

Plomo metálico en yacimientos de la I Edad del Hierro en la Provincia de Castellón: Explotación de recursos mineros y circulación del metal

Ignacio Montero-Ruiz ^(a), Gustau Aguilera ^(b), M. Carme Rovira-Hortalá ^(c)

^(a) Instituto de Historia, CSIC, Madrid. España. ignacio.montero@cchs.csic.es

^(b) Servei d'Investigacions Arqueològiques i Prehistòriques, Diputació de Castellón, Castellón, España. gustauaguilera@dipcas.es

^(c) Museu d'Arqueologia de Catalunya, Barcelona, España. carmerovirah@gmail.com, macdocumentacio1@gencat.cat

PALABRAS CLAVE: Arqueometalurgia, Plomo, XRF, Isótopos de plomo, Estudios de procedencia, Minería.

RESUMEN:

Las investigaciones que estamos realizando en yacimientos de la I Edad del Hierro en la provincia de Castellón nos han permitido estudiar algunos de los primeros objetos de plomo caracterizando su composición mediante ED-XRF y ICP-MS. También se ha realizado un trabajo de localización de minas de plomo en la provincia, analizando las muestras recogidas en ellas para determinar su potencial uso para obtener plomo metálico o para extracción de plata. Finalmente tanto del material arqueológico como del geológico se han realizado análisis de isótopos de plomo con técnicas de alta precisión (TIMS o MC-ICP-MS) necesarias para conseguir una información comparable y minimizar los márgenes de error y de interpretación en la asignación a campos isotópicos de base geológica. Con estos análisis se pretende confirmar o rechazar el uso de los recursos provinciales de plomo durante este periodo histórico.

1. Introducción:

El empleo del plomo como metal para la manufactura de objetos hace su aparición en la Península Ibérica en la Primera mitad del I milenio AC, en relación a la explotación y obtención de plata a partir de minerales argentíferos mediante la técnica de copelación. La introducción de esta técnica se relaciona con la colonización fenicia y es en yacimientos coloniales donde primero se registra la aparición del plomo metálico, generalizándose y ampliándose sus usos a lo largo de la Edad del Hierro entre las poblaciones indígenas (Morell 2009). En el Mediterráneo Oriental la técnica de copelación y el uso de plomo metálico era conocido desde finales del IV milenio AC, sin embargo el conocimiento tecnológico no se transmitió al Mediterráneo occidental hasta el momento de la colonización fenicia.

Los yacimientos de la provincia de Castellón no son una excepción y en aquellos datados en la I Edad del Hierro en los que se detectan elementos de importación o contactos con el mundo colonial fenicio se registran también algunos elementos de plomo. En este trabajo pretendemos estudiar algunos de esos elementos con el fin de determinar si se produjo un aprovechamiento local de los recursos minerales o si se trata de elementos importados y, en ese caso, tratar de identificar la procedencia del metal.

2. Yacimientos estudiados:

2.1. Tossal del Mortòrum (Cabanes):

El Tossal del Mortòrum está situado en la cima de una escarpada estribación en el límite interior del llano litoral de la Ribera de Cabanes-Torreblanca, en la comarca de la Plana Alta (Fig. 1)

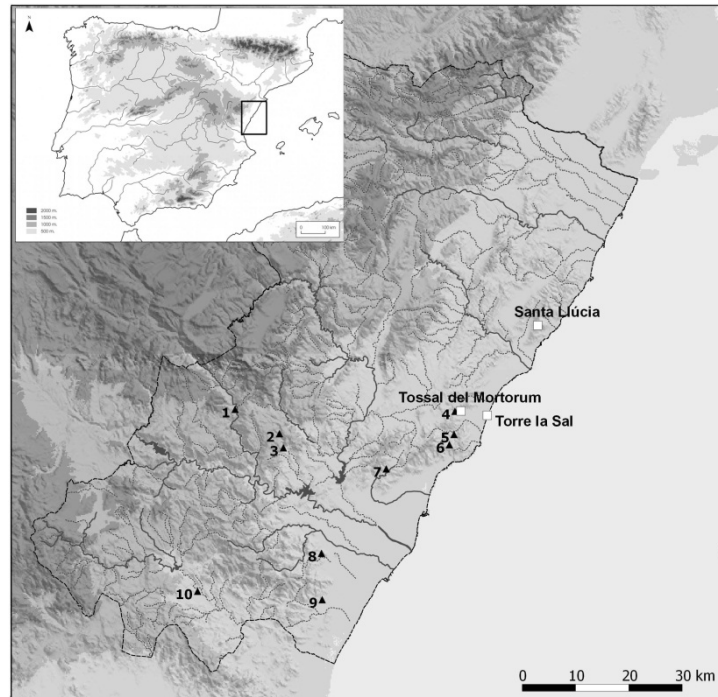


Figura 1: Mapa de localización de los yacimientos de la Edad del Hierro y minas de plomo de Castellón estudiados en este trabajo

El yacimiento fue dado a conocer a raíz de las excavaciones sin método científico efectuadas en verano de 1915 por J. Peris, y ha sido objeto de atención posteriormente en diferentes estudios tanto en referencia al propio yacimiento como sobre algunos de los materiales arqueológicos de la colección particular de Peris y de otros hallazgos en superficie (Peris, 1922; Bosch-Gimpera, 1924; Esteve, 1975).

En la actualidad se vienen efectuando excavaciones regularmente desde el año 2002, si bien en campañas cortas de como máximo un mes. De este modo, se han excavado unos 283 m², así como saneado diferentes zonas afectadas por las antiguas excavaciones en un área superior a los 60 m².

Esto nos permite conocer de modo razonable la secuencia y características del Mortòrum. Sintéticamente pues, el asentamiento ofrece ocupaciones de la Edad del Bronce centradas en el segundo milenio antes de la era (materializadas estratigráficamente en 4 fases), y posteriormente, tras su abandono antes del cambio de milenio, el cerro es vuelto a ocupar en la segunda mitad del siglo VII aC. En un momento preibérico de la primera mitad del siglo VI aC, el lugar se abandona definitivamente.

Durante el hierro antiguo el Mortòrum se presenta como un asentamiento con calles más o menos ortogonales (4 por el momento) y estancias de planta rectangular (15 excavadas totalmente en la actualidad) construidas con muros de mampostería y mortero en el que predominan las áreas destinadas al almacenaje (Aguilella *et al.*, 2004-2005).

