



Bulletin de l'Institut français d'études andines  
ISSN: 0303-7495  
Anne-marie.brougere@cnrs.fr  
Instituto Francés de Estudios Andinos  
Perú

## La metalurgia inca: estudio a partir de las colecciones del Museo de América de Madrid

---

**Rovira, Salvador**

La metalurgia inca: estudio a partir de las colecciones del Museo de América de Madrid

Bulletin de l'Institut français d'études andines, vol. 46, núm. 1, 2017

Instituto Francés de Estudios Andinos, Perú

**Disponible en:** <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12653600006>

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 3.0 Internacional.

## **Artículos**

### **La metalurgia inca: estudio a partir de las colecciones del Museo de América de Madrid**

### **La métallurgie Inca : étude à partir des collections du Museo de América à Madrid**

### **Inca metallurgy: a study based on the collections of the Museo de America in Madrid**

---

Salvador Rovira 1 s\_rovirallorens@hotmail.com  
Museo Arqueológico Nacional, Madrid, España

Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12653600006>

---

#### **Resumen:**

La metalurgia en tiempo de los incas recoge la herencia tecnológica de más de 2000 años de trabajo del metal en la vasta región de los Andes Centrales. El cobre y sus aleaciones, la plata y el oro fueron metales ampliamente utilizados. El presente artículo expone los resultados de los análisis XRF-ED de la colección de objetos del Museo de América de Madrid, a partir de los cuales se proponen algunas ideas sobre los tipos de aleación y sus características cromáticas; este último aspecto de gran interés en el Perú prehispánico. Especial atención se ha prestado a la revisión del estado actual de los conocimientos sobre la obtención de dichos metales, particularmente el cobre, el bronce y la plata.

#### **Palabras clave:**

Inca, oro, plata, cobre, bronce, análisis XRF-ED.

#### **Résumé:**

La métallurgie au temps des Incas est le fruit d'un héritage technologique de plus de 2000 années de travail des métaux dans la vaste région des Andes Centrales. Le cuivre et ses alliages, l'argent et l'or furent des métaux largement utilisés. Cet article présente les résultats des analyses XRF-ED de la collection d'objets du Museo de América à Madrid, à partir desquels quelques idées ont été proposées sur les types d'alliage et leurs caractéristiques chromatiques, ces dernières étant d'un grand intérêt pour le Pérou préhispanique. Une attention particulière a été accordée à l'examen de l'état actuel des connaissances concernant la production de ces métaux, en particulier le cuivre, le bronze et l'argent.

#### **Mots clés:**

Inca, or, argent, cuivre, bronze, analyse XRF-ED.

#### **Abstract:**

Metallurgy in Inca times reflects a technological heritage of over 2,000 years of metalworking in the vast region of the Central Andes. Copper and its alloys, silver, and gold were widely used metals. This article presents the results of XRF-ED analyses of the collection of objects from the Museum of America in Madrid. These results make it possible to propose some ideas about the type of alloys and their chromatic characteristics; this latter focus was of great interest in pre-Hispanic Peru. This study also focuses on reviewing current knowledge about how these metals, particularly copper, bronze and silver, were obtained.

#### **Keywords:**

Inca, gold, silver, copper, bronze, XRF-ED analysis.

---

#### **Notas de autor**

1 Conservador-jefe del Departamento de Conservación (jubilado), Museo Arqueológico Nacional, Madrid. Serrano, 13 - 28001 Madrid (España); Particular: Espartero, 50-2-6 – 46450 Benifaió (Valencia, España). E-mail: s\_rovirallorens@hotmail.com



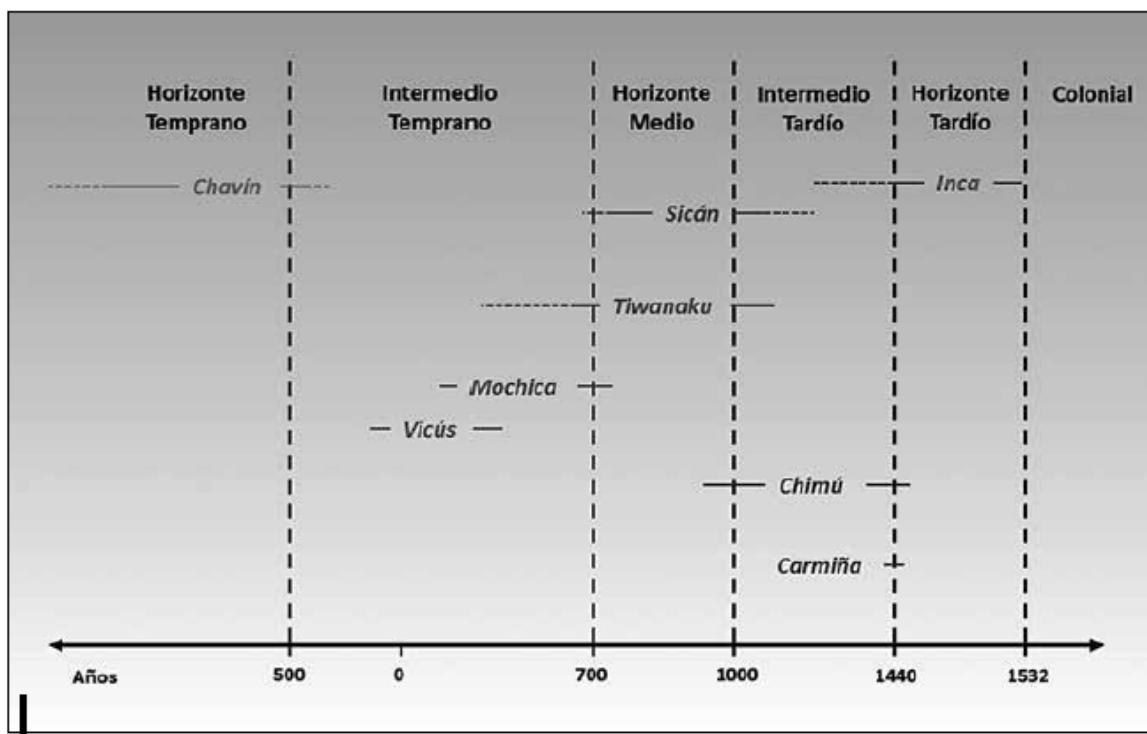
## Introducción

Los estudios tecnológicos de la metalurgia andina han estado condicionados desde su inicio por los espectaculares hallazgos de objetos, sobre todo los de naturaleza áurea, que constituyen los fondos de los museos y las colecciones repartidos por todo el mundo, situación que ya enfatizamos en una amplia revisión de datos elaborada en 1990 y que, en gran medida, sigue siendo válida en la actualidad (Rovira, 1990: 2-78).

A lo largo del último decenio, la investigación arqueometalúrgica se ha visto favorecida por dos factores relevantes, en nuestra opinión. Por un lado, por las excavaciones sistemáticas de contextos habitacionales que están permitiendo estudiar los vestigios metalúrgicos hallados *in situ*, bien datados desde el punto de vista de su cronología absoluta. Por otro lado, por la emergencia de grupos de investigación y de laboratorios en los propios países del área andina que hacen menos dependiente la investigación de los convenios y proyectos internacionales, dicho sea sin desmerecer dichos proyectos de colaboración a los cuales debemos la mayor parte de los conocimientos actuales sobre la metalurgia andina. Mientras que la protección y conservación del patrimonio arqueológico han de ser tareas de marcado sello local, la investigación de dicho patrimonio se entiende como un proceso más abierto y sin fronteras, aunque debidamente regulado.

Quizás sería más apropiado hablar de metalurgia en tiempo de los incas en lugar de metalurgia inca. Ciertamente, en el Horizonte Tardío asistimos a evidentes novedades en la tipología de los objetos pero, como veremos, el sustrato tecnológico venía de antes, del Horizonte Intermedio Tardío, e incluso de mucho tiempo atrás. Para entender la metalurgia incaica debemos retroceder en el tiempo y alejarnos también de la propia colección de objetos de metal del Museo de América de Madrid, si no queremos dar ideas sesgadas e incompletas de la tecnología del metal en la última fase prehispánica.

La figura 1 muestra referencias cronológicas de las culturas y períodos mencionados en el texto.



**Figura 1 – Horizontes, períodos y culturas mencionadas en el texto**

Elaboración: S. Rovira

## 1. Metalurgia del cobre

El cobre fue el metal con mayor volumen de producción en la época prehispánica. Lo avala, entre otras realidades, el peso de los objetos de cobre que constituyen las colecciones conservadas. A partir del estudio de tres restos arqueológicos podemos extraer conclusiones acerca de este tema: los minerales, las escorias y los restos de hornos metalúrgicos. Si revisamos la bibliografía podremos darnos cuenta fácilmente de la escasez de trabajos realizados en este sentido.

Debemos a Heather Lechtman el primer intento para generar una perspectiva global, gracias a su detallado viaje por tierras peruanas. Ahí revisó los recursos disponibles y algunas instalaciones metalúrgicas (Letchman, 1976). Sin embargo, son los trabajos más recientes los que han permitido aclarar el tema, sobre todo en lo relacionado a la minería en algunos lugares concretos. Ténganse como ejemplo algunos capítulos del libro colectivo editado por Tripcevich & Vaughn (2013).

Volviendo al tema de la transformación del mineral en metal, los trabajos efectuados a lo largo del proyecto Batán Grande-La Leche (Shimada, 1981), en la costa norte peruana, constituyeron la primera evidencia científicamente probada. En el Cerro de los Cementerios se localizaba el centro metalúrgico, de donde se pudo recuperar un conjunto de hornos prácticamente completos con su característica forma de pera (Shimada *et al.*, 1982: 954, fig. 3; 956, fig.4). Las dataciones radiocarbónicas indican que la actividad metalúrgica duró unos 500 años, desde la época Sicán hasta la época Chimú-Inca (Shimada *et al.*, 1982: 954), sin que se noten cambios en la tecnología. Además de los hornos, en el sitio se encontraron minerales y escorias; estas últimas predominantemente machacadas, justificando la abundancia de batanes existentes en la instalación. Los hornos presentan un revestimiento interno intensamente rubefactado por efecto térmico.

La ventilación forzada del horno para alcanzar la temperatura necesaria y dar lugar a las reacciones químicas de reducción del mineral se hacía mediante tubos de soplado a pulmón, rematados por una tobera con perforación de 10 mm de diámetro.

El estudio analítico de una muestra representativa de minerales indica que se trata de especies oxídicas (óxidos y carbonatos) con contenidos de cobre, analizado como CuO, que oscilan entre 0,57 y 40,2% en peso (Merkel *et al.*, 1994: 209, tab. 1a y 1c), predominando la malaquita (Merkel & Shimada, 1988: 5). Los componentes principales de la ganga son la sílice y los óxidos de calcio, aluminio, magnesio y hierro, con cantidades menores y variables de óxidos de potasio y sodio.

La escoria triturada en los batanes se encontraba dispersa por los suelos de la instalación o formando amontonamientos en sus cercanías de más de un metro de altura y notable extensión, dato que subraya la importancia de la producción de cobre. La composición química de las escorias es heterogénea (véase el dato concreto en Merkel & Shimada 1988: 5), clasificándolas en el grupo de las escorias de horno con espinela, es decir, con mucha magnetita. A pesar de la abundancia de óxido de hierro, no son escorias de sangrado que pudieran ser evacuadas del horno o, dicho de otro modo, son escorias de alta viscosidad que se llegaron a fundir (al menos parcialmente) pero no alcanzaron la fluidez necesaria para conseguir una buena separación metal-escoria (que es la función de la verdadera escoria). Por esta razón, dicha separación debía lograrse fuera del horno, triturando las escorias en los batanes y seleccionando a mano las porciones de cobre antes embebidas en la escoria.

Este tipo de escoria caracteriza lo que se denomina en la Arqueometalurgia europea una «tecnología metalúrgica primitiva» (Rovira, 2002: 91-92; Rovira & Montero- Ruiz, 2013: 232-233). Hay que resaltar, sin embargo, un rasgo de la metalurgia de Batán Grande que la distingue de la aludida metalurgia primitiva: la adición de fundentes a base de óxidos de hierro (hematita y limonita) (Merkel & Shimada, 1988: 5). Las escorias más antiguas del Viejo Mundo, cuya composición se aproxima en algunos casos a las ricas en FeO de Batán Gande, son subproductos de la reducción directa de minerales de cobre y su composición está condicionada por la ganga que acompaña a la mena cuprífera. Esto, según un proceso de reducción —que conocemos con detalle gracias a la experimentación (Rovira, 2011-2012)— al que Craddock (2011) denominó acertadamente «fundición no escorificante».

En el caso de Batán Grande no parece que la adición de fundentes facilitara la producción de una escoria líquida, a pesar de que la estequiometría de la carga del horno resultara teóricamente favorable. La razón reside en el diseño de los hornos, demasiado abiertos al flujo de oxígeno. En unas condiciones en exceso oxidantes gran parte del Fe+2 del fundente se oxida a Fe+3, formando magnetita en lugar de reaccionar con la sílice para dar lugar a la escoria fayalítica de bajo punto de fusión. Esto es lo que muestra la imagen de la escoria de Cerro Huaringa, en la que puede verse un campo dominado por formaciones de espinela ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) y bolitas de cobre embebidas en una matriz fundida, probablemente un vidrio piroxénico (Merkel & Shimada, 1988: 6, fig. 5).

