

# MATERIALES METALÚRGICOS HALLADOS EN LA CIUDAD DE IBIZA (ISLAS BALEARES)

## Metalurgical remains from Ibiza-town (Balearic Islands)

ROSA GURREA BARRICARTE  
[orcid.org/0000-0002-8924-1542](https://orcid.org/0000-0002-8924-1542)

MARCUS HEINRICH HERMANNNS  
[orcid.org/0000-0001-9007-0034](https://orcid.org/0000-0001-9007-0034)

JUAN AURELIO PÉREZ MACIAS  
[orcid.org/0000-0002-0330-9578](https://orcid.org/0000-0002-0330-9578)

---

Recibido: 21/03/2021  
Revisado: 02/05/2021

Aceptado: 06/05/2021  
Publicado: 16/06/2021

---

### RESUMEN

Se presentan los análisis de seis muestras de escoria halladas durante trabajos de acondicionamiento urbanístico de la ciudad de Ibiza (Islas Baleares). Estas muestras, que son unas de las primeras muestras de escoria analizadas procedentes del casco antiguo de la ciudad de Ibiza, corresponden a productos de un taller metalúrgico dedicado a la industria bronceínea. Las tres primeras muestras son restos de elementos metálicos de bronce ternarios (cobre, estaño y plomo) en fase de producción. Esos metales se mezclarían en vasos (crisoles), a los que corresponden las tres últimas muestras, que conservan en algún caso restos de esos tres elementos (cobre, estaño y plomo). Como nota interesante, están fabricados en arcillas ricas en hierro y cal, cuya adición posiblemente sea intencional a juzgar por paralelos históricos.

### PALABRAS CLAVE

Escorias; Bronce; Época romana.

### ABSTRACT

The analyzes of six samples of slag found during urban development works in the city of Ibiza (Balearic Islands) are presented. These samples, which are one of the first samples of slag analyzed from the old town of Ibiza town, correspond to products from a metallurgical workshop dedicated to the bronze industry. The first three samples to be discussed are remains of ternary bronze metallic elements (copper, tin and lead) in the production phase. These metals would be mixed in ceramic vessels (crucibles), to which the last three samples correspond, which in some cases retain traces of these three elements (copper, tin and lead). These fragments of crucibles are made of clays rich in iron and lime, the addition of which is possibly intentional judging by historical parallels.

### KEY WORDS

Slags; Bronze; Roman period.

---

Los materiales metalúrgicos que se presentan en este artículo fueron hallados durante la intervención preventiva realizada en la avenida España, de Ibiza, en 2018. La actuación estuvo motivada por la necesidad de vaciar una parte de la calzada para alojar contenedores soterrados. El lugar elegido forma parte de un espacio con hallazgos arqueológicos previos, unos en el solar adyacente, ocupado actualmente por el conservatorio de Música, y otros en la propia calzada. El registro arqueológico del solar aportó restos de una larga secuencia cultural y cronológica, que va desde el periodo púnico hasta el bizantino, con algunos restos bajo medievales de escasa relevancia. En el centro de la avenida se intervino a raíz de unas obras de modernización de infraestructuras de saneamiento, y fueron localizados varios tramos con restos arqueológicos, unos claramente asociados a alfarerías y otros con restos constructivos de carácter urbano.

En el espacio excavado en 2018, por debajo de las capas de pavimento, se hallaron niveles de tierra de cultivo (UE201) con una potencia relativamente homogénea, salvo en el tercio Este, donde el estrato vegetal llegaba hasta el sustrato arcilloso natural. En el resto cubría niveles y estructuras antiguas. Concretamente, pudieron identificarse dos muros transversales (UE205 y UE218), que, aunque presentan una orientación similar siendo prácticamente paralelos, no mantenían coherencia estructural, funcional ni cronológica entre ellos. Estas estructuras dividían el espacio arqueológico en tres zonas excavadas de forma independiente, al presentar características estratigráficas diferenciadas.

El muro UE205, realizado en mampostería irregular de piedra caliza sin mortero de juntas, apoyaba sobre una base de arcilla y la roca, no parecía concebido con función estructural sino más bien como límite o contención, como se pudo observar,



Fig. 1. Situación de la excavación.

de una escombrera con materiales tardo-púnicos situada al oeste del muro (UE 215). El otro muro, UE 218, estaba construido con piedras calizas de tamaño grande colocadas en hiladas regulares, conservado hasta una altura de 0,80 m.; es un tramo correspondiente a la continuación de muros similares hallados en el solar adyacente. Por debajo de la base del muro, y sin relación directa con él, se documentaron restos de pavimentos amortizados, de arcilla y cal muy apelmazada. Adosado a la cara oeste se localizó un estrato muy compacto de tierra arcillosa con piedras de diferentes tamaños y restos decorativos, como fragmentos de enlucidos de cal, de muy buena calidad, algunos moldurados y pintados en ocre y negro (UE 223).

Entre los muros citados, bajo la tierra vegetal se hallaron zonas con piedras y niveles de tierra marrón de tonalidad grisácea (UE216-UE 222) que cubrían el estrato UE 224, que con una disposición horizontal se componía de tierra muy gris, compactada, de textura granulosa, que contenía carbones, cenizas y gran cantidad de trozos de mineral y escorias de fundición. Esta capa se superpone a otras de tierra arcillosa de tonos rojizo, también apisonadas, de las que se recuperaron diversos materiales, como cerámicas, huesos, piedras, etc. Estos niveles, junto a otras capas inferiores (UE 234 y 244), formaban un estrato antrópico de colmatación y nivelación intencionada del espacio, a base de vertidos que se apisonaban conformando un sustrato firme y sólido.

En general los hallazgos cerámicos estaban muy fragmentados, no obstante, se ha podido identificar claramente una masiva presencia de producciones africanas de cocina y, en menor cantidad, TSA, que aportan una cronología a la formación del estrato entre finales del siglo III y mediados del siglo IV.

#### LA ANALÍTICA

Procedentes de esta excavación se han analizado seis muestras en los laboratorios Generales de Investigación de la Universidad de Huelva (EMPAG). Su analítica se ha realizado mediante Microsonda de Electrones (EMPA), y la rutina de trabajo ha consistido en un barrido general de cada una de las muestras y barridos puntuales de cada una de las fases mineralúrgicas y metalúrgicas presentes en ellas.

Los resultados obtenidos los presentamos a continuación:

1.- Avda. España 2018-12/224-128/número 1.

Aún sin limpiar, por su apariencia se clasificó como una escoria de cobre (¿?) de forma irregular, en la que destacaban las inclusiones metálicas y calcáreas. 200 gramos de peso.



Fig. 2. Muestra 1, cortada.