Su construcción se inició a partir de la segunda mitad del siglo VII aC y la duración no va más allá de mediados del siglo VI aC, todo ello en base a los materiales arqueológicos recuperados en las excavaciones, ya que la datación obtenida sobre una muestra de carbón de uno de los hogares ofreció un intervalo típicamente amplio (Beta-198310: 790-420 cal BC a dos sigma). El registro material de esta fase está fuertemente caracterizado por la presencia de cerámicas a torno fenicias occidentales (porcentualmente importantes) conjuntamente con otras manufacturadas.

Este intervalo cronológico determinado a partir de la cultura material, retrata un asentamiento que tuvo un relativamente corto periodo de funcionamiento, de entre 50 y 100 años, aspecto que es coherente con las características constructivas y de uso observadas. Se estima que el área total del poblado del hierro antiguo con estructuras alcanzó unos 1200 m² (0,12 ha).

Entre los materiales de esta fase de la Edad del Hierro (Fig 2) aparecen un pequeño número de objetos de plomo metálico, en su mayoría elementos de pesa de red, que en realidad son láminas más o menos gruesas (< 1 cm) que se enrollan o pliegan sobre si mismas dejando una abertura longitudinal. Sus medidas oscilan entre los 4 y 5.2 cm de longitud con pesos entre 13 y 16 gr. También hay varios fragmentos informes o goterones de plomo. Destaca un pequeño fragmento de galena.

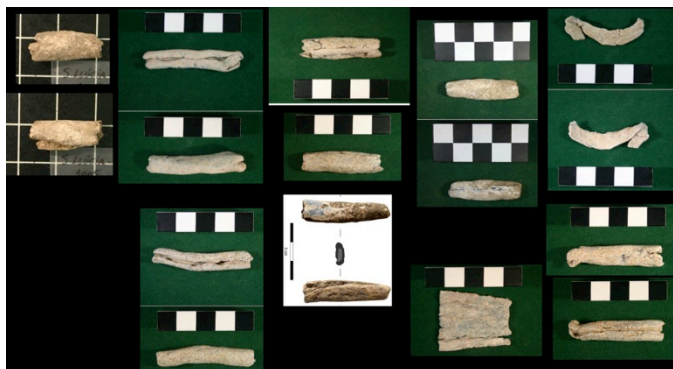


Figura 2: Plomos metálicos de los yacimientos de Tossal del Mortorum y Santa Llúcia (nº 1 y 2)

2.2. Torre la Sal:

Se trata de un importante asentamiento ibérico costero de la provincia de Castellón (Fig. 1), formado por restos de hábitat en tierra y un embarcadero hoy sumergido como consecuencia de los cambios en la línea de costa (Fernández Izquierdo, 1986; 1987-88). De hecho el poblado presenta un problema grave de conservación debido a estas variaciones así como a la proximidad del nivel freático que ha impedido en ocasiones documentar las fases antiguas, así como por la ausencia de medidas de protección.

Cronológicamente se detectan en el yacimiento algunas ánforas que indican actividad a partir del hierro antiguo, así como diversos materiales de los periodos ibéricos antiguo y pleno. Se ha interpretado que quizás en estos momentos iniciales pudo tratarse de un pequeño establecimiento costero con embarcadero. Posteriormente parece que tuvo su máximo auge hacia los siglos II-I aC, momento en que es considerado como un *oppidum* que prosperó a partir del comercio marítimo y su papel de centro redistribuidor de productos (Arasa, 2001, 101). También se ha detectado cierta actividad en el yacimiento, aunque bastante menos importante, al menos hasta después del cambio de era (Flors, 2010).

En un hallazgo casual en la zona de playa se recogieron agrupados algo más de 1kg de materiales que comprendían algunos objetos, recortes y goterones de plomo junto a nódulos de galena (Fig. 3). Estos últimos mostraban un redondeamiento de sus superficies por efecto de la erosión del mar.



Figura 3: Fragmentos de galena (izquierda) y plomo metálico (derecha) de Torre de la Sal

2.3. Santa Llúcia (Alcalà de Xivert):

El yacimiento arqueológico de Santa Llúcia se sitúa en el extremo meridional de la sierra litoral de Irla, a 315 metros sobre el nivel del mar (Fig. 1). El origen del ermitorio que da nombre al lugar hay que remontarlo al siglo XVII, a finales del cual parece que se inicia su construcción adosada a estructuras anteriores, posiblemente de cronología medieval o moderna, entre las cuales podría existir una torre.

Al mismo tiempo, todo el conjunto referido de época histórica se asienta sobre los restos de un yacimiento arqueológico en el que se han efectuado hasta el momento dos pequeñas campañas de excavación en 2012 y 2013. En estas intervenciones se ha constatado como dicho yacimiento se encuentra fuertemente afectado por las estructuras históricas, quedando, sin embargo, algunas pequeñas áreas suficientemente bien conservadas como para determinar la secuencia de ocupación al sur del área arqueológica.

De este modo por ahora interpretamos que la ocupación de Santa Llúcia se inicia con una fase de la edad del Bronce Antiguo, entre el 2140 y el 1950 aC según C14. Sobre este momento se sitúa sin solución de continuidad una fase del Hierro Antiguo que por el momento establecemos hacia la primera mitad del siglo VI aC. Esta fase está caracterizada por estructuras de hábitat y domésticas, así como cerámicas a mano y torneadas de filiación fenicia.

Sobre esta fase del hierro se documentaron algunas estructuras pertenecientes a momentos medievales bastante alterados, y que por la frecuencia de cerámicas islámicas podemos situar a partir de los siglos XI-XII, a pesar de que se observan materiales de cronologías posteriores.

Si bien en las propias excavaciones no se ha localizado propiamente niveles ibéricos, se han observado algunas cerámicas de este tipo en superficie, por lo que no es descartable la presencia de fases pertenecientes a este periodo.

Hasta la fecha se han recuperado solo 2 pesas de plomo en contexto de morfología similar a las del Tossal del Mortòrum en los niveles del Hierro Antiguo (Figura 2).

3. Recursos minerales de plomo en la provincia de Castellón:

La provincia cuenta con abundantes recursos minerales de distintos metales como el cobre, hierro, mercurio y plomo. Aunque ninguno de ellos ha destacado por su gran riqueza económica y la actividad minera de estos metales hoy día ha desaparecido, durante el siglo XIX y parte del XX fueron beneficiados y produjeron un rendimiento notable. El libro de Sos Baynat (1970) sobre la mineralogía de la provincia de Castellón constituye una recopilación de la mayoría de esos recursos minerales, e incorpora alguna información documental e histórica sobre su explotación, que parte de la información suministrada desde Madoz (1846-1850). Es interesante constatar como en la descripción de fines del XVIII de Cavanilles (1795) apenas hay mención a la existencia de recursos minerales en explotación y con referencia al plomo se limitan al término de Segorbe.

