

Sobre el origen minero de dos pesas de plomo de época romana: aportación del método isotópico

PABLO MARTÍN-RAMOS^{*1}, JESÚS MARTÍN-GIL^{**2} y JOSÉ A. CUCHÍ-OTERINO^{*3}

(*) Universidad de Zaragoza

(**) Universidad de Valladolid

RESUMEN

El análisis de los isótopos de plomo se ha consolidado como una técnica idónea para la puesta en relación de materiales arqueológicos con sus zonas mineras de procedencia. En el presente artículo se muestra tal utilidad con la caracterización del origen minero de dos pesas de plomo descontextualizadas, empleando espectrometría de masas (MC-ICP-MS). Los cocientes isotópicos de ambas piezas han sido puestos en correspondencia con los de minerales de las regiones geológicas Banda Milonítica Tardihercínica Toledana, Zona de Ossa Morena, Zona Iberia Central (distritos de Los Pedroches y Linares-La Carolina) y Faja Pirítica Ibérica o Dominio central de la Zona Sudportuguesa. Ambos artefactos parecen corresponder a mineralizaciones de la zona de cizalla Badajoz-Córdoba (distrito de Los Pedroches, minas *Cuzna* y *Escoriales*) o al vecino distrito de Linares (mina *Palazuelos*).

PALABRAS CLAVE: Arqueometría, cocientes isotópicos, espectrometría de masas, Linares, Los Pedroches, minería romana de plomo, Zona Ibérica Central.

ABSTRACT

Lead isotope analysis has been consolidated as an ideal technique for the study of the relationships between archaeological materials and their mining areas of origin. In the present article, this usefulness is demonstrated through the characterization of the provenance of two Roman lead ponderals of unknown origin, using mass spectrometry (MC-ICP-MS). The isotopic ratios of both pieces have been put in correspondence with those of ores of the Toledo Milonitic Band, Ossa Morena Zone, Central Iberia Zone (Los Pedroches and Linares-La Carolina districts) and South Portuguese Zone or Iberian Pyritic Belt geological regions. Both lead weights seem to correspond to mineralizations in the shear zone of Badajoz-Córdoba (Los Pedroches district, *Cuzna* and *Escoriales* mines) or to neighboring Linares district (*Palazuelos* mine).

KEY WORDS: Archaeometry, Central Iberian Zone, isotope ratios, Linares, Los Pedroches, mass spectrometry, Roman lead-mining.

INTRODUCCIÓN

El presente artículo es relativo a la caracterización de dos pesas de plomo de época romana descontextualizadas, con presumible origen extremeño, pertenecientes a una colección particular.

En una publicación realizada por los mismos autores de este trabajo (MARTÍN-GIL y cols., 1995: 73-86) sobre

las pesas de telar como sistema ponderal basado en la *uncia*, las piezas arriba referidas fueron incluidas como argumento para apoyar nuestra hipótesis, asignándolas valores de 10 y 1,5 *uncias*. Por entonces, no sospechamos más utilización alternativa a la propuesta que la de servir como contrapeso de redes de pescar en ambientes fluviales.

No obstante, desde 2003 y a raíz del hallazgo de pesas de plomo en ambientes mineros, se ha propuesto la utili-

1) Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA) de la Universidad de Zaragoza. Escuela Politécnica Superior, Carretera de Cuarte s/n 22071 Huesca.

2) Laboratorio de Materiales Avanzados. ETSIIAA, Universidad de Valladolid. Avenida de Madrid 44, 34004 Palencia.

3) Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) de la Universidad de Zaragoza. Escuela Politécnica Superior, Carretera de Cuarte s/n 22071 Huesca.

zación de estas pesas, junto con remaches y precintos de plomo, como elementos de marca y control. Ciertamente es que no han faltado autores que, incluso para entornos mineros, han mantenido la utilización primigenia propuesta por nosotros y puesto en correspondencia el peso de los ejemplares hallados con sus equivalencias en *uncias*. Este es el caso de los 16 ponderales de plomo de época Julio-Claudia del Museo Minero de Riotinto, estudiados en la monografía de PÉREZ MACÍAS y DELGADO DOMÍNGUEZ (2007: 248) o los 30 ponderales troncocónicos de la Casa-Museo *Posada del Moro* de Torrecampo, Córdoba, estudiados por MÁRQUEZ TRIGUERO (1997: 185-201).

