

HORNOS, MINERALES Y ESCORIAS: UNA APROXIMACIÓN A LA METALURGIA EXTRACTIVA EN LA PUNA DE JUJUY EN ÉPOCA PREHISPÁNICA Y COLONIAL

FURNACES, MINERALS AND SLAGS: AN APPROXIMATION TO EXTRACTIVE METALLURGY IN THE PUNA OF JUJUY DURING PRE-HISPANIC AND COLONIAL TIMES

BECERRA, M. FLORENCIA^I, NIEVA, NICOLÁS^{II} Y ANGIORAMA, CARLOS I.^I

ORIGINAL RECIBIDO EL 15 DE OCTUBRE DE 2012 • ORIGINAL ACEPTADO EL 10 DE DICIEMBRE DE 2013

RESUMEN

Se presentan los resultados de los análisis arqueométricos realizados sobre escorias recuperadas en seis sitios arqueológicos de la Puna de Jujuy (Argentina), uno probablemente de época prehispánica tardía y los otros cinco de época colonial. Las escorias se observaron y analizaron con técnicas de microscopía óptica, electrónica y de microanálisis químico. Estos resultados, en conjunto con la información contextual y el estudio de las evidencias de hornos conservados en los sitios, apuntaron a conocer la naturaleza de la carga mineral y las condiciones de los procesos metalúrgicos llevados a cabo en cada uno de los sitios. En líneas generales, los resultados obtenidos permiten plantear que en todos los casos se desarrolló la metalurgia extractiva de sulfuros de plomo con contenidos de plata (galena argentífera), con el objetivo de obtener este último metal. Es interesante señalar que hasta el momento no se han identificado diferencias destacadas entre los desechos de fundición producidos por el beneficio en hornos de reverbero y otro tipo de hornos, ni entre la producción colonial y la probablemente prehispánica.

PALABRAS CLAVE: Hornos de fundición; Escorias; Minerales; Arqueometalurgia; Puna de Jujuy.

ABSTRACT

We present the results of archaeo-metric analyses conducted on slags recovered in six archaeological sites in the Puna of Jujuy (Argentina). One of them was probably in use during pre-Hispanic times and the other five in colonial times. The slag pieces were observed and analysed using optical and electronic microscopy, and chemical microanalysis techniques. These results, together with contextual information and the study of the evidence of furnaces preserved in the sites, aimed at ascertaining the nature of the mineral ore and conditions of metallurgical processes carried out in each site. Overall, the results allow us to state that in all cases extractive metallurgy of lead sulfide with content of silver (argentiferous galena) was carried out in order to obtain the latter. Interestingly, marked differences between casting waste produced by the benefit in reverberatory furnaces and other furnaces, or between colonial and probably Hispanic production, have not been identified.

KEYWORDS: Melting furnaces; Slags; Minerals; Archaeometallurgy; Puna of Jujuy.

^I CONICET - ISES • INSTITUTO DE ARQUEOLOGÍA Y MUSEO, FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INSTITUTO MIGUEL LILLO. SAN MARTÍN 1545 (CP 4000), S. M. DE TUCUMÁN, ARGENTINA • E-MAIL: florenciabecerra@gmail.com; carlosangiorama@gmail.com

^{II} LABORATORIO DE FÍSICA DEL SÓLIDO, DEPARTAMENTO DE FÍSICA, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA, UNT. AV. INDEPENDENCIA 1800 (CP 4000), S. M. DE TUCUMÁN, ARGENTINA • E-MAIL: nnieva@herrera.unt.edu.ar

INTRODUCCIÓN

En la Puna de Jujuy, en el extremo norte del actual territorio argentino, se localizan importantes yacimientos de minerales meta-líferos, especialmente de oro, plomo, plata y cinc (Angiorama 2001). Diversas investigaciones han señalado que la presencia de estos recursos habría ejercido una fuerte atracción para la ocupación europea de este territorio a finales del siglo XVI (*e.g.* Albeck y Palomeque 2009; Gil Montero 2004; Palomeque 2006; Sica y Ulloa 2007). Sin embargo, hasta hace un tiempo, se conocía muy poco acerca de la particular dinámica adquirida por esta actividad extractiva, de su escala, de la tecnología puesta en práctica y de las redes que habrían permitido su funcionamiento durante el período colonial y, menos aún, durante momentos prehispánicos. Para comenzar a revertir esta situación, en el año 2004 iniciamos investigaciones arqueológicas sistemáticas en esta región, en el sector sur de la cuenca de Pozuelos (departamentos de Rinconada y Cochino), y en las cercanías del Valle de Coyahuayma (departamento de Rinconada). Los trabajos de campo han permitido el registro y estudio de una gran cantidad y variedad de evidencias materiales de prácticas minero-metalúrgicas de distintas características y escalas, dedicadas al beneficio de los yacimientos de oro y plata (Angiorama y Becerra 2010, 2012).

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de los análisis arqueométricos realizados sobre escorias recuperadas en seis sitios arqueológicos del área de estudio que presentan diferentes características, especialmente en relación con su estado de conservación, dimensiones, escala de inversión y asignación cronológica: Tabladitas 1, Fundiciones 1 y 2, Casablanca, Pan de Azúcar 26 y Chajarahuyco 25 (FIGURA 1). En este sentido, luego de una breve descripción de cada uno de los sitios, se detallan los resultados obtenidos a partir de las muestras analizadas para, en último lugar, realizar una comparación en base al tipo de horno utilizado y

al período temporal en el que las actividades metalúrgicas habrían tenido lugar.

EL ÁREA DE ESTUDIO

La Puna de Jujuy, porción meridional del gran altiplano andino, se localiza en el extremo noroccidental del actual territorio argentino. Ubicado a alturas superiores a los 3600 msnm, presenta una compleja topografía que determina la existencia de cuencas y conjuntos de cuencas, por lo general cerradas, con predominio de fondos amplios y planos, y numerosos valles y quebradas (Krapovickas 1983). El clima es frío y muy seco, con precipitaciones estacionales escasas y una gran amplitud térmica (Turner 1964). La vegetación es xerófila, con una gran escasez de árboles (Coira 1979). La región posee una red hidrográfica poco desarrollada y ramificada a consecuencia del clima (Turner 1964).

Una de las características del área es el hecho que aloja una gran cantidad de yacimientos minerales. A lo largo de las llamadas Sierra de Carahuasi y Sierra de Rinconada, con su prolongación septentrional, se conocen numerosas manifestaciones auríferas, tanto en vetas de fácil acceso como en aluviones. Allí también se localizan importantes yacimientos de plomo, cinc y plata, por ejemplo en la zona de Pan de Azúcar, Chinchillas, Rachaite y La Candelaria (Angiorama 2001; Coira 1979). Como hemos mencionado, fueron estos recursos minerales, sumados a las excelentes pasturas para la cría de animales, los que la convirtieron en un área de enorme interés para los primeros europeos que llegaron al Noroeste Argentino, a pesar de la rigurosidad del ambiente. Pero, además, estudios previos sobre las características que adquirió la producción metalúrgica en la Quebrada de Humahuaca durante época prehispánica tardía (900 – 1535 d.C), nos habían llevado a postular que de la Puna de Jujuy habría provenido al menos parte de los minerales fundidos en los asentamientos quebradeños de la época (Angiorama 2001, 2006).