No todo el cobre del tiempo de los incas se obtenía con la tecnología de Batán Grande. En el norte de Chile, de la Fase Carmiña (1250-1450 d. C.), se han estudiado varias fundiciones en el Valle de Tarapacá. Allí se utilizaban *huayras* ya desde los inicios de la fase, observándose una intensificación de la producción en la época incaica. Los estudios de las escorias y los fragmentos de *huayra* indican que se trabajaban tanto minerales oxídicos como sulfuros (Zori *et al.*, 2012).

## 2. Las aleaciones de base cobre

Es ampliamente conocido que las aleaciones de base cobre utilizadas en los Andes Centrales fueron el cobre arsenical o bronce arsenical y el bronce al estaño. Asumimos que durante el breve desarrollo del Imperio inca fue el bronce cobre-estaño la aleación predominante, usada en la fabricación de objetos. También se asume que el bronce hizo su aparición hacia el año 800 a. C. (Lechtman, 2003), en Tiwanaku; no en vano los grandes depósitos de minerales estanníferos se encuentran en el Altiplano boliviano. Hay pocas evidencias de un uso tan antiguo, excepto algunos objetos del noroeste de Argentina, que por sus bajos tenores de estaño (inferior al 6% en peso) y su marcado polimetalismo (véanse análisis en González, 1979) bien podrían ser aleaciones fortuitas, producto de la reducción de minerales polimetálicos. Es una posibilidad de la que habló Petersen (1970: 29) recogiendo una cita de 1908 de Romaña referida a objetos bolivianos pobres en estaño.

Las evidencias arqueológicas de estaño metálico en tiempos prehispánicos parecen limitarse a una lámina enrollada encontrada en Machu Picchu por Bingham (1979). No conocemos datos sobre la metalurgia del estaño, ni escorias, y ello plantea numerosas incógnitas que cuestionan el paradigma comúnmente aceptado de la aleación de los metales.

Volviendo la mirada hacia el Viejo Mundo, la situación no era muy diferente allí hasta hace pocos años, a pesar de su potente Edad del Bronce que dio lugar a incontables objetos y numerosos depósitos. Los lingotes de estaño no parecen remontar hasta el 1400 a. C. (Pecio de Uluburun, en la costa turca), una fecha muy tardía en relación con la edad de los primeros bronces sumerios del cuarto milenio a. C. Recientes estudios arqueometálicos proponen que la producción de la aleación cobre-estaño no se realizaba, al principio, fundiendo los metales en un crisol, sino sus minerales (correducción de mineral de cobre con casiterita), o cementando cobre con casiterita (Rovira & Montero-Ruiz, 2013: 235-236). Este procedimiento ya había sido propuesto hace muchos años por Gowland (1912a: 15) como explicación de la realidad arqueológica y que ha sido demostrado eficazmente gracias a la experimentación (Gowland, 1912b; Rostoker & Dvorak, 1991; Rovira *et al.*, 2009; Rovira, 2011-2012).

Tenemos algún dato que hace pensar que en los Andes Centrales pudo suceder algo similar, que la producción de bronces prehispánicos no se hacía con estaño sino con casiterita. La reciente tesis de Figueroa (2012) demuestra, tras los análisis de laboratorio de los restos metalúrgicos procedentes de las localidades del norte de Chile, que el bronce se fabricaba cementando cobre con casiterita en un crisol (Figueroa, 2012: 505-520). Esto podría explicar, como en el caso europeo, la «invisibilidad» del estaño metálico y de las escorias correspondientes al procesamiento metalúrgico de la casiterita, además de plantear nuevos retos a la investigación.

## 3. Los bronces incaicos del Museo de América

El conjunto de metales incaicos contemplados en este trabajo procede en su mayoría de la Colección Juan Larrea, donada al Estado español en la década de 1930. Los análisis fueron publicados en Rovira (1990) y revisados posteriormente por Rovira & Gómez Ramos (1995).

La metodología analítica seguida, desarrollada en detalle en Rovira (1990: 95-117), puede resumirse del siguiente modo: análisis semicuantitativos por fluorescencia de rayos X (energía dispersiva), utilizando un espectrómetro Kevex 7000 equipado con una fuente de rayos gamma de  $^{241}\text{Am}$  encapsulado, de una intensidad de 20 mCi y una ventana radiante de 25 mm de diámetro (análisis de la superficie metálica en un área grande). Detector de Si(Li) con una superficie de 80 mm<sup>2</sup>. El Software es Quantex V03B Rev. 11/80, de Kevex. Este equipamiento ha sido empleado para obtener los datos analíticos de todos los objetos a los que se hace referencia en este trabajo.

En el cuadro 1 se exponen los resultados de los análisis compositionales, cuya distribución referente al contenido de estaño se resume gráficamente en la figura 2. Como puede observarse en dicha figura, el histograma muestra una distribución poco agrupada en torno al valor medio, si bien hay tendencia hacia composiciones comprendidas en el rango de 7-16% Sn, pero sin que pueda hablarse de una clara estandarización en torno a un intervalo estrecho. La moda, no obstante, cae en el intervalo de 10-12% Sn, que corresponde a bronces de buena calidad.

La marcada asimetría del gráfico en la dirección de los bronces ricos en estaño merece que nos detengamos un momento para su estudio. Como es sabido, la solubilidad del estaño en el cobre, en estado sólido, es buena hasta valores teóricos cercanos al 15% Sn, en un bronce enfriado muy lentamente desde el estado líquido o recocido suficientemente en estado sólido (diagrama de equilibrio de fases).



**Cuadro 1 – Análisis elemental semicuantitativo de objetos de bronce incaicos (XRF-ED, % en peso)**

Los análisis señalados con (M) corresponden al valor medio de varios análisis

Nota: (tr) trazas, (nd) no detectado

Núm. Invent.	Tipo	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
7001	Tupu cabeza laminar	0,12	tr	95,0	nd	nd	0,004	4,34	nd	nd
7003	Tupu cabeza laminar	0,10	tr	94,2	nd	nd	0,003	5,03	nd	nd
7004	Tupu cabeza laminar	0,19	0,01	93,5	nd	nd	0,009	6,23	nd	nd
7006	Tupu cabeza laminar	0,08	0,02	92,9	nd	nd	0,006	6,17	nd	nd
7008	Colgante discoidal	0,02	0,01	89,1	nd	nd	0,049	10,3	0,03	nd
7009	Tupu cabeza laminar	0,06	0,06	85,3	nd	nd	0,033	14,3	0,10	nd
7012	Tupu cabeza laminar	0,04	tr	94,5	nd	nd	0,040	4,85	nd	0,01
7013	Hacha	0,03	0,03	94,1	nd	0,14	0,350	4,45	0,08	nd
7017	Tupu cabeza laminar	0,02	nd	89,4	nd	0,44	0,044	9,77	tr	nd
7026(M)	Hacha votiva	tr	tr	86,4	nd	nd	0,025	13,1	nd	nd
7027	Tumi	0,08	tr	85,7	nd	nd	nd	13,6	nd	nd
7028	Tupu cabeza laminar	0,07	0,02	93,0	nd	nd	0,047	5,94	nd	0,07
7032	Tumi	0,01	0,02	95,8	0,16	nd	0,004	3,41	nd	nd
7036	Hacha apéndices	0,20	0,02	94,9	0,09	nd	0,012	4,42	nd	nd
7044	Cincel	0,02	0,03	89,1	nd	nd	0,028	10,0	nd	nd
7050	Boleadora	0,14	0,02	83,7	nd	nd	nd	15,2	0,01	nd
7052	Hacha apéndices	0,14	0,01	92,3	nd	nd	0,016	7,54	nd	nd
7061	Estatuilla zoomorfa	0,07	0,01	81,9	nd	nd	0,011	17,4	nd	nd
7062	Boleadora	0,06	nd	88,9	nd	nd	0,017	9,72	nd	0,12
7064	Tupu cabeza laminar	0,12	0,09	90,8	nd	nd	0,057	8,00	0,47	nd
7065	Estatuilla zoomorfa	1,26	0,13	87,5	0,45	nd	0,057	8,68	0,36	0,97
7075	Anillo	0,12	0,03	92,6	0,68	nd	0,040	5,52	0,02	0,09
7076	Tupu	0,01	0,10	81,6	nd	nd	0,025	14,4	0,08	2,12
7088	Hacha orejetas	1,51	0,06	89,3	nd	0,08	0,005	8,48	0,01	nd
7102	Tupu cabeza laminar	0,05	nd	92,3	0,03	nd	0,009	7,61	nd	nd
7103	Colgante discoidal	0,07	0,01	90,0	nd	0,02	0,071	9,05	0,02	0,02
7110	Pinzas	0,12	0,07	92,4	nd	0,22	0,061	6,81	0,12	nd



Núm. Invent.	Tipo	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
7127	Brazalete	0,23	0,48	74,5	nd	nd	0,006	23,9	nd	nd
7128	Colgante discoidal	0,04	tr	91,4	nd	nd	0,016	8,26	0,02	nd
7130	Tumi	0,11	0,12	91,0	nd	nd	nd	8,62	nd	nd
7131(M)	Machacador?	0,03	nd	72,2	nd	nd	nd	26,9	0,01	nd
7132	Hacha	0,04	0,14	89,2	nd	nd	0,022	10,6	nd	nd
7133	Hacha apéndices	0,18	0,01	93,4	nd	nd	0,009	6,26	nd	nd
7134	Hacha-pico	tr	0,07	88,5	nd	nd	nd	11,0	nd	nd
7135	Hacha-pico	0,06	0,01	88,8	nd	nd	0,007	10,5	nd	nd
7136	Maza rompecabezas	0,05	tr	88,2	nd	nd	0,022	10,6	0,07	0,11
7137	Maza rompecabezas	0,40	0,20	91,8	nd	0,53	0,054	6,79	0,08	nd
7138	Boleadora	0,21	0,25	90,1	nd	0,14	0,024	8,26	nd	1,01
7139	Tumi	0,11	0,02	88,4	nd	nd	0,013	11,0	nd	nd
7140	Maza rompecabezas	0,01	0,06	88,6	nd	0,34	0,052	10,8	0,15	nd
7141	Boleadora	0,06	nd	80,6	0,17	nd	0,015	18,2	nd	0,05
7142	Maza rompecabezas	0,04	0,19	89,0	nd	nd	0,007	10,3	nd	nd
7143	Boleadora	0,15	0,06	85,7	nd	0,06	0,008	12,6	0,44	0,06
7147	Maza rompecabezas	0,01	0,11	84,4	nd	0,22	0,061	10,9	0,18	3,68
7150	Colgante discoidal	0,25	0,10	94,2	0,39	0,22	0,041	4,96	0,04	0,14
7152	Boleadora	0,01	0,07	77,1	nd	nd	0,041	22,2	nd	nd
7153	Boleadora	tr	0,07	85,8	0,16	nd	0,028	13,9	nd	nd
7154	Cascabel	tr	0,01	87,0	nd	nd	0,012	12,3	nd	nd
7155	Boleadora	tr	0,08	84,7	0,16	nd	0,007	15,0	nd	nd
7156	Boleadora	tr	tr	84,0	nd	nd	0,084	14,9	nd	0,47
7161	Varilla (frag.)	0,12	0,01	84,7	nd	nd	0,011	14,2	0,13	0,10
7162	Anilla	0,18	0,03	88,4	nd	nd	0,007	10,6	0,02	0,26
7163	Boleadora	0,32	tr	84,0	0,01	0,13	0,014	11,0	nd	4,41
7165	Boleadora	0,27	0,14	70,0	nd	nd	0,045	27,6	nd	1,91
7166	Boleadora	0,24	tr	89,5	0,07	0,07	0,004	7,49	nd	1,59
7167	Boleadora	0,39	0,17	88,3	0,16	nd	0,012	11,0	nd	nd