Sin embargo, la interpretación actual dominante, basada en las que realizaron CONTRERAS (1960: 290-294, 1965: 116) y CANO ORTIZ (2003: 119-130), es la de su utilización en el sellado de los sacos llenos de mineral para su transporte desde la explotación minera hasta la fundición, y al mismo tiempo como marca de propiedad en la que se indicaba quién o quienes llevaban a cabo la explotación del enclave minero. Estos investigadores refieren *El Cerro del Plomo*, Jaén y otros puntos mineros de Sierra Morena (DOMERGUE, 1971: 265-380) como claro ejemplo de este tipo de objetos plúmbeos.

La misma interpretación sobre este uso particular del plomo en el ámbito industrial y económico vinculado a la actividad minera (sellos o precintos de plomo) de época romana es compartida por los conservadores del Museo Arqueológico Nacional para dos de las pesas actualmente exhibidas en el Museo (1965/40/1 y 1960/40/4), las cuales están clasificadas como elementos de marca y control junto a remaches y precintos (Fig. 1, izquierda).

Las pesas de plomo del MAN proceden de la mina de *El Centenillo* (Baños de la Encina, Jaén) que, al igual que *El Cerro del Plomo*, está situada en la comarca de Sierra Morena.

En el Museo Arqueológico de Linares, monográfico de Cástulo, se encuentra otro ponderal trapezoidal de la misma zona minera (*El Centenillo*) con peso 430 g (inventariado

con referencia CE01756 y clasificado en Minería, metales, comercio y transporte). Este ejemplar (de 498 g) es el de mayor peso después del inventariado en el Museo de Riotinto y supera el de la pesa de mayor tamaño referida por nosotros, de 312 g.

Doce ejemplares más de este tipo de ponderales han sido publicados en la red por MERINO LAGUNA (2010) a partir de la toma fotográfica de una vitrina del Museo de Jaén (Fig. 1, derecha). Las piezas aparecen datadas como del s. II.

Respecto al origen de las piezas bajo consideración, supuesta Extremadura como procedencia y dado por establecida su atribución minera, las zonas más probables son las de Abadía, Plasenzuela y Fresnedoso de Ibor (todas en Cáceres) y los distritos plumbíferos de Azuaga y suroeste de Llera (ambos en Badajoz). No obstante, cabe ampliar como mineralizaciones alternativas a las anteriores, las norteñas de la cuenca del Tajo (*Mazarambroz*) y por supuesto, las situadas al SE, en plena Sierra Morena.

En un estudio sobre las explotaciones mineras de época romana en Extremadura (FERNÁNDEZ CORRALES, 1987: 99-110), se relativiza la importancia de las cacereñas frente a las pacenses: las de Sierra de Gata, junto a las de Cáceres, Trujillo y Montánchez, son minimizadas en favor de las localizadas en torno a Sierra Morena y, principalmente, las del este y sudeste de la provincia de Badajoz, donde se ubican los más importantes yacimientos de galena argentífera (JIMÉNEZ ÁVILA, 1989: 123-134). FERNÁNDEZ CORRALES (1987: 99-110) también considera que las de la zona de Azuaga son las más antiguas y que estuvieron en funcionamiento durante las guerras sertorianas, aspecto este último coincidente con DOMERGUE (1968: 608-626). STYLOW (1991: 11-27) llegó a identificar Azuaga como un importante municipio flavio.

Colindantes con las de Azuaga y también pertenecientes al distrito geológico Zona Ossa Morena, OMZ, pero en la provincia de Córdoba, son las mineralizaciones de *La Loba* y *La Pastora*, que fueron inventariadas como antiguas



Fig. 1: Izquierda: Pesas mineras de *El Centenillo*, con números de inventario 1965/40/1 y 1965/40/4, como elementos de marca y control, expuestas en el Museo Arqueológico Nacional. Derecha: Pesas mineras, expuestas en el Museo de Jaén.

