

LA PUERTA FUNDICIÓN: UN SITIO METALÚRGICO TEMPRANO EN EL VALLE DE COPIAPÓ, REGIÓN DE ATACAMA, **NORTE DE CHILE**

LA PUERTA FUNDICIÓN: AN EARLY METALLURGICAL SITE IN THE COPIAPÓ VALLEY, ATACAMA REGION, NORTHERN CHILE

María Teresa Plaza¹ y Francisco Garrido²

Resumen

Este trabajo presenta las evidencias más tempranas de metalurgia en el valle de Copiapó, Región de Atacama, norte de Chile, correspondientes al sitio La Puerta Fundición. Nuevos fechados radiocarbónicos y el análisis de minerales, escorias y objetos de metal revelan que las comunidades Molle desarrollaron técnicas para extraer cobre desde el período Alfarero Temprano (1-800 d.C.). Los metalurgistas alcanzaron temperaturas entre 1.000-1.100 °C, condiciones redox oxidantes, y que procesaron minerales de malaquita con impurezas de arsénico, azufre y antimonio. La heterogeneidad química y microes-

Abstract

In this paper, we present the earliest evidence of metallurgy in the Copiapó Valley, Atacama region, northern Chile, corresponding to La Puerta Fundición site. New radiocarbon dating and analyses of ores, slags, and metal objects, reveal that El Molle communities developed techniques for copper smelting during the Formative period (AD 1-800). Metallurgists achieved temperatures between 1000-1100°C, under oxidizing redox conditions, and processed malachite ores containing arsenic, sulphur, and antimony impurities. The chemical and microstructural heterogeneity of the slags suggest that working pa-

^{1.} Escuela de Antropología, Pontificia Universidad Católica, Chile. mplaza@uc.cl

^{2.} Museo Nacional de Historia Natural, Chile. francisco.garrido@mnhn.gob.cl

tructural de las escorias sugiere que los parámetros de trabajo fueron relativamente inestables, pero, a pesar de esto, lograron extraer cantidades suficientes de cobre para un uso a baja escala. El uso de bronce estañífero y cobre arsenical en los objetos terminados implica relaciones con el noroeste argentino, así como la posible manufactura local de alguna de estas piezas.

rameters were relatively unstable. Nevertheless, they managed to extract enough amounts of copper for low-scale use. The use of tin-bronze and arsenical copper in finished objects implies connections with northwestern Argentina, as well as the potential local manufacture of some of these pieces.

Palabras clave: escorias, metalurgia temprana, cobre, El Molle, Copiapó. Keywords: slags, early metallurgy, copper, El Molle, Copiapó.

as primeras piezas de metal aparecen en el valle de Copiapó durante el período Alfarero Temprano (PAT, 1-800 d.C.) y corresponden a seis objetos hechos en cobre: tres pinzas, un anillo, un brazalete y un fragmento de cintillo (Figura 1) (Niemeyer 1998a). Todas las piezas fueron recuperadas de contextos funerarios asociados al complejo cultural El Molle (Niemeyer 1998a). Como estos objetos son –a primera vista– simples, hechos a partir de cobre martillado y recocido sin decoración, se ha asumido que las piezas del período habrían sido elaboradas en cobre nativo (Cornely 1958; Iribarren 1967, 1974; Niemeyer 1998a; Niemeyer et al. 1989) utilizando técnicas rudimentarias (Iribarren 1967, 1974; Niemeyer et al. 1989). Tecnológicamente, esto implica que los artesanos molle habrían "trabajado el metal" solo martillando y, posiblemente, recociendo el metal nativo, pero sin desarrollar un proceso metalúrgico extractivo propiamente tal (Niemeyer 1998a), entendiendo este como un proceso químico donde se reduce el mineral de cobre a cobre metálico (Killick 2014; Martinón-Torres 2002; Mohen 1992; Ottaway 2001).

Lo anterior es importante, ya que el uso no excluyente de ambas técnicas tiene implicancias diferentes en relación con la complejidad tecnológica y la organización productiva de una sociedad. La metalurgia extractiva requiere de una serie de etapas y decisiones previas que incluyen la búsqueda, la extracción y el procesamiento de las materias primas, como los minerales y el combustible; la generación de estructuras o espacios de combustión; el conocimiento de los vientos y la geografía locales, y/o cómo determinar la ubicación

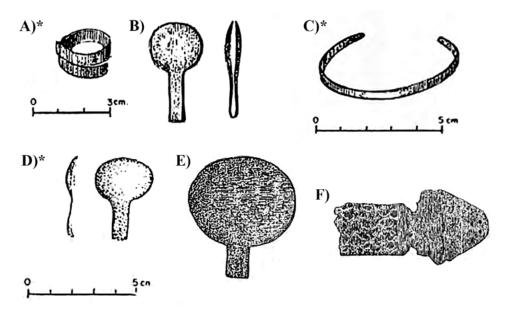


Figura 1. Piezas de metal del complejo cultural El Molle del valle de Copiapó. Anillo (A), pinza (B) y brazalete (C) de Carrizalillo Chico; Pinza (D) del túmulo 13 de El Torín; Pinza (E) y fragmento de cintillo (F) del túmulo 1 de Cabra Atada (Niemeyer 1998a). Las piezas A, C y D se analizan en este trabajo.

de los fogones u hornos, entre otros (Hauptmann 2007, 2020; Rehder 2000). Esto implica una logística compleja, donde pueden participar una o más personas de una o varias comunidades (Garrido y Plaza 2020; Hauptmann 2020; Ottaway 2001; Plaza *et al.* 2023). Además, necesita de un conocimiento especializado de la manipulación de estos materiales para alcanzar las condiciones necesarias (ej. temperaturas, atmósferas) que permitan la transformación de la materia para pasar de un mineral verde a un metal rojizo (González 2004; Hauptmann 2020; Ottaway 2001).

El trabajo del metal nativo, si bien requiere de una etapa de búsqueda y recolección, puede, en algunos casos, ser bastante directo (Martin 1999; Pompeani et al. 2021; Smith 1967; cfr. Thornton 2009). El cobre se puede trabajar de tres formas, según Maddin et al. (1980): a partir de martillado en frío (Smith 1967), de martillado y recocido, o ser fundido y luego trabajado. Todos estos casos implican una transformación física del metal, pero no un cambio químico de la materia, como en el caso de la conversión de la metalurgia extractiva. Esta última supone, por lo tanto, el manejo de conocimientos especializados y más complejidad, entendida como una mayor cantidad de etapas, procedimientos y energía invertida para llegar al metal que será utilizado (González 2004). Por su parte, el trabajo en metal nativo requiere de menos pasos tecnológicos y, por ende, refleja una menor complejidad en cuanto a la producción de objetos.

Al mismo tiempo, en muchas sociedades, la transformación química profunda que implica el proceso de fundición confiere un alto valor simbólico tanto al proceso mismo como al metal resultante (Budd y Taylor 1995; Eliade 2016; Helms 1993), al entenderlo como algo casi "sobrenatural" en función del cambio en la esencia del material (de lo natural a lo cultural). A propósito de ello, Helms (1993) entendiendo esta transformación como algo casi "sobrenatural" en función del cambio en la esencia del material: de lo natural a lo cultural (Helms 1993). Así, su estudio puede revelar parte de los aspectos cosmológicos y creencias de las sociedades que desarrollaron y utilizaron esta tecnología (Budd y Taylor 1995; Eliade 2016 [1974]; Helms 1993; Hosler 1994; Saunders 2011, 2003, 2004).

A nivel analítico, puede ser difícil determinar si un objeto terminado fue hecho de cobre de fundición o de cobre nativo (Maddin *et al.* 1980). Si se considera la composición química, el cobre nativo es extremadamente puro, sin –o solo con trazas– de impurezas disueltas de otros metales (*e.g.* plata, arsénico, estaño o azufre) (Renfrew y Bahn 2004: 348; Smith 1967). Sin embargo, el cobre nativo puede fundirse y absorber impurezas de minerales asociados como el arsénico (Thornton *et al.* 2002). El cobre de fundición, por su parte, puede contener otros metales dependiendo de la mena utilizada (*e.g.* plata, arsénico, azufre, antimonio, zinc, hierro), pero si es obtenido de malaquita o calcopirita pura también puede generar un cobre sin impurezas (Maddin *et al.* 1980; Petersen 1970; Plaza *et al.* 2023). Por lo tanto, la composición química por sí sola no es un indicador seguro del tipo de cobre utilizado.