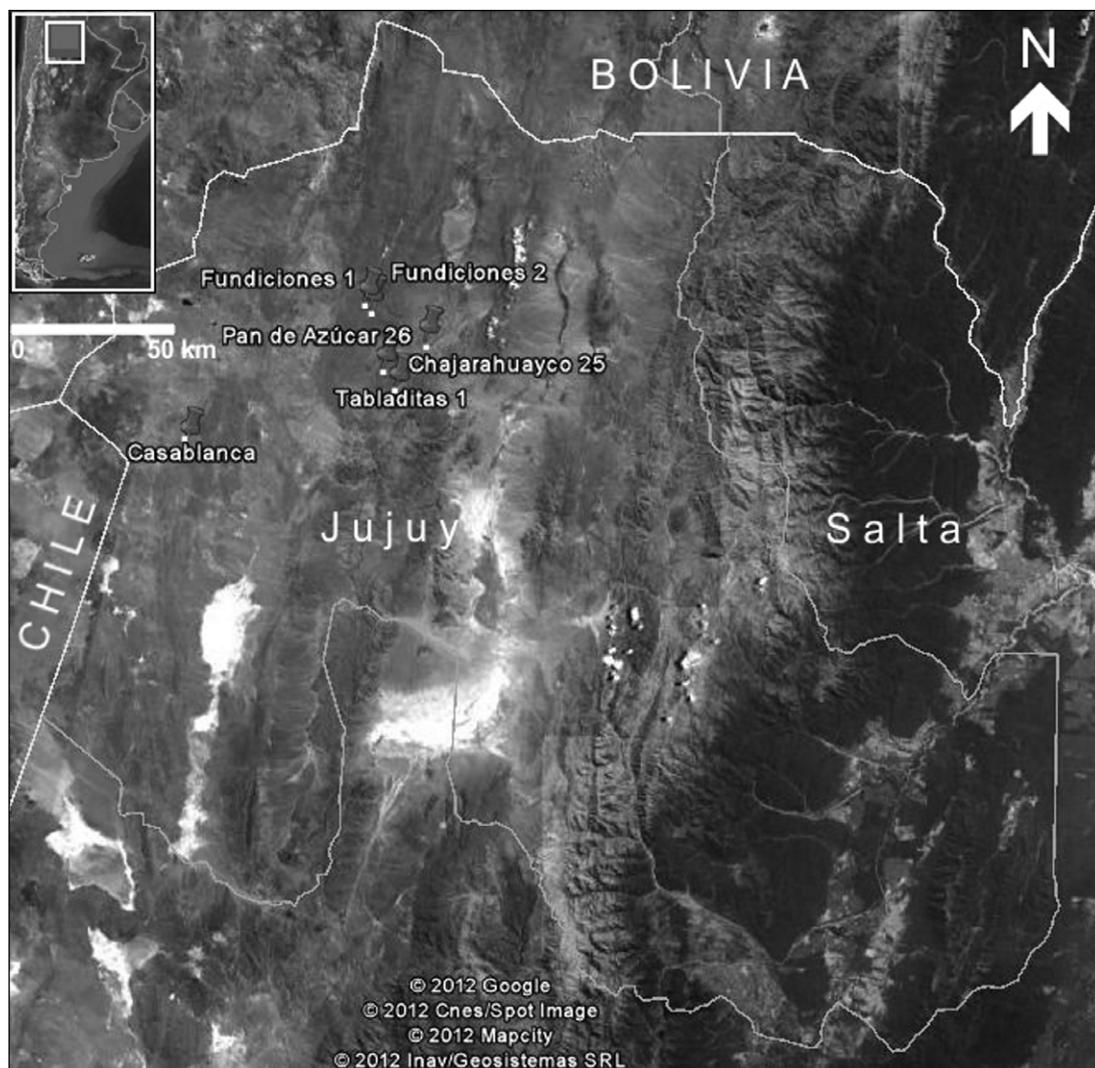


FIGURA 1 • MAPA DE UBICACIÓN DE LOS SITIOS MENCIONADOS.

Las intensas prospecciones realizadas en el sector sur de la cuenca de Pozuelos y en las cercanías del Valle de Coyahuayma permitieron identificar una serie de instalaciones dedicadas al desarrollo de una gran variedad de actividades vinculadas a la extracción y tratamiento de minerales metalíferos (molienda, lavado, selección, fundición y/o refinación) (Angiorama y Becerra 2010, 2012). Entre ellas se encuentran las seis ya mencionadas, sobre las que nos concentraremos en este trabajo, en las que se recuperaron evidencias de metalurgia extractiva de minerales de plomo y plata.

METODOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA

Como resultado de una primera fundición de la mena mineral, se obtiene un producto deseado (en el caso de que la mena sea galena argentífera, será una aleación plúmbica con contenido de plata, que luego deberá ser purificada o refinada) y escorias de fundición. Las escorias son, por definición, desechos del proceso metalúrgico. Aunque hay diversas formas de clasificar a las escorias, este trabajo considera tres tipos: escorias de fundición, de crisol y de combustión (González 2004;

Tarragó y González 1996). Las primeras son mezclas formadas durante la fundición de la ganga y fundentes y consisten principalmente en silicatos y óxidos metálicos (CaO, MnO, FeO, MgO, entre otros) (Hauptmann 2007). Además de las inclusiones de la ganga, éstas presentan generalmente inclusiones metálicas y mineral de la mena utilizada en la fundición (Bachmann 1980; Cohen *et al.* 2008). En cuanto a las de crisol, éstas son resultado de la refinación y tienen características físicas y de composición diferentes a las escorias de fundición: son más livianas, con vesículas de gas y más heterogéneas. No hemos registrado este tipo de escorias en los sitios analizados. Las escorias de combustión consisten en nódulos de sedimento limo-arenoso vitrificado, los cuales se generan en el contacto del mineral a fundir y el piso o paredes del horno y/u otro material refractario. El estudio de las mismas permite identificar el mineral fundido o gotas de metal atrapado, tal como el análisis de las escorias de fundición. Los sedimentos consolidados con una capa de esmalte vitrificado, de color verde o amarillo, recuperados en los sitios estudiados pueden adscribirse a esta última categoría de escoria.

La formación de una escoria que concentre eficazmente las impurezas sin atrapar el metal reducido, con adecuada viscosidad y bajo punto de fusión, depende de una serie de parámetros: la composición de las menas, los fundentes, las relaciones de carga entre combustible y mineral, el control de la ventilación y el modo de operación del proceso total (González 2004). El análisis de escoria metalúrgica permite acercarnos, a partir de la composición química de su matriz y de las formaciones cristalinas atrapadas en ella, al mineral de aporte (mena) usado en la fundición -primer paso de la cadena metalúrgica-, proporcionándonos información sobre las técnicas empleadas y las decisiones tecnológicas vinculadas al tipo de metal producido (Cohen *et al.* 2008).

Son muy escasos los estudios realizados en este tipo de materiales en nuestro país. Los

primeros avances fueron presentados por Cabanillas *et al.* (1996) y Gluzman y González (2005) a partir del análisis de escorias de fundición de minerales de cobre en el Valle de Yocavil. A ellos se suma un primer avance publicado sobre el análisis de muestras de uno de los sitios abordados en esta oportunidad, Fundiciones 1 (Becerra *et al.* 2011). Se ha decidido incluir estos datos en este artículo a fin de compararlos con los realizados sobre muestras de los otros sitios con evidencias metalúrgicas de la región de estudio.

En cuanto a la metodología empleada, de cada uno de los sitios registrados, se seleccionaron muestras de escorias de fundición y de combustión con el objetivo de estudiar los procesos metalúrgicos desarrollados. Se analizaron en total 22 muestras: 5 provenientes de Tabladitas (1 de aspecto metálico, 2 escorias de fundición y 2 de combustión); 5 de Fundiciones 1 (4 escorias de fundición y 1 de combustión); 2 muestras de escorias de fundición de Fundiciones 2; 3 muestras de Casablanca (2 de fundición y 1 de combustión), 5 de Pan de Azúcar 26 (2 de fundición y 3 de combustión) y 2 escorias de fundición de Chajarahuyco 25 (una sumamente porosa).

Se prepararon las muestras para su observación microscópica desbastando y puliendo con pulidora metalográfica (PRAZIS PUL 01) con papeles de lija de distinta granulometría (220 a 2000) y paños con pasta de diamante (hasta 3 micrones). Las muestras fueron observadas en un microscopio óptico (MO) metalográfico de reflexión Olympus BX60M. En ningún caso se procedió a atacar químicamente las superficies de las muestras. Para obtener imágenes con mayor resolución, se utilizó el microscopio electrónico de barrido (MEB) JEOL Modelo JSM 6480 LV. Para la observación en este microscopio, las muestras fueron grafitadas, ya que no eran conductoras (Denton Vacuum LLC Desk IV). Se empleó el sensor de electrones retrodifundidos que permite identificar fases de diferente composición química.

En las fases observadas de las distintas microestructuras se realizaron análisis cuanti-cualitativos por espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (Thermo Electrom, modelo NORAM System SIX NSS-100). La interpretación de los datos se realizó fase por fase identificada en cada muestra y sobre la base de la bibliografía de estudios arqueométricos similares (especialmente Cohen *et al.* 2008; Gener *et al.* 2005; Goldenberg 1996; Rehren *et al.* 1999; Thibodeau *et al.* 2007; Van Buren y Cohen 2010), de tratados de mineralogía y de interconsultas con especialistas. En el próximo apartado describiremos brevemente cada uno de los sitios y detallaremos los resultados obtenidos a partir de los análisis de las escorias de cada uno de ellos.

RESULTADOS OBTENIDOS

TABLADITAS 1

En Tabladitas 1, en el sur de la cuenca de Pozuelos, se han encontrado restos de un horno de fundición que se encuentra casi completamente destruido pero conserva una estructura en forma de “T” de 1,2 x 0,8 m. Junto a él, se halló una gran cantidad de rocas termoalteradas que pertenecieron originalmente a la estructura, y numerosos fragmentos de minerales y escoria metalúrgica (FIGURA 2). Si bien no hemos podido datar directamente la estructura de combustión, el hecho de que se localice en un asentamiento del siglo XIV que no presenta evidencias coloniales en superficie, y que posea características morfológicas diferentes a las de otros hornos de fundición que hemos asignado a época colonial, nos permite brindarle tentativamente una cronología prehispánica (Angiorama y Becerra 2010).