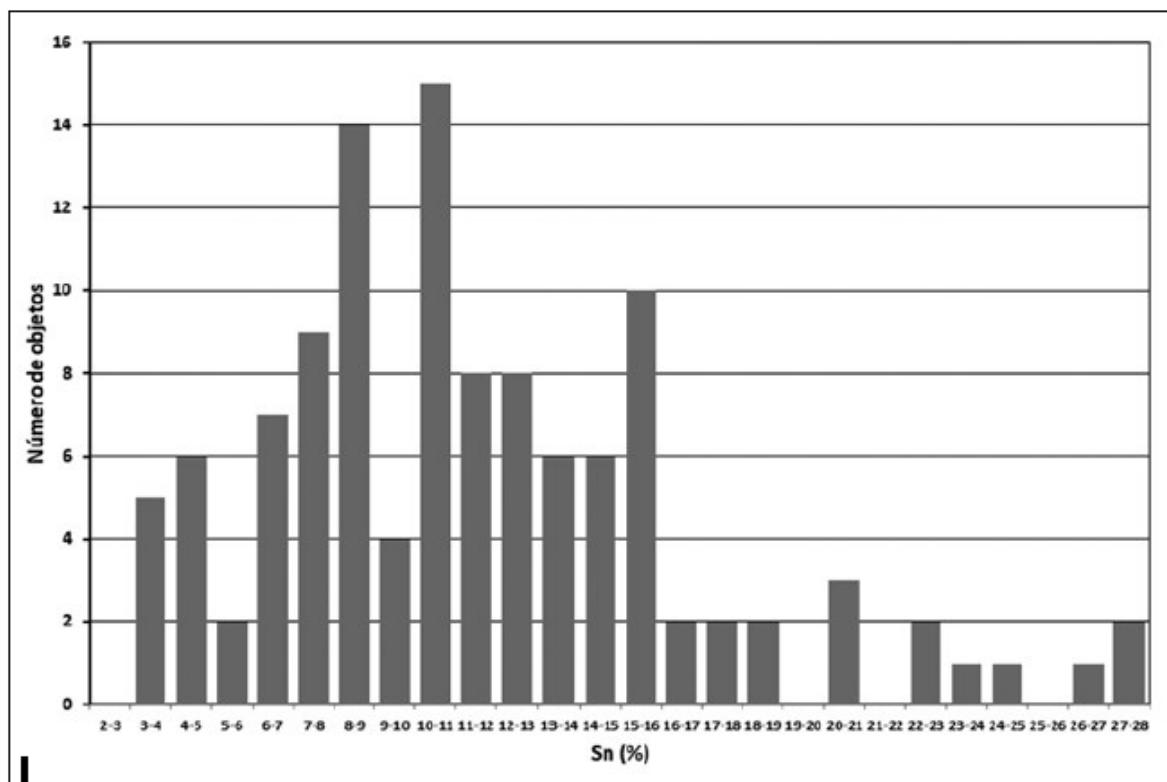


Núm. Invent.	Tipo	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
7168	Boleadora	0,03	0,04	78,8	nd	0,47	tr	20,3	0,16	0,16
7169	Boleadora	0,26	0,21	85,1	nd	nd	0,016	14,4	nd	nd
7170	Cuenta collar	0,16	0,06	81,9	nd	nd	0,020	17,4	nd	0,36
7171	Cuenta collar	0,14	0,02	83,0	nd	nd	0,260	15,7	nd	0,46
7173	Cuenta collar	0,10	0,05	82,5	nd	nd	0,015	16,3	nd	0,30
7213	Aguja	0,09	0,17	94,4	nd	0,21	0,024	3,35	0,05	1,41
7214	Tumi	0,38	0,04	90,7	nd	0,34	0,010	8,03	0,11	nd
7217	Tupu cabeza figurada	0,02	tr	91,1	nd	0,04	0,063	8,34	nd	0,12
7222	Pinzas	0,01	nd	96,2	nd	nd	0,023	3,43	tr	nd
7223	Tupo cabeza figurada	0,15	nd	91,9	nd	nd	0,021	7,80	nd	0,01
7225	Maza rompecabezas	0,08	0,01	90,5	0,03	nd	0,159	8,55	0,02	0,61
7226	Maza rompecabezas	0,17	0,05	97,5	0,14	nd	0,597	1,31	0,02	0,22
7227	Maza rompecabezas	0,05	0,01	91,7	nd	0,03	0,332	7,40	0,02	0,35
7228	Maza rompecabezas	0,09	0,01	93,0	nd	nd	0,007	6,55	nd	nd
7234	Hacha	0,15	0,12	90,3	nd	nd	0,008	9,42	nd	nd
7235	Herramienta?	0,13	0,11	91,0	0,39	0,11	0,063	7,27	0,04	0,08
7242	Hacha apéndices	0,15	0,34	74,0	nd	nd	0,082	24,1	1,01	nd
7257	Herramienta?	0,01	0,02	87,5	0,15	nd	0,015	11,5	nd	nd
7330	Cincel	1,71	0,11	93,9	0,32	nd	0,010	3,35	nd	nd
7354	Colgante discoidal	0,26	0,07	85,4	0,41	0,18	tr	13,5	tr	0,11
7356	Tumi	0,01	0,05	88,6	nd	nd	0,004	11,2	nd	nd
7358	Tumi	0,07	0,07	90,1	nd	nd	0,006	9,69	nd	nd
7359	Tumi	0,01	0,10	85,5	0,20	nd	0,092	13,4	nd	nd
7360	Tumi	0,04	0,01	87,8	nd	nd	0,035	12,0	0,01	nd
7361(M)	Tumi	0,01	0,14	85,2	0,18	0,19	0,078	13,7	0,01	0,19
7363	Tumi	tr	0,11	86,1	0,17	nd	0,093	12,4	tr	0,18
7366	Tupo cabeza laminar	0,08	0,02	94,0	0,08	nd	0,012	4,86	0,02	0,11
7367	Tupo cabeza figurada	0,15	0,02	91,2	0,09	nd	0,084	7,63	nd	nd
7368	Tupo cabeza figurada	0,20	0,25	87,1	0,22	nd	0,016	11,6	0,11	0,21



Núm. Invent.	Tipo	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
7369	Tupo cabeza figurada	0,52	0,07	95,2	0,10	0,32	0,045	3,48	0,01	nd
7370	Tupo cabeza figurada	0,05	0,44	86,5	nd	nd	0,012	12,7	nd	nd
7374	Limpia-oídos	0,07	nd	83,9	0,12	nd	0,013	15,4	nd	nd
7375	Limpia-oídos	0,23	0,32	82,0	0,57	0,28	0,089	15,4	tr	0,11
7380	Tupo cabeza figurada	0,14	0,08	62,0	nd	0,58	0,036	36,4	nd	nd
7388	Tupo cabeza figurada	0,35	0,01	92,7	nd	nd	0,032	6,94	0,01	nd
7389	Tupo cabeza figurada	0,11	0,31	88,5	0,29	nd	0,005	10,1	nd	nd
7390	Tupo cabeza figurada	0,08	0,42	85,4	0,38	nd	0,021	12,0	0,05	1,42
7396	Anillo	0,05	0,17	82,8	nd	nd	0,015	17,0	nd	nd
7397	Colgante zoomorfo	0,06	0,05	75,9	nd	0,78	0,032	22,5	0,06	0,27
7398	Colgante figurado	0,01	0,18	79,1	nd	nd	0,018	20,6	0,03	nd
7403	Estatuilla zoomorfa	0,11	0,21	88,4	0,67	0,19	0,957	8,90	0,26	0,20
7405	Colgante zoomorfo	0,01	0,17	78,5	nd	nd	0,010	20,8	tr	nd
7406	Boleadora	0,12	0,02	86,2	0,08	nd	0,177	11,8	0,16	1,28
7407	Colgante antropomorfo	tr	0,01	86,5	0,09	0,07	0,028	7,10	tr	5,51
7408	Colgante antropomorfo	0,01	tr	90,8	nd	nd	0,020	8,37	0,05	nd
7409(M)	Estatuilla zoomorfa	0,09	0,02	83,5	0,19	0,28	0,012	15,0	0,09	nd
7409A	Estatuilla zoomorfa	0,03	0,01	84,0	0,25	0,21	0,011	14,8	0,09	nd
7409B	Estatuilla zoomorfa	0,15	0,03	83,0	0,13	0,35	0,013	15,2	0,10	nd
7411	Colgante antropomorfo	0,07	0,06	79,9	nd	1,64	0,055	18,2	0,05	nd
7413	Contera	0,06	0,02	83,9	nd	nd	0,011	15,8	0,07	0,16
7421	Puño o remate figurado	0,03	0,02	91,7	nd	nd	0,014	8,04	0,01	nd
7456	Tupo	0,14	0,09	87,2	tr	tr	tr	12,3	tr	nd
7483	Tupo cabeza figurada	tr	0,28	87,3	nd	nd	0,011	11,6	0,39	nd





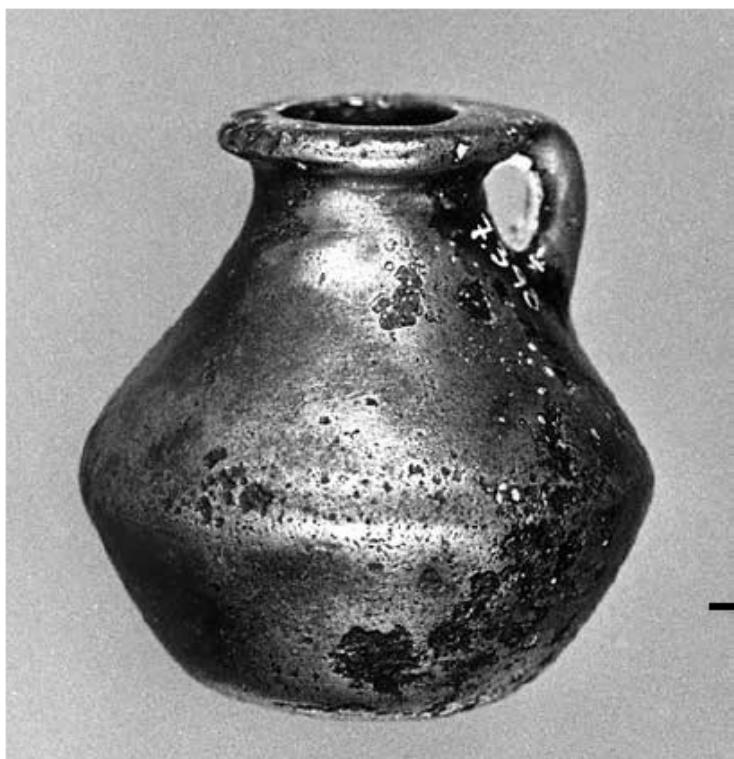
**Figura 2 – Histograma de los porcentajes de estaño de los objetos incaicos del Museo de América**

Elaboración: S. Rovira

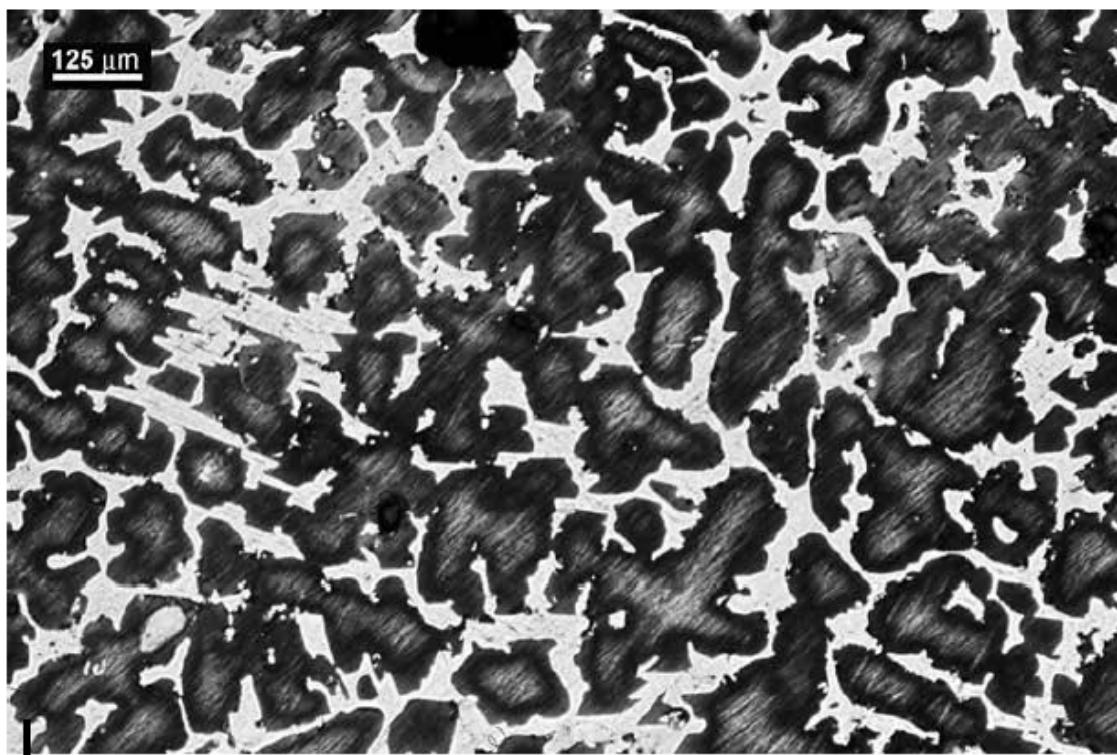
En estas condiciones el carácter bifásico de la aleación se homogeneiza. Con porcentajes superiores la insolubilidad se manifiesta en la remanencia de fase  $\delta$  (componente duro de la aleación con cerca del 30% Sn). La fase  $\delta$  es de color gris plateado y cuanto más abundante es, más aspecto plateado tiene el metal. En los objetos obtenidos a molde que no reciben ningún tratamiento térmico posterior, los segregados de fase  $\delta$  se manifiestan en composiciones muy por debajo del 15% Sn y pueden dar lugar a fenómenos de exudación superficial de una fase rica en estaño.

Tenemos un ejemplo en el colgante en forma de vasija N. I. 7398 (fig. 3), en cuya composición interviene un 20,6% de estaño (véase análisis en el cuadro 1). La metalografía efectuada en la base (fig. 4) muestra abundante fase  $\delta$  segregada, lo que da un aspecto plateado amarillento al colgante. Consecuentemente, es un metal muy duro, aunque en este caso no parece que la dureza fuera una cualidad relevante.