Si se considera su microestructura, el cobre nativo podría ser diferenciado a través de un análisis metalográfico. En general, se espera que este tenga granos de gran tamaño, los cuales estarían extremadamente deformados por el martillado y presentarían maclas de recocido muy esporádicas y aisladas, de gran tamaño y deformadas. No exhibiría evidencias de recristalización (producto del recocido) ni tendría inclusiones de óxidos de cobre (producto de la entrada de oxígeno durante la fundición) (Maddin et al. 1980; Smith 1967). Sin embargo, estas características de la microestructura solo son identificables si el cobre nativo fue trabajado en frío; una vez que este es recocido o fundido, es imposible diferenciarlo del cobre de fundición (Maddin et al. 1980).

En consecuencia, la forma más concreta de saber si se practicó metalurgia extractiva es encontrar restos de fundición como escorias o minerales asociados a restos de hornos o fogones. Evidencias de esta naturaleza asociadas al PAT han sido evasivas hasta ahora, con excepción de posibles escorias recuperadas en el sector habitacional del sitio Carrizalillo Chico (Niemeyer et al. 1989). En este trabajo, presentamos las primeras evidencias de metalurgia

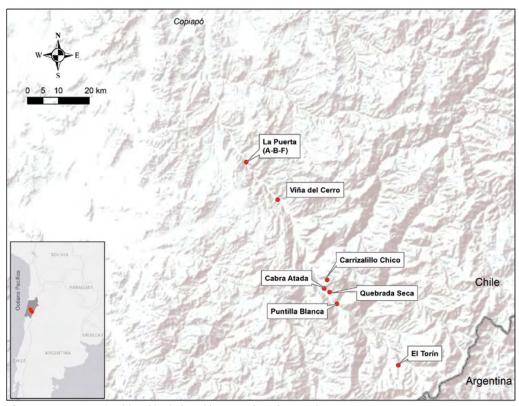


Figura 2. Mapa con la ubicación de los sitios mencionados en el texto.

temprana en el valle de Copiapó, que analizamos para reconstruir los parámetros técnicos alcanzados por los primeros metalurgistas del valle, asociados cronológicamente a lo conocido como complejo cultural El Molle. La presencia de claras actividades de fundición para esta época alude a una habilidad y una complejidad a nivel tecnológico mayor a la que se había planteado para estas comunidades, y sugiere, además, que algunos de los objetos encontrados en el valle podrían ser de manufactura local.

Complejo cultural El Molle en el valle de Copiapó

La ocupación Molle en el valle de Copiapó consistió principalmente en la presencia de pequeñas aldeas con posible evidencia de trabajo agrícola y con cementerios de túmulos asociados (Niemeyer 1998a). Estas aldeas ubicadas en los afluentes del valle de Copiapó se desarrollaron aproximadamente entre los años 500 y 800 d.C., de acuerdo a los nuevos fechados obtenidos en individuos de sitios como El Torín, Carrizalillo Chico y Cabra Atada (Garrido y Morales 2021) (Figura 2). Si bien Niemeyer y su equipo han reportado fechados más tempranos para ocupaciones Molle en sitios como la Cueva del León

de 1940 ± 50 a.p. (Niemeyer 1998a), el cual hemos recalibrado a 41 a.C.-214 d.C. (p = 0.05) con el programa Oxcal y la curva ShCal20 (Hogg *et al.* 2020), el fenómeno aldeano en el valle sería, al parecer, algo más tardío que lo pensado hasta ahora.

Los sitios aldeanos Molle con arquitectura de planta circular/elíptica están ausentes al sur del valle del Huasco, lo que posiblemente indica diferencias culturales más profundas entre el valle de Copiapó y los valles meridionales (i.e. Huasco, Elqui y Limarí) (Troncoso y Pavlovic 2013). Del mismo modo, en la zona de Copiapó tampoco se registra el prolífico arte rupestre de petroglifos, que sí se encuentra desde el Huasco hacia el sur.

Más allá de la arquitectura, cabe destacar que las ocupaciones Molle en Copiapó se caracterizan por la presencia de alfarería monocroma de perfil simple, con cuello ligeramente evertido y base apuntada, y en general con un tratamiento de superficie alisado. En El Torín (Túmulo 1) se ha reportado la presencia de al menos dos vasijas negras pulidas³, una de cuerpo cilíndrico y otra globular con asa de suspensión, las cuales claramente dan cuenta de una interacción con San Pedro de Atacama (Niemeyer 1994, 1998a; Stovel 2005, 2013). Entre otros elementos característicos de las poblaciones Molle de Copiapó, se destaca el uso del tembetá como adorno y elemento de expresión de identidad personal, especialmente en individuos masculinos (Niemeyer 1998a; Torres 2011), además del uso de pipas de piedra en forma de T invertida, las cuales podrían estar relacionadas con prácticas rituales de tipo chamánico.

Los metales, por su parte, tuvieron un uso limitado en la sociedad Molle. La presencia de únicamente seis artefactos de cobre en tres sitios sugiere un uso selectivo. Por ejemplo, de 37 individuos enterrados en túmulos de la aldea El Torín, solo se recuperó la mitad de una pinza de cobre asociada a un lactante. En el cementerio de Carrizalillo Chico, se encontró una pinza, un brazalete y un anillo; mientras que en la aldea Cabra Atada se recuperó un cintillo y una pinza de cobre asociada al entierro de un individuo masculino adulto (Niemeyer 1998a: Figura 31). En general, la sociedad Molle no evidencia un uso masivo de elementos suntuarios que pudiesen interpretarse como elementos de diferenciación social. Solo hay evidencia del uso de cuentas de mineral de cobre, concha y piedra calcárea, además de panes de pigmentos como ofrendas funerarias en entierros de infantes, tal como se observa en alguno de los montículos de El Torín y Cabra Atada (Niemeyer 1998a).

^{3.} Tipos NP II y NP XIII, respectivamente, asociados principalmente a la fase Quitor (ca. 500-700 d.C.). El tipo NP II aparece, en algunos casos, asociado a cuerpos del período Formativo Tardío (ca. 300-500 d.C.) perteneciente a la fase Sequitor (100-500 d.C.) (Stovel 2005, 2013).

El uso del túmulo como estructura funeraria decae a partir del 800 d.C., pero vuelve a reaparecer posterior al 1000 d.C. asociado a poblaciones que poseen alfarería estilo Ánimas y La Puerta. Estos estilos se distinguen del Molle al exhibir cerámica pintada, predominantemente pucos y fuentes de gran tamaño (Niemeyer 1998b). Las poblaciones de este período también abandonan el uso de pipas de fumar y los tembetás. Al igual que el período anterior, existen variaciones entre el valle de Copiapó y los valles meridionales, donde carecen de aldeas y entierros en montículos (Garrido 2011; Troncoso y Pavlovic 2013). Después del PAT, también hay signos de interacción con poblaciones en el noroeste de Argentina, la cual se manifiesta en los estilos de cerámica encontrados en el sitio de La Puerta y otros del curso medio y alto del valle de Copiapó (Castillo *et al.* 1997; Niemeyer 1994).

El sitio La Puerta y su nueva cronología

El sitio La Puerta ha sido tradicionalmente considerado como uno de los principales exponentes del período Medio (800-1000 d.C.), caracterizado por la denominada cultura Ánimas y contemporáneo a otros sitios como Puntilla Blanca y Quebrada Seca (Niemeyer 1998b). Corresponde a un extenso cementerio de túmulos, donde –a diferencia de los cementerios Molle– una mayor presencia de elementos lapidarios como ofrenda fúnebre indican que su uso estuvo orientado a la demarcación de estatus y/o diferenciación social (Drennan y Peterson 2006; Earle 1997; Flad y Hruby 2007). Estos incluyen collares de cuentas hechos de minerales de cobre como malaquita, crisocola, azurita y turquesa presentes en casi todas las tumbas. Entre el relleno de algunos de los túmulos se encontraron, además, fragmentos de moldes metalúrgicos y algunos individuos enterrados tenían láminas de cobre. Se destaca el hallazgo de un vaso de plata o *kero* como una ofrenda excepcional asociada al entierro de un infante (Durán 1988; Niemeyer 1998b).