Dentro de la muestra se han diferenciado dos zonas (A y B) en función de sus espectros, una formada por los puntos de muestreo 1A, 2A y 3A, y otra analizada por los puntos 1B, 2B y 3B.

En la zona A la fase dominante (punto 3A) es una fase metálica con un valor alto de cobre (98,65 % Cu), al que acompañan como elementos representativos el plomo (0,503 % Pb) y el estaño (0,226 % Sn). Los porcentajes del resto de elementos, por debajo del 0,1%, son parte de la ganga que no se ha eliminado a lo largo del proceso metalúrgico.

En el punto de análisis número 1A la composición muestra la presencia de tres elementos con un porcentaje significativo: el primero el estaño (72,242 % Sn); el segundo el cobre (1,26% Cu); y el tercero el plomo (0,22 % Pb). Se trata por tanto de una formación metálica de estaño con algunas impurezas de cobre y algo de plomo. El resto de elementos no tienen una representación significativa. Esta lectura se confirma con el bajo tenor del sílice y hierro, elementos que dominan en las formaciones fayalíticas (escoria), y el sulfuro (0,005% S).

	1A	2A	3A	1B	2B	3B
Si	0,066	0,014	0,024	0,014	0,026	0,005
Sb	....	....	....	....	0,28	0,17
Mn	0,056	....	....	0,01	0,029	0,047
As	....	....	0,058	0,139	0,236	0,021
Al	0,005	....	....	0,025	....	....
Bi	0,039	0,245	....	....	....	0,076
Fe	0,226	....	0,015	0,373	0,082	....
Mg	0,029	....	....	0,012	....	....
Pb	0,22	78,80	0,503	0,462	0,49	94,624
Ag	....	....	....	0,05	0,01	....
Cu	1,26	2,556	98,65	88,394	72,884	2,093
Sn	72,242	....	0,226	10,159	24,759	0,679
S	0,004	0,026	0,005	....	....	0,065
Zn	0,038	0,109	....	....	0,011	0,035
Au	0,01	....	0,039	0,028	....	....
Cl	....	11,746	....	....	....	....
Total	74,195	93,499	99,52	99,666	98,807	98,624

Tabla 1. Composición química de la muestra 1 (en %).

El punto de análisis número 2A se destaca por el alto porcentaje del plomo (78,80% Pb) y el cloro (11,746% Cl), una formulación que corresponde a la oxidación de un plomo en forma de cloruro de plomo. Como en el caso del punto anterior se trata de una fase metálica por el índice significativo de estos elementos. Con relación al resto de elementos, tampoco existen correspondencia con formaciones metalúrgicas de las escorias (silicatos de hierro) ni minerales (sulfuros).

En la zona A de la muestra se comprueba que es una fase metálica formada por tres elementos, que en orden de importancia son el cobre, el plomo y el estaño. Esta fase metálica correspondería en definitiva a un bronce ternario formado por esos tres elementos, un bronce formado por una aleación de 88% Cu y 10% Sn.

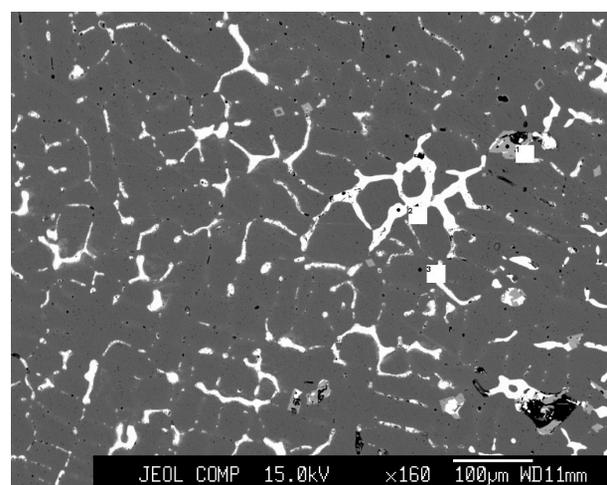


Fig. 3. Espectro de la zona A de la muestra 1.

En la zona B de la muestra se presentan los mismos elementos dominantes, aunque la combinación es distinta. En fase dominante (punto 1B) predomina la formación de cobre metálico (88,384% Cu), pero en conjunción con el estaño (10,159% Sn) y en menor medida del plomo (0,462% Pb). Puede identificarse con una fase de bronce binario, pues el porcentaje del plomo es bajo para considerarlo.

En el punto 2B vuelven a repetirse los elementos mayoritarios de la fase anterior, el cobre (72,884% Cu) y el estaño (24,759% Sn). Sobre el resto de metales, también tienen algún porcentaje el plomo (0,49% Pb), el antimonio (0,28% Sb) y el arsénico (0,236% As). Estaríamos así en fase metálica de bronce, con una relación de 72% Cu y 24 % Sn. El antimonio y el arsénico son elementos muy resistentes a la reducción, y permanecen en la fase fayalítica en forma de antimonuros y arseniuros de hierro (speiss). El mineral de partida como materia prima del cobre pudo ser una sulfosal de antimonio o arsénico, un mineral complejo rico en cobre, antimonio y arsénico de tipo falherz, como los denominados cobres grises. Es un mineral de la serie de los sulfoarseniuros (tennantita) y sulfoantimoniuros (tetraedrita) de cobre, del Grupo de la Tetraedrita (tetraedrita, tennantita, freibergita, pirargirita, y proustita, entre otros). Son sulfosales ricas en arsénico y antimonio, y de acuerdo con las variedades en plata (freibergita, pirargirita, proustita, argentotennantita y argentotetraedrita) o en cobre (tennantita y tetraedrita), además plomo, estaño y zinc. No sorprende que estos elementos estén en este residuo, pues esos minerales eran también los responsables del speiss que aparece descrito por Agricola y Ecker en las minas de Sajonia, de donde deriva el nombre fahlerz con que también son conocidos, del alemán fahl (grisáceo) y erz (mineral).

El punto de análisis número 3B es una formación metálica de plomo (98,624% Pb) con impurezas de cobre (2,093% Cu) y estaño (0,679% As). Es la parte de plomo que no se ha aleado totalmente con el cobre y el estaño. En los bronce en los que interviene el plomo, éste difícilmente se alea directamente con el cobre, se mantiene como una fase separada en la liga.

Los tres puntos de análisis de la zona B demuestran que este fragmento metálico de la excavación está relacionado también con un taller de producción de bronce ternario, es decir, un bronce formado por una aleación de cobre, estaño y plomo.