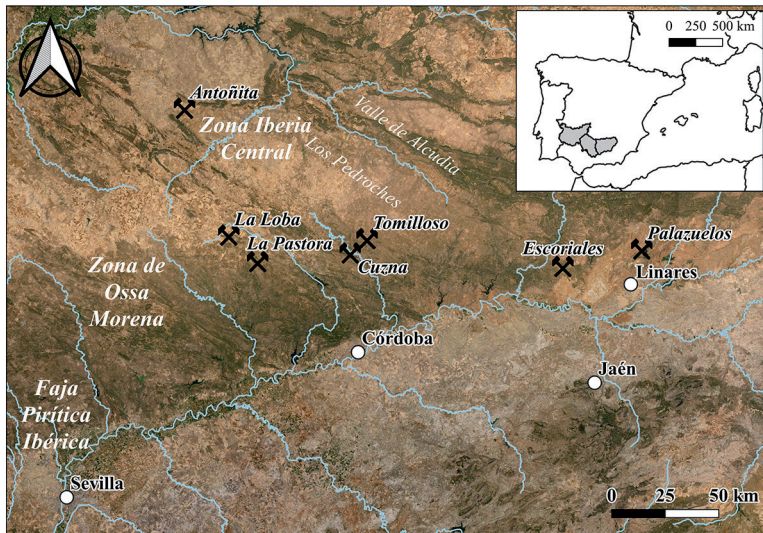


Fig. 2: Explotaciones mineras de Sierra Morena



Fig. 3: Relieve romano encontrado en la mina de Palazuelos, expuesto en Deutsches Bergbau-Museum de Bochum.

minas romanas por Domergue en el curso de sus prospecciones en Sierra Morena central, entre 1965 y 1975 (KLEIN y cols., 2009: 59-68). Blázquez-Martínez describió *La Loba* como una mina republicana y poblado de esclavos mineros (BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, 1981: 7-12, 1982: 29-39).

Pertenecientes al distrito geológico Zona Ibera Central, CIZ, tenemos en Badajoz la mina *Antonieta* y en las provincias de Córdoba y Jaén, las minas *Cuzna*, *Aº Tomilloso*, *Escoriales* y *Palazuelos* (Fig. 2), todas ellas con precedentes de explotación romana hasta 50 m de profundidad (DOMERGUE, 1990: 625; KLEIN y cols., 2009: 59-68).

Las minas del *Cuzna* son *El Sortijón del Cuzna* y *Las Morras*, situadas al sur de Pozoblanco, Córdoba, en el borde meridional del batolito de los Pedroches. En concreto, la de *El Sortijón del Cuzna* está a 12,5 km de Pozoblanco, por la carretera de Villaharta, en la margen derecha del *Cuzna* (donde Domergue recogió fragmentos de cerámica campaniense B, ánforas del tipo Dressel 1, escorias y un as de Obulco) y las minas de galena argentífera de las *Morras del Cuzna*, a 7 km al sur de Villanueva del Duque.

Arroyo Tomilloso pertenece al término de Pozoblanco y se encuadra en el ámbito de *Sacili*. Tomando un carril que sale al Este del km 12 de la carretera local Pozoblanco-Obejo, 900 m en línea recta al Este, tras pasar el arroyo Tomilloso, en la cima de una colina, se disponen los ataques. Por *Escoriales* creemos se trata de las minas *El Escorial* (km 21 de la carretera de Cardeña a Montoro) y *Escorial del Torrejón* (entre Villanueva de Córdoba y Cardeña, camino de la *Loma del Caballero*). La mina de *Palazuelos*, a dos leguas de Linares, fue –según tradición– la dote que aportó la princesa oretana Himilce al casarse con Anibal. La actividad en época romana quedó inmortalizada en un famoso relieve (Fig. 3), referido por SANDARS (1905: 311-332).

Finalmente, extendiendo la zona de probabilidad a la Zona Portuguesa Sur y en concreto a la Franja Pirítica Ibérica, *Iberian Pyritic Bell*, IPB, se han seleccionado, como minas también probables, las de Aljustrel, en Beja y Riotinto, en Huelva.

El objetivo del trabajo se concreta, pues, en evidenciar –a través del análisis de isótopos de plomo– cuál(es) de las mineralizaciones anteriormente citadas pudieran ser el origen de las dos pesas bajo estudio.