Si reparamos en los objetos de bronce con porcentaje de estaño elevado del cuadro 1 veremos que se trata de una estatuilla zoomorfa (N. I. 7061), un brazalete (N. I. 7127), dos boleadoras (N. I. 7152 y N. I. 7165), un hacha de apéndices (N. I. 7242), un tipo de cabeza figurada (N. I. 7380) y cuatro colgantes (N. I. 7397, N. I. 7398, N. I. 7405 y N. I. 7411). Si exceptuamos el hacha, en ningún otro objeto la dureza es una cualidad necesaria. Pero si la consideramos, su composición se aparta notoriamente de la de los otros ejemplares de la colección, que son en su mayoría bronces pobres en estaño, por lo que habría que dudar si realmente es el estaño el elemento endurecedor o más bien se busca un efecto cromático. Como es sabido, el martillado de un metal incrementa notablemente su dureza independientemente de su composición, aunque ambos aspectos combinados multiplican el efecto. Véase, por ejemplo, el trabajo experimental realizado por Lechtman (1996).



**Figura 3 – Colgante en forma de vasija globular N. I. 7398,  
Colección Larrea; altura 3,6 cm**  
© Museo de América, Madrid



**Figura 4 – Metalografía del colgante N. I. 7398**

Microestructura de bruto de colada con abundantes segregados de fase  $\delta$ . Composición: 79,1% Cu - 20,6% Sn. Ataque con cloruro férrico y ácido clorhídrico en solución alcohólica

© S. Rovira

Otro factor que conviene contemplar es la mayor facilidad de moldeado de una aleación rica en estaño. Mientras el cobre puro solidifica a 1083 °C, una aleación con 12% Sn tiene un intervalo de solidificación entre 800 y 1000 °C, es decir, que hasta en la temperatura más baja del intervalo hay fase líquida, lo cual permite, en teoría y dicho de manera muy simplificada, una mejor adaptación a la forma del molde. La temperatura más alta del intervalo disminuye cuando aumenta la proporción de estaño, de manera que una aleación con 20% Sn mantiene fase líquida entre 800 y 890 °C, siendo más fácil para el fundidor preparar la crisolada.

Pero en realidad a donde queríamos llegar tras estas digresiones es a que probablemente el color plateado era el objetivo buscado por el artesano, o al menos uno de los objetivos, al preparar aleaciones con tenores altos de estaño.

Pocos objetos contienen pequeñas cantidades de plomo, debidas quizás a aleaciones intencionadas en aquellas con porcentajes superiores al 2% Pb. Pequeñas adiciones de plomo facilitan el moldeo y como vemos en el cuadro 1, los porcentajes mayores corresponden a piezas hechas a molde.

Con respecto a la cola de las aleaciones pobres en estaño de la figura 2, vemos que el repertorio de objetos comprende principalmente *tupus*, tumis, hachas, boleadoras y herramientas. No es sorprendente, pues ya Mathewson (1915) había observado en la treintena de análisis de los materiales de Machu Picchu recogidos por Hiram Bingham que la gran mayoría eran bronces con menos del 8% Sn.

La figura 2 tiene otras lecturas. Uno podría preguntarse por qué observamos tanta variedad de composiciones. Desde la perspectiva de la metalurgia moderna las aleaciones bronceñas están perfectamente optimizadas funcionalmente y estandarizadas. Aunque la variedad es grande, obedece más a la adición de determinados aleados mejoradores que a los porcentajes de estaño que se mantienen alrededor del 12% óptimo teórico, si exceptuamos el bronce de campana por su peculiaridad sonora. Obviamente no pretendemos establecer comparaciones entre dos mundos tecnológicamente tan diferentes, pero cierto nexo de unión existe (al fin y al cabo estamos hablando de metalurgia y metalúrgicos) y el hecho de que el histograma de la figura 2 acumule las barras más elevadas en torno al intervalo de 9-14% Sn (la pequeñez de la barra 9-10% en el gráfico es sin duda un efecto particular de la colección en estudio) es un buen síntoma de que los metalúrgicos incaicos (como sucedió también en los europeos del Bronce Final) percibían de algún modo la bondad del óptimo teórico pero tenían dificultades para definirlo con la tecnología de la cual disponían y con sus métodos para testear los materiales.

Otra dificultad para fijar una aleación estándar provino probablemente del método de obtención del bronce, una vez rechazada la elaboración a partir de los metales que hubiera conducido más fácilmente a la estandarización. Tanto la correducción de minerales como la cementación de las que hemos hablado en la sección anterior no permiten predecir con exactitud el resultado de la liga pues, aparte cuestiones derivadas del desconocimiento de la composición exacta de los minerales empleados y otras cuestiones ponderales, el propio químismo de las reacciones que tienen lugar durante el proceso metalúrgico es difícil de controlar en una metalurgia de rasgos primitivos y con los mismos materiales de partida se puede llegar a resultados diferentes.

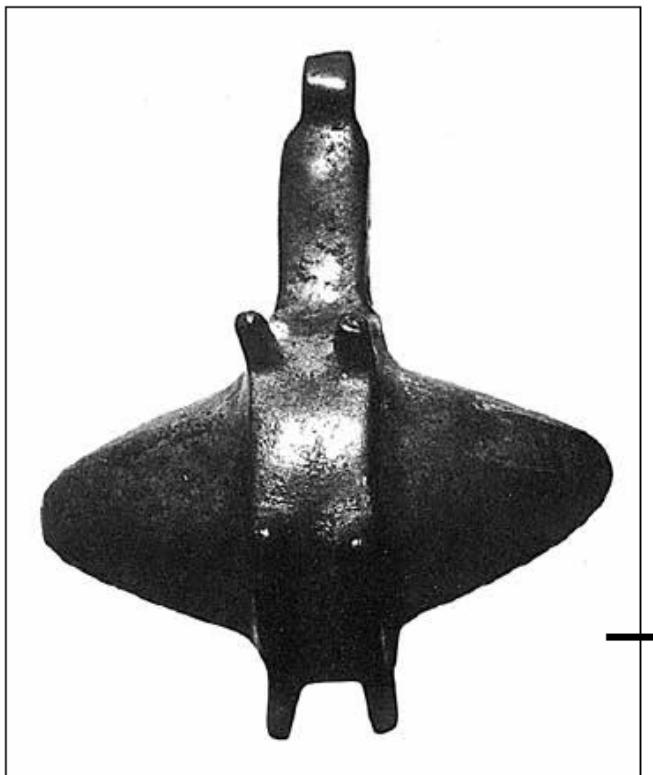
Nuevamente la experimentación nos ayuda a comprender la situación. La correducción produce porciones de bronce embebidas en la escoria, de composiciones muy distintas que van desde las de cobre prácticamente puro a las de estaño, pasando por toda la gama intermedia de composiciones (Rovira et al., 2009: 411, tab. 3). Físicamente se manifiesta por una amplia gama de colores de los materiales que van desde los tonos cobrizos hasta los grises plateados ricos en estaño (fig. 5). Al metalúrgico le resultaba sencillo agruparlas por colores, obteniendo así la materia prima para distintas aleaciones. Ahora bien, el color es un indicio del contenido de estaño pero resulta cuantitativamente impreciso; de ahí que las aleaciones resultantes basadas en el color de la materia prima muestren porcentajes de estaño tan variables.



**Figura 5 – Porciones de cobre obtenidas tras machacar la escoria en un experimento de correducción de mineral de cobre y casiterita**

Los tonos grises plateados corresponden a porciones con elevado contenido de estaño

© S. Rovira

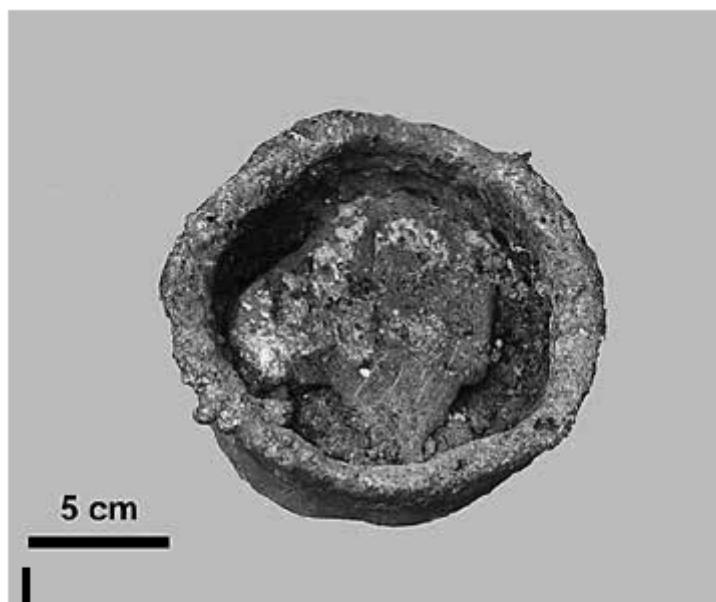


**Figura 7 – Boleadora elipsoidal N.I. 7141**

Longitud máxima 9,7 cm

© Museo de América, Madrid

La cementación es, en teoría, un método más preciso para obtener bronce de una ley predeterminada. Pero, nuevamente, las reacciones en el crisol pueden producir resultados variables, como veremos. En otro experimento (Rovira, 2011-2012: 115-118) partimos de 300 g de cobre puro y casiterita en una relación ponderal para dar teóricamente bronce con 7,86% Sn. Sin embargo, el resultado fue un lingote cuya matriz metálica contenía solo 4,62% Sn y había quedado casiterita sin reducir en el fondo del crisol (fig. 6). Un ambiente excesivamente oxidante en el interior del crisol fue el responsable.



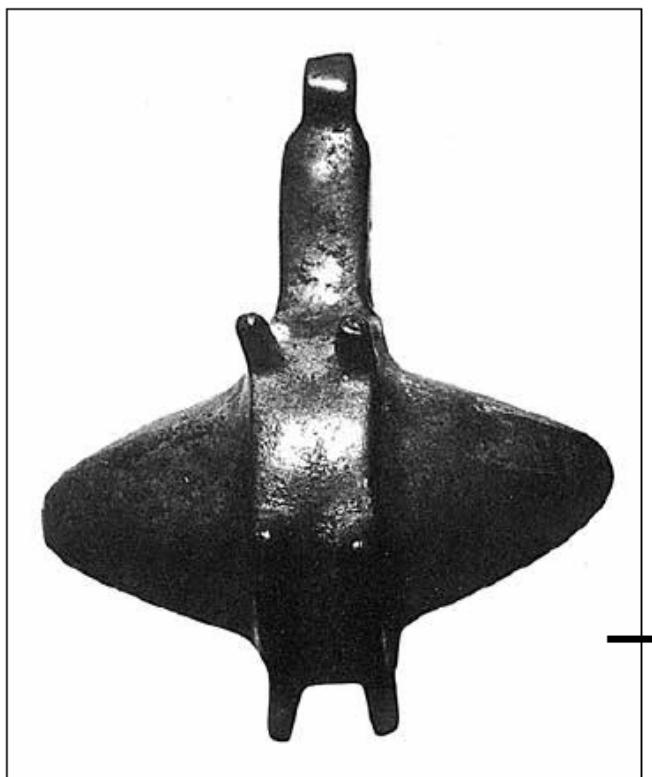
**Figura 6 – Crisol y lingote experimental de bronce obtenido por cementación de cobre con casiterita**

© S. Rovira

Vemos, pues, cómo una tecnología de rasgos primitivos puede dar lugar a la variabilidad composicional observada en los bronces del Museo de América.

Las recetas de taller empleadas por los metalarios prehispánicos para fabricar los objetos han sido descritas detalladamente en numerosos trabajos de Heather Lechtman y otros investigadores, por lo que resultaría un ejercicio innecesario pormenorizarlas aquí. Sabemos que usaban con frecuencia metal laminado (hojas de tumis, cabezas de tupos, láminas decoradas, etc.) y, sobre todo a partir del Periodo Intermedio Tardío, las piezas de bulto redondo hechas a molde. La fundición a la cera perdida era una de las técnicas imprescindibles para reproducir diseños complejos o piezas huecas.