Existe un trabajo recopilatorio más reciente y amplio que si bien trata genéricamente sobre los minerales de la Comunidad Valenciana, incluye numerosas referencias sobre recursos minero-metalúrgicos, su explotación y su historia (Casanova *et al.*, 2002). Uno de los autores de dicho estudio (M. Canseco) ha colaborado activamente con los autores del presente trabajo en la localización de las minas de interés.

Nuestra investigación se ha centrado en identificar sobre el terreno las explotaciones mineras de plomo y recoger muestras minerales para su posterior caracterización analítica. Aunque no hemos visitado todas las zonas o minas referenciadas, hemos procurado documentar las principales y sobre todo las más cercanas a los yacimientos arqueológicos de lo que hemos estudiado materiales.

La localización de las minas muestreadas se representan en la figura 1. De ellas por cuestiones de espacio solo describiremos algunos detalles de aquellas más importantes o relacionadas con los yacimientos arqueológicos descritos.

3.1. Minas del Misteri (Borriol):

Se trata de una explotación minera de bastante envergadura, con pozos, galerías y áreas de explotación a cielo abierto. Se sitúa contiguo al norte del casco urbano de Borriol, en las elevaciones a la izquierda de la carretera CV05, y de la vía Augusta si el sentido de la marcha es norte.

Históricamente son seguramente las que han tenido más relevancia de la provincia. Aunque algunos autores señalan que fueron explotadas desde la época de "los fenicios y de los romanos", documentalmente su conocimiento se remonta a mediados del siglo XV (licencias reales de explotación). Se terminó de explotar hacia mediados del siglo XIX. Madrid Dávila (citado en Sos Baynat, 1970, 95) explicó que se obtenía de 4 a 5 onzas de plata por quintal de mena, con un 50-60% de plomo. El filón está compuesto además de por galena argentífera por pirritas, carbonatos de cobre, baritina y óxido de hierro. Las muestras de mineral fueron tomadas frente a una de las zanjas a cielo abierto donde se ubican las escombreras.

En sus proximidades se ubican algunos yacimientos arqueológicos que pueden ser interesantes. Se menciona un asentamiento presuntamente fenicio ubicado en una ermita a unos 200 metros de las minas (Fernández Rey, 1919), cuestión inverificable porque hoy en día no se encuentra el más mínimo indicio. De todas maneras, su entorno inmediato presenta dos asentamientos ibéricos, una villa romana y un asentamiento de la edad del bronce, éste último un poco más alejado.

Además de la zona del Misteri, el área de Borriol contiene otras explotaciones mineras repartidas por el término, tanto de plomo como cobre y hierro.

3.2. Mina de Plomo de Miravet (Cabanes):

Mina de galena situada en la partida de "El Negre", cercana a la masía (Mas dels Negrets) que da nombre a la partida y a un barranco cercano. La explotación funcionó durante la primera mitad del siglo XX, aunque en el permiso de explotación de 1953 se detalla la presencia de labores anteriores bastante antiguas. Se dejó de trabajar en 1963.

El conjunto minero está formado por varias calicatas y un pozo de 47 metros de profundidad en el que arrojaron armas en la pasada guerra civil española (1936-39). La principal calicata, situada a 30 metros del pozo en dirección 220° N.m., presenta un recorrido en planta de 11 metros y una anchura irregular media de 4 metros, penetrando en la montaña en dirección 130° N.m.

Las muestras de mineral se recuperaron en una de las escombreras frente a una de las calicatas (Fig. 4).

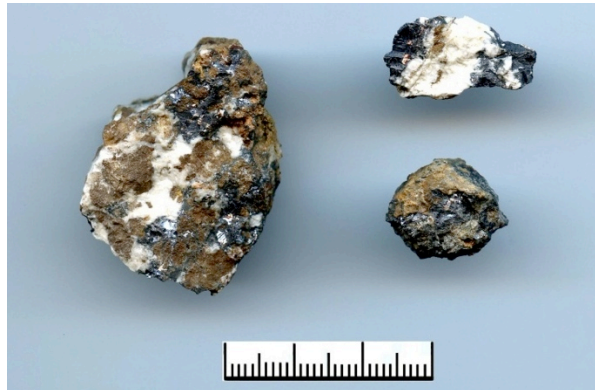


Figura 4: Fragmentos de mineral (galena) recogidos en la escombrera de la mina de Miravet

El entorno arqueológico es poco conocido. En prospección encontramos cercanas a las calicatas molinos de mano de arenisca. Un poco más allá se sitúa el castillo de Miravet, templario, pero con fases anteriores ibéricas que incluso pueden llegar al ibérico antiguo.

3.3. Mina de Campello (Cabanès):

Madoz (1845-1850) cita dos minas de plomo en la zona de Fuente Campello o Fuente del Campillo. Estas minas se sitúan a unos 800 metros en dirección Oeste, a espaldas del yacimiento del Tossal del Mortòrum, y en el margen derecho del Barranc del Campello, cerca de un manantial.

3.4. Mina de Santa Àgueda (Benicassim):

Mina de galena ubicada en el desierto de las Palmas. Se trata de una pequeña explotación en un lugar bastante inaccesible. Se localizó una única galería muy corta, dentro de una zona de terreno deprimida por acción humana. Documentalmente no tenemos constancia de su explotación, ni se cita en bibliografía. El mineral recuperado en la escombrera es galena.

En frente (Fig. 5) se localiza un pobladito en altura, mal conservado, que podría datar de la Edad del Hierro, aunque sería necesaria una valoración más detallada. En la salida natural al mar se ubica una zona de posible embarcadero, llamada "Les Platgetes", donde se ha recuperado algún ánfora fenicia, aparte de restos romanos y medievales.



Figura 5: Vista hacia el este desde la Mina de Santa Àgueda

3.5. Mina de San Vicente (Lucena del Cid):

La mina se encuentra situada en el p.k. 7 de la carretera CV-193 (Lucena del Cid - Argelita), en el llamado Mas de la Mina. A la derecha encontraremos algunas bocaminas y escombreras, y a la izquierda el horno, balsas, escombreras de estériles y otras instalaciones. Igualmente podemos observar las antiguas viviendas del poblado y el edificio de la escuela.

