

ASIGNACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN-ORIGEN A PIEZAS DE PLOMO DE ÉPOCA ROMANA DEPOSITADAS EN EL MUSEO DE HUESCA

Pablo MARTÍN-RAMOS¹ | Isidro AGUILERA-ARAGÓN² |
Jesús MARTÍN-GIL³ | Pelayo ÁLVAREZ-PENANES⁴ | Mariella MOLDOVAN⁴ |
María José ARBUÉS-GRACIA⁵ | José Antonio CUCHÍ-OTERINO⁶

RESUMEN.— El presente artículo aporta evidencia experimental, obtenida a través de la aplicación del método isotópico, sobre la posible procedencia pirenaica de algunos artefactos plúmbeos de época romana depositados en el Museo de Huesca, provenientes de excavaciones en La Filada, Labitolosa y la ciudad de Huesca. Con ello se confirmarían las afirmaciones de autores clásicos como Catón y Livio sobre el origen pirenaico de la plata oscense, y

Recepción del original: 10-8-2020

¹ Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). Escuela Politécnica Superior. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 Huesca. ORCID 0000-0003-2713-2786. pmr@unizar.es

² Museo de Zaragoza. Plaza de los Sitios, 6. E-50001 Zaragoza. iaguilera@aragon.es

³ Laboratorio de Materiales Avanzados. ETSIIAA. Universidad de Valladolid. Avenida de Madrid, 44. E-34004 Palencia. ORCID 0000-0001-9921-2465. mgil@iaf.uva.es

⁴ Departamento de Química y Física Analítica. Universidad de Oviedo. Avenida Julián Clavería, 8. E-33006 Oviedo. moldovanmariella@uniovi.es, pelayopenanes@gmail.com

⁵ Conservación preventiva / Restauración. Museo de Huesca. Plaza de la Universidad, 1. E-22002 Huesca. jmarbues@aragon.es

⁶ Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Escuela Politécnica Superior. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 Huesca. ORCID 0000-0001-9067-2940. cuchi@unizar.es

cobra entidad la hipótesis de un aprovechamiento local del plomo como subproducto del beneficio de la plata en forma de cañerías y otros artefactos romanos.

ABSTRACT.— This work presents experimental evidence, obtained through the application of the isotopic analysis method, that lead artifacts from Roman times deposited in the Museum of Huesca, retrieved from excavations conducted in La Filada, Labitolosa and the city of Huesca, could come from the Pyrenees area. This data supports the claims of classic authors such as Cato and Livio on the Pyrenean origin of silver from Huesca, and the hypothesis of a local use of lead as a by-product of silver extraction for pipes and other Roman artifacts takes on special significance.

KEYWORDS.— Archeometry. Mineralization-origin. Isotopic analysis. Roman times. Huesca Pyrenees. Bielsa – Parzán (Huesca, Spain).

INTRODUCCIÓN

Durante las pasadas décadas se ha mostrado interés por el origen de las materias primas utilizadas en la Antigüedad, entre ellas los materiales metálicos, buscando relacionar las zonas mineras con los lugares donde se han producido los hallazgos arqueológicos.

Uno de esos materiales es el plomo, de cuya extracción la plata es un valioso derivado. En época romana, ambos materiales fueron ampliamente utilizados en toda su área de influencia y en concreto en Hispania, donde son bien conocidas las minas de plomo del entorno de Cartago Nova, que se han trabajado hasta hace pocos años. En la península ibérica, la galena argentífera fue la principal fuente de plata, en la que este metal se encuentra en concentraciones por debajo del 1 % (HILL y SANDARS, 1911).

Es bien conocido a nivel arqueológico el uso de plata en monedas ibéricas y romanas, el *argentum oscense*, estudiadas por LASTANOSA (1645), BELTRÁN (1950), LACAMBRA (1960), BORRÁS (1983), DOMÍNGUEZ ARRANZ (1999), GOZALBES (1999), MONTERO y cols. (2004) y otros. Por la cantidad, dispersión y variación en contenido metálico, se han sugerido diversos orígenes geográficos, aunque las fuentes clásicas son favorables a un origen cercano del mineral. Catón menciona minas de plata y hierro al norte del Ebro a principios del siglo II a. C. y en Tito Livio hay tres pasajes que hacen referencia a la plata oscense y que indican que procede de las galenas argentíferas de los Pirineos (DAVIES, 1935). Lamentablemente, el presente artículo

no se ha podido enfocar el estudio de este metal, que ofrece grandes posibilidades, y se ha centrado en el del plomo.