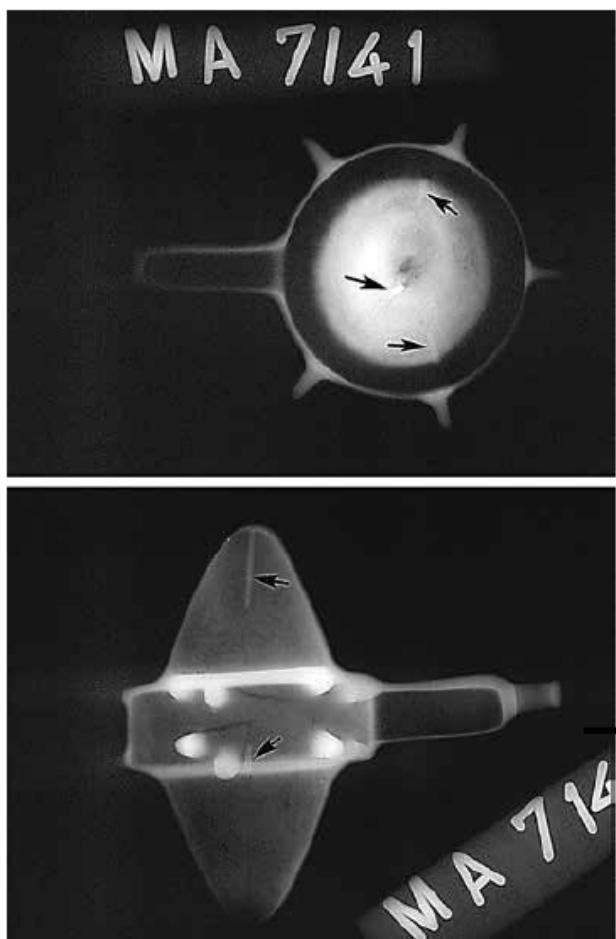
El Museo de América custodia una boleadora de diseño elipsoidal, con un cinto envolvente sobre el eje menor del que sobresalen cinco pares de púas y una barra con perforación en el extremo para atar el cordel (fig. 7). La pieza es de bronce con 18,2% Sn (véase análisis en el cuadro 1). Su peso es mucho menor del que le correspondería si fuera maciza, por lo que se entiende que es una pieza hueca aunque no tiene orificios de contacto con el exterior, es decir, que en el momento de fabricarla había un molde interno y otro externo. Realizamos en el laboratorio sendas radiografías y comprobamos que, efectivamente, existe un molde interno del elipsoide y de la barra (fig. 8). Para sujetar dicho molde en posición se utilizaron tres pasadores metálicos, uno penetrando por uno de los polos del elipsoide y los otros dos desde el cinto diametral. La figura 8 muestra las radiografías en dos posiciones de la boleadora en las que se aprecian, por la diferencia de densidad del metal respecto al material del molde, dichos pasadores (señalados con flechas negras en las imágenes). Es una pieza obtenida a la cera perdida.



**Figura 7 – Boleadora elipsoidal N.I. 7141**

Longitud máxima 9,7 cm

© Museo de América, Madrid

**Figura 8 – Boleadora elipsoidal N.I. 7141**

Imágenes radiográficas señalando con flechas negras la posición de los pasadores que sujetan el molde interno

© S. Rovira

#### 4. La cuestión de la plata

Los inicios del uso de la plata en el área andina media siguen planteando algunos interrogantes y, por ahora, no es momento de abordarlos. La metalotectónica señala la abundancia de recursos argentíferos en varias regiones serranas, a menudo asociando plata-oro y plata-oro-cobre. Esta peculiar situación ha hecho pensar que, en un principio, debieron explotarse los recursos de plata nativa fácilmente accesibles situados en las monteras de las mineralizaciones primarias.

Entre los objetos de plata más antiguos hay que mencionar algunas piezas argénteas de las culturas Vicús y Frías de las que hablaba Kauffmann (1978: 346- 349), considerándolas «evidentemente pre-mochicas». En una primera valoración pensábamos, visto el nivel tecnológico que muestran dichas piezas (aplicaciones de filigrana, granulado, sobrepuertos soldados, etc.), que debían ser más tardías, contemporáneas de alguna fase avanzada mochica (Rovira, 1990: 23). Hoy sabemos que las culturas Vicús y Moche coinciden cronológicamente en una amplia horquilla temporal y estilística. El estudio tecnológico de una nariguera Vicús realizado por Limata *et al.* (2006), en este caso de oro pero tecnológicamente similar a las de plata, encajaría en un contexto metalúrgico mochica bien desarrollado aunque, cabe mencionar, sus rasgos están mejor representados en la metalistería ecuatoriana de La Tolita que pervive hasta mediados del primer milenio d. C.

Uno de los resultados más interesantes de la exploración llevada a cabo por Heather Lechtman en Perú (Lechtman, 1976) fue haber encontrado, en Ancón, sólidas evidencias de metalurgia extractiva de plata datadas desde el Horizonte Medio hasta la ocupación inca inclusiva. Dichas evidencias se cifran en escorias, fragmentos de cerámica con la superficie interna escorificada y masas de litargirio (Lechtman,

1976: 33-37). Es decir, tenemos los materiales básicos para poder hablar de fundición de minerales argentíferos (probablemente en hornos con paredes cerámicas, *¿huayras?*) usando plomo o mineral de plomo como captador de la plata (no es propiamente un fundente, como se dice con frecuencia), desplatando el plomo argentífero obtenido de la reducción por el procedimiento clásico de copelación, cuyos subproductos son las masas o tortas de litargirio (óxido de plomo). Desafortunadamente no tenemos noticia de que se llevaran a cabo los estudios analíticos anunciados en dicho artículo, que hubieran sido de gran importancia para el tema que nos ocupa, aunque los hallazgos y sus someras descripciones ya lo son de por sí.

Los relatos de los cronistas españoles de los primeros tiempos del periodo colonial nos han dejado algunos datos de interés arqueometalúrgico, en particular en la primera parte de *La Crónica del Perú* de Cieza de León y en los *Comentarios Reales* del Inca Garcilaso de la Vega. Así, sabemos que los metalúrgicos incaicos empleaban tres tipos de hornos para conseguir plata (Cooke *et al.*, 2008a: 1659). Unos eran simples cubetas excavadas en el suelo, de pequeño tamaño, en los que se extraía la plata de minerales argentíferos de alta ley; otros eran las llamadas *huayras* y, finalmente, los hornos o más propiamente las vasijas de copelar para separar la plata del plomo.

Todavía hay cierta confusión sobre la metalurgia de la plata que se espera pueda esclarecerse cuando se produzcan más hallazgos en contextos arqueológicos científicamente estudiados. Al contrario de lo que suele pensarse (confundiendo lo cuantitativo con lo cualitativo), los minerales argentíferos más abundantes del Altiplano, por ejemplo los de Cerro Rico de Potosí, son de baja ley (Humboldt, 1836: 268-269; Tandeter, 2001: 62), razón por la cual pronto fueron tratados por la Corona española bajo el sistema de patio con amalgama de mercurio para su mejor beneficio. Sin embargo, desde mucho antes de conocerse y aplicarse las propiedades de la amalgama de mercurio, se había descubierto el poder captador del plomo, en el cual se basó toda la metalurgia de la plata en el Viejo Mundo desde el cuarto milenio a. C. en adelante. ¿Cómo se refleja esta tecnología en el mundo andino prehispánico? Ya hemos mencionado los hallazgos de Ancón que parecen remitir, en nuestra opinión, al mismo proceso minero-metalúrgico antiguo euroasiático.

Ante la dificultad de manejar datos analíticos de minerales y escorias de plata prehispánica, parece lógico suponer que los hornos de cubeta pudieron utilizarse para procesar minerales de alta ley como la querargrita o plata córnea, un cloruro de plata fácilmente reducible a plata metálica en un horno sencillo, cuya existencia en la montera superficial de Potosí mencionan todos los buenos catálogos de minerales. En el gossan rojizo, que es la mineralización más abundante en el lugar, hay diseminados minerales argentíferos cuyo beneficio solo es rentable correduciendo el mineral con un captador que contenga plomo (el soroche o *suruchec* del que hablaban Cieza de León y otros cronistas, y que suele identificarse con la galena). Un horno bien ventilado, como la *huayra*, serviría a estos efectos y el resultado de la fundición sería plomo argentífero y una escoria ferruginosa. El paso final es el desplatado del plomo argentífero por copelación, en una vasija cerámica, quedando finalmente un régulo de plata con alguna impureza de plomo y litargirio.

Humboldt (1836: 269-270) describió la carga y funcionamiento de una *huayra*: capas alternadas de mineral argentífero, galena y carbón. La galena se obtenía de una mineralización aflorada en una montaña vecina del Cerro Rico. Humboldt opinaba que con las *huayras* se perdía mucha plata en la escoria, siendo esta la razón por la cual los españoles pronto introdujeron el sistema de patio.

En la pasada década se han producido interesantes hallazgos debidamente documentados que confirman los aspectos clave de la metalurgia plomo-plata andina. Por un lado, yacimientos como los del área de Tarapacá en Chile han proporcionado en varios sitios arqueológicos prácticamente todos los materiales arqueometalúrgicos necesarios para describir, desde una base analítica, la cadena operativa completa de la metalurgia argentífera (Zori & Tropper, 2010). Todas las fechas radiocarbónicas obtenidas se encuentran dentro del Horizonte Tardío y comienzos del periodo colonial. Dicha cadena consistió en la fundición en *huayras* de minerales argentíferos con captador de plomo, seguida de un proceso de depuración de la masa de plomo + plata + escoria obtenida en la *huayra* (fundición escorificante) realizada en vasijas para, finalmente, también en vasijas, copelar el lingote plomo-plata y separar esta última.

Por otro lado, los estudios de la polución ambiental por plomo y plata de los sedimentos lacustres han dado indicios del inicio y evolución de la explotación plumbo-argentífera. La polución comienza a superar los valores de fondo a partir de aproximadamente el 400 d. C., con incrementos importantes hacia el año 1000 d. C., que seguirán creciendo con oscilaciones hasta la época colonial temprana (Abbott & Wolfe, 2003; Cooke *et al.*, 2008b).

Un reciente estudio realizado en la costa de la Bahía de Puno, en el Lago Titicaca, da una confirmación arqueológica de metalurgia precoz de la plata y del plomo. En esta zona se han investigado más de una docena de asentamientos en los que se han recogido restos metalúrgicos que evidencian el uso de *huayras* y los subproductos correspondientes (particularmente en el sitio de Huajje). Las fechas radiocarbónicas calibradas más antiguas se encuentran en el intervalo de 40 a. C.-240 d. C., dentro del Periodo Formativo Superior (200 a. C.-400 d. C.), Tiwanaku III (Schultze *et al.*, 2016), siendo por el momento las evidencias más antiguas.

## 5. Objetos de plata del Museo de América

Como en el caso de los bronces, la mayoría de objetos de plata son de la Colección Juan Larrea. Del análisis del cuadro 2 se deduce que muchos de ellos fueron elaborados con plata baja, es decir, con aleaciones en las que el cobre es un componente importante. En algunos ejemplares alcanza e incluso supera el 50% en peso de la liga. Dado que la plata y el cobre son prácticamente insolubles en estado sólido, la superficie de estos objetos de plata baja tendría originalmente reflejos rosados o claramente cobrizos.

La figura 9 muestra la distribución en un gráfico de las relaciones Ag-Cu. Como puede verse, aunque hay una mayor concentración de objetos con menos del 30% de cobre, la serie presenta un escaso agrupamiento. Como se sabe, la aleación de plata con 92,5% Ag, la llamada plata esterlina o de 925 milésimas, es la que reúne mejores propiedades de maquinabilidad. Sin embargo, a pesar de que muchos de los objetos incaicos son de estructura laminar, es decir, que el material ha sido sometido a procesos de deformación mecánica importantes, no parece que los plateros del Tawantinsuyo apreciaran estas ventajas. Por ejemplo, la lámina decorada por la técnica de relevado N. I. 7122 (fig. 10) tiene una estructura metalográfica correspondiente a una aleación bifásica con la plata segregada en los bordes de grandes granos de cobre (fig. 11). Para conseguir una lámina de apenas medio milímetro de espesor, el artesano debió someter el metal a sucesivas fases de estirado, teniendo en cuenta que los segregados de plata actúan como vetas débiles que podrían facilitar la rotura. La distribución esponjosa de dichos segregados indica que el metal era recocido térmicamente con frecuencia, de lo contrario adoptarían una disposición orientada longitudinalmente. No se aprecia enriquecimiento superficial en plata para darle un aspecto más plateado. Este es un buen ejemplo en el que la pericia del platero supo superar los inconvenientes de un material problemático a la hora de laminarlo para reducir su espesor.