Sin embargo, la reevaluación de la historia ocupacional del sitio indica que posee una historia más larga, lo que invita a revisar la clasificación cronológica de los sitios del valle en general.

En el marco del proyecto Fondecyt 11170010, en 2019, nuestro equipo realizó nuevos análisis a los individuos de una parte del sitio, en particular aquellos enterrados en los túmulos masivos de La Puerta A, excavados por Hans Niemeyer y su equipo. Con base en los nuevos fechados es posible obtener dos conclusiones principales (ver Garrido y Morales 2021). Primero, que los individuos de los túmulos y aquellos enterrados en fosas dentro del sector denominado Necrópolis (Niemeyer 1998b) poseen fechas que se concentran

entre los años 1000 a 1200 d.C. (Garrido y Morales 2021). Si bien se sabía que el sitio La Puerta tenía una ocupación continua desde el período Medio en adelante, lo relevante es que el fenómeno de túmulos masivos no correspondería al período Medio, sino que el uso de estas estructuras se desplaza más bien hacia momentos iniciales del período Intermedio Tardío (1000-1400 d.C).

Segundo -y muy relevante para nuestro caso-, nuevos fechados indican que la ocupación del sitio La Puerta habría comenzado durante el PAT (1-800 d.C.) (Figura 3). La fecha más temprana proviene del individuo 1 del túmulo 1034, datado en 1520±20 a.p. (UGAMS 36077, Fondecyt 11170010), equivalente a un rango de 577 a 645 d.C. (p = 0.05), calibrado con el programa Oxcal y la curva ShCal20 (Hogg et al. 2020). Entre las ofrendas asociadas a dicho túmulo se destaca un collar de cuentas blancas de concha y otro de cuentas calcáreas, muy similares a otros collares Molle encontrados en el sitio Carrizalillo Chico y descritos por Hans Niemeyer (1998b). Además, el túmulo contenía una vasija negra pulida de cuerpo globular con asas de suspensión, idéntica a otra asociada al individuo 7 del túmulo 1 del sitio El Torín. Esta vasija presenta una clara influencia del área de San Pedro de Atacama⁵, tal como pudimos corroborar al analizar las colecciones depositadas en el Museo Regional de Atacama en Copiapó. Este túmulo temprano fue excavado por Niemeyer en 1998, es inédito y representa una ocupación inicial de baja intensidad del sitio que se sostiene en el tiempo, como lo evidencian las fechas del túmulo 83 y la unidad 5 (sector habitacional), datados en 1270±20 a.p. (UGAMS 48872) y 1280±20 (UGAMS 48901), equivalente a un rango de 691-884 d.C. y 689-878 d.C., respectivamente (p = 0.05) (calibrado con el programa Oxcal y la curva ShCal20 [Hogg et al. 2020]), Figura 3).

Así, el túmulo 103 nos permite afirmar que en La Puerta hubo algún grado de ocupación anterior a Ánimas, al ser coherente con las fechas Molle del valle de Copiapó e indicar –al mismo tiempo– un uso prolongado del sitio desde fines del siglo sexto d.C. en adelante. Asociado a estas fechas tempranas de La Puerta, presentaremos a continuación un nuevo sitio denominado La Puerta Fundición (LPF), incluyendo su cronología y el análisis de sus materiales. LPF corresponde –hasta ahora– a la evidencia de metalurgia más antigua registrada para el valle de Copiapó y para la región de Atacama.

^{4.} Tumulo excavado por Niemeyer (1998), no publicado antes.

^{5.} Tipo NP XIII, fase Quitor, (ca. 500-700 d.C.) (Stovel 2005, 2013).

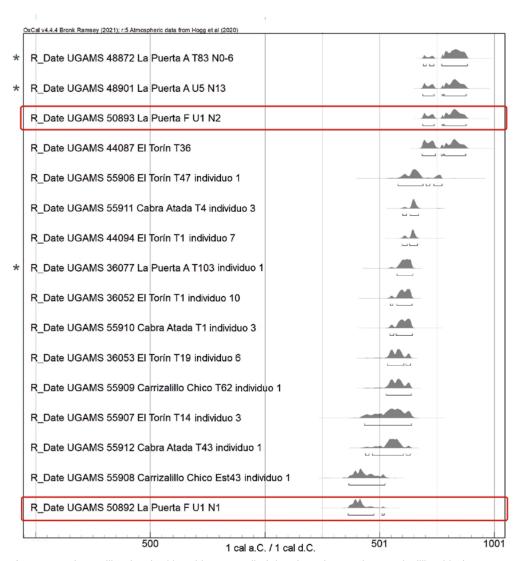


Figura 3. Fechas calibradas de sitios aldeanos Molle (El Torín, Cabra Atada y Carrizalillo Chico), La Puerta Fundición (en rojo) y las evidencias más tempranas de ocupación de La Puerta (*). Calibrado con OxCAI usando la curva SHCal20 (p = 0.05) (Hogg *et al.* 2020).

La Puerta Fundición

En el lado nororiente del valle, inmediato al sur del cementerio de túmulos funerarios denominado por Hans Niemeyer como La Puerta B, y frente al sector denominado La Puerta A⁶, se identificó un área de actividad metalúrgica con restos de escorias y minerales en superficie (Figura 4). El sitio se encuentra en la ladera del cerro a unos 20-30 m de altura desde el fondo del valle, muy próximo a un sendero aterrazado de tránsito ocasional.

6. H Niemeyer dividió La Puerta en dos: sector A al W del rio Copiapó y B al E.

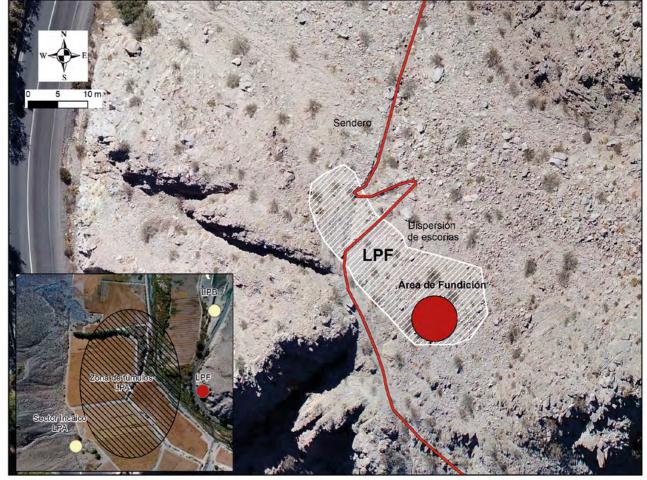


Figura 4. Imagen aérea del área de fundición del sitio LPF y su ubicación en relación con el sitio La Puerta A (LPA) y La Puerta B (LPB).

El área de fundición está localizada a unos 2 a 3 m sobre el sendero, siguiendo la pendiente natural. Allí se concentra un conjunto de rocas, sedimento, escoria y restos de mineral de cobre, cuyos fragmentos se han ido desplazando paulatinamente hacia la parte baja del cerro (Figura 5A-B). En general, la densidad de material es baja y tanto las escorias como los minerales se encuentran dispersos irregularmente en la superficie (Figura 5C).