En relación a las muestras recuperadas en este sitio, una de ellas (TA-12) merece mayor atención ya que es diferente a todas aquellas analizadas hasta el momento. No presenta las características de las escorias de fundición,



FIGURA 2 • CIMIENTOS DEL HORNO REGISTRADO EN TABLADITAS 1.

mayormente vítreas, ni tampoco puede adscribirse a las escorias de combustión. Se trata de un fragmento de aspecto oscuro, opaco en el exterior pero gris metálico en fractura fresca. Los análisis efectuados indican que se compone de una matriz de entre 70 a 96% en peso (%w) de óxido de plomo (PbO) y de plata (Ag) en variada proporción (1,6 a 4,6%w). Dentro de esta matriz, se observan en MEB modo electrones retrodifundidos, una fase muy oscura, en puntos dispersos, los cuales presentan mayor porcentaje de Ag (entre 4 a 44%w), continuando el alto contenido en plomo (Pb) (FIGURA 3). El contenido de azufre (S) es bajo (1 a 3%w). Esta composición nos indica que esta muestra, no se trataría de una escoria sino de una aleación de Pb-Ag, producto de la fundición de minerales de plomo ricos en plata, que luego debería haber sido refinada para separar el metal de interés (plata) del desecho, ya en forma de óxido de plomo o litargirio.

Las dos muestras de escorias de fundición recuperadas en el sitio presentan otras carac-

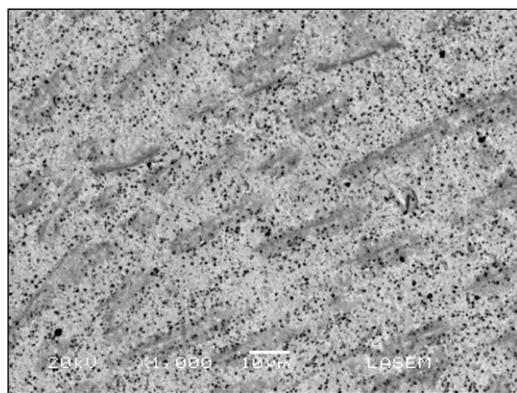


FIGURA 3 • MATRIZ DE MUESTRA 12 DE TABLADITAS 1. MICROGRAFÍA 1000X, MEB, MODO ELECTRONES RETRODIFUNDIDOS, DONDE SE OBSERVA LA MATRIZ MAYORMENTE COMPUESTA POR ÓXIDO DE PLOMO (EN TONO GRIS) Y LA FASE OSCURA, EN PUNTOS DISPERSOS, DONDE SE DETECTARON ALTOS PORCENTAJES DE PLATA.

terísticas. Una de ellas (TA-13), tiene una matriz de 60%w de silicio (Si) y 12 a 17%w de antimonio (Sb) (no se detectó PbO), mientras que la otra (TA-14) presenta 27%w de sílice (SiO_2) y 53%w de PbO (TABLA 1). En esta última, se observan inclusiones claras de alto contenido en Pb (73%w) y poco de Ag (2,7%w) (ver TABLA 2).

En cuanto a las escorias de combustión, una de ellas no presenta PbO sino alto contenido de hierro (Fe) y muy bajo de Ag (0,1 a 0,3%w). En el segundo caso (TA-16), la matriz está compuesta mayormente por aluminosilicatos, pero tiene 16%w de PbO también. Presenta inclusiones circulares que, en microscopio óptico, presentan un aspecto metálico, como “mal pulido”. En MEB, se distinguen distintas fases según su composición: una clara casi completamente formada por Pb y una más oscura que contiene tanto Ag en altos porcentajes (hasta 73%w) como también antimonio y cobre (Cu) (alrededor de 50%w y 45%w respectivamente) (FIGURA 4, TABLA 2).

Como se observa, las escorias de este sitio presentan ciertas diferencias entre sí. Las muestras fueron recuperadas en superficie por lo que no tenemos certeza de que pertenezcan a un solo evento de fundición.

Esta diversidad es la esperable, además, ante la posibilidad de fundición de minerales de yacimientos diferentes, opción probable en este caso, ya que el horno no se localiza en la cercanía de una mina conocida, como ocurre en otros sitios en donde la fuente del mineral fundido fue casi con seguridad constante. Por otra parte, las escorias de una misma fundición y mena pueden diferenciarse cuando no se ha dado una eficiente mezcla del material durante el proceso. Más allá de estas distinciones, los resultados detallados permiten afirmar que el horno de Tabladitas 1 se empleó para la metalurgia extractiva de minerales de plomo y plata, cuyo producto probablemente fue semejante al de la primera muestra descrita (TA-12). Los desechos consisten en una matriz vítrea rica en plomo o en elementos posiblemente presentes en la mena, como hierro o antimonio. En ella se distinguen ciertas inclusiones esféricas conformadas por plomo, y porcentajes menores de plata, cobre o antimonio. Como en casos similares en la bibliografía (*e.g.* Cohen *et al.* 2008; Gener *et al.* 2005), la plata o el cobre muestran una afinidad natural con el plomo metálico, lo que hace que se combinen con éste en lugar de perderse en la matriz de escoria. Sin embargo, esta reacción requiere de condiciones oxidantes y de temperaturas altas, punto al que volveremos más adelante.

FUNDICIONES 1 Y 2

Fundiciones 1 y 2 son dos complejos, localizados a 2,5 km aproximadamente uno del otro, en el valle homónimo, también en el sur de la cuenca de Pozuelos. El primero se encuentra a metros de un actual campamento minero (Mina Chinchillas) y consiste en cuatro hornos de fundición construidos con rocas y alineados al pie de una ladera, paralelos a un curso de agua temporario. Uno de ellos se encuentra completamente conservado, con una bóveda de aproximadamente 3 m de diámetro, una caja de fuego prismática y una chimenea cónica. Presenta orificios de respiradero, bocas laterales y una abertura circular central en su bóveda. Sus características estructurales nos

M	MgO	F	Al	Al ₂ O ₃	Si	SiO ₂	S	Cl	K ₂ O	Ca	CaO	Mn	Fe ₂ O ₃	Co	Zn	Ag	In	Mo	SrO ₂	Sb	Sb ₂ O ₃	PbO
TA-12	300.000x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,83	0	0	0	0	0	96,2
TA-12	300.000x	0	0	0	0	0	23,5	0	0	0	0	0	0	0	0	4,63	0	0	0,31	0	0	71,6
TA-12	300.000x	0	3,91	0	0	3,55	1,72	0	0	0	0	0	0	0	0	1,63	0	0	0	0	0	89,2
TA-12	50.000x	0	0	0,59	0	1,31	1,74	1,3	0	0	0	0	0	0	0	2,09	0	0	0,44	0	0	76,8
TA-13	50.000x	0	6,7	0	61,1	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17,1	0	4,03
TA-13	50.000x	0	3,11	7	0	56,8	0	9,46	2,02	13,8	0	0	0	0	0	0,93	0	0	0	6,86	0	0
TA-13	50.000x	0	0	8,1	0	64,7	0	0,89	0	13,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,9	0	0
TA-13	50.000x	0	0	16,4	0	73,8	0,65	0	8,6	0	0	0	0	0	0	0,55	0	0	0	0	0	0
TA-14	50.000x	1,5	5,11	0	5,28	26,8	0	0,34	0	7,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53,7
TA-14	50.000x	1,55	0	0	4,42	24,4	0	0,12	0	6,47	0	6,3	0,31	0,3	0,3	0,68	4,2	0	0	0	4,86	46,7
F1-1	300.000x	0,98	0	0	6,18	30,06	0,6	0,17	1,27	5,2	0	4,41	0	5,44	0	0	0	0	0	0	0	45,7
F1-1	300.000x	1,27	0	0	7,17	30,82	0	0,22	0,4	4,12	0	5,93	0,29	5,73	0,37	0	0	0	0	0	0	43,7
F1-1	200.000x	1,41	2,03	0	6,58	32,52	0,03	0,17	1,2	6,8	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	48,7
F1-2	50.000x	0	1,39	0	4,18	21,62	0	0	0,68	1,09	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	67,71
F1-2	50.000x	0	1,8	0	4,49	24,56	0	0	1	0,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66,94
F1-2	50.000x	0	1,84	0	4,16	22,13	0	0,2	1,15	0,8	0	0	0	0	0,45	0	0	0	0	0	0	69,26
F1-3	300.000x	0	1,94	0	4,5	18,19	0,17	0,13	0	0	0	0	0	0	0,06	1,71	0	0	0	0	4,39	68,91
F1-3	300.000x	0	0	0	4,8	18,47	0,77	0,32	0,98	0	0	1,62	0	0,03	0,36	0	0	0	0	0	2,5	70,16
F1-4	300.000x	0,29	0	0	5,45	25,31	0	0	0	2,38	0	0	0	0	0	0	2,49	0	0	0	0,83	56,17
F1-4	300.000x	0	0	0	5,14	26,52	0	0,02	0,99	1,56	0	7,01	0	0,07	0	0	0	0	0	0	0	58,68
F1-4	100.000x	0	2,34	0	5,33	26,66	0	0,35	0,84	1,86	0	0	0	0	0,37	0,39	0	0	0	0	0	61,88
F2-6	50.000x	0,57	0	0	5,84	35,6	0	0,16	1,7	4,18	0	5,55	0,24	4,7	0,18	0	0	0	0	0	0	41,4
F2-6	50.000x	0,72	0	0	6,3	34,6	0	0,5	1,7	3,92	0	4,3	0,3	4,1	0	0	0	0	0	0	0	43,6
F2-7	300.000x	0,48	0	0	4,48	22,1	0	0,09	0,9	0	0	5,47	0	3,5	0	0	0	0,75	0	0	8,56	53,7
F2-7	300.000x	0,79	0	0	3,95	23	0	0,14	0,7	0	0	5,85	0	3,5	0,25	0	0	0	0	0	10,18	51,6
PA-17	50.000x	1,51	8,87	0	4,76	26,8	0	0,8	0	7,7	0	0	0,6	0,6	0	0,3	0	13,3	0	0	0	35,3
PA-17	50.000x	1,06	2,43	0	5,59	33,2	0	0,8	0	9,6	0	0	0	0	0,3	0,1	6,99	0	0	0	0	40
PA-18	50.000x	1,83	9,73	0	6,65	30,3	0	0,6	0	6,8	0	0	0,8	0,8	0	0,3	6,11	7,26	0	0	0	29,7
PA-18	50.000x	2,04	10,7	0	7,54	32,6	0	0,4	0	7,1	0	0	0,6	0,6	0	0,6	5,65	0	0	0	3,19	30,2
PA-18	50.000x	2,09	7,77	0	6,78	32,3	0	0,7	0,2	7,3	0	0	0	0	0	0,6	5,12	3,86	0	0	0	33,4
CH-23	50.000x	0	5,4	0	3,26	21,8	0	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0,79	0	1,86	0	0	10,89	55,1
CH-23	50.000x	0,95	7,6	0	4,05	21,5	0	0,12	0	0	0	0	0,52	0,52	0	0,28	0	1,28	0	0	12,11	51,5
CA-8	300.000x	0	2,06	0	4,18	35,6	0	0,39	0	5,23	0,5	0	0	6,1	0,33	3,53	1,98	0	0	0	0	39,4
CA-8	50.000x	0	0	0	11,59	59,7	0	0,22	6,5	0	0	0	0	0	3,4	0,02	0	1,42	0	0	0	17,1
CA-9	50.000x	0,94	0	0	5,25	38,2	0	0,48	1,7	5,8	0,49	1,33	0	4,2	0,23	0	0,47	0	0	0	0	41
CA-9	50.000x	1,7	0	0	5,99	37,6	0	0,53	1,7	6,01	0	1,29	0	0	0	0,38	0	0	0	0	0	44,8