OBJETO DE ESTUDIO

Materiales

Las piezas objeto de estudio (Fig. 4) son pirámides cuadrangulares truncadas de 312,1 g y 48,15 g de peso, con orificio de suspensión. Las dimensiones son: 6.5 × 3.0 × 2.8 cm (pesa grande; “pesa minera BI”) y 4.0 × 1.6 × 1.2 cm (pesa pequeña; “pesa minera MA”). El análisis elemental, realizado con un equipo de fluorescencia de rayos X portátil modelo NITON XL3t GOLDD+ (ThermoFisher Scientific, Waltham, MA, EE.UU.) en modo *Mining*, se recoge en la Tab. 1.



Fig. 4: Pesas de plomo cuya procedencia es objeto de estudio.

Elemento	Pb	S	Mg	As	Si	Cl	Al	P	Ca	K
Pesa minera BI	64.71	22.94	3.47	3.80	1.62	1.31	0.68	0.78	<LOD	0.17
Pesa minera MA	64.12	22.33	3.69	3.13	1.97	1.65	1.19	0.79	0.56	0.13

Elemento	Mn	Fe	Ni	Co	Cu	Sn	V	Cd	Zn	Pd	Ag
Pesa minera BI	0.11	0.04	0.04	0.03	0.04	0.19	-	-	0.01	-	0.01
Pesa minera MA	0.07	0.06	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01

Tabla 1: *Análisis elemental por fluorescencia de rayos X de las pesas objeto de estudio. Resultados expresados en % en peso.*

Yacimiento

Los artefactos a estudiar son piezas descontextualizadas, pertenecientes a una colección privada. Al no contar con yacimiento conocido, el objetivo del estudio es establecer su procedencia y, así, recuperar su valor arqueológico.

MÉTODOS Y TÉCNICAS

Análisis isotópico

Dado que solo se necesitan cantidades muy pequeñas de material de muestra (menos de 5 mg) para el análisis de isótopos de plomo, las muestras se obtuvieron rascando los objetos de plomo 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 de HUELGA-SUAREZ y cols. (2014: 651-664). 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 h y, después de la evaporación a sequedad, se añadieron 2 mL de HNO₃ 1M. 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 g 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 h 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 110 °C durante 24 h, las muestras se evaporaron nuevamente a sequedad y, finalmente, se redisolieron 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 diluyeron 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, Neptune, Thermo Scientific, 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 pesas a las distintas mineralizaciones antes mencionadas se basó en un análisis de conglomerados jerárquico, realizado con el programa informático SPSS (IBM, Armonk, NY, EE.UU.), empleando bien los cocientes de partida, Pb²⁰⁶/Pb²⁰⁴, Pb²⁰⁷/Pb²⁰⁴, Pb²⁰⁸/Pb²⁰⁴ o los cocientes Pb²⁰⁷/Pb²⁰⁶ y Pb²⁰⁸/Pb²⁰⁶. Como método de agrupamiento se empleó la opción de vecino más lejano (*furthest neighbor*) y la matriz de distancias euclídeas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A la vista de la Tab. 2, las mineralizaciones con cocientes isotópicos (Fig. 5) más próximos a los de las dos pesas bajo estudio son las de la unidad geológica Zona Iberia Central, CIZ, incluyendo tanto la zona de cizalla Badajoz-Córdoba y, en concreto, Los Pedroches, como la de Linares. Según uno de los análisis de conglomerados realizados (Fig. 6, izquierda), ambas pesas pueden ser referidas bien a las mineralizaciones de *Cuzna*, LPC, en el distrito de Los Pedroches o a las de *Palazuelos*, LIP, en el