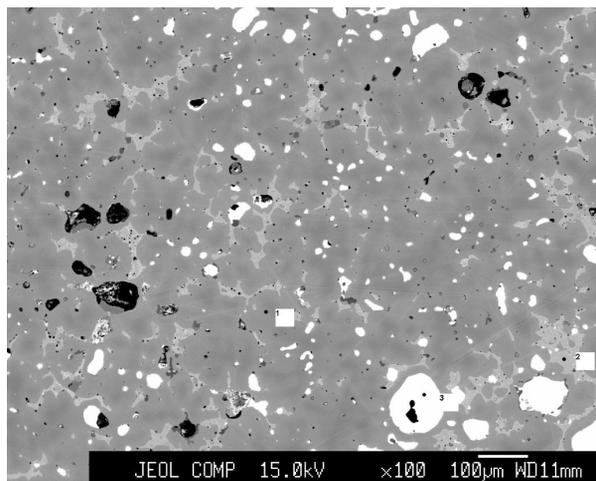


Fig. 4. Espectro de la zona B de la muestra 1.

2.- Avda. España 2018-12/224-128/número 2.

Se inventarió como una escoria grande de cobre (?), de forma irregular y con inclusiones calcáreas, cerámica y carbón. 400 gramos de peso.



Fig. 5. Muestra 2, cortada.

El punto de análisis 1 es una muestra muy uniforme de estaño metálico (81,488% Sn sobre un total de 82,869). Los demás elementos detectados se encuentran en valores por debajo del 0,1%, por lo que no deben ser considerados, salvo el cobre (1,009% Cu). Es, pues, estaño con un leve enriquecimiento en cobre.

	1	2	3	4	5	6	7
Si	0,063	0,002	...	0,001	...	0,083	...
Sb	...	...	...	...	0,13	...	42,605
Mn	0,01	...	...	0,009	0,009	...	0,002
As	0,056	0,027	...	0,105	0,139	0,01	11,105
Al	...	...	...	...	0,015	...	...
Bi	0,017	...	0,042	0,05	0,001	...	11,71
Fe	0,114	0,036	...	...	...	0,087	0,055
Mg	...	0,016	...	...	...	0,003	...
Pb	...	...	...	0,074	...	...	12,186
Ag	...	0,049	0,075	0,225	0,419	...	0,067
Cu	1,009	84,448	84,526	99,28	98,807	1,532	7,603
Sn	81,488	0,029	0,085	...	0,087	73,969	1,644
S	...	...	...	0,017	...	0,015	0,187
Zn	0,059	...	...	...	...	0,006	0,124
Au	0,053	...	...	0,057	...	...	...
Cl	...	...	...	...	...	...	...
Total	82,869	84,607	84,728	99,818	99,607	75,705	87,288

Tabla 2. Composición química de la muestra 2 (en %).

El punto de análisis 2 es, por el contrario, una formación de cobre metálico bastante pura (84,448% Cu sobre un total de 84,607), pues los otros elementos se encuentran por debajo del 0,1% y no pueden ser considerados.

El punto de análisis 3 es otra formación de cobre puro, sin apenas contaminación de otros elementos (84,526% Cu sobre un total de 84,728). Los elementos que le acompañan no pueden ser considerados por su bajo valor.

El punto de análisis número 4 es también una fase metalúrgica de cobre metálico sin apenas impurezas (99,28% Cu de un total de 99,818).

El punto de análisis 5 es también una fase de cobre metálico, pero hay que señalar los índices de antimonio (0,13% Sb), de arsénico (0,139 % As) y plata (0,419% Ag). Estos elementos debían encontrarse en el mineral, que por su composición estaría cerca de los cobres grises (arseniuros y antimoniuros de cobre-plata).

El punto de análisis número 6 es una formación de estaño metálico (73,969% Sn sobre un total de 75,705), con alguna contaminación de cobre (1,502% Cu).

El punto de análisis número 7 es una fase mineralúrgica de antimonio de plomo-cobre (42,6% Sb, 12,1% Pb y 7,603% Cu). Debe ser una neoformación por el contacto de esos elementos en el proceso de tratamiento, pues es también alto el porcentaje de estaño (1,644% Sn), los tres elementos que se están aleando para la producción de bronce ternario. El plomo ha actuado como colector de otros elementos, antimonio, cobre y estaño, para dar como resultado un antimonio de plomo-cobre.

En resumen, la muestra es un metal que ha resultado de la manipulación térmica de dos elementos, estaño y cobre, para la producción de bronce. La fase de antimonio de plomo-cobre podría estar relacionada con los minerales de partida, ya que

se encuentra dentro de las fases de cobre metálico, o bien ser una formación exógena a partir de una aleación de cobre, estaño y plomo.

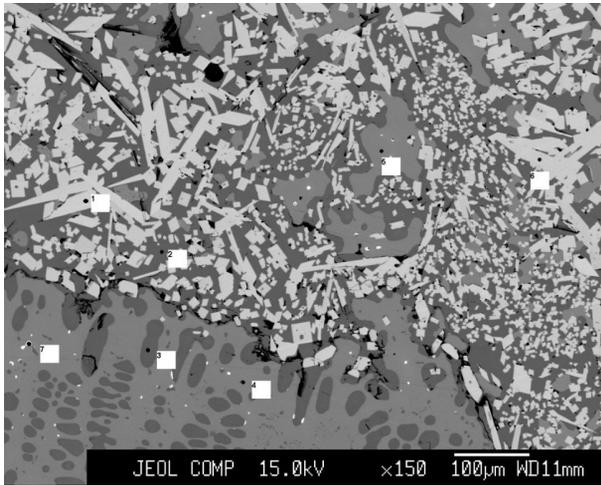


Fig. 6. Espectro de la muestra 2.

3.- Avda. España 2018-12/224-128/número 3.

En el cuaderno de campo aparecen clasificadas como dos piezas de metal (¿cobre?), posiblemente para reciclar. Forma irregular, de 25 gramos de peso (¿?).



Fig. 7. Muestra 3, cortada.

En esta muestra se encuentran formaciones de cobre metálico (punto 1) con un porcentaje de 83,23% Cu sobre un total de 83,75, sin apenas impurezas, salvo un leve enriquecimiento en plomo (0,38% Pb). Otra de las formaciones de cobre metálico (punto 2) es aún más puro (98,88% Cu sobre un total de 99,05), pues apenas tiene conta-

minación de otros elementos, que en ningún caso alcanzan el 0,1.

También aparecen fases de estaño metálico (punto 3), con 70,69% Sn sobre un total de 72,701, con algo de cobre (1,689).