La presencia de objetos de plomo es común en los yacimientos arqueológicos romanos, incluidos los altoaragoneses, que abarcan desde glandes de honda a tuberías, botones o lañas. Evidentemente, el descubrimiento de estos artefactos no señala el origen del material. El hallazgo más interesante, a efectos del presente artículo, se realizó en el pecio denominado *Cabrera D* en VENY (1979), también referido como *pecio A* en VENY y CERDÁ (1972). El hundimiento se fecha entre los años 1 y 15 d. C. Entre unos cuarenta lingotes recuperados, había dos con el sello T L OSCA. Estos lingotes también aparecen identificados en los listados de DOMERGUE (1990) y BROWN (2011). Según VENY (1980), la mayoría de los lingotes están en el Museo Provincial de Mallorca, excepto dos que se enviaron al Museo Arqueológico Nacional de Madrid. Posiblemente, a la luz de lo publicado en GUERRERO y COLLS (1982), las circunstancias del hallazgo y del depósito fueran más complejas; lamentablemente para este artículo, no ha sido posible localizar los sellados con OSCA.

El mallorquín Cristóbal Veny, sacerdote de la congregación de los padres misioneros de los Sagrados Corazones del monasterio de Lluc, asignó el lingote con el sello OSCA (fig. 1) a la localidad de Osqua, en la Bética por una lectura inadecuada de las fuentes:

En toda la onomástica de la España antigua no acertamos a ver una sola vez expresado el nombre de OSCA referido a un individuo, sino siempre a una ciudad. Así OSCA y ESQUA aparecen seguidos en Plinio III, 3, 5, como ciudades de la Bética. Igualmente, en Ptolomeo II, 4, 9 se lee *Οσκωνα*, que debe identificarse con la Osca de Plinio, y en dos inscripciones cercanas a



Fig. 1. Lingote del pecio con el sello OSCA, en VENY (1979).

Antequera (CIL, II, 2030 y 2007) hay constancia de un municipio Oscense: M(unicipes) M(unicipii) OSQ(uensis) y de dos individuos: C. Licinio Agrino Osquensis y Licinia Nigella Osquensis.

Aparentemente, no conocía el gentilicio de Osca que aparece en Plinio el Viejo III, 24.

Es conocida la existencia de minas de galena en la zona surpirenaica. URTEAGA (2014) cita algunas romanas en el Pirineo occidental, en su mayoría entre Irún y Pamplona. En el Pirineo altoaragonés se conocen minas en los valles de Tena (Panticosa, Yenefrito, Lanuza), Torla (Bujaruelo), Bielsa (Parzán – Chisagüés: minas Luisa y Robert; Bielsa: mina Ana), Benasque (Eriste, Sahún) y Barrabés (Bono). Iniciada la actividad en un momento indefinido, todas ellas se encuentran hoy abandonadas. MALLADA (1875) da alguna información sobre las mismas. En el resto de Aragón hubo también minas en el Moncayo (Calcena: Valdelaplata) y sierra de Herrera (Santa Cruz de Nogueras y otros lugares). Se han publicado datos isotópicos de algunos de estos yacimientos mineros y otros están aún siendo objeto de muestreo. Más información sobre la minería en Aragón se puede encontrar en el Servicio de Minas e Investigación Minera (SMIN) (1994).

En el cercano Pirineo de Cataluña, donde afloran batolitos graníticos, hay minas de galena al este de Bono, en Cierco. También las hay en el valle de Arán, donde la más conocida es la mina Victoria, pero las características de este valle, cabecera de la Garona/Garonne, lo relacionan no tanto con el valle del Ebro sino con Lugdunum Convenae (Saint-Bertrand-de-Comminges). Sin embargo, un buen conocedor de Lugdunum Convenae y, en general, del entorno pirenaico como es SABLAYROLLES (2001) no concede mucho interés a la minería ni en esta localización ni al otro lado de la cordillera. Más drástico es DOMERGUE (1990): “D’autre part, il n’y a pas de district minier à Osca”.

Es una evidencia que desde la Edad Media hasta la segunda mitad del siglo XX ha habido minas de plomo en el Alto Aragón, que en muchas de las minas altoaragonesas se ha vuelto a trabajar a lo largo de la historia y que, aparentemente, las viejas labores han sido destruidas por las nuevas. La pregunta que debe formularse es si se explotaron o no en época romana, y para dar respuesta a esta cuestión se hace preciso acudir a técnicas indirectas de cierta sofisticación.

