

Estudio de objetos metálicos precolombinos
del museo de sitio de Huaca Rajada, Lambayeque

*Study Pre Columbian manufacturing of metal objects
Huaca Rajada Museum, Lambayeque*

JULIO FABIÁN¹, ROBERTO CESAREO², LUIS CHERO³, ÁNGEL BUSTAMANTE⁴, G.M. INGO

1 Laboratorio de Arqueometría, Facultad de Ciencias Físicas, UNMSM.

2 Istituto per lo Studio dei Materiali Nano Strutturati, CNR-Montelibretti, Roma.

3 Museo de sitio Huaca Rajada, Sipán, Lambayeque.

4 Laboratorio de Arqueometría, Facultad de Ciencias Físicas, UNMSM.

Resumen

Varias piezas y fragmentos del museo de sitio de Huaca Rajada, Sipán, fueron analizadas con diversas técnicas para determinar el tipo de aleación y su composición elemental. Las técnicas usadas han sido la fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (EDXRF) y la microscopía electrónica de barrido (SEM). Las medidas por EDXRF se han hecho usando un equipo portátil de la marca Amptek y las medidas por SEM se hicieron en los laboratorios del Consiglio Nazionale della Ricerca (CNR, sede de Montelibretti, Roma). Se seleccionaron las muestras que se encontraban en el Museo de Huaca Rajada, de acuerdo a su importancia y composición. Se encontraron piezas tipo tumbaga, cobre dorado, plata dorada, bronce y cobre arsenical.

Las mediciones por SEM mostraron las capas de oro y plata en los casos de cobre dorado y plata dorada. Los resultados mostraron el tipo de aleación presente en cada caso y se pudo determinar en algunos casos el espesor del dorado o plateado.

Palabras clave: Fluorescencia de rayos X, SEM, cobre dorado, plata dorada, aleación.

Abstract

Several pieces and fragments from the Museum of Huaca Rajada site, Sipan, were analyzed by various techniques to determine the type of alloy and elemental composition. Techniques used have been the x-rays fluorescence (EDXRF) and scanning electron microscopy (SEM). EDXRF measurements were made by using a laptop brand Amptek and SEM measurements were made in the laboratories of the Consiglio Nazionale della Ricerca (CNR, Montelibretti headquarters, Rome). The objects found in the Museum of Sipan were selected according to their importance and composition. Tumbaga kind pieces, gilded copper, gilded silver, bronze and arsenical copper was found.

Measurements by SEM showed the layers of gold and silver in the case of gold and silver plated copper. The results showed the type of alloy in each case and could be determined in some cases the thickness of the gold or silver.

Keywords: X-rays fluorescence, SEM, gilded cooper, gilded silver, alloy

1. Introducción

Las piezas del museo de sitio de Huaca Rajada corresponden al complejo arqueológico del mismo nombre, lugar donde se encuentran las famosas tumbas reales del señor de Sipán [1].

Quince piezas del museo de sitio de Huaca Rajada, Lambayeque, fueron analizadas por fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (EDXRF, siglas en inglés). Las mediciones, in situ, se realizaron usando un equipo portátil de EDXRF, marca Amptek, USA. La técnica de EDXRF no es destructiva. Se hicieron mediciones en diferentes puntos de los objetos, dependiendo de las dimensiones y geometría en estudio, como se puede observar en cada figura donde se señalan los puntos medidos. Los espectros de EDXRF muestran los elementos presentes en cada objeto, en el eje horizontal se ubican las energías en keV y en el eje vertical las cuentas. En el presente reporte se presentan espectros para cada objeto y se dan las conclusiones de las medidas. Algunos cálculos están basados en los artículos de Roberto Cesareo et al. de los años 2010 y 2011, quienes hacen uso de las razones de los picos de energía K_{α} , K_{β} y L_{α} , L_{β} del oro, plata y cobre [2, 3, 4].

Además, se midieron cuatro fragmentos por microscopía electrónica de barrido (SEM), gracias a las medidas es posible determinar el espesor de las capas de oro, en el caso del cobre dorado.