Históricamente es la explotación más importante de plomo-zinc de la Comunidad Valenciana. Oficialmente se inició su explotación en 1854, aunque se citan labores anteriores. Su explotación se detuvo en la segunda década del siglo XX, aunque la concesión permaneció activa hasta el año 1979.

Algunos de los minerales que suelen encontrarse en estas explotaciones son: esfalerita, galena, greenockita, smithsonita, cerusita, hidrocincita, baritina, etc. Las muestras fueron tomadas en la escombrera frente a una de las bocaminas.

4. Técnicas de análisis:

4.1 Análisis elemental:

La información que se maneja en este trabajo procede de distintas técnicas y equipos de análisis. En la caracterización elemental de minerales y objetos de plomo se ha trabajado habitualmente con espectrometría de fluorescencia de rayos X. Sin embargo, el programa de Arqueometalurgia de la Península Ibérica (PA) ha manejado en su historia diferentes espectrómetros, siendo el actual un equipo portátil INNOV-X modelo alfa con tubo de rayos X, diferente a los dos anteriores en los que la fuente de energía era de Am²⁴¹. Las características y límites de detección (Rovira et al. 1997) de los análisis con numeración inferior a PA20000 para la plata y el antimonio, de especial interés para la caracterización del plomo estaban en 10 ppm (0.001 %), mientras que en el equipo actual al contar con un ánodo de plata, la cuantificación en la región de 20-30 KeV de cantidades inferiores a 1500 ppm (0.15 %) no es posible. En consecuencia para poder comparar contenidos de plata y antimonio hemos tenido que recurrir a analizar las muestras mediante una técnica que nos permita mayor precisión: ICP-MS.

Estos análisis los realizamos, junto a los análisis de isótopos de plomo que más adelante se describen, en dos laboratorios distintos:

Servicio de Geocronología y Geoquímica (SGIker) de la Universidad del País Vasco. Los análisis se han realizado con un espectrómetro de masas cuadrupolar con fuente de plasma acoplado inductivamente (Q-ICP-MS) marca Thermo Fisher Scientific, modelo XSeries-II, equipado con una interfase Xt, antorcha apantallada y micronebulizador de PFA. La calibración se realizó mediante soluciones monoelementales de 1000 ppm de concentración diluidas al entorno esperado para la muestra.

Centro de Investigación Arqueología y Ciencia de los Materiales, Deutsches Bergbau-Museum de Bochum, Alemania. Los análisis químicos por ICP-SFMS han sido llevados a cabo utilizando un espectrómetro Thermo Scientific ELEMENT XR. Los análisis han sido efectuados con un sistema SC-FAST, nebulizador ST 5532 PFA □-FLOW, cámara spray PFA con enfriador Peltier y tubo inyector de zafiro de 1,8 mm en modo detector triple en las tres distintas resoluciones de masa (m/Δm), dependiendo de los elementos de interés. Las mediciones se han controlado con estándares FER-2 (Canadian Certified Reference Materials Project), GBW 07107 (MC Certified Reference Material), BAM-376 (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung), Bronze C (British Chemical Standards) y GF-1 (Bergakademie Freiberg BAF). Para la detección de los elementos principales las soluciones de muestra han sido diluidas a 1:1000, mientras que para las trazas a 1:10 con 5% HNO₃.

Los resultados difieren en algunos de los elementos detectados (por ejemplo en la UPV no se cuantificó estaño), pero son comparables en los elementos comunes, en especial plata y antimonio que son los usados como elementos discriminadores en este estudio.

La tabla recoge los resultados obtenidos en tres muestras de galena analizada en ambos laboratorios. Hay que señalar que se trata muestras tomadas en el mismo fragmento de mineral, pero no son estrictamente las mismas muestras las que se han comparado. Se observan ciertas diferencias especialmente en cobre y zinc, pero ambos análisis nos indican que los elementos que acompañan al plomo lo hacen en baja proporción, inferior a 500 ppm.

	Bochum TS-G1	UPV TS-G1	Bochum TS-G2	UPV TS-G2	Bochum TS-G3	UPV TS-G3
Ag	31	138	19	20	14	18
Cd	3	4	2	3	2	5
Sb	160	346	270	272	260	134
Ba	< 30	1	< 30	5	30	11
Cu	100	8	50	24	100	38
Zn	10	3	200	6	40	4

Tabla 1: Análisis comparativos ICP-MS de galenas de Torre de la Sal. Valores expresados en ppm

4.2. Análisis de isótopos de plomo:

Los nuevos datos que en este trabajo se publican proceden también de dos laboratorios. Las muestras de Plomo de Tossal del Mortorum y las galenas de la Mina Campello fueron analizadas por Michel Bode en 2009 en el *Institut für Mineralogie* of the *Westfälische Wilhelms-Universität de Münster* mediante espectrometría de masas con Ionización Térmica (TIMS) usando un equipo Multicolector VG Sector 54 con 9 cajas de Faraday. Los detalles de tratamiento y procesado de las muestras, así como la precisión y márgenes de error se encuentran descritos en Renzi *et al.* (2009)

El resto de minerales y metales arqueológicos fueron analizados en distintos momentos en Servicio de Geocronología y Geoquímica (SGIker) de la Universidad del País Vasco. Desde 2010 se utiliza un espectrómetro de masas de alta resolución y multicolección con fuente de plasma acoplado inductivamente (MC-ICP-MS Neptune). Esta técnica permite analizar muestras más pequeñas y corregir satisfactoriamente el fraccionamiento instrumental mediante la adición de Tl, proporcionando precisión, exactitud y reproducibilidad comparables a los métodos complejos de doble o triple Spike con espectrómetros de fuente de ionización térmica (TIMS). Los protocolos de tratamiento y procesado son los descritos en Chernysev *et al.* (2007). En la tabla 2 se recogen los datos sobre el error estándar interno (2 SD precisión) a partir del estándar NBS981 medido en cada serie de análisis procesadas en distintos años, incluidas muestras minerales de la zona minera del Molar-Bellmunt- Falset en la vecina provincia de Tarragona (Montero *et al.* 2009) analizadas por TIMS (Santos Zalduegui *et al.* 2004). Estos datos revelan una mejora con la técnica MC-ICP-MS.

El margen de error (2SD) en cada una de las mediciones de las muestras se sitúa en todas las ratios por debajo del 0.0005. En la representación gráfica este error queda integrado en el tamaño de los símbolos empleados.