Tabla 1 • Composición en porcentaje en peso en óxidos (%w) de las matrices de las escorias de fundición analizadas por espectroscopía de energía dispersiva de rayos X.

M	Descripción	MgO	F	Al ₂ O ₃	SiO ₂	S	Cl	Cu	Cu ₂ O	CuO	K ₂ O	CaO	Mo	Fe ₂ O ₃	As ₂ O ₃	Co	Ag	Sb ₂ O ₃	ZnO	W	PbO
TA-14	Inclusión circular brillante 300.000x	0,74	0	3	12,4	0	0,44	0	0	0	0	3,12	0	2,26	0	0	2,69	1,71	0	0	73,6
TA-16	Fase blanca en círculo 300.000x	0	0	0	1,59	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,51	4,39	0	0,4	92,9
TA-16	Fase blanca en círculo 300.000x	0	3,7	0,92	0	1,77	0,27	0	0	0	0	0	0,66	0	0	0	0,67	0	0	2,2	89,8
TA-16	Fase gris en círculo 50.000x	0	0	0	0,27	0	0	0	45,27	0	0	0	0,12	0	0	0	0,11	52,82	0	0	0,65
TA-16	Fase blanca en círculo 300.000x	0	0	0,71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	8,64	0	0	90,4
TA-16	Fase blanca en círculo 300.000x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,76	0	0	0,7	98,6
TA-16	Fase gris más oscura en círculo 300.000x	0	0	0	1,14	0,82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,9	96,1
TA-16	Fase gris más clara en círculo 300.000x	0	0	0	0,69	0,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,71	0	0	0	97,9
TA-16	Fase gris más clara en círculo 300.000x	0	0	0,54	0	0,54	0	46,64	0	0	0	0	0	0	0	0	0,42	51,14	0	0	0
TA-16	Fase gris clara en círculo 300.000x	0	0	0,54	0	0,52	0	43,97	0	0	0	0	0	0	0	0	0,36	52,97	0	0	0,67
TA-16	Otro círculo, en zona clara homogénea 50.000x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76,6	22,68	0	0	0
TA-16	Otro círculo homogéneo 50.000x	0	0,54	0,92	0	1,99	0,34	0	0	0	0	41,9	0	0	0	0	0,81	0	0	0,1	53,4
TA-16	Fase gris claro en círculo del borde 50.000x	0	0	0,56	0	18,9	0	0	0	0	0	5,62	0	0	0	0	0,43	0	0	1,3	73,2
F1-3	Fase blanca en círculo	0	0,33	0,29	0	5,65	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	1,33	0	0	0	91,97
F1-3	Fase gris clara en círculo	0	0,94	0,475	0	4,73	0	0,48	0	0	0	0	0	0	0	0	0,99	0	0	0	91,44
F1-3	Fase gris oscura en círculo	0	0,55	0,38	1,08	6,87	0	24,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0,95	0	0	0	65,73
F1-3	Fase negra en círculo	0	0	0,99	2,65	4,93	0,7	19,97	0	0	0	0	0	0	0	0	1,65	0	0	0	68,72
F1-3	Análisis total 6.000x	0	0	0,76	0	0	0	0,48	0	0	0	0	0	0	0	0	2,49	0	0	0	96,27
F1-3	Círculo menor claro	0	0	1,1	0,87	15,15	0	3,38	0	0	0	0,18	0	0	0	0	0,67	0,3	0	0	53,66
F1-3	Círculo menor oscuro	0	0	3,51	15,58	1,12	0,4	0	0	0	0	0,56	0	0	0	0	0,74	3,1	0	0	74,97
F1-4	Fase blanca en círculo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34	0	0	0	99,66
F1-4	Fase gris en círculo	0	0	1,28	0	0	0,3	0,13	0	0	0	0	0	0	0	0	1,17	0	0	0	97,14
F1-4	Fase gris oscura en círculo	0	1,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,27	0	0	0	96,3
F1-4	Fase negra en círculo	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,92	3,96	0	0	0	94,59
F1-4	Análisis total círculo 13.000x	0	0,24	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,27
F1-4	Círculo menor claro	0	0	3,86	17,69	0	0,3	0,65	0	0	0	1,09	0	3,58	0	0	0,51	2,24	0	0	70,05
F1-4	Círculo menor oscuro	0	0	4,27	23,69	0	0,3	0,06	0	0	1,28	1,44	0	0	0	0	0,52	0	0,44	0	66,3
F2-6	Cuadrado dorado alrededor del círculo 50.000x	0	1,55	0,26	0	21,2	0	0	0	0	0,6	1,51	0	5,67	0	0	0,63	3,27	0	0	61,53
F2-6	Cuadrado dorado alrededor del círculo 50.000x	0	0	0,42	0	20,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0	76,7
F2-6	Fase blanca en círculo 300.000x	0	0	0,41	0	0,76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,14	0	0	0	96,7
F2-6	Fase gris en círculo 300.000x	0	0	1,07	0	0	0,59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,92	0	0	0	95,4
F2-6	Círculo pequeño brillante	0	0	2,28	9,29	16	0	0	0	0	0	0,44	0	0	0	0	0,31	0	0	0	71,7
F2-7	Fase blanca de forma irregular	0	0	0,27	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81,8
F2-7	Fase blanca de forma circular	0	4	1,17	4,61	2,59	0	0	0	0	0	0	25,9	0	0	0	0,61	0	0	0	61,1
CA-8	Círculo blanco 50.000x	0	0	0,14	0	22,2	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,76	0	0	0,4	75,2
CA-8	Fase gris rodeando al círculo blanco 50.000x	0	0	0,75	0	23,8	0	73,3	0	0	0	0	0	0	0	0	1,78	0	0	0	0,38
CA-8	Inclusión negra alrededor círculo blanco 50.000x	0	0	2,21	12,3	16	0	0	0	63,8	0,4	0,33	0	2,19	0	0	1,18	0	0	0	0,54
CA-8	Zona intermedia entre gris y blanco del círculo	0	0,41	0,46	0	0,87	0,47	0	6,13	0	0	25,1	0	0	0	0	3,14	0	0	0	63,4
CH-23	Inclusión brillante 50.000x	0	0	0,69	1,23	0,35	0	0	0	0	0	0	0,92	0	0	0	1,06	0	0	0	95,5
CH-23	Punto blanco en la matriz 300.000x	0	0	0	0	0,75	0	0	0	0	0	42,3	0	0	0	0	1,06	0	0	0	55,9
CH-23	Punto oscuro en la matriz 300.000x	0,62	3,18	1,26	11,7	1,46	0	0	0	0	0	4,3	0	0	0	4,01	1,82	9,68	0	0	61,9
CH-23	Punto blanco 100.000x	0	0,57	1,11	0	15,8	0	0	0	0	0	4,56	0	0	0	0	0	0	0	0	78

Tabla 2 • Composición en porcentaje en peso en óxidos (%w/w) de las inclusiones metálicas de las escorias analizadas por espectroscopía de energía dispersiva de rayos X.