La técnica seleccionada se basa en el estudio de los isótopos de plomo. El principio de la técnica es sencillo. La relación entre los diferentes isótopos de plomo existentes en la galena, relacionada con la génesis geológica del mineral, se mantiene a través del proceso de tostación que da origen a las piezas metálicas que se manufacturan. Seleccionados y analizados los elementos arqueológicos de interés, se comparan sus relaciones isotópicas de plomo con bases similares de tipo geológico obtenidas de minerales de plomo de distritos conocidos. Para el Pirineo, MONTERO (2018) solo señala datos geológicos del valle de Arán y del este de Cataluña en su revisión de estudios sobre isótopos. Sin embargo, SUBÍAS y cols. (2015) presentan datos isotópicos para las minas de siete zonas mineras altoaragonesas, completados con los de una fundición en el valle de Eriste y muestras de mina Ana en Bielsa por MARTÍN-RAMOS y cols. (2019). Otras bases de datos geológicos se presentan más adelante.

En el presente artículo se aporta el deseado estudio de correspondencia entre cocientes isotópicos de artefactos de plomo del Museo de Huesca y minerales de plomo de diferentes orígenes al efecto de verificar la hipótesis de un origen pirenaico para algunos de ellos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Artefactos de plomo objeto de estudio

Dentro de un amplio estudio se han muestreado objetos de diversos museos. Para este artículo se han seleccionado, con los debidos permisos, diversos materiales romanos depositados en el Museo de Huesca.

Los artefactos plúmbeos estudiados (tabla 1) incluyen cuatro piezas de Labitolosa (tres planchas y un trípode), dos de La Filada (Lanaja, en Monegros) y diez de la ciudad de Huesca.

Las tres planchas de Labitolosa son similares a la Z17 del Museo Provincial de Zaragoza. Fueron estas recuperadas de las termas II y, en concreto, del *tepidarium*, en las excavaciones de 1996. El trípode expuesto en el Museo de Huesca fue hallado en el *frigidarium* y procede de las excavaciones previas de 1993.

Los artefactos provinientes de Lanaja lo son del yacimiento de Aldea del Correo (otros son Val de Lupo, Valderrey y La Malena), explorado por DOMÍNGUEZ ARRANZ y cols. (1984).

Hallazgos destacados procedentes de la ciudad de Huesca son un *pondus* encontrado en la excavación de la calle de M. Paul Boyrie; una grapa y una posible tablilla de maldición / plomada triangular doblada, del solar de la Diputación Provincial de Huesca; un regatón de la Costanilla de Ricafort, y una laña o grapa recuperada del subsuelo de la plaza de la Universidad, aparte de un fragmento de cañería de origen desconocido.

Análisis isotópico

Dado que solo se necesitan cantidades muy pequeñas de material (menos de 5 miligramos) para el análisis de isótopos de plomo, las muestras se obtuvieron rascando someramente los objetos con cuchillas de bisturí de acero. Los estudios isotópicos de plomo se llevaron a cabo mediante espectrometría de masas con fuente de plasma acoplado inductivamente, de alta resolución y multicolección, MC-ICP-MS, conforme al procedimiento descrito por HUELGA-SUÁREZ y cols. (2014). Para digerir las muestras, se depositaron en viales de perfluoroalcoxi (teflón PFA) de 15 mL, a los que se añadieron 8 mL de HCl/HNO₃ 3 : 1. Los viales cerrados se calentaron a 110 °C durante 24 horas y, después de la evaporación a sequedad, se añadieron 2 mL de HNO₃ 1 M. Luego se calentaron a 110 °C durante 30 minutos, dejando las muestras preparadas para la separación química del plomo de su matriz. Esto se llevó a cabo utilizando la resina selectiva PbSpec: se añadieron 100 mL de agua Milli-Q a 15 gramos de resina, el sobrenadante se reemplazó por agua Milli-Q (dos veces) y la resina se cargó en una columna Bio-Rad de polipropileno para obtener una base de 0,5 mL de resina. Las columnas de separación se lavaron antes de su uso por inmersiones sucesivas (24 horas cada una) en baños de ebullición de HCl al 10 % v/v, HNO₃ al 10 % v/v y agua Milli-Q. Una vez que se cargó la resina, se añadieron 2 mL de agua Milli-Q para eliminar el posible plomo residual. Inmediatamente después, se usó 1 mL de HNO₃ 1 M para acondicionar la resina y se añadió 1 mL de muestra en medio HNO₃ 1 M. A continuación la matriz de la muestra se eliminó utilizando 6 mL de HNO₃ 0,14 M. La elución de plomo se realizó con 5 mL de oxalato de amonio [(NH₄)₂C₂O₄ · H₂O] 0,05 M, una solución que posteriormente se llevó a 110 °C hasta la sequedad. La adición de 4 mL de agua regia aseguró la digestión del posible contenido orgánico introducido por el oxalato de amonio. Después de calentar a

Tabla 1. Datos y fotografías de las piezas objeto de estudio.