Las evidencias de fundición están ubicadas de modo estratégico en un área expuesta a un flujo significativo y constante de viento, similar a lo observado en sitios como Viña del Cerro (Garrido y Plaza 2020; Niemeyer 1986; Plaza et al. 2023). No se encontraron restos claros de estructuras de combustión, pero sí rocas de diversos tamaños colapsadas sobre la ladera —algunas salpicadas con escorias—, sin una forma de estructura claramente distinguible. Lo más probable es que estas estructuras no hayan sido muy elaboradas y más bien fueran construcciones expeditivas para uso ocasional (Figura 5A-B). En los alrededores del sitio y en la parte alta de la ladera se registra material lítico en

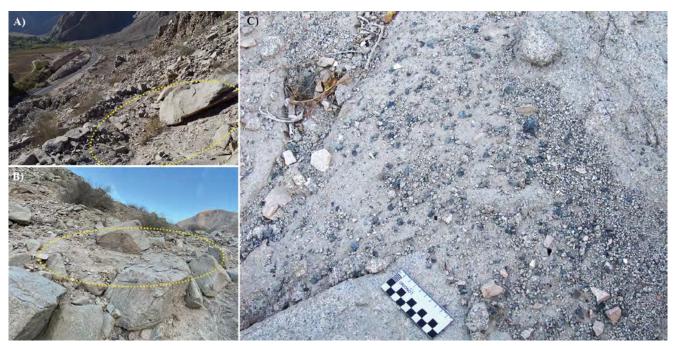


Figura 5. Sitio LPF. A) vista hacia el oeste del valle. B) vista frontal hacia el este, desde el sendero. C) detalle de la superficie del sitio LPF antes de realizar los pozos de sondeo. Los fragmentos negros corresponden a restos de escoria.

superficie, consistente en pequeñas lascas silíceas sin una asignación cronológica segura, las cuales indicarían que este sector se utilizó con propósitos variados.

Para comprender la estratigrafía y cronología del sitio, en 2020 se excavó un pozo de sondeo de 50 x 50 cm, a partir del cual se pudo determinar que el depósito cultural tenía 20 cm de profundidad⁷ (Figura 6). Originalmente pensamos que estas actividades de fundición podían ser de época incaica, pero finalmente los fechados dieron cuenta de una cronología más temprana. En la estratigrafía del perfil se distinguieron dos capas de carbón mezclado con restos de escoria de entre 2 a 5 cm, separadas por un estrato de sedimento limo arenoso de espesor similar. Bajo los 20 cm continúa una capa de limo arenoso con clastos rocosos cercanos a los 10 cm, hasta alcanzar la roca madre del cerro a los 40 cm. Dada la pendiente y el colapso de las estructuras, es posible que la estratigrafía analizada esté invertida. Esta hipótesis se sustenta, además, en la datación radiocarbónica de los eventos de quema, donde el nivel superior es más antiguo que el inferior.

Los dos fechados obtenidos a partir de muestras de carbón asociadas a restos de escorias son: 1680 ± 20 a.p. (UGAMS 50892) y 1280 ± 20 a.p. (UGAMS 50893), que corresponden a 363-521 d.C. y 689-878 d.C. (p = 0.05) calibrado con el programa Oxcal y la curva ShCal20 (Hogg *et al.* 2020). Ambos fechados coinciden con el rango temporal conocido para el PAT regional e incluso el

7. Dentro del marco del proyecto Fondecyt 11170010.

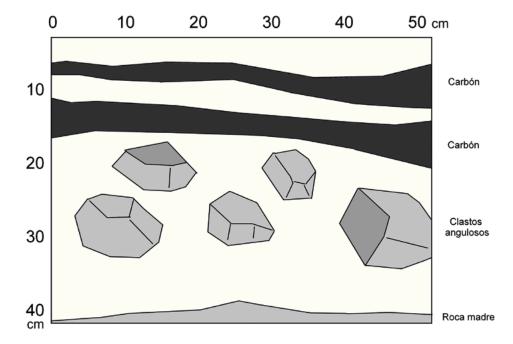


Figura 6. Estratigrafía del sitio a partir de un pozo de sondeo de 50 x 50 cm.

más reciente de los dos es coherente con la fecha de 577-645 d.C. del túmulo 103 del sitio La Puerta. Además, dichos fechados son contemporáneos a otros sitios Molle del valle de Copiapó, como El Torín y Carrizalillo Chico (Figura 3).

Análisis de los restos de fundición

Se analizaron cuatro fragmentos de mineral verde y ocho restos de escorias recuperadas del sitio LPF en excavación y como muestreo de superficie (Figura 7). Utilizamos microscopía óptica (OM), microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS), fluorescencia de rayos X (WD-XRF) y difracción de rayos X (XRD) para caracterizar la microestructura, la mineralogía, la composición química y la cristalografía de las muestras. Los análisis se realizaron en los laboratorios del Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH, Burgos, España), siguiendo el protocolo establecido en Plaza et al. (2023).

La mena

Las cuatro muestras minerales analizadas de LPF resultaron ser una combinación de malaquita –un carbonato de cobre– con una ganga compuesta de silicatos como cuarzos, epidota y filosilicatos (Tabla 1; Figura 7A). En una de las muestras (35LPB.M) se detectó brochantita, un sulfato de cobre que



Figura 7: Minerales (A) y escorias (B) de LPF. Las muestras 29 y 32 son ejemplos de una textura fluida. (*) Muestras analizadas en este artículo.

comúnmente se encuentra asociado a la malaquita y que se forma en las zonas oxidadas o secundarias de los depósitos de cobre, principalmente en ambientes áridos (Anthony et~al.~2005). Químicamente, las muestras son ricas en cobre (42,8 %±22,8; máx. 66,7 % CuO) y silicio (41,1 %±30,6) y pobres en hierro (3,8 %±3,9). Las menas también contienen bajos porcentajes de azufre (SO $_3$), entre 0,4-3,1 %, que probablemente proviene de minerales como la brochantita. En algunos casos se detectó arsénico (2,7 % As $_2$ O $_5$) y antimonio (3,6-4,1 % Sb $_2$ O $_3$) (Tabla 2A).

Tipo de mineral	Mineral	Fórmula*	34LBP.M	35LBP.M	36LBP.M	37LBP.M
Carbonatos	Malaquita	Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂	XX	XX	XXX	XXX
Sulfuros	Brochantita	Cu ₄ SO ₄ (OH) ₆	-	XX	-	-
	Cuarzo	SiO ₂	xxx	XX	-	XX
Silicatos	Epidota	Ca ₂ (Fe ⁺⁺⁺ ,Al) ₃ (SiO ₄) ₃ (OH)	-	-	XX	-
	Filosilicatos	-	-	Х	XX	-

Tabla 1. Mineralogía de cuatro muestras de mineral de LPF, expresada en la presencia relativa de diferentes minerales por XRD. Leyenda: xxx = > 40 % (fase mayor); xx = 10-40 % (fase menor); x = < 10 % (trazas); - = no detectable. (*) Obtenido en http://webmineral.com

A) Mineral d	e cobre																	
Muestra	SiO ₂	CuO	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Sb ₂ O ₃	Na ₂ O	As ₂ O ₅	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	ZnO	BaO	PbO	Total analítico*
34LBPM	84,3	12,0	0,5	1,2	0,4	bdl	bdl	1,2	bdl	bdl	bdl	bdl	0,4	bdl	bdl	bdl	bdl	93,7
35LBPM	41,2	44,5	2,8	2,5	0,4	bdl	3,6	1,9	bdl	bdl	bdl	0,1	3,1	bdl	bdl	bdl	bdl	86,1
36LBPM	18,2	47,8	9,4	9,6	7,0	1,7	bdl	3,8	bdl	0,5	0,6	0,2	0,9	0,3	bdl	bdl	bdl	87,8
37LBPM	20,5	66,9	0,2	1,9	0,8	0,0	4,1	2,0	2,7	0,3	bdl	0,2	0,5	bdl	bdl	bdl	bdl	98,6
Promedio	41,1	42,8	3,2	3,8	2,1	≤1,7	≤4,1	2,2	≤2,7	≤0,5	≤0,6	≤0,2	1,2	≤0,3	-	-	-	
DS	30,6	22,8	4,3	3,9	3,2	1,2	0,3	1,1	-	0,1	-	0,03	1,3	-	-	-	-	
Min.	18,2	12,0	0,2	1,2	0,4	0,03	3,6	1,2	-	0,3	-	0,1	0,4	-	-	-	-	
Máx.	84,3	66,9	9,4	9,6	7,0	1,7	4,1	3,8	-	0,5	-	0,2	3,1	-	-	-	-	
B) Escorias																		
01LPBE	33,5	18,4	5,3	35,1	1,9	0,2	1,7	0,3	2,2	0,2	bdl	0,3	bdl	bdl	0,4	0,1	0,3	100,0
27LBPE	60,6	0,4	15,2	4,6	9,0	3,4	bdl	2,8	bdl	2,4	1,0	0,2	0,3	0,1	bdl	0,1	bdl	97,2
28LBPE	33,1	17,3	4,5	33,7	3,8	1,1	1,3	0,5	2,2	0,5	0,1	0,1	0,1	bdl	1,3	0,1	0,2	100,0
29LBPE	34,3	10,9	10,2	19,2	19,8	3,0	bdl	0,9	bdl	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3	bdl	0,2	bdl	95,1
30LBPE	30,9	11,2	3,5	45,4	3,0	0,9	1,7	0,2	1,3	0,3	bdl	0,2	0,1	0,1	0,6	0,1	0,4	96,3
31LBPE	49,5	19,5	7,9	1,7	13,4	1,1	3,9	0,3	0,2	0,4	0,1	0,1	0,5	bdl	bdl	1,2	bdl	99,8
32LBPE	19,8	6,9	2,4	60,8	7,4	1,2	bdl	0,4	bdl	0,4	0,1	0,2	0,3	bdl	bdl	0,2	bdl	93,4
33LBPE	79,0	13,9	1,4	1,6	2,9	0,5	bdl	0,3	bdl	0,2	bdl	0,1	0,1	bdl	bdl	bdl	bdl	100,0
Promedio	42,6	12,3	6,3	25,3	7,7	1,4	1,1	0,7	0,7	0,6	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	
DS	19,2	6,5	4,6	22,1	6,3	1,2	1,4	0,9	1,0	0,7	0,3	0,1	0,2	0,1	0,5	0,4	0,2	
Min.	79,0	19,5	15,2	60,8	19,8	3,4	3,9	2,8	2,2	2,4	1,0	0,3	0,5	0,3	1,3	1,2	0,4	
Máx.	19,8	0,4	1,4	1,6	1,9	0,2	bdl	0,2	bdl	0,2	bdl	0,1	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	