Año	$^{206}\text{Pb}/$ ^{204}Pb	2 SD	$^{207}\text{Pb}/$ ^{204}Pb	2 SD	$^{208}\text{Pb}/$ ^{204}Pb	2 SD	$^{208}\text{Pb}/$ ^{206}Pb	2 SD	$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb	2 SD	n
2008	16,899	0,006	15,438	0,006	36,537	0,006	2,1621	0,007	0,9135	0,001	20
2010	16,944	0,0025	15,501	0,0016	36,729	0,0046	2,1677	0,00016	0,9148	0,00007	67
2012	16,943	0,0017	15,501	0,0013	36,728	0,0036	2,1677	0,00009	0,9149	0,00005	9
2013	16,944	0,0013	15,501	0,0011	36,728	0,0055	2,1676	0,00033	0,9149	0,00004	6

Tabla 2: Error estándar en las mediciones del laboratorio de Geocronología del País Vasco. Análisis del año 2008 con TIMS, los siguientes con MC-ICP-MS

Los datos geológicos comparativos que se utilizan en este estudio proceden de las referencias recopiladas en Renzi *et al.* 2009, completados con los datos de Klein *et al.* 2009 y Montero *et al.* 2009 para los minerales del distrito de Molar-Bellmunt-Falset (MBF) en Tarragona.

5. Resultados analíticos:

5.1. Análisis elemental:

En la tabla 3 se recogen los resultados XRF y en la tabla 3 los de ICP-MS. Con las limitaciones ya indicadas en los límites de detección de los análisis de la serie PA20000 podemos decir que los minerales de plomo de la provincia de Castellón son poco argentíferos y no alcanzan el límite de 500 ppm considerado para que fuera viable su aprovechamiento en época prerromana (Montero *et al.* 2008). La referencia de las Minas del Misteri de 5 onzas de plata por quintal equivaldría a un máximo de 287 ppm según las referencias de la época anteriores al sistema métrico decimal. La mina de Campello ofrece un valor medio similar de 280 ppm, y los datos de Miravet dan valores en torno a 150 ppm. Únicamente las dos muestras de la mina de Segorbe han proporcionado valores más elevados con 390 y 750 ppm que podrían ser de interés para el beneficio de la plata.

Análisis	Objeto	Sitio	Fe	Cu	Zn	Ag	Sn	Sb	Pb
PA22221	Mineral Fe-Pb	Lucena del Cid	64	0,58	nd	nd	nd	0,34	34,7
PA22221B	Mineral Fe-Pb	Lucena del Cid	17,4	0,5	nd	nd	nd	0,85	81,2
PA13540	Galena	Mina El Campello	nd	nd	nd	0,030	nd	0,01	99,9
PA13542	Galena	Mina El Campello	nd	nd	nd	0,047	nd	nd	99,9
PA13543	Galena	Mina El Campello	nd	nd	nd	0,037	nd	0,005	99,9
PA13695	Galena	Mina El Campello	nd	nd	nd	nd	nd	nd	99,9
PA13696	Mineral Pb+Zn	Mina El Campello	nd	nd	21,9	0,028	nd	0,02	78
PA13697	Galena	Mina El Campello	nd	nd	1,8	0,025	nd	0,01	98,2
PA20701	Galena	Mina Santa Agueda	0,34	0,12	nd	nd	nd	nd	99,5
PA22107	Galena	Mina Sta Agueda	nd	nd	nd	nd	nd	nd	99,9
PA20707	Mineral Pb+Zn	Minas de Cedraman	2,79	nd	47,8	nd	nd	nd	47,9
PA20705	Galena	Minas de Miravet	nd	nd	nd	nd	nd	nd	96,1
PA20706	Galena	Minas de Miravet	5,88	nd	0,42	nd	nd	nd	93,7
PA20703	Mineral Fe-Pb	Minas del Misteri	62,2	0,39	nd	nd	nd	0,28	36,7
PA20704	Mineral Fe-Pb	Minas del Misteri	75,6	4,47	nd	nd	nd	4,25	13,9
PA1568A	Galena	Segorbe	nd	tr	nd	0,039	0,026	0,002	96,6
PA1568B	Galena	Segorbe	nd	tr	nd	0,075	0,028	0,007	98,3
PA21317	Plomo	SL-1005	1,35	nd	nd	nd	2,04	nd	96,6
PA21318	Plomo	SL-1009	1,28	nd	nd	nd	nd	nd	98,7
PA13547	Plomo	TM02-1006-13	nd	nd	nd	nd	nd	nd	99,9
PA13693	Plomo	TM02-1006-5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	99,9
PA13698	Plomo	TM04-1043-9	nd	nd	nd	tr	nd	nd	99,9
PA13546	Plomo	TM04-1045-10	nd	nd	nd	tr	nd	nd	99,9
PA13694	Plomo	TM05-1069-17	nd	nd	nd	tr	nd	nd	99,9
PA13548	Plomo	TM07-10200	nd	nd	nd	nd	nd	nd	99,9
PA20409	Vastago Pb	TM09-26 ue12400	nd	nd	nd	nd	nd	nd	99,9

Tabla 3. Análisis XRF de minerales y plomo metálico. Valores expresados en % en peso. SL= Santa Lúcia; TM= Tossal del Mortòrum

La presencia significativa de antimonio solo se detecta en los minerales de hierro y plomo, pero en el caso de las Minas del Misteri cuando se trata de galena el antimonio no se encuentra presente en elevadas proporciones.

En cuanto a las galenas de Torre de la Sal los resultados indican también contenidos de plata y antimonio muy bajos (< 100 ppm Ag y < 300 ppm Sb) y deben proceder de mineralizaciones no argentíferas.

Sobre el plomo metálico los comentarios son similares. Presentan contenidos muy bajos de plata que en el caso del Tossal del Mortòrum apenas alcanzan el límite de detección de las 10 ppm y en Torre de la Sal se sitúan en valores de 60 ppm. No podemos argumentar por el contenido de plata si se trata de plomo procedente de la desplatación o de galenas poco argentíferas, ya que en ambas situaciones el resultado es un metal con bajos contenidos en ese elemento. Tampoco el antimonio sirve de ayuda porque al ser un elemento volátil, en la reducción del mineral se producen grandes pérdidas; además se comprueba en las tablas de análisis que las galenas no argentíferas tampoco presentan valores elevados.