<i>Ref.</i>	<i>NIG del artefacto</i>	<i>Descripción, origen y datación</i>	
H1 H2 H3	12410A 12410B 12410C	Labitolosa Sala del <i>tepidarium</i> de las termas II	
H4	04100	R-130A, S.3 v.11 Labitolosa. Sala del <i>frigidarium</i> de las termas 201-300 d. C. (siglo III d. C.)	
H5 H6	11626A 11626B	La Filada, Lanaja Altoimperial (siglos I-II d. C.)	
H7 H8 H9 H10	12411A 12406/12411B 12411C 12411D	Avda. de Monreal, 1 Huesca	
H11	12413	Calle de M. Paul Boyrie Huesca	
H12	04087	Armario 21, B3 Solar de la Diputación Provincial de Huesca	
H13	12412	Solar de la Diputación Provincial de Huesca	
H14 H15	08961A 08961B	Casa Paco Costanilla de Ricafort, Huesca R-931. Ibérico antiguo (siglos III-I a. C.)	

Tabla 1. (continuación)

Ref.	NIG del artefacto	Descripción, origen y datación	
H16	11290	R-1423, Plaza de la Universidad, Huesca	
H17	04135	R-163, Armº 21, B5 Desconocida	

110 °C durante 24 horas, las muestras se evaporaron nuevamente a sequedad y, finalmente, se redisolviéron en 2 mL de HNO₃ 0,42 M.

Para la medición de las relaciones isotópicas de plomo por MC-ICP-MS, las fracciones de plomo puro obtenidas se disolvieron con HNO₃ 0,42 M, ajustando su concentración para que no saturaran los detectores del equipo, y posteriormente se introdujeron en el MC-ICP-MS, Thermo Scientific Neptune, siguiendo la secuencia de *sample standard bracketing*. Para este propósito se utilizó una solución de 200 µg·L⁻¹ del material de referencia certificado en la composición de plomo isotópica NIST SRM 981. Además, también se agregó material de referencia NIST SRM 997 (ajustando su concentración a 100 µg·L⁻¹) para corregir el efecto de la discriminación de masa a través de la normalización externa. Después de la medición de cada solución, el sistema de introducción de muestra se lavó con una solución de HNO₃ 0,42 M hasta que las intensidades de los diferentes cocientes *m/z* alcanzaron nuevamente los valores del blanco.

Análisis estadístico

La adscripción de las piezas o artefactos a las distintas mineralizaciones antes mencionadas se basó en un análisis de conglomerados jerárquicos, realizado con el programa informático SPSS (IBM, Armonk, NY, EE. UU.), empleando los cocientes Pb²⁰⁸ / Pb²⁰⁶ y Pb²⁰⁷ / Pb²⁰⁶ como datos de entrada. Como métodos de agrupamiento se emplearon la opción de vecino más lejano (*furthest neighbor*) y la matriz de distancias euclídeas.

RESULTADOS

Los cocientes Pb^{206} / Pb^{204} para quince de las diecisiete piezas estudiadas se mantienen por debajo de 18,5, lo que sugiere un origen herciniano para las mineralizaciones, compatible con el que presentan la mayor parte de las minas del Pirineo oscense. Cuatro de las piezas museísticas (H5, H6, H12 y H13) se apartan de este origen y pueden ser referidas a mineralizaciones del área de Cartagena.

Llama la atención el hecho de que el 76,5 % de las piezas estudiadas de este museo pueden ser asignadas a las zonas de Bielsa – Parzán (mina Ana) o Benasque (Eriste).

Tabla II. Cocientes isotópicos para piezas plúmbreas depositadas en el Museo de Huesca.