Tabla 2. Composición química de A) cuatro muestras minerales y B) ocho muestras de escoria, por WD-XRF. Los valores están normalizados al 100 % y expresados en peso por porcentaje. El oxígeno es calculado por estequiometria. (*) Se reportan los totales analíticos. Leyenda: bdl = bajo límite de detección; (≤) = compuesto detectado en al menos una muestra.

Las escorias y el cobre

Las escorias de LPF son pequeños glóbulos densos e irregulares —en algunos casos con una textura fluida— de color gris oscuro, con áreas verdosas en superficie producto de la corrosión del cobre (Figura 7B). Miden aproximadamente 4 cm de largo y las ocho muestras analizadas pesaron 109 gr. Los resultados de la composición química (Tabla 2B) indican que las escorias de LPF son ricas en silicatos (42,6 %±19), con cantidades variables de óxidos de hierro (25,3 %±22), óxidos de cobre (12,3 %±6,5), cal (7,7 %±6,3) y alúmina (6,3 %±4,6). En algunos casos se identificaron porcentajes menores de óxidos de magnesio (< 3,4 %), antimonio (< 3,9 %) y arsénico (< 2,2 %). Su análisis interno reveló una textura heterogénea, que combina fragmentos minerales sin reaccionar o parcialmente reaccionados (ej. cuarzos) con áreas vítreas que efectivamente reaccionaron a las temperaturas (Figura 8C). En las zonas vitrificadas se formaron cristales de delafosita (CuFeO₂), magnetita (Fe₂O₃) y óxidos de cobre, como cuprita (Cu₂O) o tenorita (CuO) (Figura 8A-B). En ge-

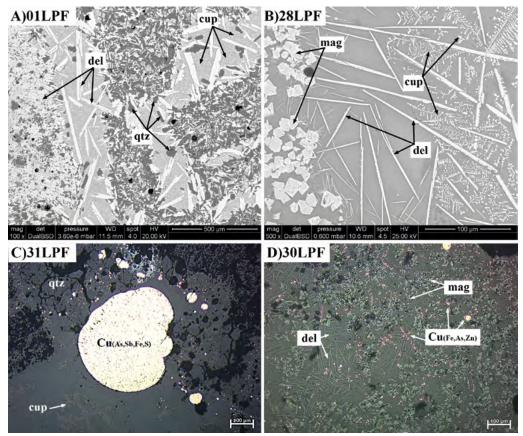


Figura 8. Microestructura de las escorias de LPF. A-B) Imagen de electrones retrodispersados, microscopía electrónica. C-D) Microscopía óptica. Abreviaturas: Cu: cobre metálico, Cup: cuprita, Del: delafosita, Mag: magnetita, Qtz: cuarzo.

neral, las escorias retuvieron hasta un 19,5 % de cobre, presente como fases cristalinas (ej. cuprita, delafosita) o como pequeñas gotas de cobre metálico disperso en la matriz (Figura 8C-D). Estas gotas de metal contienen entre 0,9 a 3,2 % de arsénico, además de impurezas de hierro (< 4,4 %), zinc (< 0,3 % en dos escorias), antimonio (4,4 % en una escoria) y, en solo un caso, de azufre (0,2 %) (Tabla 3).

Muestra (#gotas de Cu)	s	Ti	Fe	Cu	Zn	As	Sb	0
01LBPE (1)	-	-	1,2	86,2	-	-	-	12,6
28LBPE (1)	-	-	0,3	76,2	-	3,2	-	20,3
29LBPE (2)	-	-	1,2	93,1	≤0,3	0,9	-	4,7
30LBPE (2)	-	-	4,4	83,1	≤0,3	1,3	-	11,0
31LBPE (4)	≤0,2	≤1,4	0,3	90,8	-	2,6	4,4	≤5,7
32LPBE (4)	-	-	4,7	87,6	-	1,7	-	6,1

Tabla 3. Promedio de análisis puntuales en gotas de cobre de seis muestras de escorias, por SEM-EDS. Los valores están normalizados al 100 % y expresados en peso por porcentaje. El número en paréntesis indica la cantidad de gotas analizadas, sobre el cual se calcula un promedio. Leyenda: (-) = No detectado; (≤) = elemento detectado en al menos una gota.

Discusión técnica: materias primas y parámetros técnicos

Las escorias de LPF son productos heterogéneos que fueron fundidos de forma parcial y que retuvieron hasta un 20 % de cobre. En su producción se utilizaron menas secundarias u oxidadas muy ricas en cobre, lo cual es coherente con los minerales identificados en el sitio, cuyo contenido de cobre oscila entre un 12-67 %, asociado también a impurezas de arsénico y antimonio. El metal atrapado es un cobre con impurezas (bajo 5 %) de arsénico, hierro y, en algunos casos, zinc y antimonio, lo que sugiere que el metal extraído pudo ser un cobre arsenical.

En cuanto a los parámetros técnicos alcanzados por los metalurgistas, la presencia de cobre metálico y otras fases como delafosita, magnetita y cuprita o tenorita sugieren que las temperaturas de fundición oscilaron entre 1.000-1.100 °C (Crivits *et al.* 2015; Hauptmann 1989, 2007; Plaza *et al.* 2023) y las condiciones redox fueron más bien oxidantes (Bourgarit 2007; Hauptmann 2007; Plaza *et al.* 2023). Las temperaturas logradas en LPF son relativamente bajas si las comparamos con otros sitios de fundición de los Andes centro sur (Lechtman 2014; ver síntesis en Plaza *et al.* 2023) o Eurasia (Bourgarit 2007; Hauptmann 2007, 2014), donde se alcanzaron temperaturas sobre los 1.100 °C.

Con todo, la heterogeneidad y la variabilidad química y microestructural de las escorias sugieren que los parámetros de trabajo fueron relativamente inestables (temperatura, atmósferas redox, duración, etc.), lo que generó una escoria viscosa que retuvo parte del metal. Sin embargo, lo más probable es que las menas disponibles fueran tan ricas que, a pesar de trabajar con condiciones inestables y de haber quedado cobre atrapado en las escorias, los metalurgistas tempranos lograron extraer exitosamente las cantidades de metal que necesitaban (Plaza et al. 2023). De lo contrario, las escorias podrían haber sido reutilizadas o machacadas para sacar el metal atrapado, tal como se observa en otros sitios metalúrgicos del norte de Chile (e.g. Collahuasi en Figueroa-Larre et al. 2018), lo cual no ocurre en LPF.

