

# La Técnica del Dorado en las Culturas Andinas: Estudio combinado mediante SEM y TEM

/ ELENA VINDEL (1\*), JAVIER GARCÍA (2), CARLOS GUMIEL (3), VICTORIA LÓPEZ-ACEVEDO (1), MARÍA HERNANDO (3), MARINA PARRAS (3).

(1) Dpto. de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid

(2) ICTS Centro Nacional de Microscopía Electrónica. Universidad Complutense. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid

(3) Dpto. de Inorgánica I. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Complutense. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid

## INTRODUCCIÓN

Estudios arqueometalúrgicos han puesto de relieve que numerosas piezas precolombinas de tumbaga (aleación Cu-Au) no presentan una composición homogénea, sino que la presencia de oro se limita a la superficie. Ésta es la llamada “técnica del dorado”, que desarrollaron por métodos no bien conocidos, las Culturas andinas (Letchman, 1984, Rovira, 2004, Scott, 1983). La técnica de enriquecimiento en oro de la superficie de las piezas ha sido objeto de diversas teorías, que van desde el martilleado en frío, tratamientos de recocido, baños de oro hasta el denominado “depletion gilding” o dorado por oxidación (Lechtman, 1984).

Con objeto de analizar la posible difusión del oro hacia la superficie, en este trabajo se ha estudiado un fragmento de una nariguera de la Cultura Tiaone, encontrado en el yacimiento arqueológico de La Propicia, Región de Esmeraldas, Norte de Ecuador (50 a 260 años dC, según Alcina, 1981). Se trata de una varilla, analizada composicionalmente en un estudio previo (Vindel et al. 2014), en el cual se determinó la presencia de un anillo externo mas rico en oro (Au: 16,1 %at, Cu: 81,9 %at, Ag: 1.40 %at) en relación al interior de la pieza, que presenta zonas con 55,63 %at. de Cu y 44,16 %at. de Cl y zonas con 94,53 % at. de Cu y trazas de Cl (3,43 % at), Au (1,64 %at) y Ag (0,41 %at).

En el presente trabajo se caracteriza la pieza mediante SEM y TEM, con objeto de interpretar el mecanismo de dorado.

## MÉTODO EXPERIMENTAL

La varilla se cortó transversalmente con un hilo de diamante, obteniéndose una sección de 0,25mm. El fragmento

obtenido se analizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) en un microscopio JEOL 7600F equipado con un detector analítico INCA para espectroscopía de dispersión de energía de rayos-X (EDX). Los análisis se realizaron a 15kV con electrones retrodispersados en modo composicional.

El estudio estructural del interior de la pieza se llevó a cabo mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM) empleando un microscopio JEOL 2100HT operado a 200 kV. Análisis composicionales semicuantitativos pueden obtenerse en este equipo a través del detector INCA.

A partir de esta técnica se obtuvieron imágenes de alta resolución que proporcionaron información sobre las fases presentes. Los análisis se realizaron en el Centro Nacional de Microscopía Electrónica UCM.

## RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

El borde dorado tiene un espesor de unas 30  $\mu\text{m}$  (Fig.1a). Perpendicularmente al mismo se han realizado, mediante SEM-EDX, una serie de perfiles composicionales con objeto de analizar variaciones de composición en Au, Cu y Cl. El perfil del Au refleja un enriquecimiento de este metal hacia el exterior (Fig. 1b).

El máximo de contenido de Au se observa a unas 3  $\mu\text{m}$  de la superficie y coincide con el mínimo de contenido en Cu (Fig. 1c).

La proporción de cloro aumenta bruscamente cuando termina el borde dorado (Fig. 1d)

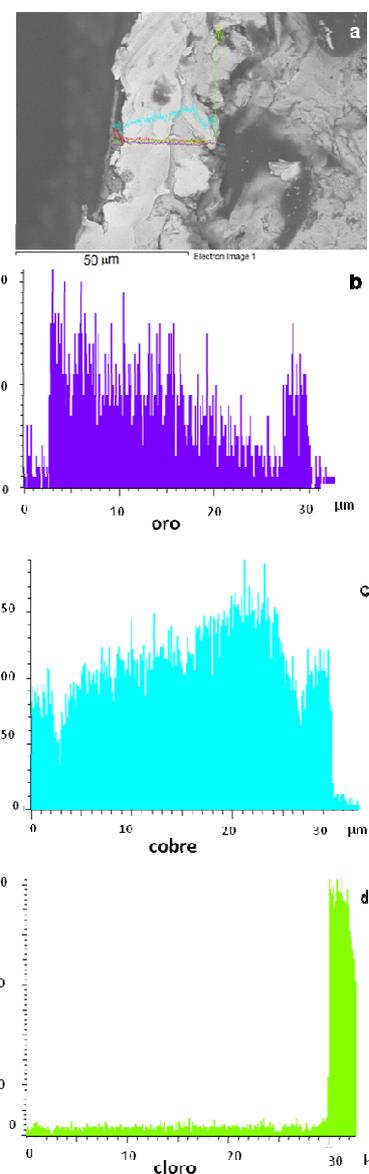


fig 1 (a) Imagen SEM del borde dorado. Perfiles composicionales mediante SEM-EDX del borde dorado, tomados perpendiculares al mismo a lo largo de las líneas indicadas en (a) y que corresponden a (b) oro (c) cobre (d) cloro.