Artefacto/mineral	Acrono	Pb ²⁰⁶ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁸ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁸ /Pb ²⁰⁶
pesa minera BI	BI	18.3713	15.6554	38.5781	0.85216	2.09991
pesa minera MA	MA	18.3053	15.6322	38.4796	0.85397	2.10211
Banda Milonítica Toledana:						
Mazarambroz, Toledo ¹	MZ	18.3169	15.5516	38.248	0.84903	2.08813
Zona de Ossa Morena:						
Azuaga-Fuenteobejuna, mina <i>La Pastora</i> ²	AZP	18.717	15.6564	38.6311	0.83647	2.06394
Córdoba, mina <i>La Loba</i> ²	AZL	18.1792	15.6048	38.3108	0.85873	2.10826
Zona Iberia Central (CIZ):						
Los Pedroches						
Badajoz, mina <i>Antoñita</i> ²	LPA	18.1768	15.6034	38.3080	0.85842	2.10753
Córdoba, minas <i>Cuzna</i> ²	LPC	18.2468	15.6135	38.3609	0.85568	2.10236
Córdoba, mina <i>A° Tomilloso</i> ²	LPT	18.3219	15.6384	38.3903	0.85353	2.09533
Jaén, mina <i>Escoriales</i> ²	LPE	18.3862	15.6351	38.5314	0.85038	2.09571
Linares - La Carolina, mina <i>Palazuelos</i> ²	LIP	18.2419	15.6125	38.3407	0.85586	2.10179
Jaén, mina <i>El Centenillo</i> ³	LIC	18.2241	15.6269	38.4091	0.85748	2.10761
Zona Portuguesa Sur:						
Beja, Portugal, mina <i>Aljustref</i> ⁴	ALJ	18.2764	15.6271	38.3071	0.88506	2.09605
Riotinto ⁴ , Huelva	RT	18.1961	15.6431	38.2571	0.85491	2.09681

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

² (KLEIN y cols., 2009: 59-68)

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

⁴ (POMIÉS y cols., 1998: 137-149).

Tabla 2: *Análisis isotópico de las pesas objeto de estudio y de distintas mineralizaciones.*

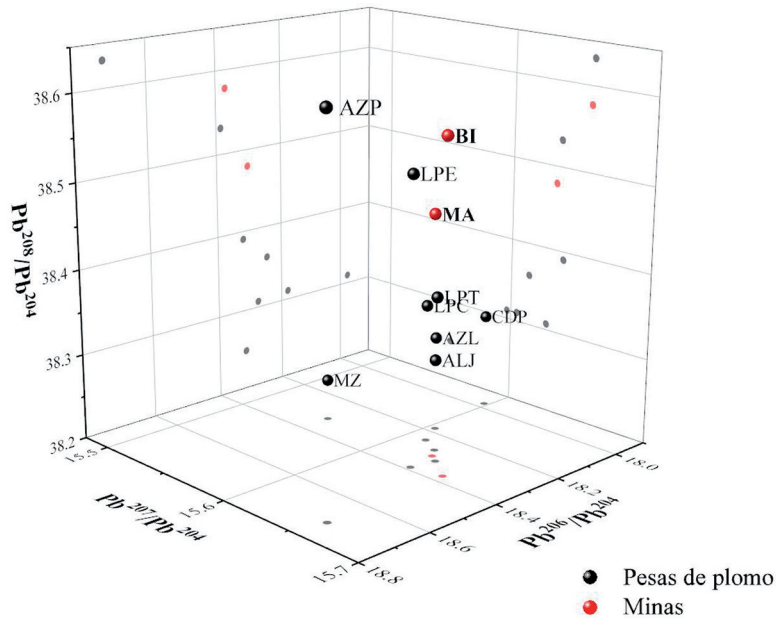


Fig. 5: Representación tridimensional (Pb^{208}/Pb^{204} vs. Pb^{207}/Pb^{204} vs. Pb^{204}/Pb^{206}) para las dos pesas objeto de estudio y las mineralizaciones referidas en la tabla 2.