Las medidas permitieron tener un panorama completo de los aspectos relacionados con la conser-

vación y la estabilidad físico-química de los mecanismos de degradación de los objetos. De hecho, el acoplamiento entre los distintos elementos (cobre, plata, cobre-oro) puede inducir en la presencia de agua y electrolitos (de tierra), la formación de una pila y, a continuación, la corrosión selectiva del elemento menos noble. Esto puede causar el devastador proceso conocido como "el cáncer del bronce", que lleva a la destrucción de la manufactura.

2. Materiales y métodos

a) Medidas por fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (EDXRF)

Las técnicas analíticas y cuantitativas como la fluorescencia de rayos X, que es además no invasiva, proporciona información muy valiosa para el proceso de restauración de artefactos y piezas metálicas doradas, que han sido encontradas en diferentes partes del Perú, sobre todo en la costa norte.

Las medidas se hicieron usando el equipo portátil de fluorescencia de rayos X, perteneciente al Laboratorio de Arqueometría, FCF, UNMSM. Se usaron láminas de calibración de Au-Ag y Au-Cu y las siguientes condiciones para el tubo de rayos X: I (corriente) = 15 μ A; V (voltaje) = 30 kV.

A continuación se muestran los objetos medidos y el espectro respectivo.

Muestra (código)	Elementos encontrados	Tipo de objeto
S/T15 – M07(A): Orejera con lentejuelas (derecha).	Cu, Au	Cobre dorado
S/T14 – Au 01: Nariguera semilunar de oro.	Au, Cu, Ag	tumbaga
S/T14 – Ag 01: Nariguera semilunar de plata.	Cu, , Ag	Cobre plateado
S/T: Corona de búho (Trozo)	Cu, Au	Cobre dorado
S/T14 – Cu: 77 Hombre Búho Sacerdote	Cu, As	Cobre arsenical
S/T15 – M: 04 Lanza	Cu	cobre
S/T14 – Cu: 63 Cuchillo en forma de Pez	Cu. As	Cobre arsenical
S/T14 – Cu: 42E Cuenta collar felino	Cu, Au	Cobre dorado

S/T14 – Cu: 42G Cuenta collar felino	Cu, Fe	cobre
S/T – Cascabel	Cu	cobre
Copa izquierda /T14	Cu, Au	Cobre dorado
Lengüeta/T16	Au, Cu	Cobre dorado
Orejera izquierda /T 15	Au, Cu , Ag	Cobre dorado



Figura 1. Reverso y frente, respectivamente, de nariguera analizada y los puntos medidos.

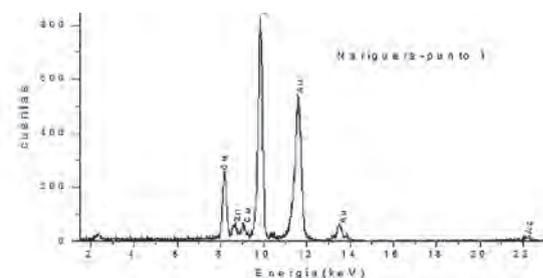


Figura 2. Espectro del punto 1



Figura 3. Puntos medidos del sacerdote.

b) Medidas por Sem

Cuatro fragmentos metálicos de plata, cobre plateado y cobre dorado, de las tumbas 3, 14 y 16 del complejo arqueológico de Huaca Rajada en Sipán, Lambayeque, fueron analizados por microscopía electrónica de barrido (SEM), espectroscopia de dispersión de energía (EDS), microscopía óptica (OM) y microscopía metalográfica (MM). Las muestras fueron codificadas así: Objeto 1 = cobre dorado-tumba 3; Objeto 2 = nariguera plata-tumba 16; Objeto 3 = diadema semilunar,

cobre plateado-tumba 14 y Objeto 4 = lingote de cobre-tumba 16.

Las mediciones por microscopía metalográfica permitieron identificar las películas de oro, plata o corrosión que cubrían al cobre. Para la medición por microscopía electrónica se siguió una preparación estándar, en la que algunos pequeños fragmentos tuvieron que ser colocados en un medio con resina, después de unos días estas se solidificaron. Las imágenes obtenidas mostraron las separaciones granulares de las piezas con mayor precisión que la microscopía metalográfica, se pudo observar las capas de plata y oro que cubrían a las piezas, además del grado de corrosión que las afectaban. Por EDS se determinó la presencia de mercurio en el Objeto 3.

