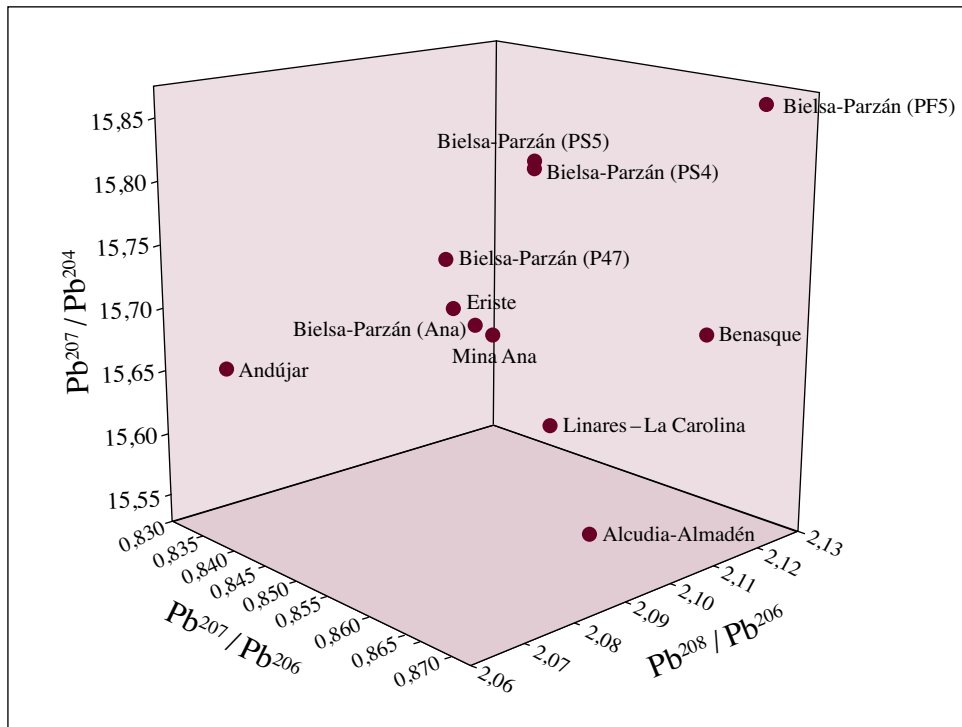


Fig. 16. Representación tridimensional $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ para mineralizaciones pirenaicas y de las cordilleras Béticas.

CONCLUSIONES

En la escombrera de fundición de Eriste se han encontrado concentrados de plomo y cinc [Pb (27,44 %), Zn (22,95 %)] procedente de minerales que debían de contener galena y esfalerita, junto con restos de almandina, schorlomita y glosuralita. En las muestras de mineral de la mina Ana se ha caracterizado la presencia de galenas impurificadas con minerales ganga como fluorita, carbonatos mixtos de hierro, granates y sulfuros mixtos de antimonio.

Las zonas mineras del Pirineo oscense que han sido objeto de estudio presentan valores de los cocientes isotópicos de $Pb^{207}/Pb^{206} = 0,850-0,867$, $Pb^{208}/Pb^{206} = 2,089-2,118$ y $Pb^{207}/Pb^{204} > 15,68$, los cuales permiten su diferenciación de los de otras procedencias mineras peninsulares.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la información de Rafael Vidaller sobre las minas de plomo de Eriste. A los componentes de la sección de espeleología del Club Atlético Sobrarbe, por sus trabajos en la mina Ana. A M.^a Carmen Ramos, por su colaboración en el muestreo de la escombrera de la mina Ana. Agradecemos también la colaboración, en la búsqueda de documentación, del personal de las bibliotecas de la Escuela Politécnica Superior de Huesca y del IEA, así como del Archivo Histórico Provincial de Huesca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDAMA, J. (1846). Apuntes geognósticos-mineros de la provincia de Huesca y parte de la de Zaragoza o el territorio designado con el título de Alto Aragón. *Anales de Minas*, IV: 191-233.
- ASSO, I. J. de (1798). *Historia de la economía política de Aragón*. Francisco Magallón. Zaragoza. 487 pp.
- BLÁZQUEZ, J. M. (1970). Fuentes literarias griegas y romanas referentes a las explotaciones mineras de la Hispania romana. En *VI Congreso Internacional de Minería. La minería hispana e iberoamericana: contribución a su investigación histórica: estudios, fuentes, bibliografía*, I: 117-150. Cátedra de San Isidoro. León.
- CALVO, M., J. BESTEIRO, E. SEVILLANO y A. POCOVÍ (1988). *Minerales de Aragón*. Mira Editores. Zaragoza. 142 pp.
- CUCHÍ, J. A., y J. L. VILLARROEL (2017). Materiales para una historia de la minería en el Alto Aragón. *Aragonito*, 27: 37-39.
- DAVIES, O. (1935). *Roman Mines in Europe*. UP Oxford. Oxford. 291 pp.
- DESAULTY, A. M., P. TELOUKA, E. ALBALATA y F. ALBARÈDE (2011). Isotopic Ag-Cu-Pb record of silver circulation through 16th-18th century Spain. *PNAS*, 108 (22): 9002-9007 (DOI: 10.1073/pnas.1018210108).
- DOMERGUE, C. (1990). *Les mines de la Péninsule Ibérique dans l'antiquité romaine*. École Française de Rome (Collection de l'École Française de Rome, 127, n.º 1). 626 pp. Persée – Portail des revues scientifiques en SHS.
- FANLO, I., J. C. TOURAY, I. SUBÍAS y C. FERNÁNDEZ-NIETO (1998). Geochemical patterns of a sheared fluorite vein, Parzan, Spanish Central Pyrenees. *Mineralium Deposita*, 33 (6): 620-632.
- GALLARDO FERNÁNDEZ, F. (1808). *Origen, progresos y estado de las rentas de la Corona de España*. Imprenta Real. Madrid.
- GARCÍA SANSEGUNDO, J., A. MARTÍN IZARD y J. GAVALDÀ (2014). Structural control and geological significance of the Zn-Pb ores formed in the Benasque Pass area (Central