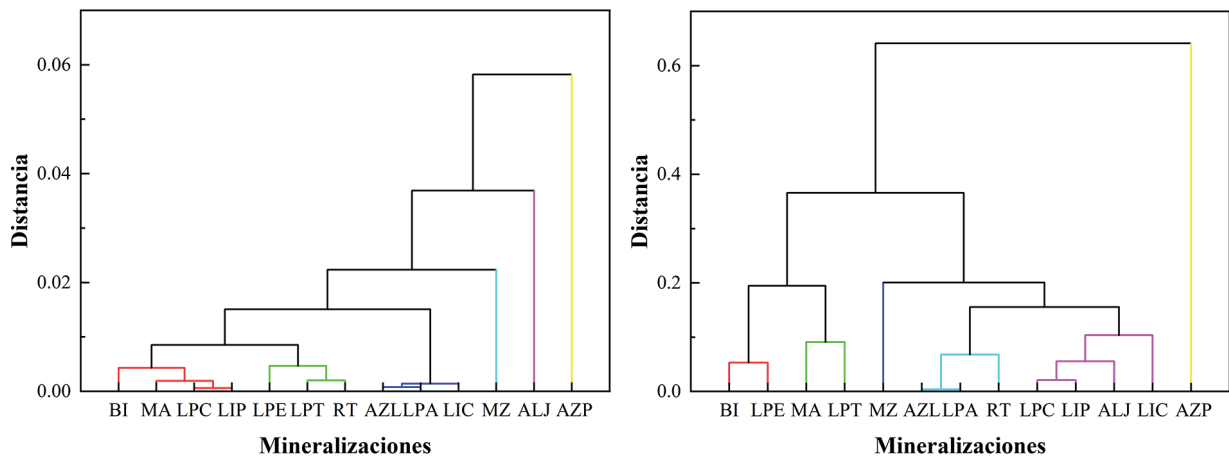


Fig. 6: Análisis de conglomerados jerárquicos tomando: (izquierda) los cocientes Pb^{207}/Pb^{206} y Pb^{208}/Pb^{206} , o (derecha) los cocientes de partida (Pb^{206}/Pb^{204} , Pb^{207}/Pb^{204} , Pb^{208}/Pb^{204}). Las abreviaturas se recogen en la tabla 2.

distrito de Linares. Según otro de los análisis de este tipo (Fig. 6, derecha), la pesa minera BI parece corresponder a la mineralización *Escoriales*, LPE, y la pesa minera MA, a la mineralización *Arroyo Tomilloso*, LPT. Toda vez que la mineralización de *Arroyo Tomilloso* es pobre en galena (y rica en calcopirita) a diferencia de las restantes (con contenidos altos de galena argentífera, aparte de calcopirita), parece procedente decantarnos por las mineralizaciones *Cuzna*, *Escoriales* y *Palazuelos*.

Si nos viéramos forzados a definirnos por una localización única, esta sería *Escoriales*, ya que es —precisamente— en los escoriales donde se han encontrado la mayor parte de las pesas mineras referidas en los hallazgos arqueológicos de la Bética (MÁRQUEZ TRIGUERO, 1997: 185-201).

Respecto al uso de dichas pesas, estimamos que la de mayor tamaño, con peso próximo al de la libra (320

g) pudo ser utilizada para pesar la plata (MÁRQUEZ TRIGUERO, 1997: 185-201), pero respecto a la de menor tamaño y peso, no nos cabe duda sobre su utilización como elemento de marca y control, en el sellado de sacos de mineral.

CONCLUSIONES

Aunque los depósitos de Zona Ossa Morena, Zona Iberia Central y Faja Pirítica Ibérica cubran un área grande en los diagramas de isótopos de plomo, ha sido posible distinguir los diversos distritos que las configuran y seleccionar los de Los Pedroches y Linares como los más probables para las pesas estudiadas. Así pues, la presente aportación sobre el origen de tales pesas mineras se inscribe en la línea de opinión de que, aparte de Linares, la minería en el área de Los Pedroches (minas *Cuzna*, *Escoriales* y *Palazuelos*) ya era importante durante los primeros tiempos del Imperio Romano.

BIBLIOGRAFÍA

- BARBERO GONZÁLEZ, L. C.; VILLASECA GONZÁLEZ, C.; LÓPEZ-GARCÍA, J. Á. (2005): "Estudio de la composición isotópica (Pb-S-O) de las mineralizaciones Pb-Zn de Mazarambroz (Banda Milonítica de Toledo)", *Geogaceta* n° 38, pp. 271-274.
- BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, J. M. (1981): "Poblado de esclavos mineros en Fuenteovejuna", *Revista de Arqueología* n° 3, pp. 7-12.
- BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, J. M. (1982): "Noticia sobre las excavaciones arqueológicas en la mina republicana de La Loba (Fuenteovejuna, Córdoba)", *Corduba Archaeologica* n° 12, pp. 29-39.
- CANO ORTIZ, A. I. (2003): "Aproximación al estudio de la minería del plomo en Extremadura y sus usos en época romana", *Bolskan: Revista de arqueología del Instituto de Estudios Altoaragoneses* n° 20, pp. 119-130.