Más abundantes son las fases de plomo metálico. En un caso con 82,10 % Pb sobre un total de 83,36 (punto 5), con algo de cobre (0,844% Cu), y en otro con 84,12% Pb sobre un total de 87,253 (punto 6), con representación significativa también de cobre (1,738% Cu). Por último, una fase de plomo más rica en cobre (punto 4), con 78,57% Pb sobre 91,81, y un nivel de cobre de 11,147% Cu, pero en la que destacan además los valores de antimonio, 0,944% Sb, y arsénico, 0,248% As, que, como en los casos ya comentados, se encuentran representados en las fases de cobre y plomo.

Como en las muestras anteriores, nos encontramos con tres fases metálicas formadas por cobre, plomo y estaño, las propias de un bronce ternario. En el caso de las fases de plomo, han logrado absorber algo de cobre metálico.

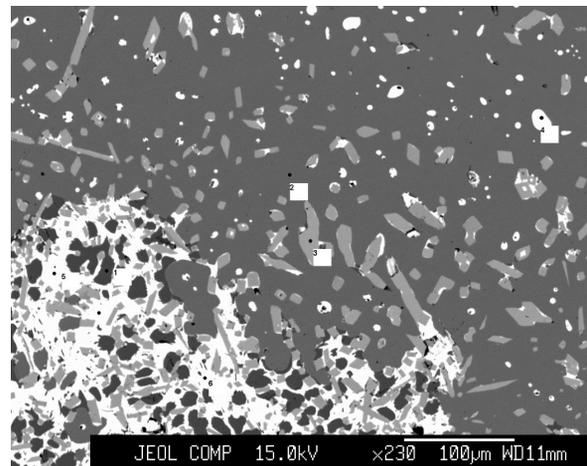


Fig. 8. Espectro de la muestra 3.

4.- Avda. España 2018-12/224-129/número 1.

Considerada en la excavación como una escoriación muy esponjosa, posiblemente de hierro, con forma curvada (¿resto de crisol?). 50 gramos de peso.

La fase mayoritaria es de óxido de hierro (punto 3), con 71,401% Fe, que cierra en 96,405%  $Fe_2O_3$ , como óxido de hierro (wüstita).

También contiene pequeñas drusas de calcita (punto 1) y de silicatos de hierro (punto 2). La calcita, con 38,111% Ca, es bastante pura, pues cierra en 39,005%, porcentaje propio de los carbonatos

	1	2	3	4	5	6
Si	0,067	0,016	0,073	....	....	0,012
Sb	....	....	....	0,944	....	0,185
Mn	....	0,024	0,031	0,029	....	0,012
As	0,031	....	....	0,248	0,004	0,257
Al	....	0,013	....	....	....	0,006
Bi	0,001	....	0,019	0,277	0,285	0,086
Fe	0,012	0,024	0,051	....	0,025	0,109
Mg	....	....	....	....	....	....
Pb	0,387	0,039	0,071	78,572	82,104	84,122
Ag	0,004	0,033	....	....	0,04	....
Cu	83,233	98,883	1,689	11,147	0,844	1,738
Sn	....	0,024	70,69	0,483	0,006	0,229
S	0,017	....	0,011	....	0,01	0,169
Zn	0,004	....	0,044	0,011	0,045	0,018
Au	....	....	0,022	0,018	....	....
Cl	....	....	....	....	....	....
Total	83,756	99,05	72,701	91,81	83,253	87,253

Tabla 3. Composición química de la muestra 3 (en %).



Fig. 9. Muestra 4, cortada.

cálcicos ( $\text{Ca CO}_3$ ) y solo tiene un enriquecimiento reseñable en hierro (0,787% Fe). Debe proceder de un yacimiento mineral en rocas carbonatadas, del que se ha aprovechado la zona superficial de óxidos de hierro y de ahí su presencia en la muestra. El silicato de hierro (fayalita), con 16,112% Si y 31,538% Fe, también es propio de las zonas superficiales gossanizadas y zona de oxidación, a veces muy silicatadas, pero hay que subrayar su enriquecimiento en cobre (0,578% Cu), que la vincula de forma indirecta con la metalurgia de base cobre.

Por la naturaleza física y química de la muestra creemos que no es una escoria, pues su cuerpo no es fayalítico. Es un mineral de hierro de la zona de oxidación y la formación de la wüstita debe ori-

ginarse en el propio proceso metalúrgico en el que interviene el cobre. Sobre este tipo de muestra nos referiremos en el comentario del siguiente análisis, cuyas fases permiten una mejor comprensión de su naturaleza.

	1	2	3
Si	0,122	16,112	....
Sb	....	0,032	....
Mn	....	0,018	0,123
As	....	....	....
Al	....	0,935	....
Bi	....	....	0,281
Fe	0,787	31,538	71,401
Mg	0,043	1,057	0,029
Pb	....	0,032	....
Ag	....	....	0,022
Cu	0,02	0,578	....
Sn	0,004	0,027	0,09
S	0,004	0,016	0,015
Zn	0,007	0,01	....
Au	....	0,01	....
Ca	38,111	2,256	....
Cl	0,07	0,021	....
Total	39,005	52,642	72,161

Tabla 4. Composición química de la muestra 4 (en %).

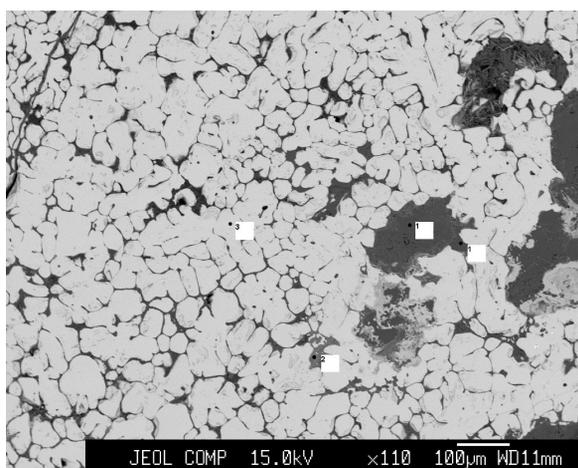


Fig. 10. Espectro de la muestra 4.

5.- Avda. España 2018-12/224-129/número 2.

Descrita como escoria esponjosa posiblemente de hierro, con inclusiones metálicas (¿cobre?). 50 gramos.



Fig. 11. Muestra 5, cortada.

La muestra presenta una fase dominante de óxido ferroso (wüstita), con 69,324% Fe sobre un total de 72,061 (punto 2), cementada en otra fase de silicato de calcio (punto 1), con 14,838% Si y 50,249% Ca.

Junto a ellas aparecen abundantes partículas metálicas de cobre con estaño (punto 3), con 93,168% Cu y 4,242% Sn. El análisis de detalle de una de estas partículas detecta elementos que formarían parte de una aleación de bronce ternario, de cobre, estaño y plomo (puntos 6 y 7), que está rodeado por una pátina de oxidación de cloruro de cobre y estaño (punto 4).