<i>Artefacto</i>	Pb^{206} / Pb^{204}	Pb^{207} / Pb^{204}	Pb^{208} / Pb^{204}	Pb^{207} / Pb^{206}	Pb^{208} / Pb^{206}	<i>Mineralización-origen</i>
H1 12410A	18,4556	15,6806	38,6682	0,8496	2,0952	Bielsa – Parzán (Ana)
H2 12410B	18,4411	15,6912	38,6527	0,8509	2,0961	Bielsa – Parzán (Ana)
H3 12410C	18,4512	15,6811	38,6812	0,8499	2,0964	Bielsa – Parzán (Ana)
H4 04100	18,4527	15,6900	38,6681	0,8503	2,0955	Bielsa – Parzán (Ana)
H5 11626A	18,6349	15,6836	38,9187	0,8416	2,0885	Cartagena (Portman)
H6 11626B	18,6108	15,6804	38,9022	0,8425	2,0903	Cartagena (Portman)
H7 12411A	18,4843	15,6697	38,7157	0,8477	2,0945	Bielsa – Parzán (Ana)
H8 12411B	18,4684	15,7112	38,5843	0,8511	2,0892	Benasque (Eriste)
H9 12411C	18,4512	15,6711	38,6731	0,8501	2,0963	Bielsa – Parzán (Ana)
H10 12411D	18,4470	15,6743	38,6440	0,8497	2,0949	Bielsa – Parzán (Ana)
H11 12413	18,4539	15,6757	38,6568	0,8495	2,0948	Bielsa – Parzán (Ana)
H12 04087	18,7154	15,6841	39,0228	0,8381	2,0851	Cartagena (Portman)
H13 12412	18,7216	15,6851	39,0282	0,8378	2,0847	Cartagena (Portman)
H14 08961A	18,4437	15,6915	38,6499	0,8508	2,0956	Bielsa – Parzán (Ana)
H15 08961B	18,4677	15,6756	38,6981	0,8491	2,0954	Bielsa – Parzán (Ana)
H16 11290	18,4593	15,6798	38,6718	0,8494	2,0950	Bielsa – Parzán (Ana)
H17 04135	18,4842	15,6706	38,7155	0,8478	2,0946	Bielsa – Parzán (Ana)

Tabla III. Cocientes isotópicos para las mineralizaciones de la península ibérica: Ossa Morena, Zona Ibérica Central, Provincia Volcánica del Sudeste, Bética Interna, Franja Pirítica Ibérica, Pirineo oscense y Sistema Ibérico.

Zona / distrito	Mina(s)	Acrón.	Pb^{206} / Pb^{204}	Pb^{207} / Pb^{204}	Pb^{208} / Pb^{204}	Pb^{207} / Pb^{206}	Pb^{208} / Pb^{206}
Zona de Ossa Morena. Azuaga – Fuenteovejuna. Córdoba	La Pastora ²	AZP	18,7170	15,6564	38,6311	0,83647	2,06394
	La Loba ²	AZL	18,1792	15,6048	38,3108	0,85873	2,10826
Zona Ibérica Central. Distrito Los Pedroches. Córdoba	Cuzna ²	LPC	18,2468	15,6135	38,3609	0,85568	2,10236
Provincia Volcánica del Sudeste. Distrito de Cartagena – Mazarrón	Cala Reona ²	CM1	18,7586	15,6715	39,0820	0,8354	2,08345
	Escombreras ²⁶	CM2	18,682	15,6667	38,8511	0,8386	2,0796
	Portman ⁷	OS1	18,711	15,677	38,982	0,8379	2,0834
		OS2	18,619	15,665	38,865	0,8414	2,0873
Bética Interna. Distrito de Almería	Cueva Paloma ²	ALM	19,3091	15,7028	38,9650	0,8132	2,0180
Franja Pirítica Ibérica	Riotinto	RT	18,7431	16,0235	39,3005	0,8549	2,0968
Pirineos Centrales (sur) Bielsa – Parzán	Ana ⁴	ANA	18,4509	15,6815	38,6815	0,8499	2,0965
	Ana-1 ⁵	ANA1	18,518	15,678	38,912	0,846	2,101
	PS-4 ⁵	PS4	18,589	15,808	39,142	0,850	2,106
	PS-5 ⁵	PS5	18,595	15,812	39,157	0,850	2,106
	P4-7 ⁵	P47	18,488	15,753	38,563	0,852	2,086
Benasque	Eriste	ERI	18,4680	15,7099	38,5836	0,8507	2,0892
Sistema Ibérico	Cuca-Alta ⁸	IB1	18,321	15,702	38,608	0,85705	2,10731
	Nogueras ⁸	IB2	18,267	15,708	38,529	0,85991	2,10921
	Santa Cruz ⁸	IB3	18,291	15,717	38,548	0,85928	2,10748

¹ BARBERO GONZÁLEZ y cols. (2005: 271-274).

² KLEIN y cols. (2009: 59-68).

³ TRINCHERINI y cols. (2001: 393-406).

⁴ MARTÍN-RAMOS y cols. (2019).