Cuadro 2 – Análisis elemental semicuantitativo de objetos de plata incaicos (XRF-ED, % en peso)

Los análisis señalados con (M) corresponden al valor medio de varios análisis

Nota: (tr) trazas, (nd) no detectado, (--) no analizado

Núm. Invent.	Tipo	Fe	Ni	Cu	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Au
7010	Tupu cab. figurada	--	--	21,1	nd	77,6	nd	nd	1,30	nd
7025	Estatuilla antropomorfa	0,02	--	29,1	nd	59,2	1,96	0,25	0,53	8,90
7025A	Estatuilla antropomorfa	--	--	35,0	nd	61,4	1,98	0,16	0,90	nd
7041(M)	Estatuilla antropomorfa	tr	--	nd	nd	99,7	nd	nd	nd	nd
7043A	Estatuilla antropomorfa	0,20	--	3,25	nd	94,5	nd	nd	0,29	nd
7043B	Estatuilla antropomorfa	5,60	--	2,70	nd	85,9	nd	nd	4,82	nd
7046	Estatuilla antropomorfa	nd	--	1,65	nd	97,5	nd	nd	nd	nd
7072	Pinzas	nd	--	70,2	nd	29,4	nd	nd	0,34	nd
7094A	Vaso troncocónico	tr	--	3,32	nd	96,7	nd	nd	nd	nd
7095(M)	Estatuilla antropomorfa	tr	--	2,28	nd	97,6	nd	nd	nd	nd
7096	Estatuilla antropomorfa	tr	--	nd	nd	99,9	nd	0,05	nd	nd
7097	Estatuilla antropomorfa	tr	--	4,90	nd	95,1	nd	nd	nd	nd
7098	Estatuilla antropomorfa	tr	--	4,08	nd	95,9	nd	nd	nd	nd
7099	Estatuilla antropomorfa	tr	--	nd	nd	99,0	nd	nd	0,90	nd
7100	Estatuilla antropomorfa	tr	--	12,6	nd	86,1	0,31	0,01	1,07	nd
7101(M)	Estatuilla antropomorfa	tr	--	17,2	nd	81,8	0,09	nd	0,92	nd
7122	Lámina decorada (frag.)	nd	--	76,4	0,84	22,5	nd	nd	0,15	nd
7129	Colgante discoidal	nd	--	12,3	nd	86,6	0,04	0,02	0,95	nd
7151	Pinzas	0,01	--	16,2	nd	80,1	0,09	tr	1,49	1,24
7164	Cuenta collar	nd	--	4,70	nd	93,6	nd	nd	1,06	nd
7172	Cuenta collar	0,08	--	36,2	0,34	61,9	0,45	0,02	0,68	nd
7216	Colgante antrop.	nd	--	9,58	nd	88,2	nd	nd	1,66	nd
7219	Tupu cabeza figurada	nd	--	37,2	nd	60,9	nd	nd	0,59	1,23
7224	Tupu cabeza figurada	nd	--	18,6	nd	81,3	nd	0,01	nd	nd
7245(M)	Vaso troncocónico	nd	--	73,0	nd	26,2	nd	0,01	0,80	nd
7332	Estatuilla antropomorfa	tr	--	9,79	nd	90,2	nd	nd	nd	nd
7347	Estatuilla antropomorfa	nd	--	12,0	nd	86,5	0,05	nd	0,09	0,61
7362	Tumi	tr	--	25,9	nd	73,4	0,16	nd	0,54	nd



Núm. Invent.	Tipo	Fe	Ni	Cu	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Au
7371	Tupu cabeza figurada	tr	tr	25,3	nd	72,9	0,29	0,02	nd	1,47
7372	Tupu cabeza figurada	tr	tr	27,4	nd	71,9	0,07	0,03	0,68	nd
7376	Limpia-oídos	tr	tr	62,8	nd	36,8	0,07	0,05	0,28	nd
7378	Tupu cabeza figurada	tr	tr	21,9	nd	76,9	nd	0,02	1,15	nd
7379	Tupu cabeza figurada	tr	tr	42,4	nd	57,4	0,18	nd	nd	nd
7381	Tupu cabeza figurada	tr	tr	30,36	nd	69,6	nd	nd	nd	nd
7383	Tupu cabeza laminar	tr	--	nd	nd	98,0	nd	nd	1,89	nd
7384	Tupu cabeza laminar	tr	tr	5,50	nd	94,0	0,02	0,03	0,43	nd
7385	Tupu cabeza laminar	tr	--	nd	nd	99,5	nd	nd	nd	nd
7386	Tupu cabeza laminar	nd	--	26,6	nd	71,6	0,57	nd	nd	1,24
7391	Brazalete	nd	--	33,0	nd	65,4	0,47	nd	1,15	nd
7395	Estatuilla zoomorfa	0,01	0,10	3,23	nd	95,7	nd	nd	0,38	nd
7400	Estatuilla antropomorfa	tr	tr	61,4	nd	37,2	0,06	nd	nd	1,35
7401	Estatuilla zoomorfa	tr	tr	11,7	nd	87,4	nd	0,01	0,91	nd
7410	Estatuilla zoomorfa	--	--	7,29	nd	89,7	0,07	nd	nd	2,90
7412	Estatuilla zoomorfa	0,02	--	12,7	nd	84,7	nd	nd	1,65	0,99
7415	Pinzas	nd	--	6,14	nd	93,7	nd	nd	nd	nd
7416	Estatuilla antropomorfa	nd	--	19,34	nd	76,6	0,22	nd	2,80	nd
7417	Estatuilla antropomorfa	nd	--	6,93	nd	92,3	nd	nd	0,10	0,64
7418	Guardapuntas	nd	--	nd	nd	99,1	nd	0,02	0,93	nd
7420	Remate figurado	0,02	0,14	43,2	nd	55,5	0,22	nd	0,65	0,28
7427	Vaso troncocónico	nd	--	4,68	nd	94,4	nd	0,01	0,86	nd
7428	Vaso troncocónico	nd	--	6,39	nd	93,6	nd	nd	nd	nd
7431	Estatuilla antropomorfa	nd	--	0,15	nd	99,8	nd	nd	nd	nd
7432	Estatuilla antropomorfa	nd	--	nd	nd	99,0	nd	0,05	nd	0,53
7433	Vaso troncocónico	nd	--	4,85	nd	94,4	nd	0,01	0,42	nd
7434	Vaso troncocónico	nd	--	5,12	nd	94,4	0,03	nd	0,43	nd
7446B	Tupu cabeza laminar	nd	--	3,60	nd	96,4	nd	nd	nd	nd
7485	Tupu cab. figurada	nd	--	21,8	nd	77,4	0,45	nd	0,30	nd
7486	Estatuilla antropomorfa	nd	--	36,4	nd	61,6	nd	nd	1,06	nd



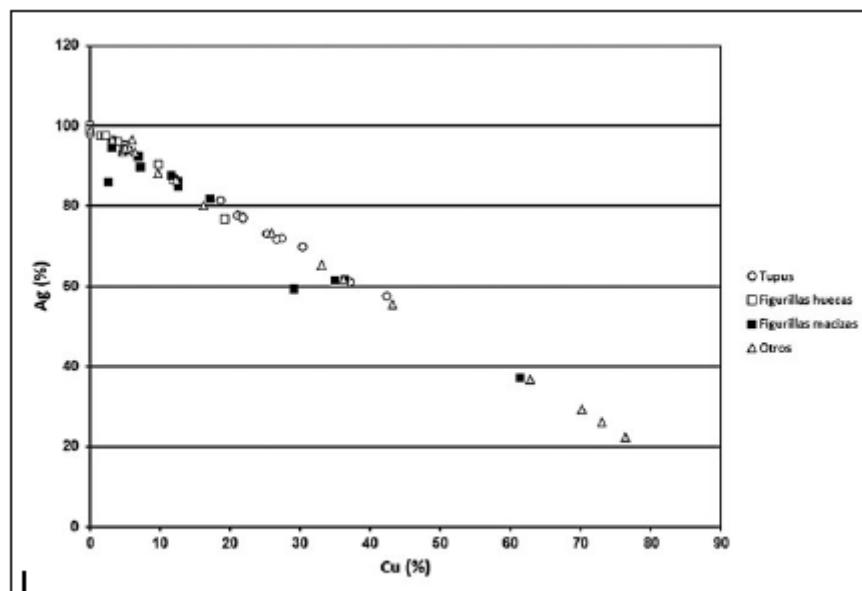


Figura 9 – Relaciones plata/cobre de los objetos incaicos del Museo de América

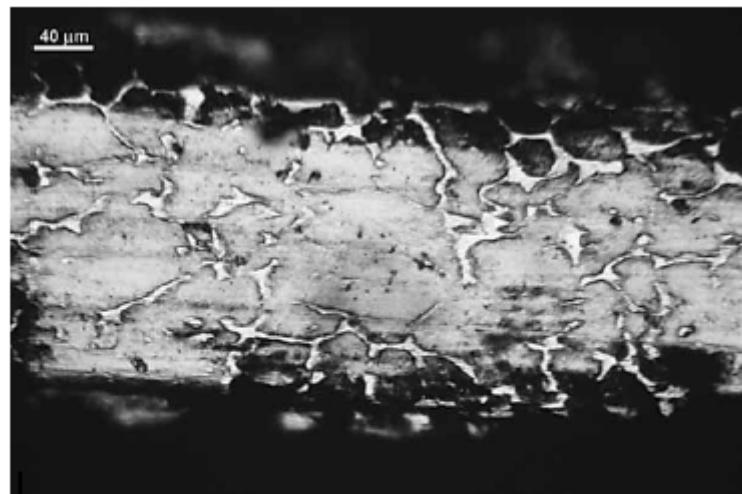
Elaboración: S. Rovira



Figura 10 – Lámina decorada N. I. 7122

Longitud máxima 12,2 cm. Plata baja con 22,5% Ag y 76,4% Cu. Presenta la superficie recubierta por una gruesa pátina de productos de corrosión del cobre. La pátina fue eliminada en una zona del reverso para efectuar los análisis

© Museo de América, Madrid



**Figura 11 – Metalografía de la lámina N. I. 7122**

Grandes granos de cobre rodeados por segregados blancos de plata. Ataque con cianuro potásico y persulfato amónico

© S. Rovira

Otro caso interesante es un *tupu* con cabeza en forma de langosta, N. I. 7219 (fig. 12). Es de plata con 37,2% de cobre. Una aleación con esta composición tiene un punto de fusión relativamente bajo, de poco más de 800 °C (la plata pura funde a 960,5 °C) y la microestructura es la de una aleación bifásica hipereutéctica con abundante eutéctico laminar plata-cobre, lo cual facilita la fundición y mejora la adaptabilidad del caldo al relieve del molde (fig. 13). La aleación plata-cobre tiene un eutéctico en 28,1% Cu; a esta concentración la temperatura de fundición se reduce a 779,4 °C. Pero, visto el gráfico de la figura 9, resulta dudoso que los metalúrgicos incas sacaran ventaja de esa propiedad, dada la escasa concentración de objetos en torno a estas proporciones. Pero sí fueron conscientes de que la adición de cobre en proporciones altas reducía sensiblemente la temperatura de licuación del metal resultante.

Respecto a las impurezas que acompañan a la plata, el plomo merece especial atención. En nuestra tesis (Rovira, 1990: 734-735) pasamos sin entrar en detalle sobre esta cuestión, influenciados por un desconocimiento general de la metalurgia de la plata y por la suposición de que la plata prehispánica pudiera proceder del laboreo de cabeceras de filones con plata nativa o con querargirita, como proponía Patterson (1971). Es evidente que estábamos equivocados y debimos prestar más atención a los hallazgos de Ancón publicados por Lechtman (1976). Es cierto que en aquellos años la única serie relativamente amplia de análisis de objetos de plata era la del Museo de América, a la que se sumaba apenas una docena de análisis antiguos dispersos en la bibliografía, en muchos de los cuales no se había determinado el plomo.



Figura 12 – Tupo N. I. 7219 en cuya cabeza figura una langosta  
Longitud máxima: 5,7 cm  
© Museo de América, Madrid



Figura 13 – Metalografía del tupo N. I. 7219  
Estructura de bruto de colada con grandes islotes de cobre en una matriz blanca en la que predomina eutéctico plata-cobre. Ataque con cianuro potásico y persulfato amónico  
© S. Rovira

En nuestro análisis del cuadro 2, la mayoría de los objetos de plata presentan impurezas de plomo en proporciones que oscilan entre 0,09% y 4,8%, siendo este último valor excepcional. Para efectos comparativos disponemos de otra serie importante: la de los objetos de plata de Wanka, de la época incaica (Howe & Petersen, 1994: 191, tab. 3), los cuales contienen plomo como impurezas residuales debidas a un proceso de purificación por copelación más o menos incompleto, según los autores. La misma conclusión es aplicable a los del Museo de América.

Las técnicas de taller del platero inca no difieren de las ya conocidas en etapas anteriores, en particular las de la época Chimú (Rovira, 1990: 738- 757). Se usaba frecuentemente el vaciado en molde y el laminado, así como procedimientos de embellecimiento superficial cuya tradición remite a la época mochica. Particularmente interesantes son las figurillas de plata de bulto redondo elaboradas con una fina chapa recortada y embutida, con las costuras soldadas. La figura 14 muestra un montaje en el que puede verse el anverso y el reverso de un orejón y su radiografía frontal. La figurilla N. I. 7431, de 23,1 cm de altura, es de plata prácticamente pura. Básicamente es una técnica similar a la que se usa actualmente en los recortables de papel o cartulina: se dibuja un diseño plano que luego se recorta, dobla y pega por los bordes. Aquí el procedimiento es algo más complejo porque la chapa recortada ha de trabajarse por relevado (repujado) para marcar las facciones de la cara y los brazos, y se embute para cerrar los bordes y conseguir el bulto redondo de la cabeza, el cuerpo y las extremidades inferiores. La cabeza va tocada con un casquete troncocónico soldado que, a su vez, lleva una tapa también soldada. La costura recorre la parte posterior de la cabeza y la cara interna de las piernas. Los orejones y el pene van soldados.

La construcción de las figurillas femeninas sigue el mismo esquema anterior, algo más simplificado por el hecho de que la cabeza se completa solo con el peinado que cae por la espalda y se sobrepone en gran medida al metal de la espalda, como indican las imágenes radiográficas de la figurilla N. I. 7095 en la figura 15.

Acerca del método empleado para las soldaduras, probablemente se trataba de una soldadura autógena en el caso de la figurilla masculina. Aunque el instrumento que empleamos no permitía el análisis puntual o de áreas reducidas de la superficie metálica, los análisis realizados que abarcaron las costuras soldadas no mostraron cambios significativos de composición. La soldadura autógena por exudación del metal era conocida en Perú desde los tiempos de las primeras culturas metalúrgicas. Básicamente consiste en aprovechar la propiedad que tienen los metales de producir un exudado poco antes de alcanzar la temperatura de fusión. En este punto, dos metales de composición similar puestos en contacto íntimo se unen por interdifusión atómica sin alcanzar el estado líquido. En ocasiones se ha documentado la interposición de una minúscula lámina metálica para facilitar la unión, como en las figurillas de jaguares estudiadas por Lechtman *et al.* (1975).