Análisis de los objetos de metal

Se analizaron químicamente tres de los seis objetos de metal asociados al complejo El Molle (Figura 1) utilizando un equipo de fluorescencia de rayos X portátil (pXRF) y siguiendo la metodología de Liu *et al.* (2012)⁸. Los análisis se hicieron sobre las superficies de los objetos sin aplicar una limpieza previa.

8. Análisis realizado en conjunto con los arqueólogos Dr. Tao Li (Wuhan University) y Wugan Luo (Department of Scientific History and Archaeometry, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing) durante el año 2012.

Los resultados indican que las tres piezas de cobre presentan distintas cantidades de arsénico (0,7-36 %) y que dos contienen estaño (7,3-11,4 %) (Tabla 4). Estos valores están seguramente sobreestimados, ya que tanto el arsénico como el estaño (y el plomo) migran a la superficie y se concentran en la corrosión, lo que resulta en valores más altos que la composición original del objeto en análisis superficiales. Futuros análisis del metal mismo podrán mejorar estas interpretaciones. Sin embargo, considerando las limitaciones analíticas, las composiciones sugieren el posible uso de cobre arsenical en el caso del brazalete, bronce estañífero para el anillo y una mezcla de ambos en la pinza.

Objeto	Sitio	Sn	Pb	As	Zn	Cu	Fe
Brazalete	Carrizalillo Chico	-	0,2	35,9	0,1	63,8	0,1
Anillo	Carrizalillo Chico	11,4	-	0,7	0,1	87,3	0,4
Pinza	El Torín	7,3	-	14,5	0,1	77,7	0,3

Tabla 4. Análisis superficial de la composición química de tres objetos molle usando pXRF. Los valores son promedios de 2 a 4 lecturas por objeto, sobre superficies sin limpiar. Las piezas forman parte de la colección del Museo Regional de Atacama, Chile.

Discusión y conclusiones

Los resultados de los fechados radiocarbónicos y los análisis tecnológicos de los minerales, escorias y objetos de metal permiten sostener que las comunidades Molle del valle de Copiapó desarrollaron una práctica metalúrgica para extraer cobre desde el período Alfarero Temprano (ca. 1-800 d.C.). Así, se puede descartar la idea de que todas las piezas molle fueron hechas en cobre nativo. A pesar de la baja cantidad de objetos de metal recuperados, la presencia de fundición indica que parte del metal se obtuvo por reducción de minerales de cobre, mientras que la detección de estaño sugiere que algunos de estos objetos podrían ser importados.

El análisis arqueométrico de las escorias indica que los metalurgos molle de Copiapó alcanzaron temperaturas entre 1.000-1.100 °C, trabajaron con atmósferas más bien oxidantes y procesaron minerales ricos en malaquita con impurezas de azufre, arsénico y antimonio. Esto es coherente con un sistema que utiliza el viento como comburente –lo que se ajusta a la ubicación del sitio–, cuyos flujos e intensidades pueden variar abruptamente (Cruz 2022; Cruz y Téreygeol 2020; Pedersen 1971; Plaza et al. 2023; Rehder 2000; Téreygeol y Cruz 2014). Los registros oficiales del Ministerio de Energía de Chile (Figura 9) indican que el flujo del viento en ese punto alcanza su máximo de 6-7 m/s (metros por segundo) durante las 11:00 y las 16:00 hrs. en los meses de sep-

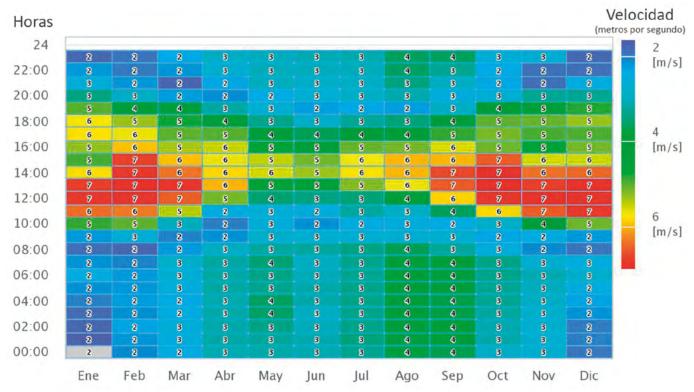


Figura 9. Ciclo anual de la velocidad del viento en 24 hrs. en el sector donde se ubica LPF. Nótese que las mayores velocidades ocurren entre septiembre y marzo, desde las 11:00 a las 16:00 hrs. Imagen: Explorador Eólico, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile (https://eolico.minenergia.cl/inicio). m/s: metros por segundo.

tiembre y marzo⁹. Estas velocidades serían suficientes para reducir el mineral, como se ha visto en fundiciones experimentales donde se ha obtenido metal con vientos de 6-9 m/s en solo tres horas (Téreygeol y Cruz 2014).

Es probable que, en este caso, el uso del viento que fluye de manera irregular y la construcción de estructuras poco estandarizadas en piedra haya hecho difícil controlar y mejorar las condiciones de fundición, lo que generó escorias que atraparon al menos un 20 % del metal (e.g. Téreygeol y Cruz 2014). A pesar de esto y tal como ha sido discutido para Viña del Cerro (Plaza et al. 2023), la aparente poca eficiencia del proceso es irrelevante si consideramos que la materia prima era lo suficientemente rica como para producir las pequeñas cantidades de metal utilizado en los artefactos de la época. Como mencionamos, los elementos que pudieran haber servido como signos de diferenciación social en Molle son escasos (DeMarrais 2013; Drennan y Peterson 2006; Niemeyer et al. 1989) y las pocas ofrendas confeccionadas en lapidaria o metales se encuentran generalmente asociadas a infantes (Garrido y Morales 2021; Torres 2011), quizá bajo una noción simbólica posiblemente más relacionada con la pérdida de los miembros juveniles de la sociedad que bajo una lógica de evidenciar un estatus adscrito.

9. https://eolico.minenergia.cl/exploracion

En general, las características del sitio LPF –ubicado en ladera, con baja densidad de materiales, al menos dos eventos de quema, con ausencia de estructuras de combustión y viento irregular durante el año– sugieren que la producción metalúrgica fue a baja escala, probablemente practicada como una actividad estacional, adaptándose a las condiciones locales de viento y utilizando estructuras expeditivas hechas con rocas apiladas. Al mismo tiempo, la ubicación del sitio demuestra que este tipo de actividades a baja escala pudo realizarse tanto en sitios habitacionales (recordemos las posibles escorias reportadas por H. Niemeyer en Carrizalillo Chico) como en lugares fuera del contexto doméstico, pero potencialmente con mejores condiciones para su implementación (i.e. acceso a viento).

El uso de bronce con estaño en las piezas de metal molle en dos sitios diferentes (Carrizalillo Chico y El Torín) es interesante porque el estaño es una materia prima alóctona. La fuente más cercana se encuentra al oeste de Tinogasta, en las sierras de Fiambalá en Argentina (Ratto et al. 2019), a unos 250 km en línea recta. Por lo tanto, estamos hablando de piezas que podrían ser: a) foráneas, b) recicladas o c) hechas de forma local, aleando estaño importado con cobre local (que incluye arsénico y otras impurezas). Por ahora, cualquiera de las tres alternativas es posible. Cabe mencionar que se han postulado vínculos entre el valle y el área trasandina para el PAT, los cuales se evidencian en la presencia de alfarería, metales y otras materialidades, en particular con las culturas Ciénaga y Condorhuasi (Cervellino 1992; Garrido 2015; Iribarren 1967, 1974; Niemeyer 1998a; Pifferetti 1999). El brazalete de Carrizalillo Chico hecho en bronce arsenical es la única pieza consistente con los resultados obtenidos de las escorias donde se detectó la presencia de arsénico. No obstante, en las escorias analizadas el porcentaje de este elemento es mucho menor que en el brazalete. Definitivamente, se hace necesaria una evaluación más detallada de los objetos para afirmarlo con certeza, pero al menos podemos sugerir que algunos de los objetos del período pudieron ser manufacturados localmente.