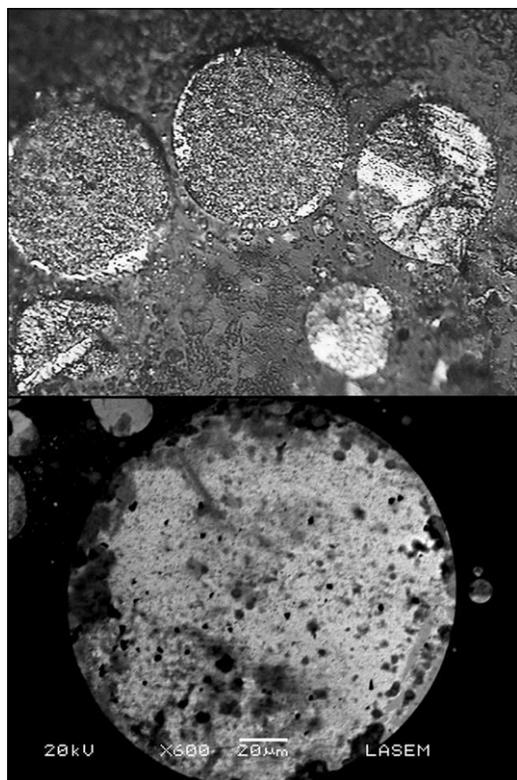


FIGURA 4 • INCLUSIONES CIRCULARES EN MATRIZ DE ESCORIA DE COMBUSTIÓN DE TABLADITAS 1. MICROGRAFÍAS: ARRIBA (125X, MO), DONDE SE OBSERVA SU "ASPECTO RUGOSO O MAL PULIDO", ABAJO (600X, MEB, MODO ELECTRONES RETRODIFUNDIDOS) SE DISTINGUEN LAS DOS FASES PRESENTES: LA CLARA CASI COMPLETAMENTE FORMADA POR Pb Y UNA MÁS OSCURA QUE CONTIENE TANTO Ag EN ALTOS PORCENTAJES JUNTO CON ANTIMONIO Y COBRE.

permiten clasificarlo como un horno de reverbero¹ (ver FIGURAS 5 y 6). El segundo horno es levemente menor y se conservan la bóveda y la chimenea parcialmente. De los hornos 3 y 4, de menor tamaño, se observan sólo sus cimientos, aunque parecerían ser del mismo tipo que los mayores. En los alrededores de estas estructuras, se recuperaron escorias metalúrgicas y algunos minerales metalíferos en superficie (Becerra 2009, 2012; Becerra *et al.* 2011).

Fundiciones 2 consiste en cinco hornos de similar construcción, con el diseño de caja de fuego, bóveda y chimenea presente en el complejo 1. Sin embargo, en este caso, tres de esos hornos se encuentran en el interior de un recinto preparado para albergarlos. A unos 4 m de la primera estructura se localiza el cuar-

to horno, de mayores dimensiones (2,5 m de diámetro externo y 4,4 m de longitud total). El mismo está conformado, como los anteriores, por una caja de fuego, bóveda y chimenea conectados entre sí, y presenta derrumbes de algunos de sus muros. El quinto horno se localiza a 8 m de este último. Es el de menor tamaño con una bóveda de 0,8 m de diámetro externo. Se encuentra completo y, a diferencia de los anteriores, no presenta vitrificado ni en el interior de la bóveda ni en la chimenea. En este sitio se registran, además, dos posibles recintos habitacionales (Angiorama y Becerra 2010; Becerra 2012) (ver FIGURA 6).

De las muestras analizadas de Fundiciones 1, tres de las escorias de fundición (F1-2, 3 y 4) se componen mayormente de una matriz de aluminosilicatos ricos en plomo (PbO entre 50-70%w y SiO₂ entre 20-30 w%) (TABLA 1). En dos de las tres (F1-3 y F1-4), se detectaron inclusiones metálicas (en forma de círculos con distintas fases y círculos más pequeños homogéneos y generalmente claros y brillantes), que presentaron un porcentaje alto de PbO (de entre el 80 a casi el 100%w en algunos casos) junto a bajos porcentajes de Ag (de 0,5 a 8%w en un punto) y, aunque no frecuentemente, también Cu (Becerra *et al.* 2012) (TABLA 2).

La cuarta muestra de escoria de fundición (F1-1) presenta otras características ya que no tiene una matriz predominante sino varias fases cristalizadas, poco comunes. Aunque se necesitan mayores estudios, se identificaron provisoriamente cristales de hardystonite (Ca₂Zn[Si₂O₇]) y una fase de fundido consistente primariamente de hierro y zinc (Zn) con antimonio, hallada generalmente en los procesos de fundición del plomo. Además, se identificaron fases intermedias con características de fluorita y una, con forma hexagonal, con altos porcentajes de Sb, Si, Fe y Ca.

En el caso de la escoria de combustión, el esmalte tiene alto contenido de PbO, aunque no llega a los porcentajes presentes en las matrices de las escorias de fundición. Se observaron, además, algunas figuras o fases diferentes.

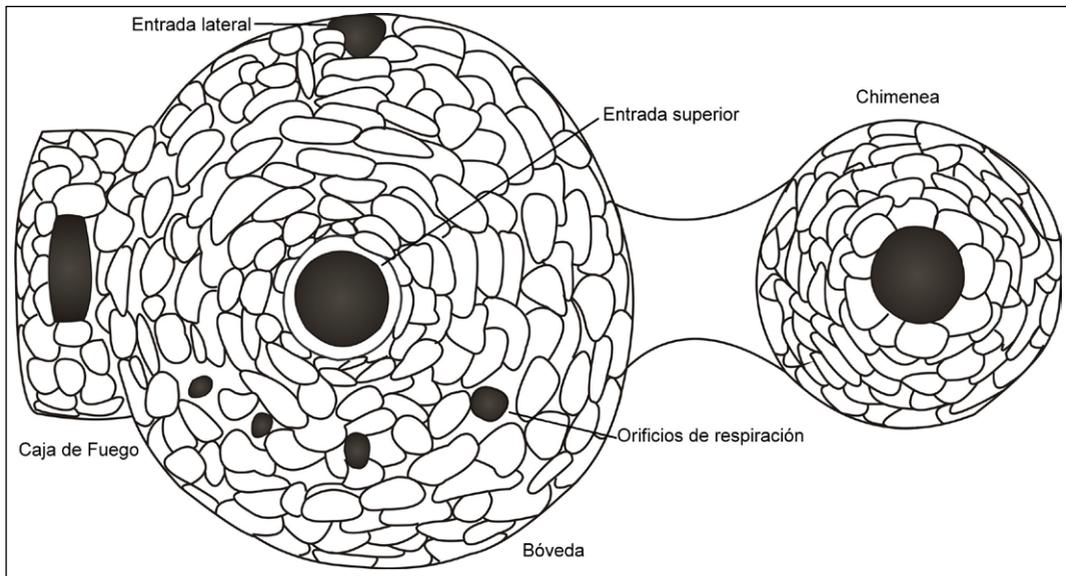


FIGURA 5 • ESQUEMA DE UN HORNO DE REVERBERO, DONDE SE INDICAN LAS TRES ESTRUCTURAS QUE LO COMPONEN: CAJA DE FUEGO, BÓVEDA Y CHIMENEA, CON SUS ENTRADAS Y ORIFICIOS DE RESPIRACIÓN.



FIGURA 6 • INCLUSIONES CIRCULARES EN MATRIZ DE ESCORIA DE COMBUSTIÓN HORNO DE REVERBERO EN FUNDICIONES 1 (HORNO 1, ARRIBA, COMPLETO) Y EN FUNDICIONES 2 (HORNO 4, ABAJO, CAJA DE FUEGO Y BÓVEDA).

Ninguna de ellas presenta altos porcentajes de PbO (el mayor detectado fue 4,92%w). Se observaron formas tipo “agujas” y tubulares con contenido de aluminosilicato y K₂O considerable, y fases compuestas principalmente de aluminosilicatos y óxido de hierro (Fe₂O₃), con presencia de arsénico (As). Se detectaron, además, otras fases, como una inclusión gris inserta en el esmalte, consistente en sílice puro (probablemente un grano de arena) con un pequeño porcentaje de Ag (Becerra *et al.* 2012).