Como en el caso anterior, la muestra es de difícil interpretación, pues no se trata de un mineral, escoria u otro producto de horno. Sin embargo, en este caso la presencia de bronce en forma de pequeñas partículas invita a considerarla con relación a la industria de producción de bronce que hemos detectado en las muestras número 1, 2 y 3. A pesar de la abundancia de wüstita, que caracteriza los residuos de la metalurgia siderúrgica en las escorias de sangrado (tap slags) y escorias de refino (Plano Convext Botton Slags), no contiene hierro metálico (ferrita), que aparece en ellas (Bachmann, 1982), sino partículas metálicas de una metalurgia de base cobre.

Resulta incomprensible la formación de wüstita, un producto que, como hemos comentado, tiene que ver con la metalurgia del hierro, pero su adición con silicato de calcio y el bronce metálico im-

	1	2	3	4	5	6	7
Si	14,838	....	0,031	0,039	0,025	0,011	0,02
Sb	....	0,015	0,093	0,35	....	0,154	0,01
Mn	0,021	0,034	....	....	....	....	....
As	....	....	0,084	0,298	0,015	0,059	....
Al	....	0,123	....	0,005	....	....	0,019
Bi	0,023	0,035	0,031	....	....	....	1,192
Fe	1,093	69,324	1,967	1,077	0,059	0,706	0,168
Mg	0,034	0,653	....	....	....	....	....
Pb	0,047	0,082	0,133	0,592	0,031	0,048	69,369
Ag	....	....	0,016	0,033	0,045	0,041	....
Cu	0,066	....	93,168	52,884	83,478	94,477	9,871
Sn	....	0,043	4,242	7,694	0,083	3,232	0,026
S	....	0,003	0,005	0,044	0,019	....	1,905
Zn	....	....	....	....	....	0,042	0,017
Au	0,008	....	0,047	0,028	....	0,04	....
Ca	50,249	1,749	0,023	....	0,038	....	....
Cl	....	....	....	33,788	0,556	0,036	6,872
Total	63,391	72,061	....	96,832	....	98,846	89,469

Tabla 5. Composición química de la muestra 5 (en %pm).

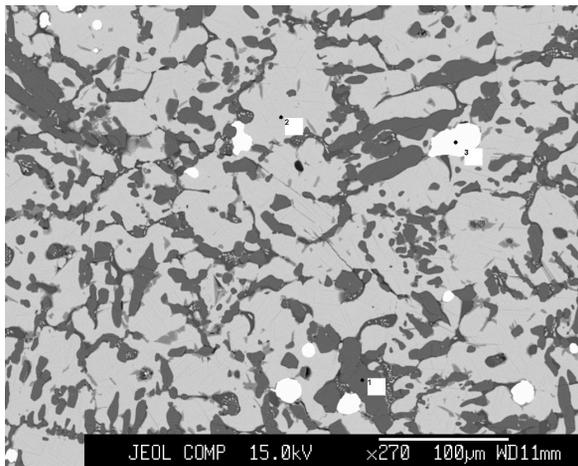


Fig. 12. Espectro de la muestra 5.

puede considerar que estamos en restos siderúrgicos. La wüstita se forma a partir de los 900° C con el tratamiento de óxidos de hierro y puede aparecer en otras metalurgias, por lo que es evidente que en estas muestras se empleó óxido de hierro. La única explicación razonable es que para la preparación

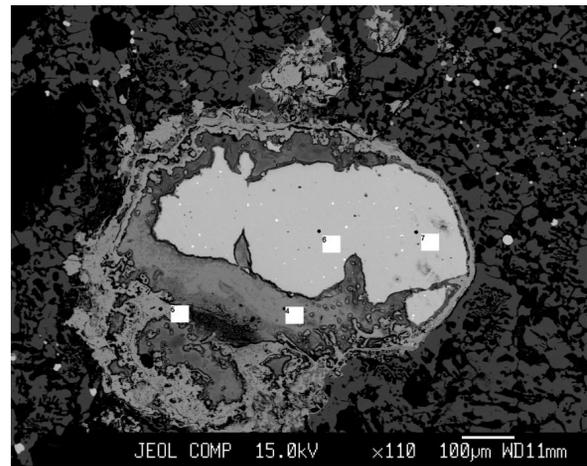


Fig. 13. Detalle del espectro de la muestra 5.

de la aleación se utilizaran crisoles fabricados con tierras limoníticas, ricas en hierro, con un aglomerante de silicato de calcio. El silicato de calcio, al ser hidratado con agua para formar la pasta del vaso, adquiere un alto poder cementante. Las tierras limoníticas se transformarían en wüstita en cuanto

el vaso se colocara un tiempo prolongado en el fuego para propiciar la mezcla fundida de cobre y estaño a una temperatura elevada. La temperatura de fusión del cobre (1085°C) es más alta que la que permite que el óxido de hierro (limonita) se transforme en óxido ferroso, wüstita (900°C), y por tanto la wüstita es un producto casual, sin intencionalidad productiva. El estaño fundiría antes, su temperatura de fusión se sitúa en los 231, 9° C. En definitiva, en nuestra opinión se trataría de los fragmentos de los vasos en los que se llevaba a cabo la aleación de cobre con estaño y plomo metálicos.

En cualquier caso, la materia prima y los materiales que formaban los crisoles, tierras ricas en hierro y en calcio, formaban parte del entorno minero. Aunque pensamos que la utilización de silicato de calcio en estos vasos pudo ser meramente circunstancial, debido a su cercanía y a sus propiedades cementantes, tampoco se puede descartar que se hizo de manera consciente, debido a sus cualidades reconocidas de termoaislante, impermeabilidad y resistencia a la corrosión. En época moderna, los metalurgos recomendaban el uso de cal viva, es decir carbonato de calcio hidratado, para la confección de los crisoles y copelas, como se indica en la obra metalúrgica de Juan de Arphe:

“[...] Hanse de tener hechas también las copelas, las cuales se hacen de diferentes maneras de ceniza, porque unos las hacen de cenizas de sarmientos, ó de retama, mezclada con tuétanos de cuernos de carnero quemados, y molidos: otros también las hazen de cenizas de tronchos de berças, pero se tiene por mejor la que es solos huessos de canillas de vaca, y de carnero, tanto de unos, como de otras, muy bien quemados, de manera que queden blancos. Y estos molidos, y muy cernidos, templese con agua en que se haya desatado un poco la cal viva [...]” (De Arphe, 1678, 9).

6.- Avda. España 2018-12/224-129/número 3.

Clasificada como escoria esponjosa, posiblemente de hierro. 40 gramos de peso.