En los datos destaca el plomo PA21317 de Santa Lúcia que contiene cerca del 2% de Sn. La presencia de estaño en el plomo se vincula tradicionalmente por el reciclado de plomo con soldadura de estaño. Los contenidos de estaño en las galenas son variable dependiendo de las minas pero no suelen superar el 0.2% y es aún menor en el plomo obtenido de ellas (Gener *et al.* en prensa). En las muestras de Torre de Sal la cantidad más alta ha sido de 600 ppm (0,06 %). En los plomos de la Edad del Hierro de Cataluña (Montero *et al.* 2008), al igual que en el plomo de Torre de la Sal y la presencia de estaño es mayoritariamente muy baja (< 500 ppm) con excepciones como una lámina de plomo de Ampurias que alcanza 0.36 %. En los plomos de Torre de la Sal analizados por ICP-MS no se detecta estaño, ni tampoco en los plomos de Tossal del Mortòrum analizados por XRF con límite de detección en las 10 ppm (0.001% Sn). Por tanto, el contenido de estaño en este plomo es inusualmente alto y señala hacia prácticas de reciclaje, lo que deberá ser valorado en el estudio sobre la procedencia.

5.2. Análisis de isótopos de plomo:

Los resultados obtenidos tanto de minerales de plomo como de las muestras arqueológicas se recogen en la tabla 4. La interpretación suele hacerse a partir de la representación gráfica de las ratios obtenidas en diagramas bivariantes. Aquí se presentan aquellas combinaciones que muestran los datos de manera más clara. Las muestras arqueológicas (Fig. 6) revelan información significativa ya que por un lado muestran una diferenciación clara entre los materiales de Torre de la Sal y los de Tossal del Mortòrum y Santa Lúcia. Los primeros con valores inferiores a 0.845 en la ratio 207Pb/206Pb y valores inferiores a 2.09 en la ratio 208Pb/206Pb. La única excepción es el fragmento de galena de Tossal del Mortòrum, pero que mantiene una posición algo distante frente a los datos de Torre de la Sal.

Yacimiento	Objeto	Inventario	208/206	207/206	206/204	207/204	208/204
Mina Campello	Galena	PA13540	2,0918	0,8424	18,68	15,735	39,072
Mina Campello	Galena	PA13542	2,0895	0,8417	18,65	15,698	38,969
Mina Campello	Galena	PA13543	2,091	0,8424	18,684	15,74	39,065
Mina de Miravet	Galena	PA20705	2,09646	0,8505	18,4205	15,6666	38,6178
Mina de Miravet	Galena	PA20706	2,09646	0,85051	18,4192	15,6657	38,615
Mina de Miravet	Galena	PA22095	2,0976	0,85104	18,4163	15,6731	38,6302
Mina Sta Agueda	Galena	PA20702	2,08535	0,84338	18,5961	15,6835	38,7795
Mina Sta Agueda	Galena	PA22107	2,08486	0,8435	18,5963	15,686	38,7705
Minas del Misteri	Galena	MMI-1	2,10431	0,85613	18,3224	15,6863	38,5559
Minas del Misteri	Pb+Fe	PA20703	2,10461	0,85621	18,3228	15,6881	38,5623
Minas del Misteri	Fe+Pb+Cu	PA20704	2,10394	0,85542	18,3395	15,6881	38,5853
Santa Lúcia	Plomo	SL-1005	2,10176	0,85474	18,3475	15,6823	38,5619
Santa Lúcia	Plomo	SL-1009	2,1018	0,85481	18,3454	15,6819	38,5584
Torre de la Sal	Galena	TS-G1	2,08379	0,84071	18,6567	15,6848	38,8767
Torre de la Sal	Galena	TS-G2	2,08307	0,84092	18,6506	15,6836	38,8503

Torre de la Sal	Galena	TS-G3	2,0828	0,84079	18,6506	15,6812	38,8456
Torre de la Sal	Plomo	TS-P1	2,08347	0,83712	18,7471	15,6936	39,059
Torre de la Sal	plomo	TS-P2	2,08413	0,83781	18,7314	15,6933	39,0388
Tossal del Mortòrum	Plomo	PA13546	2,1042	0,8552	18,33	15,676	38,569
Tossal del Mortòrum	Plomo	PA13547	2,1035	0,8551	18,323	15,667	38,542
Tossal del Mortòrum	Plomo	PA13548	2,1051	0,8553	18,338	15,685	38,603
Tossal del Mortòrum	Plomo	PA20409	2,10167	0,85471	18,3423	15,6774	38,5495
Tossal del Mortòrum	Galena	TM09-12400	2,0803	0,8431	18,58	15,664	38,652

Tabla 4: Valores obtenidos en las ratios isotópicas de plomo en materiales arqueológicos y muestras minerales de la provincia de Castellón

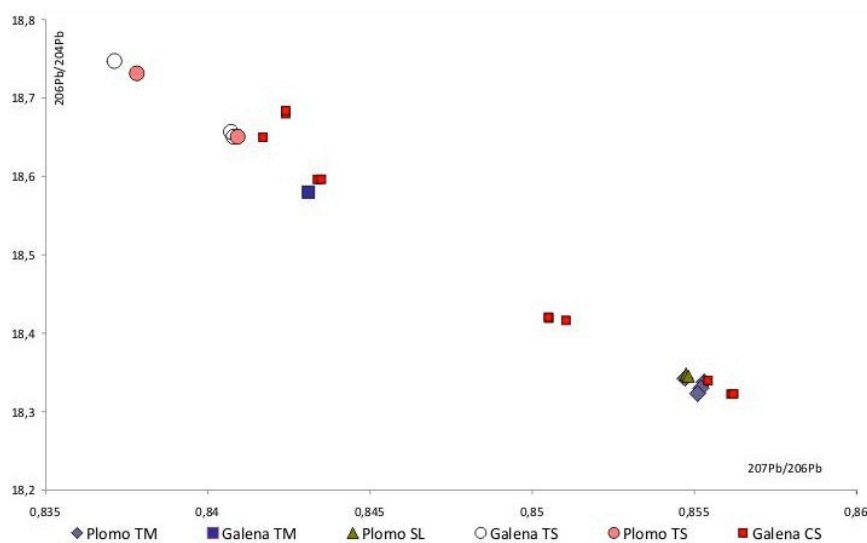


Figura 6: Representación gráfica general de las ratios de isótopos de plomo de los materiales arqueológicos y minas de Castellón (TS= Torre de la Sal; TM= Tossal del Mortorum; SL= Santa Llúcia)