Las mediciones se llevaron a cabo en el Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per lo studio dei Materiali Nanostrutturati (ISMN-CNR) de Roma, Italia.

Se han estudiado piezas metálicas de cuatro fragmentos, pertenecientes a las tumbas de 3, 14 y 16. Las técnicas usadas son microscopía óptica, microscopía metalográfica, microscopía electrónica de barrido y espectroscopia de dispersión de energía. Las muestras fueron codificadas así: Objeto 1 = cobre dorado-tumba 3; Objeto2 = nariguera plata-tumba 16; Objeto3 = diadema semilunar, cobre plateado-tumba 14 y Objeto 4 = lingote de cobre-tumba 16.

Arreglo experimental

En primer lugar se obtuvieron imágenes por microscopía óptica, en la figura 4 se observan las cuatro piezas. Luego de la obtención de las imágenes por MO y MM se procedió a preparar las muestras, adecuadamente, para su medición por SEM.

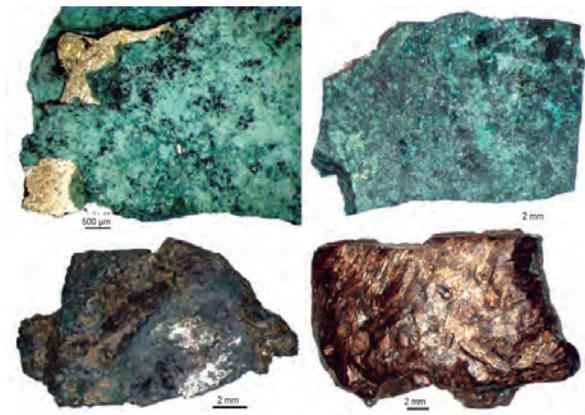
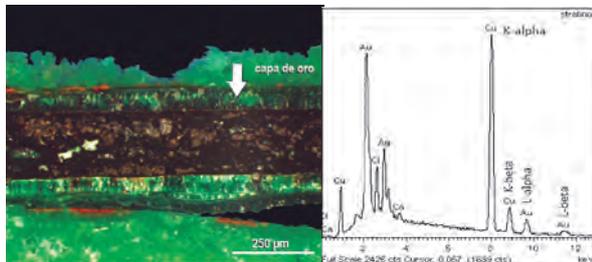


Figura 4. Fragmentos analizados por SEM. (a) objeto1 (parte superior izquierda); (b) objeto 2 (parte superior derecha); (c) objeto 3 (parte inferior izquierda); (d) objeto 4 (parte inferior derecha).

Objeto 1

Con el microscopio metálico se muestra claramente la sección de cobre y las capas de oro que cubren ambos lados de la muestra, la capa deformada y exterior es la capa de corrosión de la muestra. La capa de oro está en el orden de los 50 μm , como se aprecia en la figura 5a. El espectro EDS respectivo muestra los picos de oro y cobre (ver figura 5b.) Además se aprecian picos de Cl y Ca propios del suelo, esto es debido a que las muestras estuvieron enterradas.

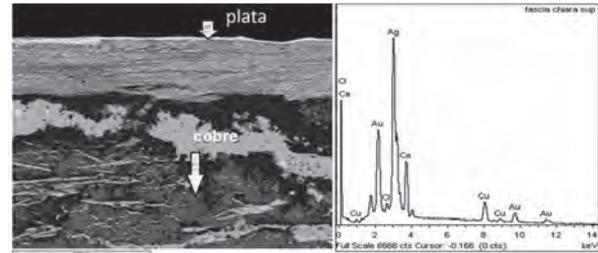


Figuras 5: (a). Imagen por microscopio metalográfico del objeto1 y (b) donde se aprecia el espectro. EDS con los picos de oro (L-alpha, L-beta) y los picos de cobre (K-alpha y K-beta)

Objeto 2

La imagen SEM muestra las capas de color gris que cubren a la parte central mientras que en la parte extrema inferior se aprecia la capa de corrosión. Las medidas por EDS, en la zona superficial, muestran que el principal componente de la muestra es la plata seguida por pequeñas concentraciones de cobre y oro. Además, se encontró calcio en todas las medidas efectuadas, esto es debido a que la muestra estuvo enterrada.