Como en el caso de las muestras anteriores, la fase dominante es la de óxido ferroso (wüstita), que aparece cementada también en este caso por fases de silicato de calcio y silicato de aluminio y calcio (puntos 1 y 4). En las dos fases de wüstita (puntos 2 y 3), con 68,692 y 69,249 porcientos de Fe, las muestras están muy limpias de otros elementos, aunque en alguna de ellas el cobre (0,102% Cu) adquiere cierta significación (muestra 3). La fase de silicato de aluminio y calcio,

con 12,388% Si, 12,977% Al y 28,085% Ca, nos informa que el material empleado en estos crisoles es en gran parte arcilloso, pues la arcilla responde a una formulación de silicato de aluminio. En esas fases de óxido de hierro no aparece ninguna formación de hierro metálico (ferrita), por lo que no se puede relacionar directamente con un producto siderúrgico.



Fig. 14. Muestra 6, cortada.

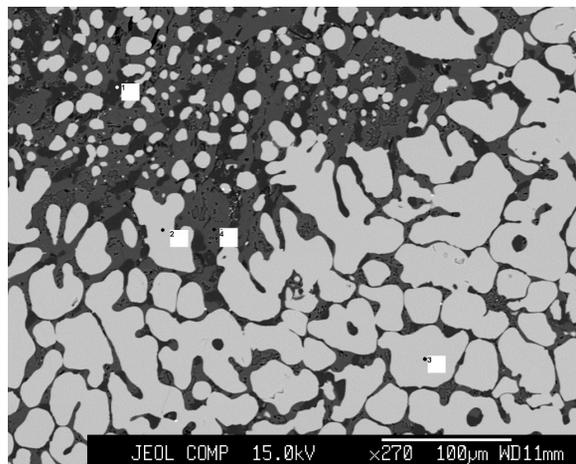


Fig. 15. Espectro de la muestra 6.

#### CONCLUSIONES

Se trata de una de las primeras muestras de escoria analizadas procedentes del casco antiguo de la ciudad de Ibiza. Las muestras analizadas corresponden a productos de un taller metalúrgico dedicado a la industria bronceína. Las tres primeras muestras son restos de elementos metálicos de bronce ternarios (cobre, estaño y plomo) en fase de producción.

Esos metales se mezclarían en vasos (crisoles), a los que corresponden las tres últimas muestras, que

conservan en algún caso restos de esos tres elementos (cobre, estaño y plomo). Como nota interesante, están fabricados en arcillas ricas en hierro y cal, cuya adición posiblemente sea intencional a juzgar por paralelos históricos.

	1	2	3	4
Si	12,388	0,074	0,036	14,937
Sb	....	....	....	....
Mn	0,01	....	0,066	....
As	....	....	....	....
Al	12,977	0,18	0,183	0,057
Bi	0,028	....	....	....
Fe	3,829	69,692	69,249	6,793
Mg	0,618	1,237	1,256	0,718
Pb	0,03	0,065	0,008	....
Ag	....	....	....	0,035
Cu	....	....	0,102	0,034
Sn	....	....	....	0,015
S	....	0,01	....	0,025
Zn	0,065	0,003	0,031	....
Au	....	....	0,02	0,004
Ca	28,085	0,417	0,453	38,1
Cl	0,01	0,001	0,008	....
Total	58,04	71,679	71,412	60,718

Tabla 6. Composición química de la muestra 6 (en %).

En la isla de Ibiza contamos con diversos indicios de metalurgia, bien sean éstos restos de hornos metalúrgicos o escorias. Sin embargo, los datos hasta el momento no son consistentes, ya que en gran parte los hallazgos o no están estudiados debidamente y las menciones en bibliografía se basan en excavaciones y observaciones antiguas, cuya metodología y resultados muchas veces ya no son reproducibles. Por el otro lado, cabe resaltar que desde el punto de vista geológico se conocen en la isla de Ibiza afloramientos de minerales metálicos de sulfuros de plomo (galena argentífera), ningún cuprífero - aunque están documentados algunas concesiones mineras para cobre, y sobre todo de mineral férrico; todos situados en la parte nordeste de la isla de Ibiza, en concreto, en los municipios de Santa Eulàlia des Riu y Sant Joan de Labritja

(IGME, 1974). Contrasta la ausencia del cobre en la isla de Ibiza en relación con su temprano aprovechamiento y uso en las islas vecinas, donde, tanto en Mallorca como en Menorca, se pudo documentar arqueológicamente una minería y una metalurgia de este metal ya en época prehistórica (Salvà, Pirelló y Lluïl, 2018).

Como aproximación a una valoración de la importancia del aspecto metalúrgico en la historia de la isla de Ibiza se realizó una búsqueda informatizada por los fondos depositados en el Museu Arqueològic d'Eivissa i Formentera. Las palabras clave de búsqueda entre el material ingresado procedente de excavaciones realizadas en el ámbito isleño fueron "tobera" y "escoria"<sup>1</sup>.

En primer momento se buscaron hallazgos de objetos relacionados con la metalurgia, como pueden ser las toberas. Hasta el momento se conocen como tal un fragmento de tobera de piedra (s'Argamassa), un fragmento de tobera hecha de metal (Eivissa, Carrer Joan Ramon 1) y diversos fragmentos de cerámica (Sa Caleta), de ellos algunos de doble conducto (Ramon, 2007). Sería interesante y seguramente muy fructífero revisar los fondos para localizar restos de arcilla vitrificada que posiblemente se podrían interpretar como restos de hornos.

Un mayor número de resultados, y más diversos, ofreció la búsqueda por hallazgos de escorias. Además de escorias sin lugar de hallazgo, por proceder de colecciones de buscadores de metales, en el MAEF se custodian hallazgos contextualizados de diversos yacimientos y de diversas épocas.

De las cercanías de la excavación dónde se hallaron las muestras aquí estudiadas, es decir en el ámbito del sector industrial de la ciudad de Aiboshim y Ebusus (Ramon, 2011), conocemos un conjunto de escorias y restos (gotas) de fundición de bronce procedentes de una excavación de urgencia en el solar no. 10-12 del Carrer Lleó en el año 1983-1984 -MAEF 10004- (Costa, 2014). El contexto cultural es de época púnica. Aparecen tanto en estratigrafía de las catas como en rellenos de los pozos de hipogeo. Además, se mencionan un conjunto de fragmentos de escoria de hierro en las excavaciones de urgencia del solar del Carrer Lleó, situado éste entre Avinguda Espanya y Via Púnica, realizadas

<sup>1</sup> Se agradece la puesta a disposición de esta información por parte del departamento de conservación del MAEF, la Dra. Maria Bofill Martínez.

en el año 2001 -MAEF 10034-, procedentes todos ellos de una misma UE 1007, pero sin adscripción cultural.