En la figurilla femenina, en cambio, se detectó mayor concentración de cobre en la línea de soldadura, además de encontrar que el cuerpo y la cabellera tenían una composición ligeramente diferente (2,74% Cu en el vientre y 1,83% Cu en la cabellera). La serie completa de análisis puede consultarse en Rovira (1990: 269). Efectivamente, en la zona de la soldadura de los pies se detectó 11,9% Cu. La adición de un material soldante con cobre facilitaría la exudación o, en otras palabras, rebajaría localmente la temperatura de fusión aprovechando la propiedad de formarse eutéctico plata-cobre a 779,4 °C, muy por debajo de la temperatura de exudado que, para una aleación con 2,74% Cu, estaría en torno a 940 °C según el diagrama de equilibrio de fases. Esta es la teoría, porque en la práctica la soldadura no fue buena, como lo demuestra la pérdida de ambos pies (véase la fig. 15). También la radiografía frontal de dicha figura muestra fallos(huecos negros) en las soldaduras de las piernas situadas en su cara interna.



Figura 14 – Figurilla masculina hueca N. I. 7431

Altura: 23,1 cm; vista frontal, posterior y radiografía frontal

© Museo de América, Madrid (fotografías)

© S. Rovira (radiografía)



Figura 15 – Figurilla femenina hueca N. I. 7095

Altura: 9,4 cm; vista frontal y radiografías frontal y lateral

© Museo de América, Madrid (fotografías)

© S. Rovira (radiografía)

Con los ejemplos mencionados podemos concluir que los artesanos incas utilizaban básicamente dos métodos para soldar láminas de plata: la interdifusión metálica por efecto térmico (soldadura autógena) y la soldadura con aporte de material soldante que funde a una temperatura algo más baja que el metal a soldar; en este caso sería plata con mayor carga de cobre.

## 6. El oro de los incas

El oro fue el primer metal usado por los pueblos andinos prehispánicos, como es bien sabido. La cultura Chavín, en el Horizonte Temprano, nos ha dejado excelentes obras sobre finas láminas recortadas que

indican hasta qué punto los orfebres supieron reconocer tempranamente las excelentes propiedades mecánicas del metal noble, en particular su maleabilidad, para aprovecharlas en su beneficio. En el Horizonte Intermedio Temprano debutaron prácticamente todos los métodos de unión de las láminas metálicas para aprovechar mejor sus cualidades cromáticas, incluyendo las soldaduras por exudación de las que ya hemos hablado y otros procedimientos más complejos. Podría decirse, con poco margen de error, que a lo largo del primer milenio de la Era se desarrolló todo el corpus tecnológico que propiciaría la fabricación de las sorprendentes producciones de orfebres prehispánicos.

Siendo una artesanía básicamente laminar desde sus orígenes, con el paso del tiempo aumentó el número de objetos de oro macizo, no solo en pequeños adornos como narigueras y orejeras sino también en figurillas y otros objetos, un fenómeno que se aprecia particularmente en la orfebrería incaica.

Al contrario de lo que sucedió con la plata, que pronto se aleó con el cobre, las aleaciones oro-plata no son tan evidentes. La razón es que el oro nativo peruano suele ser argentado aunque no está claro hasta qué punto lo es. El análisis de Caley (1977) señalaba los valores máximos de plata por debajo del 10%. Lechtman *et al.* (1982: 7) opinan, en cambio, que las aleaciones con más del 20% Ag son naturales en el norte del Perú. Por otro lado, Patterson (1971: 302, tab. 7) habla de porcentajes de plata superiores al 30% en el oro nativo, aunque no se refiere explícitamente al área andina. El valor modal de 9% que calcula esta autora nos obliga a ser cautos ante la carencia de datos más concretos. Pero en todo caso, el «electrum», aleación que en la antigüedad estaba en torno al 80% Au y 20% Ag, valores cercanos a la ley de 18 quilates, podría en ocasiones tener un origen no intencionado en Perú.

Respecto a las impurezas del cobre, hay datos que indican que en general son bajas (Caley, 1977; Patterson, 1971; Rivet & Arsandaux, 1946), aunque en los placeres del río Tumbes Raimondi (1878: 75) analizó muestras con entre 6,5 y 7,6% Cu. Nuestra revisión de datos (Rovira, 1994: 330-331) se resume en el cuadro 3.

Cuadro 3 – Análisis de oro nativo peruano, según Rovira (1994: 331, tab. 2)

Metal (%)	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio
Cobre	0,0	7,6	0,93
Plata	1,7	26,3	8,38
Oro	72,9	98,5	90,2

Ante la dificultad para establecer claramente, a partir de la composición química, si un objeto es de una aleación artificial o si se trata de oro nativo, elaboramos en su momento el gráfico de la figura 16, basado en nuestros análisis y en los recogidos de la bibliografía accesible hasta 1992. El mayor peso corresponde a nuestro aporte analítico. Como parece suceder, a partir del Horizonte Medio se observa un incremento del porcentaje medio de plata en los objetos de oro, creciendo de manera espectacular en la orfebrería del Periodo Intermedio Tardío para mantenerse en tasas elevadas en tiempo de los incas. La interpretación más inmediata del gráfico es admitir que a partir del Horizonte Medio aumentan significativamente las aleaciones artificiales oro-plata, aunque quizás no sería esta la única explicación. Para una discusión más amplia de las argumentaciones, véase Rovira (1994: 328-333).

## 7. Los objetos áureos del museo de américa

La publicación de 53 nuevos análisis de objetos de oro del tiempo de los incas supuso en su momento un notable aporte en términos cuantitativos al panorama analítico del Perú prehispánico (Rovira, 1990; 1994). Estos se encuentran reproducidos en el cuadro 4. Como se ha dicho en el apartado anterior, en general se trata de aleaciones de oro argentado, donde la plata alcanza concentraciones de hasta 42,6%. Pocos objetos tienen menos del 10% Ag, lo que podría ser un argumento indirecto de la mayor recurrencia del orfebre a alejar oro y plata. Otro metal aleado es el cobre, que en un caso llega al 10,5%, aunque los valores predominantes se mantienen por debajo de esta cifra.

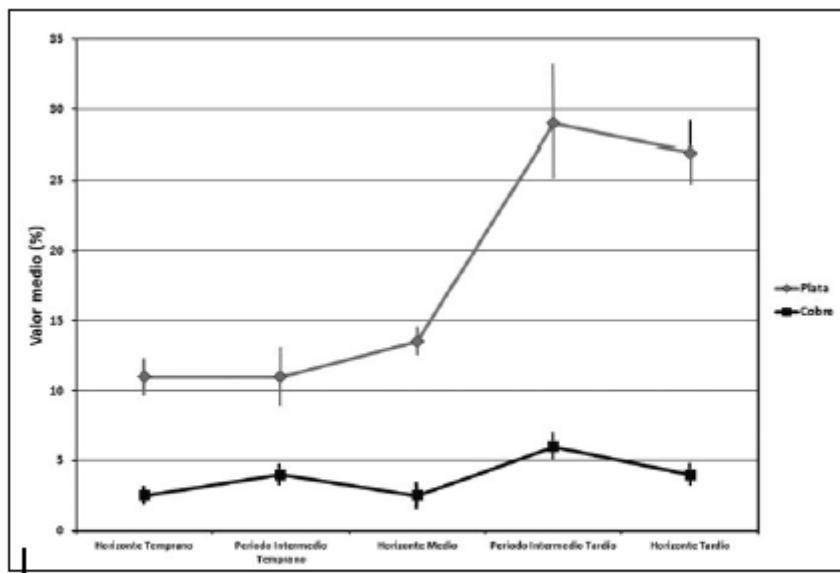


Figura 16 – Evolución de los valores medios y su desviación típica de las proporciones de plata y cobre en los objetos de oro prehispánicos

Según Rovira, 1994: 331, fig. 11 (modificado)

Cuadro 4 – Análisis elemental semicuantitativo de objetos de oro incaicos (XRF-ED, % en peso)

Los análisis señalados con (M) corresponden al valor medio de varios análisis

Nota: (tr) trazas, (nd) no detectado

Núm. Invent.	Tipo	Fe	Cu	Ag	Sn	Sb	Au
18001-02	Brazalete	0,01	3,76	27,1	nd	nd	69,0
18001-02	Brazalete	0,01	4,06	27,3	nd	nd	68,7
18005	Colgante ornitomorfo	0,01	3,00	28,1	0,18	nd	68,7
18006	Brazalete	tr	6,73	19,4	nd	nd	73,8
7037	Diadema forma honda	nd	3,42	27,8	0,02	nd	68,7
7343	Lámina discoidal	nd	1,72	16,8	0,05	nd	81,4
7394(M)	Anillo	0,04	5,91	26,5	0,01	nd	67,6
7399	Estatuilla zoomorfa	0,02	4,50	39,4	nd	nd	56,1
7404	Estatuilla zoomorfa	0,02	4,26	42,4	nd	nd	53,3
7414	Anillo	0,02	6,43	31,9	nd	nd	61,4
7440	Penacho	0,01	3,75	18,6	0,02	0,01	77,6

Núm. Invent.	Tipo	Fe	Cu	Ag	Sn	Sb	Au
7442	Tupu cabeza laminar	0,01	1,31	22,0	0,01	nd	76,7
7443A	Collar (disco)	nd	4,75	39,5	0,05	nd	55,7
7443B	Collar (cabujón)	nd	1,70	32,1	0,02	0,02	66,2
7444	Tupu cabeza laminar	0,01	2,48	21,3	nd	nd	76,2
7445	Tupu cabeza laminar	0,01	3,87	29,8	nd	nd	66,3
7446A	Tupu cabeza laminar	0,02	8,92	8,48	0,19	0,02	82,3
7447	Anillo	0,01	7,07	25,0	nd	nd	67,9
7448(M)	Aplique	0,03	4,14	23,1	nd	nd	72,7
7449(M)	Aplique	0,02	3,85	16,6	0,02	nd	79,4
7450	Brazalete	0,02	0,24	2,70	0,03	0,01	96,8
7453	Lámina decorada	0,01	3,66	24,4	nd	nd	71,8
7454	Colgante discoidal	0,01	5,53	15,3	0,04	nd	79,2
7455	Pinzas	0,01	3,61	16,2	nd	nd	80,1
7457	Tupu cabeza laminar	0,01	5,46	25,2	0,03	nd	69,2
7458	Colgante antropomorfo	0,06	10,5	13,9	0,08	0,01	75,4
7459	Estatuilla antropomorfa	0,02	2,68	4,67	nd	nd	92,5
7460	Estatuilla antropomorfa	0,01	3,85	26,5	nd	nd	69,6
7461	Estatuilla antropomorfa	0,02	4,87	34,9	nd	nd	60,2
7462	Brazalete	0,01	3,92	34,1	nd	nd	61,3
7469	Pinzas	0,01	5,80	13,6	nd	nd	80,6
7477	Corona desplegada	0,01	2,09	20,9	nd	nd	77,0
7478	Lámina decorada	0,01	5,47	19,3	nd	nd	74,4
7480	Lámina	0,01	3,04	23,5	nd	nd	73,4
7481	Lámina	0,01	3,11	15,0	nd	nd	81,9
7491	Arete	tr	3,01	32,0	nd	nd	65,0
7492	Lámina (frag.)	0,01	6,11	36,8	nd	nd	57,1
7498	Estatuilla antropomorfa	0,01	2,23	37,8	nd	nd	59,9
7499	Lámina decorada	0,02	3,36	18,1	0,03	nd	78,4
S/N-001	Lámina (frag.)	0,02	2,55	32,5	0,03	nd	64,8
S/N-002	Lámina (frag.)	0,01	2,76	32,7	0,02	nd	64,5



Núm. Invent.	Tipo	Fe	Cu	Ag	Sn	Sb	Au
S/N-003	Lámina (frag.)	0,01	2,86	32,1	0,03	nd	65,0
S/N-004	Lámina (frag.)	0,01	1,93	41,3	0,04	nd	56,7
S/N-005	Lámina (frag.)	0,01	4,89	29,4	nd	nd	65,7
S/N-006	Lámina (frag.)	0,01	2,18	38,2	0,08	nd	59,5
S/N-007	Lámina (frag.)	0,01	2,13	38,6	0,07	nd	59,2
S/N-008	Lámina (frag.)	0,02	2,85	39,6	0,08	nd	57,5
S/N-009	Lámina (frag.)	0,02	2,82	37,5	0,03	0,02	59,6
S/N-010	Lámina (frag.)	0,02	3,55	24,1	0,04	0,01	72,2
S/N-011	Lámina (frag.)	0,02	4,11	23,8	tr	nd	72,1
S/N-012	Lámina (frag.)	0,01	2,61	41,0	0,09	nd	56,3
S/N-013(M)	Lámina (frag.)	0,03	2,63	42,6	nd	nd	54,7
S/N-014(M)	Lámina (frag.)	0,03	2,69	42,3	0,04	nd	54,7

La figura 17 muestra la distribución de las aleaciones en un diagrama ternario en el que, además, se dibujan las zonas principales de color. Como podemos ver, los puntos se alinean junto al eje Au-Ag. Los objetos más abundantes son los de morfología laminar, de oro batido, punteando prácticamente todo el espacio ocupado por las ligas. Otros objetos como las figurillas huecas son también en esencia láminas metálicas. Los *typus* de cabeza laminar son, en parte, chapas. El único objeto macizo de esta serie es el colgante antropomorfo N.I. 7458, incluido en el gráfico dentro del grupo de las figurillas. Su ligera desviación se debe a su mayor contenido en cobre.