CONTRERAS, R. (1960): "Precintos de plomo de Las minas hispanoromanas de El Centenillo," **Oretania** n° 6, pp. 290-294.

CONTRERAS, R. (1965): "Piezas arqueológicas procedentes de las minas de El Centenillo," **Oretania** n° 20, pp. 116.

DOMERGUE, C. (1968): "Un témoignage sur l'industrie minière et métallurgique du plomb dans la région d'Azuaga (Badajoz) pendant la guerre de Sertorius," **XI Congreso Nacional de Arqueología**, Mérida.

DOMERGUE, C. (1971): "El Cerro del Plomo, mina El Centenillo (Jaén)," **Noticiario Arqueológico Hispánico** n° 16, pp. 265-380.

DOMERGUE, C. (1990): **Les mines de la Péninsule Ibérique dans l'antiquité romaine**, Roma.

FERNÁNDEZ CORRALES, J. M. (1987): "Las explotaciones mineras de la romanización en Extremadura," **Alcántara: revista del Seminario de Estudios Cacerseños** n° 10, pp. 99-110.

HUELGA-SUAREZ, G.; MOLDOVAN, M.; SUÁREZ FERNÁNDEZ, M.; DE BLAS CORTINA, M. Á.; GARCÍA ALONSO, J. I. (2014): "Isotopic composition of lead in copper ores and a copper artefact from the La Profunda mine (León, Spain)," **Archaeometry** n° 56, pp. 651-664.

JIMÉNEZ ÁVILA, F. J. (1989): "Notas sobre la minería romano-republicana bajoextremeña: las explotaciones de plomo de la Sierra de Hornachos (Badajoz)," **Anas** n° 2-3, pp. 123-134.

KLEIN, S.; DOMERGUE, C.; LAHAYE, Y.; BREY, G.; VON KAENEL, H. (2009): "The lead and copper isotopic composition of copper ores from the Sierra Morena

(Spain)," **Journal of Iberian Geology** n° 35, pp. 59-68.

MÁRQUEZ TRIGUERO, E. (1997): "Pesas de plomo romanas de la Bética," **Boletín de la Real Academia de Córdoba de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes** n° 132, pp. 185-201.

MARTÍN-GIL, F. J.; RAMOS-SÁNCHEZ, M. C.; BARRIO-ARREDONDO, M. T.; MARTÍN-RAMOS, P.; MARTÍN-GIL, J. (1995): "Las pesas de telar: un sistema ponderal con base en la uncia," **Acontia** n° 1, pp. 73-86.

MERINO LAGUNA, F. M. (2010): "Minas de El Centenillo," RedJaen. <http://www.redjaen.es/francis/?m=c&o=19114>
PÉREZ MACÍAS, J. A.; DELGADO DOMÍNGUEZ, A. (2007): **Las minas de Riotinto en época Julio-Claudia**, Huelva.

POMIÈS, C.; COCHERIE, A.; GUERROT, C.; MARCOUX, E.; LANCELOT, J. (1998): "Assessment of the precision and accuracy of lead-isotope ratios measured by TIMS for geochemical applications: example of massive sulphide deposits (Rio Tinto, Spain)," **Chemical Geology** n° 144, pp. 137-149.

SANDARS, H. (1905): "XVI.—The Linares bas-relief and Roman mining operations in Baetica," **Archaeologia** n° 59, pp. 311-332.

STYLOW, A. U. (1991): "El municipium Flavium V (--) de Azuaga (Badajoz) y la municipalización de la Baeturia Turdulorum," **Studia Historica: Historia Antigua** n° 9, pp. 11-27.

TRINCHERINI, P. R.; BARBERO, P.; QUARATI, P.; DOMERGUE, C.; LONG, L. (2001): "Where do the lead ingots of the Saintes-Maries-de-la-Mer wreck come from? Archaeology compared with Physics," **Archaeometry** n° 43, pp. 393-406.

Recibido: 1/2/2021

Aceptado: 3/3/2021