En cuanto al plomo y la galena de Torre de la Sal podemos justificar una misma procedencia ya que los dos plomos metálicos presentan valores similares a alguna de las galenas. Recuperados en un mismo contexto, resulta atípica la mezcla de materia prima en bruto (galenas) con restos de plomo. Algunos de estos están incompletos y otros presentan forma de goterón de fundición, lo que permite suponer que dicho metal también se reciclaba. Si bien parece claro que el metal obtenido tiene la misma procedencia que la materia prima aún en bruto, sin que haya contradicción en este sentido en el análisis elemental, más complicado es encontrar la zona geográfica de procedencia de ambas. Como se observa en la figura 7 los valores están próximos a los que conocemos en minas de las provincias de Almería y Murcia, así como de los minerales de Ibiza. Sin embargo estos minerales son todos argentíferos y los de Ibiza y Murcia contienen también cantidades elevadas de antimonio, ausentes en las galenas de Torre de la Sal. Por tanto, aunque encontramos compatibilidad isotópica no podemos asignar una procedencia de esas minas del Sureste porque no hay concordancia en la composición. Debe tratarse de una zona minera aún no caracterizada.

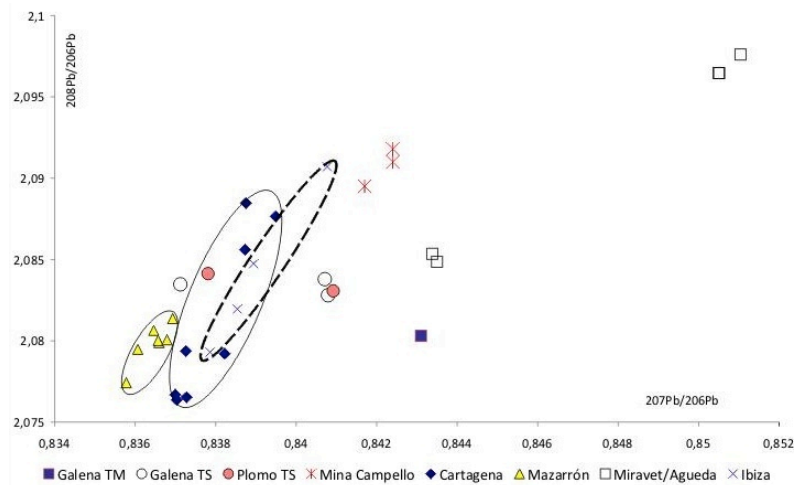


Figura 7: Representación gráfica detallada de la zona donde se localizan los ratios isotópicos de los materiales de Torre de la Sal, fragmento de galena del Tossal del Mortorum y las minas de plomo de Cartagena, Mazarrón, Ibiza y de la provincia de Castellón

Los dos plomos de Santa Llúcia y uno del Tossal presentan valores muy próximos entre sí y además se encuadran dentro del campo isotópico de las minas de plomo de Gádor (Almería). La galena de Gádor tiene contenidos bajos de plata y su aprovechamiento en la I Edad del Hierro está registrado en el yacimiento fenicio de La Fonteta (Renzi *et al.* 2009). Los otros tres plomos del Tossal se disponen linealmente en todas las representaciones gráficas que se pueden combinar, lo que sugiere que puede tratarse de plomo reciclado mezclando dos procedencias distintas. Una de ellas sería Gádor y la segunda, aún sin identificar, sería el grupo 2 detectado en La Fonteta.

Quedan descartadas las Minas de MBF en Tarragona como origen de este plomo, al igual que tampoco encontramos coincidencia con ninguna de las muestras de la provincia de Castellón muestreadas.

El fragmento de galena del Tossal del Mortòrum presenta una posición singular con respecto a lo conocido hasta la fecha en la Península Ibérica. Solo las muestras de la mina de Santa Águeda, y en menor medida las de Miravet presentan una disposición similar, aunque con el muestreo actual no podemos establecer una concordancia clara. Es una posibilidad que queda abierta y que necesita de un mayor muestreo para poder ser confirmada o descartada.

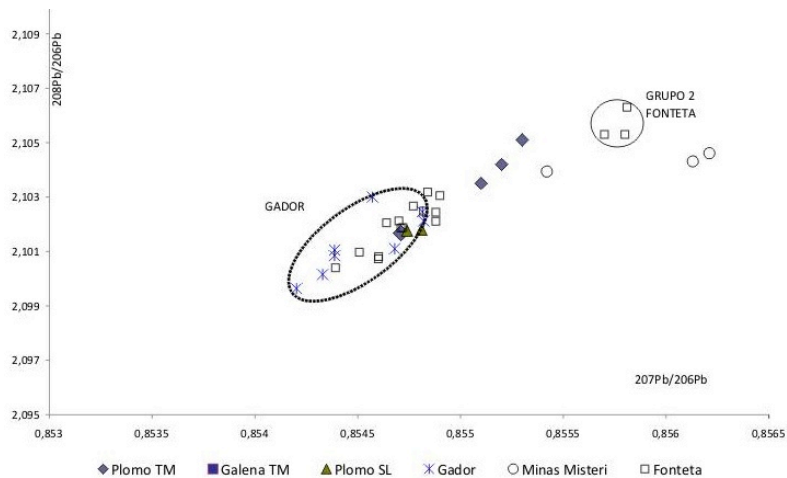


Figura 8: Representación gráfica de las ratios isotópicas de los materiales de Tossal del Mortorum y Santa Llúcia en relación a los datos de las minas de Gador y los objetos de La Fonteta

6. Conclusiones:

El estudio realizado sobre el plomo en la Edad del Hierro y las minas de la provincia de Castellón no permite concluir que estas últimas pudieran ser aprovechadas en la Antigüedad. La mina del Campello, pese a su proximidad al Tossal del Mortòrum, queda completamente descartada, y solo existe alguna posibilidad que las minas de Santa Àgueda y Miravet pudieran haber sido explotadas en esta época.

Lo que sí parece claro es que ninguna de estas minas tuvo un aprovechamiento para obtención de plata, y solo serían beneficiadas para obtener plomo metálico o usarlo en procesos de copelación donde era necesario añadir plomo.