El metal de estas aleaciones adquiere así un color amarillento verdoso o amarillento verdoso pálido, lo cual parece indicar una clara predilección de los orfebres por estas tonalidades.

## A manera de conclusión

La metalurgia incaica y su metalistería son el resultado de un fenómeno acumulativo de conocimientos técnicos cuya transferencia comenzó paulatinamente en el Horizonte Temprano. Entonces nació y se desarrolló una artesanía de factura laminar con el oro nativo, que pudo prosperar gracias a los conocimientos adquiridos en el trabajo del metal por laminación, estirándolo y recociéndolo térmicamente para recuperar sus propiedades mecánicas y devolverle la maleabilidad que hizo posible obtener láminas de espesores sorprendentemente delgados. Estas habilidades se fueron aplicando luego a otros metales como la plata y el cobre y sus aleaciones (cobre arsenical y bronce al estaño). Esta metalurgia laminar es, sin duda, una de las características definitorias de la metalistería de los Andes Centrales y la encontramos ampliamente representada en tiempo de los incas, con las variantes estilísticas propias, en múltiples objetos.

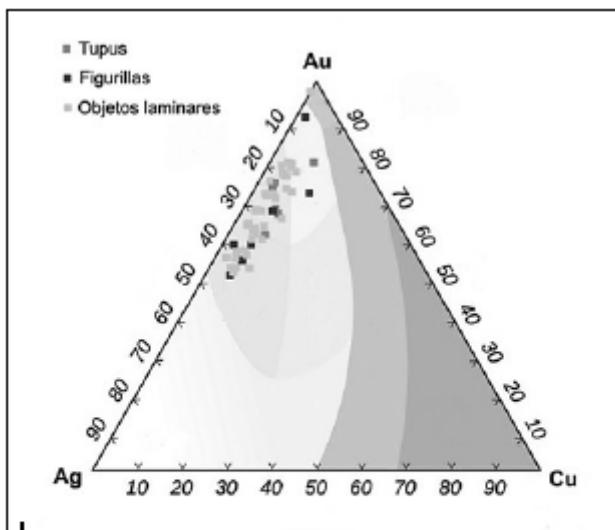


Figura 17 – Diagrama ternario de las aleaciones de oro de los objetos incaicos del Museo de América, con especial referencia al color

Hacia la derecha, colores progresivamente más cobrizos; hacia la izquierda, diversas tonalidades de amarillo hasta el blanco de la plata

Elaboración: S. Rovira

Las técnicas de moldeo, que parecen debutar en el Periodo Intermedio Temprano, alcanzarán su máximo desarrollo en los complejos diseños de la cultura Mochica, transfiriéndolos a la cultura Inca para la producción tanto de objetos macizos como huecos, en todos los tipos de metal disponibles.

El color de los objetos de metal parece jugar un papel importante, cargado de simbolismo, en todas las culturas peruanas prehispánicas. El mundo inca no es ajeno a esta llamada y sus artesanos trataron de adaptar y aplicar sus conocimientos para conseguirlo: oros de tonalidades amarillentas-verdosas, platas cobrizas, bronces de reflejos plateados, etc. Las colecciones del Museo de América de Madrid son un buen exponente.

Es indudable que la metalurgia inca alcanzó un alto grado de desarrollo a juzgar por los objetos recuperados, pero existen todavía muchas interrogantes respecto a cómo se obtenían los distintos metales y aleaciones. Sería aconsejable un viraje más radical hacia una arqueometalurgia integral, intensificando los esfuerzos para obtener más y mejores conocimientos sobre la metalurgia primaria, que actualmente representan unos pocos puntos aislados en la inmensa geografía de los Andes Centrales.

## Referencias

- ABBOTT, M. B. & WOLFE, A., 2003 – Intensive Pre-Incan metallurgy recorded by lake sediments from the Bolivian Andes. *Science*, 301: 1893-1895.
- BINGHAM, H., 1979 – *Machu Pichu, a Citadel of the Incas*, 288 pp.; Nueva York: Hacker Art Books.
- CALEY, E. R., 1977 – Composition of Peruvian native gold. *The Ohio Journal of Science*, 77 (3): 141-143.
- CIEZA DE LEÓN, P. de, 2005 – *Crónica del Perú. El señorío de los Incas*, 497 pp.; Caracas: Biblioteca Ayacucho.
- COOKE, C. A., ABBOTT, M. B. & WOLFE, A. P., 2008a – Metallurgy in Southern South America. In: *Encyclopaedia of the History of Science, Technology and Medicine in Non-Western Cultures* (H. Selin, ed.): 1658-1662; Nueva York: Springer.

- COOKE, C. A., ABBOTT, M. B. & WOLFE, A. P., 2008b – Late-Holocene atmospheric lead deposition in the Peruvian and Bolivian Andes. *The Holocene*, 18 (2): 353-359.
- CRADDOCK, P. T., 2011 – The inception and nature of extractive metallurgy in Western Europa. In: *Povoamento e Exploração dos Recursos Mineiros na Europa Atlântica Ocidental* (C. M. Braz Martins, A. M. S. Bettencourt, J. I. F. P. Martins & J. Carvalho, coords.): 281-311; Braga: CITCEM-Centro de Investigação Transdisciplinar «Cultura, Espaço e Memória».
- FIGUEROA, V., 2012 – *Métallurgie préhistorique des sociétés du littoral Pacifique dans le Chili Septentrional (850-1540 apr. J.-C.)*, 580 pp.; París: Université Paris I, Panthéon Sorbonne.
- GARCILASO DE LA VEGA, I., 1991 – *Comentarios reales de los Incas*, 2 tomos, 876 pp.; Lima: Fondo de Cultura Económica.
- GONZÁLEZ, A. R., 1979 – Pre-Columbian metallurgy of N.W. Argentina: historical development and cultural process. In: *Pre-Columbian Metallurgy of South America* (E. P. Benson, ed.): 133-202; Washington, D. C.: Dumbarton Oaks.
- GOWLAND, W., 1912a – *The Metals in Antiquity*, 53 pp.; Londres: Royal Anthropological Institute of Britain and Ireland.
- GOWLAND, W., 1912b – Copper and its alloys in early times. *Journal of the Institute of Metals*, 7: 23-49.
- HOWE, E. G. & PETERSEN, U., 1994 – Silver and lead in the Late Prehistory of the Mantaro Valley, Peru. In: *Archaeometry of Pre-Columbian Sites and Artifacts* (D. A. Scott & P. Meyers, eds.): 183-198; Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.
- HUMBOLDT, A. von, 1836 – *Ensayo político sobre Nueva España, Tomo 3*, 412 pp.; París: Lecointe.
- KAUFFMANN, F., 1978 – *Manual de Arqueología peruana*, 800 pp.; Lima: Peisa.
- LECHTMAN, H., 1976 – A metallurgical survey in the Peruvian Andes. *Journal of Field Archaeology*, 3 (1): 1-42.
- LECHTMAN, H., 1996 – Arsenic bronze: Dirty copper or choosen alloy? A view from the Americas. *Journal of Field Archaeology*, 23: 477-514.
- LECHTMAN, H., 2003 – Middle Horizon Bronze: centers and outliers. In: *Patterns and Processes* (L. van Zelst, ed.): 248-268; Washington, D. C.: Smithsonian Center for Materials Research and Education.
- LECHTMAN, H., ERLIJ, A. & BARRY Jr., E. J., 1982 – New perspectives in Moche metallurgy of gilding copper at Loma Negra, Northern Peru. *American Antiquity*, 47 (1): 3-30.
- LECHTMAN, H., PARSONS, L. A. & YOUNG, W. J., 1975 – *Seven Matched Hollow Gold Jaguars from Peru's Early Horizon*, 46 pp.; Washington, D. C.: Dumbarton Oaks.
- LIMATA, L., SHUGAR, A. & NOTIS, M., 2006 – Investigation of a Pre-Columbian Vicus nose filigree. In: *34th International Symposium in Archaeometry. 3-7 May 2004. Zaragoza, Spain*: 187-193; Zaragoza: Institución Fernando el Católico (CSIC), Diputación de Zaragoza.
- MATHEWSON, C. H., 1915 – A metallographic description of some ancient Peruvian bronzes from Machu Picchu. *American Journal of Science*, 240 (190): 525-616.
- MERKEL, J. & SHIMADA, I., 1988 – Arsenical copper smelting at Batán Grande, Peru. *Newsletter of the Institute for Archaeo-Metallurgical Studies*, 12: 4-7.
- MERKEL, J., SHIMADA, I., SWANN, C. P. & DOONAN, R., 1994 – Pre-Hispanic copper alloy production at Batán Grande, Peru: interpretation of the analytical data for ore samples. In: *Archaeometry of Andean Sites and Artifacts* (D. A. Scott & P. Meyers, eds.): 199-228; Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.
- PATTERSON, C., 1971 – Native copper, silver and gold accessible to early metallurgists. *American Antiquity*, 36 (3): 286-321.

- PETERSEN, G., 1970 – *Minería y metalurgia en el antiguo Perú*, iv + 140 pp.; Lima: Museo Nacional de Antropología y Arqueología.
- RAIMONDI, A., 1878 – *Minerales del Perú*, 305 pp.; Lima: Imprenta del Estado.
- RIVET, P. & ARSANDAUX, H., 1946 – *La métallurgie en Amérique Précolombienne*, 254 pp.; París: Institut d'ethnologie.
- ROSTOKER, W. & DVORAK, J. R., 1991 – Some experiments with co-smelting to copper alloys. *Archaeomaterials*, 5: 5-20.
- ROVIRA, S., 1990 – *La metalurgia americana: análisis tecnológico de materiales prehispánicos y coloniales*, XI + 1049 pp.; Madrid: Editorial de la Universidad Complutense.
- ROVIRA, S., 1994 – Pre-Hispanic goldwork from the Museo de América, Madrid: A new set of analyses. In: *Archaeometry of Pre-Columbian Sites and Artifacts* (D. A. Scott & P. Meyers, eds.): 323-350; Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.
- ROVIRA, S., 2002 – Early slags and smelting by-products of copper metallurgy in Spain. In: *Die Anfänge der Metallurgie in der Alten Welt* (M. Bartelheim, E. Pernicka & R. Krause, eds.): 83-98; Rahden/Westf.: Marie Leidorf.
- ROVIRA, S., 2011-2012 – Arqueometalurgia experimental en el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la UAM. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología. Universidad Autónoma de Madrid*, 37-38 (1): 105-120.
- ROVIRA, S. & GÓMEZ RAMOS, P., 1995 – Los objetos de metal de la Colección Juan Larrea: un estudio arqueometálgico. *Anales de Museo de América*, 3: 21-34.
- ROVIRA, S. & MONTERO-RUIZ, I., 2013 – Iberia: Technological development of Prehistoric metallurgy. In: *Innovative Technologies and Social Changes in Prehistory and Antiquity* (S. Burmeister, S. Hansen, M. Kunst & N. Müller-Scheessel, eds.): 231-240; Rahden/Westf.: Marie Leidorf.
- ROVIRA, S., MONTERO-RUIZ, I. & RENZI, M., 2009 – Experimental co-smelting to copper-tin alloys. In: *Metals and Societies. Studies in Honour of Barbara S. Ottaway* (T. L. Kienlin & B. W. Roberts, eds.): 407-414; Bonn: Rudolf Habelt.
- SCHULTZE, C. A., HUFF, J. A., REHREN, T. & LEVINE, A. R., 2016 – The emergence of complex silver metallurgy in the Americas: A case study from the Lake Titicaca Basin of Southern Peru. *Cambridge Archaeological Journal*, 26 (1): 53-64.
- SHIMADA, I., 1981 – The Batan Grande-La Leche Archaeological Project: the first two seasons. *Journal of Field Archaeology*, 8 (4): 405-446.
- SHIMADA, I., EPSTEIN, S. & CRAIG, A.K., 1982 – Batán Grande: A prehistoric metallurgical center in Peru. *Science*, 216: 952-959.
- TANDETER, E., 2001 – La minería de la plata. In: *Historia de América Andina, Volumen 3* (M. Garrido, ed.): 61-79; Quito: Universidad Andina Simón Bolívar.
- TRIPCEVICH, N. & VAUGHN, K. J. (eds.), 2013 – *Mining and Quarrying in the Ancient Andes. Sociopolitical, Economic, and Symbolic Dimensions*, 370 pp.; Nueva York: Springer.
- ZORI, C. & TROPPER, P., 2010 – Late Pre-Hispanic and Early Colonial silver production in the Quebrada de Tarapacá, Northern Chile. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino*, 15 (2): 65-87.
- ZORI, C., TROPPER, P. & SCOTT, D., 2012 – Copper production in Late Prehispanic Northern Chile. *Journal of Archaeological Science*, 40 (2): 1165-1175.