⁵ SUBÍAS y cols. (2015: 241-251).

⁶ TRINCHERINI y cols. (2009: 123-145).

⁷ MÜLLER y cols. (2014: 473-485).

⁸ SUBÍAS y cols. (2010: 149-158).

DISCUSIÓN

Los resultados de este análisis, a diferencia de los obtenidos en otras colecciones museísticas (CUCHÍ-OTERINO y cols., 2021; CUCHÍ y cols., 2021), llevan a una inesperada distribución por orígenes de los artefactos

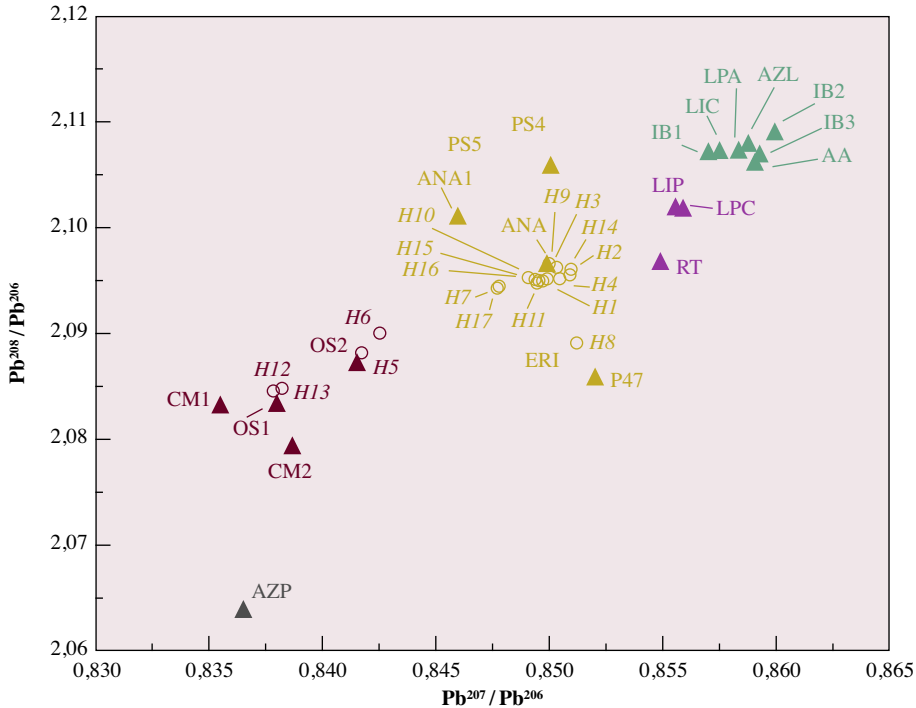


Fig. 2. Diagrama Pb^{208}/Pb^{206} frente a Pb^{207}/Pb^{206} . La agrupación de las piezas objeto de estudio (círculos) y mineralizaciones (triángulos), resaltada con diferentes colores, se ha realizado de acuerdo con los resultados del análisis multivariante. La mineralización ALM no se muestra (fuera de rango de la figura).

plúmbeos que han sido objeto de estudio, en tanto que las sugerencias sobre sus mineralizaciones-origen han sido reducidas a dos (en vez de tres o más orígenes, que es el resultado usual). La causa ha de buscarse tanto en el relativamente reducido número de piezas como en el de yacimientos que las han proporcionado. Sin embargo, el hecho de que doce artefactos tengan un mismo origen pirenaico (zona de Bielsa – Parzán, mina Ana) constituye un hallazgo suficiente para empezar a superar las reticencias (VENY, 1979; SABLAYROLLES, 2001; DOMERGUE y cols., 2013) de cara a admitir como una realidad la explotación de las galenas pirenaicas en época romana.

La presencia de mineralizaciones de galena argentífera en el Pirineo oscense y su potencial aprovechamiento para el beneficio de la plata hubieron

de conducir, necesariamente, a la valorización del plomo como subproducto en forma de artefactos como los estudiados en este artículo: plomos de las termas de Labitolosa o cañerías (como la pieza 04135, R-163), grapas de sellado o *pondus*.

El origen en Cartagena – Mazarrón, propuesto para cuatro de los artefactos estudiados, puede ser extrapolado para el glande de Labarda (no estudiado), toda vez que según estudios en curso sobre colecciones de glandes, el 77 % de los mismos procede de esa zona concreta del sudeste peninsular.