Lo interesante del proceso de fundición de LPF es su similitud con lo que se observará en Viña del Cerro unos siglos más tarde, durante el período Intermedio Tardío y el período Tardío. En publicaciones anteriores se propuso que el uso de sectores con alto flujo de viento para el trabajo metalúrgico es una actividad basada en el conocimiento local, con evidencia cercana al año 1200 d.C., y que precede a la ocupación incaica del territorio (Garrido y Plaza 2020; Plaza et al. 2023). Sin embargo, con estos nuevos datos podemos retrotraer aún más dicha tecnología a los inicios del surgimiento de la vida aldeana en el valle de Copiapó.

Agradecimientos. Esta investigación es financiada por los proyectos Fondecyt 3200229, 11170010 y 1230614 (Agencia Nacional de Investigación [ANID]) y patrocinada por el Museo Regional de Atacama, el Museo Nacional de Historia Natural y la Pontificia Universidad Católica de Chile. Agradecemos en particular a David Larreina, Ana Isabel Alvaro y a todo el *staff* de los laboratorios del Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH, Burgos, España) por el análisis de los materiales. También a los arqueólogos Dr. Tao Li (Wuhan University) y Wugan Luo (Department of Scientific History and Archaeometry, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing) por los análisis de pXRF realizados durante 2012. Y a todos aquellos que participaron de las campañas de terreno. Finalmente, a los editores y revisores anónimos que nos ayudaron a mejorar el escrito.

Referencias citadas

- Anthony, J., R. Bideaux, K. Bladh y N. Monte. 2005. *Handbook of Mineralogy*. Mineralogical Society of America, Chantilly.
- Bourgarit, D. 2007. Chalcolithic Copper Smelting. En *Metals and Mines: Studies in Archaeometallurgy*, editado por S. La Niece, D. Hook y P. Craddock, pp. 3-11. Archetype, Londres.
- Budd, P. y T. Taylor. 1995. The Faerie Smith Meets the Bronze Industry: Magic versus Science in the Interpretation of Prehistoric Metal-making. *World Archαeology* 27(1): 133-143.
- Castillo, G., H. Niemeyer y M. Cervellino. 1997. Indicadores, alcances y perspectivas de influencias Aguada en el Valle de Copiapó-Chile. *Shincal* 6: 193-212.
- Cervellino, M. 1992. Dos ceramios de la cultura Ciénaga hallados en Finca de Chañaral, Copiapó. *Contribución Arqueológica* 4: 175-179.
- Cornely, F. 1958. Cultura de El Molle. *Arqueología Chilena* 4: 9-12.
- Crivits, T., P. C. Hayes y E. Jak. 2015. Influence of MgO on the Phase Equilibria in the CuxO-FeOy-MgO-SiO2 System in Equilibrium with Copper Alloy. Part II: Results and Discussion. *International Journal of Materials Research* 106(6): 587-599. DOI:10.3139/146.111234.

- Cruz, P. 2022. Metals for the Inka: Mining, Power, and Religion in Qullasuyu. En Rethinking the Inka: Community, Landscape, and Empire in the Southern Andes, editado por F. Hayashida, A. Troncoso y D. Salazar, pp. 35-56. University of Texas Press, Austin.
- Cruz, P. y F. Téreygeol. 2020. Los hornos de reverbero andinos: Dinámicas de transferencias e innovaciones de tecnologías metalúrgicas indígenas y europeas. *Estudios Atacameños* 66. DOI:10.22199/issn.0718-1043-2020-0039.
- DeMarrais, E. 2013. Understanding Heterarchy: Crafting and Social Projects in Pre-hispanic Northwest Argentina. *Cambridge Archaeological Journal* 23(03): 345-362. DOI:10.1017/S0959774313000474.
- Drennan, R. D. y C. E. Peterson. 2006. Patterned Variation in Prehistoric Chiefdoms. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(11): 3960-3967. DOI:10.1073/pnas.0510862103.
- Durán, A. 1988. Excavaciones en los túmulos de La Puerta en el valle de Copiapó. Boletín Ocasional del Museo Regional de Antofagasta 1: 15-27.
- Earle, T. 1997. How Chiefs Come to Power: The Political Economy in Prehistory. Stanford University Press, Stanford.
- Eliade, M. 2016 [1974]. Herreros y alquimistas. 3ra ed. Editorial Alianza, Madrid.
- Figueroa-Larre, V., B. Mille, D. Salazar, J. Berenguer, A. Menzies, P. Sapiains, A. Cifuentes y J. Delphine. 2018. A Major Prehispanic Copper Production Center Identified at Collahuasi, Southern Tarapacá Altiplano (Chile). Chungara, Revista de Antropología Chilena 50(4): 557-575.
- Flad, R. K. y Z. X. Hruby. 2007. "Specialized" Production in Archaeological Contexts: Rethinking Specialization, the Social Value of Products, and the Practice of Production. Archaeological Papers of the American Anthropological Association 17(1): 1-19. DOI:10.1525/ap3a.2007.17.1.1.
- Garrido, F. 2011. Identidades y cambio en la transición del período Medio al Intermedio Tardío en el valle de Copiapó (Chile). En La cerámica arqueológica en la materialización de la sociedad: Transformaciones, metáforas y reproducción social, editado por M. C. Páez y G. A. de La Fuente, pp. 27-44. South American

- Archaeology Series 14 S2294. British Archaeological Reports, Achaeopress, Oxford.
- Garrido, F. 2015. Mining and the Inca Road in the Prehistoric Atacama Desert, Chile. Tesis de doctorado. Department of Anthropology, Faculty of Arts and Sciences, University of Pittsburgh, Pittsburgh.
- Garrido, F. y C. Morales. 2021. Cambios en el modo de vida en relación con la minería prehispánica. En *Fondo de Apoyo a la Investigación Patrimonial, Informes*, pp. 87-115. Subdirección de Investigación SNPC, Santiago.
- Garrido, F. y M. T. Plaza. 2020. Provincial Inca Metallurgy in Northern Chile: New Data for the Viña del Cerro Smelting Site. *Journal of Archaeological Science: Reports* 33: 102556. DOI:10.1016/j.jasrep.2020.102556.
- González, L. R. 2004. Bronces sin nombre: La metalurgia prehispánica en el norte argentino. Fundación Ceppa, Buenos Aires.
- Hauptmann, A. 1989. The Earliest Periods of Copper Metallurgy in Feinan, Jordan.
 En Old World Archαeometallurgy, editado por A. Hauptmann, E. Pernicka y G. A.
 Wagner, 7, pp. 119-135. Der Anschnitt. Deutsches Bergbau-Museum, Bochum.
- Hauptmann, A. 2007. The Archaeometallurgy of Copper: Evidence from Fαynan, Jordan. Natural Science in Archaeology. Springer, Berlín, Heidelberg.
- Hauptmann, A. 2014. The Investigation of Archaeometallurgical Slag. En Archaeometallurgy in Global Perspective: Methods and Syntheses, editado por B. W. Roberts y C. P. Thornton, pp. 91-105. Springer, Nueva York.
- Hauptmann, A. 2020. *Archaeometallurgy: Materials Science Aspects*. Natural Science in Archaeology. Springer Cham, Cham.
- Helms, M. 1993. *Crafts and the Kingly Idea: Art, Trade and Power.* University of Texas Press, Austin.
- Hogg, A. G., T. J. Heaton, Q. Hua, J. G. Palmer, C. S. Turney, J. Southon, A. Bayliss, P. G. Blackwell, G. Boswijk, C. Bronk Ramsey *et al.* 2020. SHCal20 Southern Hemisphere Calibration, 0-55,000 Years cal BP. *Radiocarbon* 62(4): 759-778. DOI:10.1017/RDC.2020.59.