Las dos muestras analizadas de Fundiciones 2 (F2-6 y 7) presentan matrices vítreas ricas en plomo (23-35%w de SiO₂ y 42-53%w de PbO) con hierro, calcio, potasio y aluminio en bajas proporciones (TABLA 1). También se registra plata en porcentajes del orden de 0,2%w aproximadamente. En esta matriz se observan fases brillantes, en las que se detecta cerca de 20%w de S y un 76-82%w de PbO con mínima presencia también de Ag. Algunos círculos blancos se componen casi únicamente de PbO (95-96%w) y Ag (2,1 a 2,9%w) (TABLA 2). Se observan también inclusiones oscuras alargadas, con alto contenido de calcio (Ca) (23-36%w), posiblemente wollastonita -CaSiO₃- (FIGURA 7).

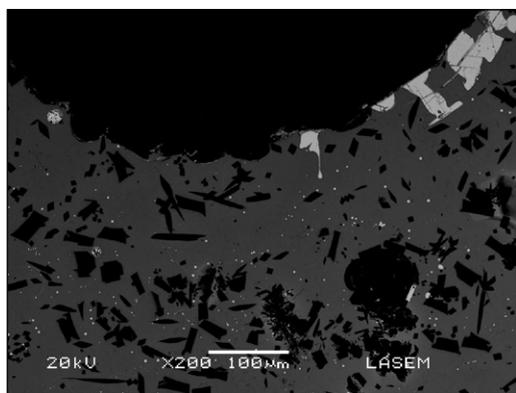


FIGURA 7 • MATRIZ DE ESCORIA METALÚRGICA DE FUNDICIONES 2 (MICROGRAFÍA A 200X, MEB, MODO ELECTRONES RETRODIFUNDIDOS). SE OBSERVAN LAS FASES CLARAS, DE FORMA IRREGULAR, COMPUESTAS POR SULFURO DE PLOMO, LOS CÍRCULOS DE PLOMO Y PLATA, Y LAS FASES OSCURAS, RECTANGULARES, CON ALTO CONTENIDO DE CALCIO, POSIBLEMENTE WOLLASTONITA.

Las muestras de Fundiciones 1 y 2 son semejantes a aquellas de Tabladitas 1, consistentes en una matriz de aluminosilicatos enriquecida con plomo, y en algunos casos, con inclusiones esféricas de óxido de plomo o plomo metálico con plata y/o cobre. En el caso de las muestras de Fundiciones 2, se debe destacar la presencia de altos porcentajes de azufre. Estas inclusiones irregulares de sulfuro de plomo (galena) son parte del mineral de carga que posiblemente se fundió y re-solidificó, al enfriarse, sin haber liberado el azufre en forma de dióxido de azufre (SO_2), como sí debiera ocurrir en un proceso normal, en el cual se hayan alcanzado temperaturas y condiciones oxidantes adecuadas².

Ya sea resultado de procesos eficientes o no, las escorias analizadas son el producto de desecho de metalurgia extractiva de minerales de plomo ricos en plata, posiblemente sulfuros, como la galena argentífera presente en el yacimiento cercano a ambos sitios, Mina Chinchillas.

PAN DE AZÚCAR 26

Pan de Azúcar 26, también en el sur de la cuenca de Pozuelos, consiste en un horno de reverbero parcialmente conservado en una

ladera del cerro Pan de Azúcar, sin estructuras asociadas directamente a él. Presenta una bóveda de 2,0 m de diámetro, cuyos muros están parcialmente derrumbados y se observan evidencias de la existencia de una posible caja de fuego y de una chimenea conectada por un conducto superficial, también destruido en parte. Como el resto de los hornos de estas características, posee una abertura circular superior y una lateral sellada, además de las que comunicarían a las otras partes del horno. No se observan orificios de respiración (Angiorama y Becerra 2010).

Las dos escorias de fundición de este sitio (PA-17 y 18) consisten, también, en una matriz vítrea predominante, compuesta por aproximadamente un 30%w de SiO_2 y 35%w de PbO , y por óxidos de calcio, magnesio y aluminio, entre otros elementos. También se detectó Ag en bajísima proporción (0,04 a 0,56%w) (TABLA 1). Ambas escorias presentan inclusiones no metálicas, de forma hexagonal y lineal, que consisten mayormente en P_2O_5 y CaO (posiblemente wollastonita, como en el caso de Fundiciones 2). El azufre se presenta también en bajas proporciones. En una de las muestras este elemento sólo se detectó en una medición, con 1,62%w en una forma hexagonal, y en la otra, no alcanza el 2,5%w (y se concentra principalmente en las inclusiones).

En el caso de las tres escorias de combustión de este sitio, en el esmalte se detectaron como en las matrices de las escorias de fundición, principalmente SiO_2 (31%w en promedio) y PbO (33,5%w), con presencia de Ag en dos de ellas (0,3%w), además de óxidos de Al y Ca, entre otros elementos. En la FIGURA 8 se presenta una imagen de MEB de una de las escorias de combustión donde puede observarse el esmalte vítreo sobre sedimento termoalterado. En este esmalte, como en el interior poroso del sedimento, se observaron inclusiones. En un solo caso, una de ellas consiste en casi exclusivamente Fe_2O_3 . El resto son mayormente aluminio-

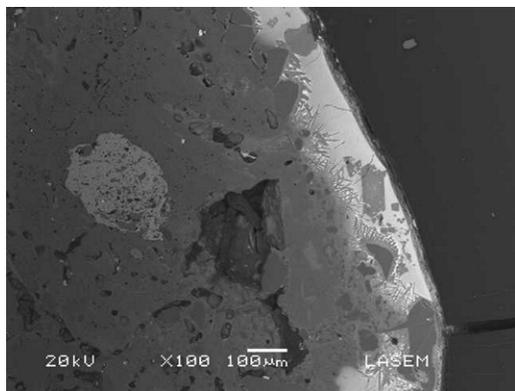


FIGURA 8 • ESCORIA DE COMBUSTIÓN DE PAN DE AZÚCAR 26 (MICROGRAFÍA A 100X, MEB, MODO ELECTRONES RETRODIFUNDIDOS). SE OBSERVA EL ESMALTE VÍTREO SOBRE SEDIMENTO TERMOALTERADO, E INCLUSIONES ALARGADAS, MAYORMENTE DE ALUMINOSILICATOS.

silicatos con una proporción promedio de 19%w de Al_2O_3 y 55%w de SiO_2 . En cuanto a la presencia de Ag en estas inclusiones, cuando se detectó, los porcentajes en general no superaron el 0,33%w y en una sola medida aislada se obtuvo un 21,5%w. No se logró repetir este resultado por lo que no se pudo detectar una fase o inclusión en que se concentrara en tal proporción este elemento. En cuanto al contenido de azufre, se midió en un 1,8%w en una fase rectangular, pero sus valores en las tres muestras no superaron el 0,3%w en la mayoría de las mediciones.

Como en el caso de las muestras anteriores, los resultados obtenidos nos indican que en Pan de Azúcar 26 también este horno de reverbero era empleado en la metalurgia extractiva de minerales de plomo ricos en plata. En las cercanías de este sitio se encuentra el yacimiento mineral homónimo, de plomo, plata y zinc, que habría sido explotado al menos desde momentos coloniales, y que muy probablemente habría sido la fuente de provisión de los minerales fundidos. El bajo porcentaje de plata en estas escorias y la escasa presencia de azufre (no se observaron inclusiones de sulfuro de plomo como en Fundiciones 2), indican que el proceso de beneficio por fundición fue considerablemente eficiente, alcanzando condiciones de oxidación y altas temperaturas.

CHAJARAHUAYCO 25

En Chajarahuyco 25, en la Quebrada de Chajarahuyco, también se han registrado los restos de un horno de fundición a la vera de un curso de agua (FIGURA 9). Se observa una estructura prismática de 0,6 por 2,0 m aproximadamente, con una altura conservada de 0,6 m. No se logra identificar la forma y el funcionamiento de este horno, pero podría inferirse que era de mayores dimensiones de las conservadas, ya que en uno de sus laterales se observa sedimento rojizo y rocas termoalteradas que podrían demarcar el área ocupada por la estructura completa. Junto a ella se encuentra una queñoa de más de 3 m de altura, cuyas raíces han crecido por sobre los cimientos. Esto probaría que su crecimiento fue posterior al funcionamiento del horno y podría indicarnos su antigüedad mínima, estimada en más de 300 años en base a las características del ejemplar y a las condiciones ambientales en las que ha crecido.