El sector industrial urbano de época púnica estaba formado por un conjunto de factorías alfareras, de entre las cuales también hay constancia de actividad (fundición) metalúrgica (Ramon, 1985, 71). Además de objetos residuales en los estratos de relleno y/o de nivelación en el ámbito del propio barrio artesanal – como es el caso de las muestras aquí presentadas – tenemos que contar con objetos residuales en tierras utilizadas como relleno en la cercana necrópolis del Puig des Molins.

En el área de la necrópolis de Puig des Molins tenemos constancia del hallazgo de escorias (sin especificar) de las excavaciones antiguas del Puig des Molins, realizadas por José María Maña de Angulo. Además, un fragmento de escoria de hierro procedente del área NO, sector C y D de la intervención del año 2003 -MAEF 21337- (Fernández, Mezquida, 2004). Finalmente, diversos fragmentos de escoria de bronce, procedentes de varias UUEEs de la excavación de las tumbas documentadas en la zona de Sa Capelleta (excavación 2005: MAEF 21736 y excavación 2008: MAEF 21770) de adscripción romana (López *et al.*, 2005; Marlasca y Escandell, 2008).

Al pie de la vertiente Sur del Puig des Molins, en la zona de Ses Figueretes, se hallaron, entre otros, también restos de una zona artesanal, la más alejada del céntrico barrio arriba mencionado. De las excavaciones realizadas en la primera década del siglo XX por Arturo Pérez Cabrero se conocen diversas escorias de bronce. Posiblemente son estas las escorias de este mineral que se hallan inventariadas en los fondos de Museo sin procedencia.

En la zona de Ses Figueretes, Joan Ramon Torres en su Guía Histórica-Arqueológica del 1985 habla de un pequeño horno metalúrgico de época púnica (650 a. C. a 75 d. C.) (Ramon, 1985, 45 fig. G - *pous i forns metal.lurgics* -, 87 fig. No. 5 - *petit forn metal.lurgic* -), sin que se relacionen más noticias. Además, el mismo autor recoge el hallazgo de escoria de bronce y hierro, encontrados en el solar del Hotel Figueretes (Ramon, 1985, 88), que posiblemente sean los que se encuentran inventariados en los fondos de MAEF con el número de inventario 10475.

En el área de la antigua ciudad de Ibiza, en el área perimetrada por las murallas renacentistas, se halló una escoria de hierro en una intervención de

urgencia en el año 2010 en el Baluard de Sant Joan (Roig, 2013). De las excavaciones realizadas en el área que sería la acrópolis de la antigua ciudad de Ibiza desde época púnica hasta nuestros días (Dalt Vila), actualmente ocupada en gran parte por el Castillo de Ibiza, tenemos diversos conjuntos de restos metalúrgicos: un conjunto de fragmentos de escoria de hierro y de bronce de contexto cultural del bajo imperio romano (sondeo 5, excavación 2002, MAEF 21356), un conjunto de fragmentos de escoria de hierro y una escoria de cobre, de contexto cultural almohade en el sondeo 5 de la excavación 2002 (MAEF 21356), y un conjunto de fragmentos de escoria de bronce sin adscripción cultural en el sondeo 9 de la excavación 2002 (MAEF 21356). Además, se conoce un conjunto de fragmentos de escoria de hierro (sondeos XXX, XXXV, XXXVI) y de fundición de bronce (sondeos XXX, XXX-VII) sin adscripción cultural – posiblemente en la parte moderna en la excavación 2006- MAEF 21546- (Ramon y Esquembre, 2017).

De entre los contextos extraurbanos cabe destacar el conjunto de evidencias de una (intensa?) actividad metalúrgica en el poblado fenicio de Sa Caleta; conjunto heterogéneo formado por restos de la cadena operativa de la metalurgia férrica y puntualmente también del tratamiento de la galena, además de los restos de un horno metalúrgico que hacen pensar en un contexto de taller donde se combinan las dos producciones, una vinculada a la transformación de plomo y la obtención de plata y otra siderúrgica. Ya se mencionaron los hallazgos de restos de toberas, en este apartado son de especial mención las escorias de hierro, tanto de sangrado como de forja, como los diversos restos de la transformación de la galena para la obtención de plata (nódulos tratados, goterones de fundición, restos de litargirio). Este contexto fue estudiado por primera vez en el 1992 por María Cristina Ruiz de Smedt (Ruiz, 1992). En 2007 María Carme Rovira Hortalà, en su “Informe arqueometal.lúrgic de materials del jaciment fenici de sa Caleta” (Ramon, 2007, 349-352) resalta el aspecto que, tanto el estudio de minerales de hierro y galena, el estudio de escorias, mejor dicho, arcilla escorificada y los estudios de microresiduos laminares y globulares (es decir, escoria de forja), hasta el momento son preliminares, fragmentarios y hasta incompletos. La autora finaliza resaltando la importancia del yacimiento para el estudio del hierro y la expansión

de su tratamiento por el mediterráneo occidental. Son de especial mención los siguientes conjuntos (Ramon, 2007):

Fragmento de hierro fundido (escoria) muy irregular - E.i. 21 (1987), Nódulos de plomo tratado (escoria) e.j. 28 (excavación 1987, MAEF 10410)

Nódulos de hierro fundido/forjado (escoria) XV-22/1, XV-22/2, XV-22/4-XV-22/10 (excavación 1988, MAEF 10411)

Fragmento de escorias de plomo E.r 17, con restos de fundición de hierro XV-sn (excavación 1989, MAEF 10412)

Restos de cerámica modelada a mano con escoria de fundición adherida pueden interpretarse como fragmentos de crisoles, aa-82 (excavación 1990, MAEF 10413)

Nódulo de galena, escoria de fundición E.p 71.2 (excavación 1992, MAEF 10415)

Fragmento de escoria de bronce, XXXI 72 (excavación 1993, MAEF 10416)

Nódulo de escoria de fundición de plomo, E.fe 5 (excavación 1997, MAEF 10418).

Goterón de plomo fundido y nódulos de escoria de fundición de plomo, XLII 17 (excavación 1998, MAEF 10419)

El tratamiento de la galena y la obtención de plata fue objeto de estudio en un proyecto interdisciplinario sobre las minas de galena argentífera de s'Argentera 2011-2016 cuyos resultados serán publicados en breve, aunque ya publicados de forma preliminar (Hermanns, 2014).