- Pyrenees) during the post-late Ordovician extensional event of the Gondwana margin. *Ore Geology Reviews*, 56: 516-527 (DOI: 10.1016/j.oregeorev.2013.06.001).
- HEALY, J. F. (1978). *Mining and Metallurgy in the Greek and Roman World*. Thames and Hudson. Londres.
- IGME (1974). *Mapa metalogenético de España. Escala 1 : 200 000. Hoja 23 (Huesca)*. IGME. Madrid. Memoria, 23 pp. + 1 mapa.
- JOHNSON, C. A., E. CARDELLACH, J. TRITLLA y B. B. HANAN (1996). Cierco Pb-Zn-Ag vein deposits; isotopic and fluid inclusion evidence for formation during the Mesozoic extension in the Pyrenees of Spain. *Economic Geology*, 91 (3): 497-506.
- KLEIN, S., C. DOMERGUE, Y. LAHAYE, G. P. BREY y H. M. VON KAENEL (2009). The lead and copper isotopic composition of copper ores from the Sierra Morena (Spain). *Journal of Iberian Geology*, 35 (1): 59-68.
- MADOZ, P. (1845-1850). *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar*. Establecimiento tipográfico de P. Madoz y L. Sagasti. Madrid.
- MAESTRE, A. (1845). Descripción geognóstica del Distrito Minero de Aragón y Cataluña. *Anales de Minas*, III: 193-278.
- MALLADA, L. (1878). *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España: descripción física y geológica de la provincia de Huesca*. Imprenta y Fundición de Manuel Tello. Madrid. 439 pp. + 2 mapas. (Facsimil, IEA, Huesca, 1990).
- ROMERO, J. (1929). Los filones de galena de Bielsa y Parzán. *Boletín Oficial de Minas y Metalurgia*, 150: 1069-1202.
- SUBÍAS, I., C. RECIO, I. FANLO y C. FERNÁNDEZ-NIETO (1997). Stable isotope composition of F-Pb-Zn mineralization in the Valle de Tena (Spanish Central Pyrenees). *Mineralium Deposita*, 32 (2): 180-188.
- SUBÍAS, I., I. FANLO, E. MATEO y C. BIEL (2008). Explotaciones mineras del entorno del Hospital de Benasque: geología y encuadre histórico. *Macla*, 9: 239-240.
- SUBÍAS, I., I. FANLO, E. MATEO, K. BILLSTRÖM y C. RECIO (2010). Isotopic studies of Pb-Zn-(Ag) and barite Alpine vein deposits in the Iberian Range (NE Spain). *Chemie der Erde-Geochemistry*, 70 (2): 149-158.
- SUBÍAS, I. *Minería y hospital de Benasque. Geología y mineralogía*. Disponible en <<http://www.fundacion-hospital-benasque.org/espeologia/minas>>.
- SUBÍAS, I., I. FANLO y K. BILLSTRÖM (2015). Ore-forming timing of polymetallic-fluorite low temperature veins from Central Pyrenees: A Pb, Nd and Sr isotope perspective. *Ore Geology Reviews*, 70: 241-251.
- TRINCHERINI, P. R., C. DOMERGUE, I. MANTECA, A. NESTA y P. QUARATI (2009). The identification of lead ingots from the Roman mines of Cartagena: The rôle of lead isotope analysis. *Journal of Roman Archaeology*, 22 (1): 123-145 (DOI: 10.1017/S1047759400020626).
- VENY, C. (1979). Nuevos materiales de Moro Boti. *Trabajos de Prehistoria*, 36 (1): 465-488.

- VIVEZ, PH. (1997). *Un centro industrial en el término de Bielsa: el Hospital de Parzán. Actividades transfronterizas para la explotación del plomo argentífero desde finales del siglo XIX hasta principios del siglo XX. Ayuntamiento de Bielsa (relaciones históricas del valle de Bielsa con Francia): 37-61. Ayuntamiento de Bielsa. Bielsa.*
- YUSTE, A., A. LÓPEZ CIRIANO y C. FERNÁNDEZ NIETO (1995). Morfología y mineralogía de la mina Ana (Bielsa, Huesca). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 18 (2): 35-36.
- YUSTE, A., I. SUBÍAS, A. LÓPEZ, M. OROZCO y C. FERNÁNDEZ-NIETO (1998). Estudio estructural y mineralógico del filón Ana: distrito minero de Bielsa-Parzán (Alto Aragón). Datos preliminares. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 21: 29-46.