Las medidas por EDS, de la zona transversal, indican que el elemento más abundante en esta sección es la plata, seguida del calcio y el cobre. Además se pudo notar la presencia importante, en diferentes puntos, de Fe, Cl y Au.

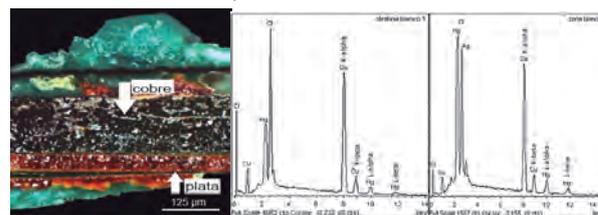


(a) (b)

Figuras 6: (a). Imagen SEM del objeto2 y (b) el espectro EDS mostrando los picos de Ag, Au, Ca y Cu de una zona transversal de la muestra.

Objeto 3

La imagen por MM muestra que hay varias capas, figura 4a. Las medidas por EDS, de la parte superficial, muestran que el cobre es el principal elemento encontrado, seguido de la plata. Además en dos zonas de la muestra se pudo encontrar mercurio; es notable indicar la presencia de cloro en todos los puntos analizados de esta zona. Las medidas por EDS de la parte transversal indican que el cobre es el principal elemento encontrado, seguido del cloro y la plata. Además en una zona del corte transversal se pudo encontrar mercurio. Es conveniente notar la presencia de cloro en todos los puntos analizados.



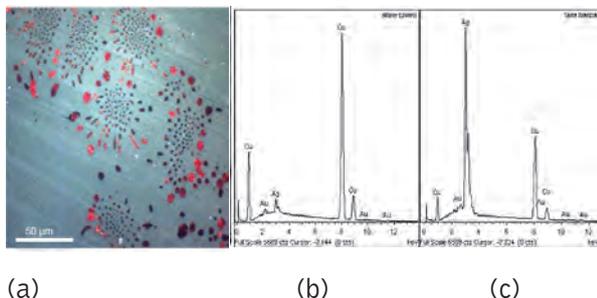
(a) (b) (c)

Figuras 7: (a) Imagen MM del objeto3, se observa la delgada capa de plata y el centro de cobre; (b) espectro EDS de la parte superficial, mostrando mercurio y (c) espectro EDS de la parte transversal, también se observa mercurio.

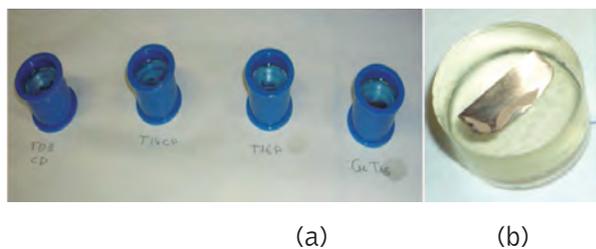
Objeto 4

La imagen de la sección transversal obtenida por MM se muestra en la figura 5a, se observan algunos granos de cobre (color rojizo). Las medidas por EDS en varios puntos de la sección transver-

sal indicaron que la muestra estaba constituida básicamente de cobre, pero también se encontraron trazas de plata y oro en varios puntos, como pueden mostrarse en las figuras 8b y 8c.



Figuras 8: (a) Imagen SEM de una parte transversal de la muestra; (b) espectro EDS de un punto de la sección transversal, el cobre es el principal componente, pero se observan impurezas de oro y plata y (c) espectro EDS de otro punto de la sección transversal, hay pequeñas zonas en la muestra donde hay presencia de oro y plata.



Figuras 9: (a) Imagen de la preparación de las muestras, las muestras son sumergidas en un recipiente que contiene una resina que después de unos días se solidificará; (b) una muestra metálica lista para su medición por microscopía electrónica.



Figura 10. Colocación de una muestra en el equipo SEM.