Otro yacimiento que reveló indicios de metalurgia de plomo se encuentra en el Puig de Ses Torres. Se trata de un hábitat al aire libre, caracterizado por una serie de estructuras subcirculares u ovals que generalmente son interpretados como fondos de cabaña. La excavación aportó escasas evidencias de fundición de plomo en un momento impreciso de la época del Bronce (Calvo y Guerrero, 2002, 61-62, 78).

Indicios de fundición metalúrgica, en relación con la construcción o reparación de embarcaciones, la encontramos en el islote de s'Espalmador. En el edificio E se hallaron durante unas prospecciones realizadas en los años 80 del siglo XX restos de escorias de bronce y hierro en superficie (Ramon, 1985, 134).

En las granjas de época púnica y romana, así como en las alquerías islámicas hay muy poca constancia de metalurgia. Esta circunstancia es extraña

al tratarse de instalaciones autosuficientes, por lo que los contextos precisan de una revisión.

Unos de los pocos indicios provienen de dos yacimientos en el Pla de Sant Jordi: Can Pere, donde se recuperaron en una excavación realizada en el año 2008 (MAEF 21767) diversos fragmentos de escoria de hierro, y Can Servent. En este último se hallaron en una excavación del año 2006 (MAEF 21551) restos de escoria de plata (!) y fragmentos de escoria de hierro. Además, en los inventarios consultados se mencionan restos de escoria de arcilla y hierro: posiblemente se trate de un indicio de horno. Si fuera así, el primer resto metalúrgico con adscripción cultural de época romana (Eiriz y Roig, 2008).

Finalmente, cabe mencionar el yacimiento de es Torrent (Puig den Valls). De un relleno proceden dos fragmentos de escoria sin especificar en una intervención del año 2006, MAEF 21560. Es un yacimiento de época púnico-romana no publicado (Diario de Ibiza, 13.11.2014, pág. 3).

Resumiendo, con esta exposición queda patente la potencialidad de un estudio diacrónico pormenorizado de unos 19 siglos de historia de la metalurgia en un ámbito geográfico confinado, como es la isla de Ibiza, que comienza con la metalurgia de un yacimiento fenicio con un periodo de hábitat máximo de unos 50 años hasta el final del dominio árabe con la conquista catalana en el año 1235.

#### BIBLIOGRAFÍA

- De Arphe, J. (1678), *Quilatador de oro, plata y piedras*, Madrid.
- Bachmann, H.G. (1982), *The identification of slag from archaeological sites*, Institute of Archaeology, Occasional Publication, 6, London.
- Calvo Trias, M. y Guerrero Ayuso, V. M. (2002), *Los inicios de la metalurgia en Baleares. El Calcolítico (c. 2500-1700 cal BC)*, Palma de Mallorca.
- Costa, B. (2014), "L'àrea nord de la necròpolis del Puig des Molins: l'excavació del solar núm. 10-12 del Carrer Lleó revisada", *In Amicitia. Miscel·lània d'estudis en homenatge a Jordi H. Fernández* (Ferrando, C. y Costa, B., eds.), Treballs del Museu Arqueològic d'Eivissa i Formentera, 72, Eivissa, 163-186.
- Eiriz, A. I. y Roig, J. (2008), "Can Servent: els vestigis arqueològics de mil quatre-cents anys d'assentaments rurals al Pla de Sant Jordi", *Fites*

- 8, 17-27.
- Fernández, J. H. y Mezquida, A. (2004), “Excavacions en la necròpolis del Puig d’es Molins (2000-2003)”, *Fites* 4, 9-20.
- Hermanns, M. H. (2014), “La zona minera de s’Argentera, Isla de Ibiza (Islas Baleares)”, *Los paisajes mineros de la Península Ibérica: La minería metálica en la Antigüedad* (Arboledas Martínez, L., Contreras Cortés, F. y Moreno Onorato, M. A., eds.), Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada, 24, 301-318.
- Igme (1974), *Mapa metalogenético de España. 49-65. Menorca, Ibiza-Formentera*, Madrid.
- López Garí, J.M., Escandell, M. J. y Marlasca Martín, R. (2005), “El subsòl de sa capelleta: Un tresor arqueològic a salvaguardar. Excavacions arqueològiques 2002-2005”, *Fites* 5, 17-26.
- Marlasca Martín, R. y Escandell, M.J. (2008), “El jaciment del Carrer de sa Capelleta: darreres actuacions”, *Intervencions 2008. Quaderns d’arqueologia Ebusitana 1*, Eivissa. 74-86.
- Ramon Torres, J. (1985), *Els monuments antics de les Illes Pitiüses. Guia històrico-Arqueològica*, Eivissa.
- Ramon Torres, J. (2007), *Excavaciones arqueológicas en el asentamiento fenicio de sa Caleta (Ibiza)*, Cuadernos de Arqueología Mediterránea 16, Barcelona.
- Ramon Torres, J. (2011), “El sector alfarero de la ciudad púnica de Ibiza”, *Yōserim : la producción alfarera Fenicio-Púnica en Occidente* (Costa, B. y Fernández, J. H., eds.), XXV Jornadas de Arqueología Fenicio-Púnica (Eivissa, 2010), Treballs del Museu Arqueològic d’Eivissa i Formentera, 66, Eivissa, 165-221.
- Ramon Torres, J. y Esquembre Bebia, M.A. (2017), “Estructuras urbanas fundacionales de época fenicia en el Castillo de Ibiza”, *El Oriente de Occidente : fenicios y púnicos en el área ibérica* (Prados Martínez, F. y Sala Sellés, F., eds.), VIII edición del Coloquio internacional del CEFYP, Alacant, 405-432.
- Roig Ribas, J. (2013), “Intervenció d’urgència durant l’obra de reordenació de les infraestructures hidràuliques de Dalt Vila en el seu tram pel baluard de Sant Joan”, *Intervencions 2010. Quaderns d’Arqueologia Ebusitana*, 3, 16-26.
- Ruiz de Smedt, M. C. (1992), *Metalurgia de época fenicia en Ibiza: El yacimiento de sa Caleta*, Tesis de Licenciatura, Universidad de Barcelona.
- Salvà Simonet, B., Perelló Mateo, L. y Lull Estarrellas, B. (2018)), “Metalurgia Prehistórica en las Islas Baleares. Cambios y continuidades”, *La Préhistoire et la Protohistoire des îles de Méditerranée Occidentale. Matières premières, circulation, expérimentation et traditions techniques* (Grazia Melis, M., ed.). Atti del Workshop Corte - Université de Corse - 26-27 settembre 2016, Sassari, 69-98.

## CRÉDITOS ILUSTRACIONES

Fig. 1: Rosa Gurrea / Ayuntamiento de Ibiza

Figs. 2-15: Unidad de Microscopía Electrónica, Servicios Generales de Investigación de la Universidad de Huelva.