CONCLUSIONES

La hipótesis del origen pirenaico de las mineralizaciones de galena argentífera que condujeron al beneficio de la plata oscense y subsidiariamente a la utilización del plomo portador en forma de diversos artefactos, cobra sustanciación con la correspondencia obtenida para los cocientes isotópicos de minas de Bielsa – Parzán y artefactos de época romana.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación ha sido financiada por el Instituto de Estudios Altoaragoneses en su XXXIII Convocatoria de Ayudas para Proyectos de Investigación, del año 2017. Los autores agradecen al Ministerio de Cultura, al Gobierno de Aragón y al Museo de Huesca el acceso para muestrear las piezas objeto de estudio, y al doctor José Ignacio García-Alonso (Universidad de Oviedo), su asesoramiento en el análisis isotópico de las muestras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBERO GONZÁLEZ, L. C., C. VILLASECA GONZÁLEZ y J. Á. LÓPEZ-GARCÍA (2005). Estudio de la composición isotópica (Pb-S-O) de las mineralizaciones Pb-Zn de Mazarambroz (Banda Milonítica de Toledo). *Geogaceta*, 38: 271-274.
- BELTRÁN, A. (1950). Las antiguas monedas oscenses. *Argensola*, 4: 305-326.
- BORRÁS, C. (1982). Un denario de plata de la ceca Bolskan, encontrado en Rosell. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología Castellonenses*, 9: 239-242.

- BROWN, H. G. (2011). A study of lead ingot cargoes from ancient mediterranean shipwrecks. Thesis Master. 316 pp.
- CLEMENZA, M., A. CONTINI, G. BACCOLO, M. L. DI VACRI, M. FERRANTE, S. NISI y G. MULAS (2017). Development of a multi-analytical approach for the characterization of ancient Roman lead ingots. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 311: 1495-1501.
- CUCHÍ, J. A., J. MARTÍN-GIL, I. AGUILERA ARAGÓN y P. MARTÍN-RAMOS (2021). Lead isotopes in Celtiberian denarii from Turiasu and Roman asses minted in cities of the Conventus Caesaraugustanus (Hither Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 37: 102924.
- CUCHÍ-OTERINO, J. A., P. ÁLVAREZ PENANES, J. MARTÍN-GIL, M. MOLDOVAN, I. AGUILERA ARAGÓN y P. MARTÍN-RAMOS (2021). Mineral provenance of Roman lead objects from the Cinca River basin (Huesca, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 37: 102979.
- DOMERGUE, C. (1990). Les mines de la péninsule ibérique dans l'Antiquité romaine. *Publications de l'École française de Rome*, 127 (1): 5-625.
- DOMERGUE, C., P. QUARATI, A. NESTA, G. OBEJERO y P. R. TRINCHERINI (2013). Les isotopes du plomb et l'identification des lingots de plomb romains des mines de Sierra Morena. *Pallas*, 90: 243-256.
- DOMÍNGUEZ ARRANZ, M.^a A. (1999). Las acuñaciones indígenas y altoimperiales de la colección Balaguer de Huesca (España). En G. Mora, R. M. Sobral y M.^a P. García-Bellido (coords.), *Rutas, ciudades y moneda en Hispania: actas del II Encuentro Peninsular de Numismática Antigua, Porto, marzo de 1997*: 229-238. Centro de Estudios Históricos. Madrid.
- DOMÍNGUEZ ARRANZ, M.^a A., M.^a Á. MAGALLÓN BOTAYA y P. CASADO LÓPEZ (1984). *Carta arqueológica de España: Huesca*. Diputación Provincial de Huesca. Huesca.
- FOERSTER, F. (1980). A Roman wreck off Cap del Vol, Gerona, Spain. *International Journal of Nautical Archaeology*, 9 (3): 244-253.
- GIBBINS, D. J., y A. J. PARKER (1986). The Roman wreck of c. AD 200 at Plemmirio, near Siracusa (Sicily): Interim report. *International Journal of Nautical Archaeology*, 15 (4): 267-304.
- GOZALBES, M. (1999). La Celtiberia como territorio emisor de moneda: una aproximación cuantitativa. En F. Burillo (coord.), *La economía. IV Simposio sobre los Celtíberos*: 395-402. IFC. Zaragoza.
- GUERRERO, V. M., y D. COLLS (1982). Exploraciones arqueológicas submarinas en la bocana del puerto de Cabrera. *Bolletí de la Societat Arqueològica Lul·liana: Revista d'Estudis Històrics*, 39: 3-22.
- HUELGA-SUÁREZ, G., M. MOLDOVAN, M. SUÁREZ FERNÁNDEZ, M. Á. DE BLAS CORTINA y J. I. GARCÍA ALONSO (2014). Isotopic composition of lead in copper ores and a copper artefact from the La Profunda Mine (León, Spain). *Archaeometry*, 56 (4): 651-664.