En la otra margen del río, y a unos 25 m de la estructura anterior, se observa una acumulación de rocas termoalteradas, posiblemente cimientos de otro horno de fundición. Se destaca en este caso la gran cantidad de escoria dispersa en los alrededores y especialmente concentrada junto a un afloramiento rocoso a tan sólo unos metros de la base del horno. En su cercanía se observa también una estructura rectangular y un recinto pequeño circular. En la parte superior de la ladera se registraron recintos rectangulares, dos de los cuales fueron excavados completos. Uno data de época prehispánica tardía y el otro de época colonial (Angiorama y Pérez Pieroni 2012). No contamos, en cambio, con evidencias claras para vincular alguno de estos recintos con las estructuras de fundición registradas en el sitio (Angiorama y Becerra 2010).

En cuanto a las muestras de este sitio (CH-23), una de las escorias de fundición presenta una matriz de silicato rico en plomo (21%w y 55%w respectivamente) con un 10%w de Sb (TABLA 1). En ella se detectaron inclusio-



FIGURA 9 • CIMIENTOS DEL HORNO REGISTRADO EN CHAJARAHUAYCO 25.

nes claras de entre 55 y 90%w de PbO, hasta 15%w de S en sólo una de las medidas y mínimo porcentaje de Ag (1%w) (TABLA 2). En un punto se midió casi 10%w de Sb. La segunda, de alta porosidad, posee una matriz sin contenido de Pb (sólo Al en 20%w y Si en casi 70%w). Se observan inclusiones de Fe (75%w) y en un punto se detectó Sn (casi 50%w).

Las escorias de este sitio son comparables con aquellas recuperadas en Tabladitas 1, ya que difieren considerablemente entre sí. Como en el caso mencionado, esto puede deberse a que son resultado de eventos de fundición diferentes (y con cargas de mineral provenientes de yacimientos distintos) o a una mezcla insuficiente de los componentes fundidos. La primera muestra (CH-23) es similar a la mayoría de las escorias analizadas hasta el momento. Sin embargo, en este caso, es necesario ampliar la muestra analizada para investigar esta diversidad de composición identificada.

CASABLANCA

Casablanca se encuentra a unos 5 km lineales de la localidad de Rosario de Coyahuayma,

a ambas márgenes del río homónimo. El complejo consta de dos sectores constructivos, complementarios entre sí. Uno de ellos presenta un conjunto de cinco *marays* o rocas de moler, ubicados en un área de 10 m de diámetro. Son de forma trapezoidal, con una perforación en cada una de las caras laterales, destinada a la sujeción de palos para moverlos durante la molienda de mineral. En este sector se observa la base de un horno de fundición reconocible por la presencia de rocas termoalteradas. También se identifican dos plataformas de rocas dispuestas de forma horizontal, una de mayores dimensiones. Se registra, además, un canal empedrado que debió conducir agua desde el río hasta cerca de la plataforma mayor.

En el segundo sector, en un área de 50 m de diámetro aproximadamente, se observaron los restos de al menos tres hornos de fundición, alineados al pie de una ladera. Se trata de hornos de paredes de piedra, con claras evidencias de termoalteración. Presentan planta circular, con techo abovedado y una abertura central subcircular, lo que nos permite caracterizarlos también como hornos de reverbero. El horno 1 se encuentra en mejor estado de conserva-

ción, con una bóveda de 2,5 m de diámetro externo y una altura de 1,25 m, presentando tres conductos de ventilación y una abertura lateral cuadrangular. No se conserva la caja de fuego. En cuanto a los hornos 2 y 3, sólo se observan las bóvedas colapsadas. En el caso del tercer horno, ésta presenta una abertura superior y una frontal con dintel, y un tamaño menor en comparación con el primero (1,6 m de diámetro externo). Debido a la acumulación de sedimento en el interior y exterior de estos hornos, no se distingue el sistema de ventilación (Angiorama y Becerra 2010).

En cuanto a las muestras recuperadas aquí, las dos escorias de fundición (CA-8 y 9) presentan matrices similares a las muestras anteriores, entre 35%w de SiO₂ y 40%w de PbO (TABLA 1). En el caso de una de ellas (CA-8), las fases brillantes se componen de un 75%w de PbO, entre 16 a 23%w de S, y en dos casos, en lugar de Pb, se registra un alto porcentaje de Cu (63-73%w). Se detecta también Ag, en un análisis puntual hasta 9,75%w (TABLA 2).

La escoria de combustión tiene una matriz de 60%w de SiO₂ y 20%w de PbO. Se detectaron ciertos problemas en el análisis aunque es importante señalar que una fase de aspecto brillante arrojó un porcentaje de 45%w de Ag y 26%w de S.

Los análisis efectuados permiten comparar estas muestras con las de Fundiciones 2, ya que en ambos sitios las escorias presentan fases irregulares, claras, compuestas por sulfuros de plomo, asociados, en algunos casos, con otros elementos como plata y/o cobre. Como se ha mencionado, esto indicaría cierta deficiencia en el proceso metalúrgico

CONSIDERACIONES FINALES ACERCA DE LOS RESULTADOS

En líneas generales, los resultados obtenidos permiten plantear que en todos los casos se desarrolló la metalurgia extractiva de sulfuros de plomo con contenidos de plata (galena argen-

tífera), con el objetivo de obtener este último metal. Salvo pocas excepciones, las escorias de fundición presentan una matriz predominante, compuesta por entre 20 a 35%w de SiO₂ y 35 a 70%w de PbO, además de óxidos de Ca, Mg y Al en bajas proporciones (TABLA 1). Las inclusiones presentes son de dos tipos, no metálicas (de forma hexagonal y lineal, compuestas por P₂O₅, CaO, Al₂O₃ y/o SiO₂) y metálicas, tanto en formas rectangulares o irregulares de líneas rectas (compuestas por sulfuros de plomo), como en forma de círculos (óxido de plomo, o plomo metálico con plata, cobre y/o antimonio). El contenido de azufre en las escorias analizadas es generalmente bajo, con excepción de las muestras de Fundiciones 2 y Casablanca donde los porcentajes rondan los 20 y 23%w en las fases ya mencionadas (TABLA 2). Estos resultados parecerían indicar un nivel menor de eficiencia en los procesos desarrollados en estos sitios, en comparación con lo observado para Tabladitas 1, Fundiciones 1, Chajarahuyco 25 y Pan de Azúcar 26, ya que en los primeros no se habría liberado completamente el azufre a la atmósfera como SO₂, sino que parte de los sulfuros fundidos se habrían solidificado al enfriarse, conservando su composición original. De todos modos, el bajo porcentaje de plata en todas las escorias (salvo en las pocas inclusiones circulares metálicas donde se detectó Ag en un orden variable, desde prácticamente cero hasta un 44%w) indica que el proceso de beneficio por fundición fue considerablemente eficiente en todos los sitios. Ésta no se habría perdido en la matriz, sino combinado con el plomo metálico obteniendo así una aleación de Pb-Ag que luego se refinaría para separar el metal de interés (la plata) del desecho, ya en forma de óxido de plomo o litargirio. Como hemos señalado, la muestra de Tabladitas 1 parece ubicarse en esta etapa del proceso, ya que a diferencia del resto, se compone de una matriz de PbO donde se detecta Ag y Pb metálicos, dispersos en pequeñas inclusiones.

Los análisis han permitido comprender en parte el funcionamiento de los hornos localizados en las distintas instalaciones metalúrgicas

registradas para la Puna de Jujuy. De este modo, se puede establecer que tanto los hornos de reverbero de los complejos Fundiciones 1 y 2, Pan de Azúcar 26 y Casablanca, como también los hornos de Tabladitas 1 y Chajarahuyco 25 se utilizaron para una primera fundición de minerales de plomo y plata extraídos en los yacimientos cercanos (en el caso de Pan de Azúcar y Fundiciones) o en otras áreas de la región, no determinadas aún.

Es interesante señalar que hasta el momento los resultados obtenidos no arrojan diferencias destacadas entre los desechos de fundición producidos por el beneficio de mineral en hornos de reverbero y en los otros tipos de hornos (de los que no conocemos aún sus características debido a que sólo se conserva parte de los cimientos). Esto concordaría con estudios previos sobre escorias metalúrgicas coloniales en la región de Porco, Bolivia, los que han señalado grandes similitudes entre los desechos de fundición producidos por hornos de reverbero y los hornos de tecnología prehispánica conocidos como huayrachinas (Cohen *et al.* 2008; Van Buren y Cohen 2010). En nuestro caso, sólo podemos indicar que las escorias de Tabladitas 1 y Chajarahuyco 25 sólo se distinguen de las asociadas a hornos de reverbero por presentar mayor diversidad en la composición química dentro de la muestra seleccionada, aunque esto, como indicamos, puede deberse a que la fuente de provisión del mineral fundido no haya sido la misma para los diferentes eventos de fundición.

En cuanto a Tabladitas 1, único sitio en el que se registraron evidencias de prácticas de metalurgia extractiva probablemente asignables a momentos prehispánicos, los resultados obtenidos no permitirían identificar diferencias entre la producción obtenida allí y la colonial. Lamentablemente, a pesar del intenso trabajo de campo realizado en la región, no se han podido identificar instalaciones metalúrgicas similares a las de Tabladitas 1, por lo que no hemos podido ampliar la muestra y confirmar esta observación.