- Hosler, D. 1994. The Sounds and Colors of Power: The Sacred Metallurgical Technology of Ancient West Mexico. MIT Press, Cambridge.
- Iribarren, J. 1967. *Cultura Diaguita y cultura El Molle*. Museo Arqueológico de La Serena, La Serena.
- Iribarren, J. 1974. *Lα metalurgiα en Chile en lα épocα precolombinα*. Publicación N°2. Universidad de Chile, Sede La Serena, La Serena.
- Killick, D. 2014. From Ores to Metals. En Archaeometallurgy in Global Perspective. Methods and Syntheses, editado por B. W. Roberts y C. P. Thornton, pp. 11–46. Springer, New York.
- Lechtman, H. 2014. Andean Metallurgy in Prehistory. En Archaeometallurgy in Global Perspective: Methods and Syntheses, editado por W. B. Roberts y P. C. Thornton, pp. 361-422. Springer, Nueva York.
- Liu, S., Q. H. Li, F. Gan, P. Zhang y J. W. Lankton. 2012. Silk Road Glass in Xinjiang, China: Chemical Compositional Analysis and Interpretation Using a High-resolution Portable XRF Spectrometer. Journal of Archaeological Science 39(7): 2128-2142. DOI:10.1016/j.jas.2012.02.035.
- Maddin, R., T. S. Wheeler y J. D. Muhly. 1980. Distinguishing Artefacts Made from Native Copper. Journal of Archaeological Science 7(3):211–225. DOI:10.1016/S0305-4403(80)80025-2.
- Martin, S. 1999. Wonderful Power: The Story of Ancient Copper Working in the Lake Superior Basin. Wayne State University Press, Detroit.
- Martinón-Torres, M. 2002. Chaîne Opératoire: The concept and its applications within the study of technology. Gallaecia 21:29–44.
- Mohen, J. 1992. Metalurgia Prehistórica. Introducción a la paleometalurgia. Traducido por J. Fullola. Editorial Masson SA, Barcelona. Niemeyer, H. 1986. El Imperio Inka: Actualización y perspectivas por registros arqueológicos y etnohistóricos. Comechingonia Número Especial: 169-237.
- Niemeyer, H. 1994. Pasos cordilleranos y contactos entre los pueblos del norte chico de Chile y el noroeste argentino. En La cordil*lera de los Andes: Ruta de*

- *encuentros*, editado por L. Nuñez, H. Niemeyer y F. Falabella, pp. 23-37. Museo Chileno de Arte Precolombino, Santiago.
- Niemeyer, H. 1998a. El período Temprano del horizonte agroalfarero en Copiapó. En *Culturas prehistóricas de Copiapó*, editado por H. Niemeyer y M. Cervellino, pp. 61-114. Museo Regional de Atacama, Santiago.
- Niemeyer, H. 1998b. El período Medio Complejo Las Ánimas. En *Culturas prehistó-ricas de Copiapó*, editado por H. Niemeyer y M. Cervellino, pp. 115-162. Museo Regional de Atacama, Santiago.
- Niemeyer, H., G. Castillo y M. Cervellino. 1989. Los primeros ceramistas del Norte Chico: Complejo El Molle (0-800 d.C.). En *Prehistoria: Desde sus orígenes hasta los albores de la conquista*, editado por J. Hidalgo, V. Schiappacasse, H. Niemeyer, C. Aldunate y I. Solimano, pp. 227-262. 1ª edición. Editorial Andrés Bello, Santiago.
- Ottaway, B. S. 2001. Innovation, Production and Specialization in Early Prehistoric Copper Metallurgy. *European Journal of Archaeology* 4(1): 87-112. DOI:10.1177/146195710100400103.
- Pedersen, A. 1971. Aspectos de la metalurgia indígena americana prehispánica: La huayra y su empleo en el proceso de fundición. *Etniα* (Separata) 14: 5-10.
- Petersen, G. 1970. *Minería y metalurgia en el antiguo Perú*. Editado por R. Petersen. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Lima.
- Pifferetti, A. 1999. Arqueometalurgia de Condorhuasi-Alamito. En *Actas del XII Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, editado por C. Diez, Volumen 1: pp. 531-534. Universidad Nacional de La Plata, La Plata.
- Plaza, M. T., F. Garrido y D. Larreina-García. 2023. A New Piece of the Puzzle: Slag and Ore Analysis to Reconstruct the Prehispanic Smelting Technology at the Atacama Desert, Chile. *Heritage Science* 11(1): 171. DOI:10.1186/s40494-023-01017-z.
- Pompeani, D. P., B. A. Steinman, M. B. Abbott, K. M. Pompeani, W. Reardon, S. DePasqual y R. H. Mueller. 2021. On the Timing of the Old Copper Complex in

- North America: A Comparison of Radiocarbon Dates from Different Archaeological Contexts. *Radiocarbon* 63(2): 513-531. DOI:10.1017/RDC.2021.7.
- Ratto, N., M. Pichipil, H. D. Rosa, J. Amado y J. Baum. 2019. Initial Study of Metallurgical Technology from Western Tinogasta, Catamarca, NW Argentina (1st-15th centuries CE). *Historical Metallurgy* 53(2): 62-75.
- Rehder, J. E. 2000. *The Mastery and Uses of Fire in Antiquity*. McGill-Queen's University Press, Montreal.
- Renfrew, C. y P. Bahn 2004. *Archaeology: Theories, Methods and Practice*. Thames & Hudson, Londres.
- Saunders, N. J. 2003. "Catching the Light": Technologies of Power and Enchantment in pre-Columbian Goldworking. En *Gold and Power in Ancient Costa Rica, Panama, and Colombia*, editado por J. Quilter y J. Hoopes, pp. 15-47. Dumbarton Oaks, Trustees for Harvard University, Washington D. C.
- Saunders, N. J. 2004. La estética del brillo: Chamanismo, poder y arte en la analogía. En *El Lenguaje de los dioses: Arte, chamanismo y cosmovisión en Sudamérica*, editado por A. M. Llamazares y C. Martínez, pp. 127-140. Fundación Desde América, Buenos Aires.
- Saunders, N. J. 2011. Shimmering Worlds: Brilliance, Power and Gold in Pre-Columbian Panama. En *To Capture the Sun: Gold of Ancient Panama*, editado por J. Hoopes, J. Quilter, N. J. Saunders y R. Cooke, pp. 79-113. Gilcrease Museum and University of Tulsa, Tulsa.
- Smith, C. S. 1967. The Interpretation of Microstructures of Metallic Artifacts. En *Application of Science in the Examination of Works of Art*, editado por W. J. Young, pp. 20-52. Research Laboratory of Museum of Fine Arts, Boston.
- Stovel, E. 2005. The Archaeology of Identity Construction: Ceramic Evidence from Northern Chile. En Global Archaeological Theory: Contextual Voices and Contemporary Thoughts, editado por P. P. Funari, A. Zarankin y E. Stovel, pp. 145-166. Springer, Boston.

- Stovel, E. 2013. Prehistoric Atacameño Ceramic Styles and Chronology Reassessed. *Chungara, Revista de Antropología Chilena* 45(3): 371-385. DOI:10.4067/S0717-73562013000300002.
- Téreygeol, F. y P. Cruz. 2014. Metal del viento: Aproximación experimental para la comprensión del funcionamiento de las wayras andinas. *Estudios Atacameños* 48: 39–54.
- Thornton, C. P. 2009. The Emergence of Complex Metallurgy on the Iranian Plateau: Escaping the Levantine Paradigm. *Journal of World Prehistory* 22(3): 301-327. DOI:10.1007/s10963-009-9019-1.
- Thornton, C. P., C. C. Lamberg-Karlovsky, M. Liezers y S. M. M. Young. 2002. On Pins and Needles: Tracing the Evolution of Copper-base Alloying at Tepe Yahya, Iran, via ICP-MS Analysis of Common-place Items. *Journal of Archaeological Science* 29(12): 1451-1460. DOI:10.1006/jasc.2002.0809.
- Torres, C. 2011. Piercing the Body: Labret Use, Identity, and Masculinity in Prehistoric Chile. En *Breathing New Life into the Evidence of Death: Contemporary Approaches to Bioarchaeology*, editado por A. Baadsgaard, A. T. Boutin y J. E. Buikstra, pp. 256-257. School For Advanced Research. Advanced Seminar Series. University of New Mexico Press, Santa Fe.
- Troncoso, A. y D. Pavlovic. 2013. Historia, saberes y prácticas: Un ensayo sobre el desarrollo de las comunidades alfareras del norte semiárido chileno. *Revista Chilena de Antropología* (27): 101-140.