3. Discusión de resultados de las medidas por Edxrf

Cobre dorado

- Orejera dorada: este objeto está muy dañado y se midieron cinco puntos donde el oro está aún visible. Los espectros de rayos X muestran un alto contenido de cobre y bajas cantidades de oro. La plata no está presente,

esta orejera es por lo tanto cobre dorado. Con casi cobre puro cubierto con láminas de oro deducidas de la razón $Al-L\alpha/Cu-K\alpha$ y el espesor está dentro de los $0,4 \mu m$.

- Nariguera: se midieron siete puntos y mostraron los elemento básicos de una pieza tumbaga, quiere decir altas cantidades de cobre y oro, con una razón de $Au-L\alpha/Cu-K\alpha$ de alrededor 2,3 correspondiente a un espesor de área de alrededor $3,5 \mu m$.
- cuenta con forma de cabeza de felino: este objeto fue analizado en cinco puntos diferentes, y los espectros de rayos X muestran la presencia de alta concentración de cobre y trazas de oro (en tres áreas). Donde el oro está aún presente, se puede hacer un cálculo de espesor de $0,15 \mu m$.
- Corona de búho: este objeto fue analizado en cuatro puntos diferentes, donde aún se observa oro. Los espectros muestran una alta concentración de cobre y bajas cantidades de oro, con una razón de $Au-L\alpha/Cu-K\alpha = 0,05$ correspondiente a $0,35 \mu m$ de espesor de oro. No hay plata.

Cobre plateado

- Nariguera: este objeto fue analizado en cuatro diferentes áreas. Los espectros de rayos X mostraron la presencia de alta cantidad de cobre y plata, con trazas de hierro y bromo.

Aleaciones de bronce y cobre

- Sacerdote con aspecto de búho: Los espectros muestran la presencia de cobre en alta concentración y bajas cantidades de arsénico, este último varía en concentración entre 0,4 y 2 % con valor medio de 1 %.
- Lanza: este objeto fue analizado en tres diferentes áreas y mostró espectros de rayos X compuestos de cobre solamente. Este objeto es, por lo tanto, cobre puro.
- Cuchillo: Este objeto fue analizado en cuatro diferentes áreas. Está compuesto de cobre con relativas concentraciones de arsénico (de 2,5 % a 8 % con un valor medio de 6 %).
- Concha marina: Compuesto de cobre puro.

4. Conclusiones

EDXRF

En cada caso, de las piezas de Huaca Rajada, se determinó el tipo de aleación. En algunos casos de cobre dorado se pudo indicar el espesor del oro. La presencia de hierro en las mediciones ejecutadas se debe a que los artefactos estuvieron enterrados y las superficies de estos muestran abundante corrosión.

SEM (fragmentos de Huaca Rajada)

Se ha comprobado que el objeto 1 está cubierto por una capa de oro; el objeto 2 es una aleación de plata y cobre, en el que predomina la plata sobre la superficie y en la sección transversal; el objeto 3 está cubierto de plata pero por efectos de corrosión esta ha desaparecido en ciertas zonas. Las películas de oro y plata son de varias decenas de micrómetros. El objeto 3 muestra presencia de mercurio en su sección transversal. El objeto 4 está constituido, básicamente, de cobre.

5. Bibliografía

- [1] Alva, W. 2006. SIPAN: Descubrimiento e Investigación, Quebecor World Perú S.A.:Lima.
- [2] Cesareo, R., Bustamante A., Fabián J. et al. 2010. Energy dispersive X- Ray fluorescence analysis of a pre-columbian funerary gold mask from the Museum of Sican, Perú. X-ray spectrometry. Vol 39, pp. 122-126.
- [3] Cesareo, R., et al. Pre-columbian alloys from the royal tombs of Sipan and from the museum of Sican: non-destructive XRF analysis with a portable equipment. Revue d'Archeometrie. 33, 2009, 281-287.
- [4] Cesareo R., et al. 2011. Evolution of pre-columbian metallurgy from the north of Peru studied with a portable non-invasive equipment using energy dispersive X-ray fluorescence. Journal of material science and engineering B, 48-81.