La presencia en Santa Llúcia y Tossal del Mortòrum de plomo originario de Gádor y de otra zona desconocida, pero documentada en La Fonteta, señala que estos yacimientos formaban parte del circuito comercial fenicio, como queda atestiguado por otros materiales cerámicos. Entre esos productos intercambiados no parece que la galena de su entorno figurara como elemento de comercio, como sí lo fue en el caso de los poblados del Bajo Ebro como El Calvari (Rafel et al. 2010).

AGRADECIMIENTOS:

La investigación forma parte del proyecto HAR2010-21105-C02-02: "Relación entre materias primas locales y producción metalúrgica: Cataluña meridional como modelo de Contraste" financiado por el Plan Nacional de I+D+i del Ministerio de Ciencia e Innovación.

REFERENCIAS:

AGUILLELLA, G.; MIRALLES, J. L.; ARQUER, N.; (2004-2005): Tossal del Mortorum (Cabanes, Castellón): un posible asentamiento minero con materiales fenicios de los siglos VII-VI aC. *Quaderns de Prehistòria i Arqueologia de Castelló*, 24:111-150. ARASA I GIL, FERRAN (2001): *La romanització a les comarques septentrionals del litoral valencià. Poblament ibèric i importacions itàliques en els segles II - I aC..* Serie de Trabajos Varios, 100, pp.292, Servicio de Investigación Prehistórica. Diputacion Provincial de Valencia. Valencia.

BOSCH GIMPERA, P. (1924): *Els problemes arqueològics de la província de Castelló*. Butlletí de la Societat Castellonenca de Cultura, V, II, pp. 81-120. Castelló.

CASANOVA, J. M., CANSECO, M., SANCHÍS, J. M. (2002): *Minerales de la Comunidad Valenciana*. Caja de Ahorros del Mediterraneo, 237 pp. Alicante.

CAVANILLES, A.J. (1795): *Observaciones sobre la Historia Natural, geografía, agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia*. Vol. I. Imprenta Real, Madrid.

ESTEVE, F. (1975): *Un poblado de la Edad del Bronce en la Ribera de Cabanes*. Cuadernos de Prehistoria y Arqueología Castellonense, 2, pp. 65-74. SIAP. Diputación. Castellón.

FERNÁNDEZ IZQUIERDO, A. (1987-88). "El poblado ibérico de Torre la Sal (Ribera de Cabanes). Campañas 1985-1988", C.P.A.C., 13, Castelló, pp. 227-274.

FERNANDEZ IZQUIERDO, A. (1986): El yacimiento submarino de Torre La Sal (Ribera de Cabanes, Castellón). Nuevas aportaciones. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología Castellonenses*, 12: 229-248.

FERNÁNDEZ REY, J. (1919): *Notas históricas sobre Borriol*.

FLORS, E. -coord.- (2010): *Torre la Sal (Ribera de Cabanes, Castellón). Evolución del paisaje antrópico desde la prehistoria hasta el medioevo*. Monografies de Prehistòria i Arqueologia de Castelló, 8, 610 pp. Castelló.

GENER, M., MONTERO-RUIZ, I., MURILLO-BARROSO, M., MANZANO, E., y VALLEJO, A. (en prensa): *Lead Provenance Study in medieval metallic materials from Madinat Al-Zahra (Medina Azahara, Córdoba)*. *Journal of Archaeological Science*,

KLEIN, S., DOMERGUE, C., LAHAYE, Y., BREY, G. P., VON KAENEL, H.-M, (2009). The lead and copper isotopic composition of copper ores from the Sierra Morena (Spain). *Journal of Iberian Geology* 35: 59-68.

MADOZ, P. (1846-50): *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar*. Madrid.

MONTERO RUIZ, I., GENER, M., HUNT, M., RENZI, M. y ROVIRA, S. (2008): "Caracterización analítica de la producción metalúrgica protohistórica de plata en Cataluña". *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 18:292-316.

MONTERO-RUIZ, I., GENER, M., RENZI, M., HUNT, M., ROVIRA, S. y SANTOS-ZALDUEGUI, J.F. (2009): "Provenance of lead in First Iron Age sites in Southern Catalonia (Spain)" In J.F. Moreau, R Auger, J. Chabot and A. Herzog (eds.): *Proceedings ISA 2006. 36th International Symposium on Archaeometry (2-6 may, 2006, Quebec city, Canada)*: 391-398. Quebec. Cahiers d'archéologie du CELAT, 25. Série archéométrie, 7

MORELL, N. (2009): *La metal.lurgia del plomo durant el període Ibéric: treball i ús del plom entre els Ibers del Nord*. Tesis doctoral Universitat Rovira i Virgili. Institut Català d'Arqueologia Clàssica.

PERIS, J. (1922): *Escarceos arqueológicos. Castellón y sus cercanías*. Butlletí de la Societat Castellonenca de Cultura, III, pp. 218-223. Castelló.

RAFEL, N., MONTERO-RUIZ, I., CASTANYER, P., AQUILUÉ, X., ARMADA, X.L., BELARTE, M.C., FAIRÉN, S., GASULL, P., GENER, M., GRAELLS, R., HUNT, M., MARTIN, A., MATA, J.M., MORELL, N., PÉREZ, A., PONS, E., RENZI, M., ROVIRA, M.C., ROVIRA, S., SANTOS, M., TREMOLEDA, J. y VILLALBA, P. (2010): "New approaches on the archaic trade in the north-eastern Iberian Peninsula: exploitation and circulation of lead and silver". *Oxford Journal of Archaeology*, 29 (2): 175-202.

RENZI, M., MONTERO-RUIZ, I. y BODE, M. (2009): "Non-ferrous metallurgy from the Phoenician site of La Fonteta (Alicante, Spain): a study of provenance". *Journal of Archaeological Science* 36 (11): 2584-2596.

ROVIRA, S., MONTERO, I. y CONSUEGRA, S. (1997): *Las primeras etapas metalúrgicas en la Península Ibérica. I Análisis de materiales*. Instituto Universitario Ortega y Gasset. Madrid.

SANTOS ZALDUEGUI, J.F., GARCÍA DE MADINABEITIA, S., GIL IBARGUCHI, J.I. y PALERO, F. (2004): A lead isotope database: the Los Pedroches–Alcudia area (Spain); implications for archaeometallurgical connections across south-western and south-eastern Iberia. *Archaeometry* 46: 625–634.

SOS BAYNAT, V. (1970): Introducción a la Mineralogía de la Provincia de Castellón. Boletín de la Sociedad Castellonense de Cultura, Homenaje a A. Sánchez Gozalbo, Tomo XLVI, Vol. I, pp. 79-147. Castellón.