Por último, consideramos que aunque los resultados presentados en esta oportunidad nos han ofrecido un primer panorama acerca de las prácticas de metalurgia extractiva argentífera y las tecnologías empleadas en momentos prehispánicos y coloniales en la Puna de Jujuy, se hacen necesarias aún más investigaciones arqueológicas en estos sitios. En este sentido, hemos planificado tanto la búsqueda de nuevas muestras a partir de la excavación de los hornos que se encuentran colmatados como el análisis de las áreas de residencia y tratamiento de mineral asociadas a las estructuras de combustión.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a Ing. Pedro Villagrán e Ing. Silvia Blanco del LASEM (Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis) de la Universidad Nacional de Salta, por su valioso aporte a la caracterización con MEB. También queremos agradecer los valiosos comentarios y sugerencias de los evaluadores.

NOTAS

1. En los hornos de reverbero, a diferencia de otros, el mineral tratado no se encuentra en contacto directo con el combustible: son sólo los productos de la combustión los que toman contacto con la carga a fundir. En líneas generales, consisten en una caja de fuego, una bóveda y una chimenea, todas conectadas.
2. Los sulfuros de plomo (PbS) durante la fundición sufren una primera transformación, que se da durante este tostado del mineral, donde pasa de sulfuro de plomo a óxido y parte a sulfato, $[3\text{PbS} + 5\text{O}_2 = 2\text{SO}_2 + \text{PbO} + \text{PbSO}_4]$ reacción que resulta incompleta, y como no todo el PbS ha reaccionado, el sobrante reaccionará con los productos de esta primera ecuación $[2\text{PbS} + 2\text{PbO} + \text{PbSO}_4 = 3\text{SO}_2 + 5\text{Pb}]$, es decir que la reacción se completará y el azufre se convertirá en dióxido de azufre y se liberará a la atmósfera, en las condiciones óptimas (Ubillus Limo 2003).

REFERENCIAS CITADAS

- ALBECK, M. E. y S. PALOMEQUE
2009 Ocupación española de las tierras indígenas de la puna y 'raya del Tucumán' durante el temprano período colonial. *Memoria Americana* 17-2: 173-212.
- ANGIORAMA, C.
2001 De metales, minerales y yacimientos. Contribución al estudio de la metalurgia prehispánica en el extremo noroccidental de Argentina. *Estudios Atacameños* 21:63-87.
2006 ¿Mineros quebradeños o altiplánicos? La circulación de metales y minerales en el extremo noroccidental de Argentina (1280-1535 A.D.). *Intersecciones en Antropología* 7:147-161.
- ANGIORAMA, C. y M. F. BECERRA
2010 Evidencias antiguas de minería y metalurgia en Pozuelos, Santo Domingo y Coyahuayma (Puna de Jujuy, Argentina). *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 15 (1): 81-104.
2012 El oro de la Puna: lavaderos, socavones y mineros en el período colonial. Arqueología de la minería aurífera del extremo norte de la Puna de Jujuy (Argentina). *Revista Vestigios, Revista Latino-Americana de Arqueología Histórica*, en prensa.
- ANGIORAMA, C. y M. J. PÉREZ PIERONI
2012 Primeros estudios sobre tecnología cerámica de contextos coloniales del sur de Pozuelos (Puna de Jujuy, Argentina). *Revista de Arqueología Histórica Argentina y Latinoamericana*, en prensa.
- BECERRA, M. F.
2009 *Prácticas minero-metalúrgicas durante el Período Colonial: El complejo Fundiciones 1 como caso de estudio (actual Fundiciones, Departamento de Rinconada, Jujuy, Argentina)*. Tesis de Grado en Arqueología, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán. Ms.
2012 Cruces entre la Arqueología y la Historia. Hornos, socavones y registros: las prácticas minero-metalúrgicas coloniales en la Puna de Jujuy a través del complejo Fundiciones 1 (Rinconada, Jujuy, Argentina). *Revista Población y Sociedad* 19-1:5-39.
- BECERRA, M. F., C. ANGIORAMA y N. NIEVA
2011 Estudios arqueométricos de evidencias de producción minero-metalúrgica durante época colonial en Fundiciones 1 (Departamento Rinconada, Jujuy, Argentina). *Intersecciones en Antropología* 12: 5-16.
- CABANILLAS, E. L. GONZÁLEZ y T. PALACIOS
1996 Metalurgia colonial en el Noroeste Argentino. Estudio de Escorias. Trabajo presentado en Conamet IX-Iberomet IV, pp. 1800-1807. Santiago de Chile.
- COHEN, C., T. REHREN y M. VAN BUREN
2008 La huayrachina por dentro y por fuera: un estudio arqueometalúrgico de la tecnología de fundición de plomo en Porco-Potosí, Bolivia. En *Mina y Metalurgia en los Andes del Sur desde la Época Prehispánica hasta el Siglo XVII*, editado por P. Cruz y J. J. Vacher, pp. 29-56. Institut de Recherche pour le Développement. Instituto Francés de Estudios Andinos, Sucre.
- COIRA, B.
1979 *Descripción geológica de la Hoja 3c, Abra Pampa, Provincia de Jujuy*. Boletín N°170, Servicio Geológico Nacional, Buenos Aires.
- GENER, M., S. ROVIRA, I. MONTERO, M. RENZI, N. RAFEL y X. L. ARMADA
2005 Análisis de escorias de plomo del poblado de la Edad del Hierro de El Calvari en El Molar (Priorat, Tarragona). Trabajo presentado en VI Congreso Ibérico de Arqueometría. Girona.
- GIL MONTERO, R.
2004 *Caravaneros y Transhumantes en los Andes Meridionales. Población y Familia Indígena en la Puna de Jujuy 1770-1870*. Instituto de Estudios Peruanos, Perú.
- GLUZMAN, G. y L. GONZÁLEZ
2005 Estudios sobre antiguos asentamientos metalúrgicos en el Sur del valle de Yocavil (Provincia de Catamarca). Trabajo pre-

- sentado en Congreso Binacional SAM-CONAMET: Jornadas MEMAT. Mar del Plata.
- GOLDENBERG, G.
1996 Archäometallurgische Untersuchungen zur Entwicklung des Metallhüttenwesens im Südschwarzwald. Blei-, Silber- und Kupfergewinnung von der Frühgeschichte bis zum 19. Jahrhundert. En *Archäometallurgische Untersuchungen zum Metallhüttenwesen im Schwarzwald*, compilado por G. Goldenberg, J. Otto y H. Steuer, pp. 9-274. Jan Thorbecke Verlag Sigmaringen, Alemania.
- GONZÁLEZ, L.
2004 *Bronces sin Nombre. La Metalurgia Prehispánica en el Noroeste Argentino*. Ediciones Fundación CEPPA. Buenos Aires.
- KRAPOVICKAS, P.
1983 Las poblaciones indígenas históricas del sector oriental de la Puna (un intento de correlación entre la información arqueológica y la etnográfica). *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XV*: 7-24.
- PALOMEQUE, S.
2006 La 'Historia' de los señores étnicos de Casabindo y Cochino (1540-1662). *Andes* 17: 139-194.
- REHREN, T., J. SCHNEIDER y C. BARTELS
1999 Medieval lead-silver smelting in the Siegerland, West Germany. *Historical Metallurgy* 33: 73-84.
- SICA, G. y M. ULLOA
2007 Jujuy en la Colonia. De la Fundación de la ciudad a la crisis del orden colonial. En *Jujuy en la Historia. De la Colonia al Siglo XX*, dirigido por A. Teruel y M. Lagos, pp. 41-84. Unidad de Investigación en Historia regional. Facultad de Humanidades y Cs Sociales. Editorial de la UNJu. 2º Edición, Jujuy.
- TARRAGÓ, M. y L. GONZÁLEZ
1996 Producción especializada y diferenciación social en el Sur del Valle de Yocavil. *Anales de Arqueología y Etnología* 50-51: 85-108.
- THIBODEAU, A., D. KILLICK, J. RUIZ, J. CHESLEY, K. DEAGAN, J. CRUXENT y W. LYMAN
2007 The strange case of the earliest silver extraction by European colonists in the New World. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America PNAS* Vol. 104, N°9: 3663-3666.
- TURNER, J. C.
1964 *Descripción geológica de la Hoja 2b, La Quiaca*. Boletín N° 103, Servicio Geológico Nacional, Buenos Aires.
- UBILLUS LIMO, J.
2003 Estudios sobre la presencia del plomo en el medio ambiente de Talara en el año 2003. Tesis digitales UNMSM. Lima. Consultado por última vez 1/10/2009 en http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/monografias/Ingenie/ubillus_lj/ubillus_lj.htm
- VAN BUREN, M. y C. COHEN
2010 Technological changes in Silver Production after the Spanish Conquest in Porco, Bolivia. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 15 (2): 29-46.