- KLEIN, S., C. DOMERGUE, Y. LAHAYE, G. BREY y H. VON KAENEL (2009). The lead and copper isotopic composition of copper ores from the Sierra Morena (Spain). *Journal of Iberian Geology*, 35: 59-68.
- LACAMBRA BERNAD, J. M.^a (1960). La estrella de Sertorio. Monedas oscenses de mi colección, con un as de Bolscan posiblemente inédito. *Argensola*, 43: 213-223.
- LASTANOSA, V. J. de (1645). *Museo de las medallas desconocidas españolas...* Juan Nogués. Huesca.
- MALLADA, L. (1875). Breve reseña geológica de la provincia de Huesca. *Anales de la Sociedad Española de Historia Natural*, 4: 169-232.
- MARTÍN-RAMOS, P., M. MOLDOVAN-FEIER, J. MARTÍN-GIL, M. OLIVÁN y J. A. CUCHÍ (2019). Examen de muestras minerales de las minas de Bielsa y Eriste. *Lucas Mallada*, 21: 285-301.
- MONTERO, I., S. ROVIRA y M.^a A. DOMÍNGUEZ ARRANZ (2004). Aportación a la composición metalográfica de las monedas hispanas: análisis cuantitativos de monedas de la ceca de Bolscan / Osca. *Acta Numismática*, 34: 79-101.
- MONTERO RUIZ, I. (2018). La procedencia del metal: consolidación de los estudios con isótopos de plomo en la península ibérica. *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 28: 311-328.
- MÜLLER, R., G. P. BREY, H. M. SEITZ y S. KLEIN (2014). Lead isotope analyses on Late Republican sling bullets. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 7: 473-485.
- PARKER, A. J. (1974). Lead ingots from a Roman ship at Ses Salines, Majorca. *International Journal of Nautical Archaeology*, 3 (1): 147-150.
- PARKER, A. J., y J. PRICE (1981). Spanish exports of the Claudian Period: The significance of the Port Vendres II wreck reconsidered. *International Journal of Nautical Archaeology*, 10 (3): 221-228.
- PINARELLI, L., D. SALVI y G. FERRERA (1995). The source of ancient Roman lead, as deduced from lead isotopes: The ingots from the Mal di Ventre wreck (Western Sardinia, Italy). *Science and Technology for Cultural Heritage*, 4: 79-86.
- RICO, C. (2005). Vingt ans de recherches sur les mines et les métallurgies romaines en péninsule Ibérique (1985-2004). *Pallas*, 67: 217-239.
- SABLAYROLLES, R. (2001). *Les ressources naturelles des Pyrénées: Leur exploitation durant l'Antiquité*. Musée archéologique départemental de Saint-Bertrand-de-Comminges. Saint-Bertrand-de-Comminges.
- SANTOS ZALDUEGUI, J. F., S. GARCÍA DE MADINABEITIA, J. I. GIL IBARGUCHI y F. PALERO (2004). A lead isotope database: The Los Pedroches – Alcuñía area (Spain); implications for archaeometallurgical connections across southwestern and southeastern Iberia. *Archaeometry*, 46 (4): 625-634.
- SERVICIO DE MINAS E INVESTIGACIÓN MINERA (SMIM) (1994). *La minería de Aragón*. Diputación General de Aragón. Zaragoza. 551 pp.

- 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.
- 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). *Geochemistry*, 70: 149-158.
- TRINCHERINI, P. R., P. BARBERO, P. QUARATI, C. DOMERGUE y L. LONG (2001). Where do the lead ingots of the Saintes-Maries-de-la-Mer wreck come from? Archaeology compared with Physics. *Archaeometry*, 43: 393-406.
- 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 role of lead isotope analysis. *Journal of Roman Archaeology*, 22: 123-145.
- URTEAGA, M. (2014). Minería romana en el Cantábrico oriental. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 24: 267-300.
- VENY, C. (1979). Nuevos materiales de Moro Boti. *Trabajos de Prehistoria*, 36: 465-488.
- VENY, C. (1980). Dos lingotes de plomo romanos procedentes de la isla de Cabrera, en Madrid. *Trabajos de Prehistoria*, 37: 389-394.
- VENY, C., y D. CERDÁ (1972). Materiales arqueológicos de dos pecios de la isla de Cabrera (Balears). *Trabajos de Prehistoria*, 29: 298-322.