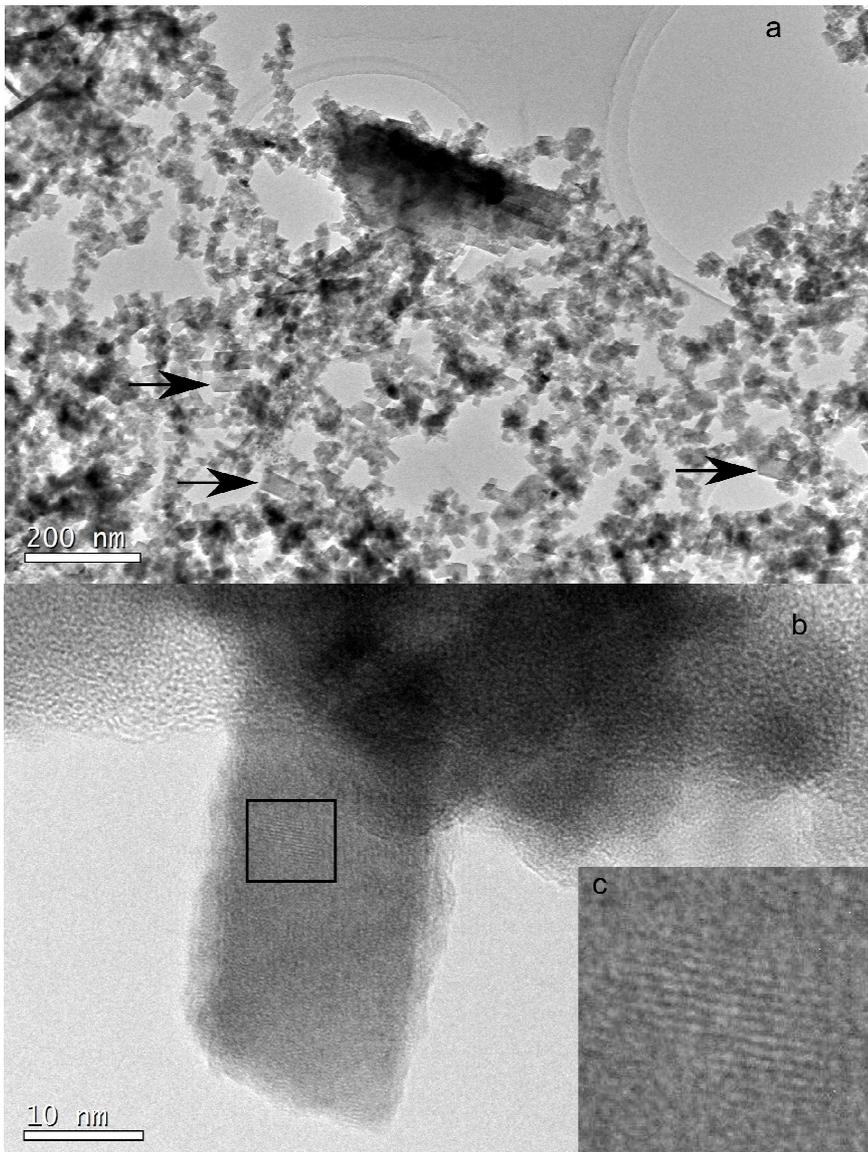


fig 2. Imagen TEM de alta resolución (a) Las flechas indican partículas cristalinas correspondientes a  $\text{Cu}_2\text{Cl}_2\text{O}$ , (b) Partículas aparentemente amorfas, (c) Dominios cristalinos nanométricos dentro estas partículas.

El estudio del interior de la pieza mediante TEM ha permitido confirmar la presencia de una fase cristalina, que corresponde con el oxiclورو de composición  $\text{Cu}_2\text{Cl}_2\text{O}$ .

Efectivamente, la imagen de alta resolución (TEM) del interior del fragmento presenta dos fases que se diferencian en (i) cristalinidad y (ii) composición (Fig. 2a). Una fase cristalina correspondiente al citado óxido  $\text{Cu}_2\text{Cl}_2\text{O}$  y otra aparentemente amorfa (ausencia de máximos de Bragg), constituida mayoritariamente por Cu y que no contiene Cl, presumiblemente correspondiente a óxido de Cu ( $\text{CuO}$ ). En la imagen TEM de

esta última (Fig. 2b) se observan algunos nano-dominios cristalinos perfectamente ordenados (detalle Fig. 2c).

### CONCLUSIONES

La presencia en el interior de la varilla de la fase cristalina  $\text{Cu}_2\text{Cl}_2\text{O}$  sugiere que una tumbaga inicial (Cu-Au) fue sometida a un tratamiento químico y de recocido para liberar el Au. Se puede suponer que el tratamiento químico dio lugar a la cristalización de  $\text{Cu}_2\text{Cl}_2\text{O}$ . Una vez consumido el Cl presente, el Cu restante se oxida estabilizando el óxido de Cu ( $\text{CuO}$ ). Un aumento de la temperatura podría conducir a la

formación de los dominios cristalinos observados. Se puede intuir que los procesos de recocido han favorecido la exudación del oro hacia la superficie.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto de Mejora e Innovación de la Calidad de la Docencia, PMICD 21-2013 de la Universidad Complutense de Madrid. Así mismo, agradecemos muy especialmente al Museo de Arqueología y Etnología de América, Facultad de Geografía e Historia de la UCM y a su directora la Dra. Alicia Alonso Sagasetta el préstamo de la pieza arqueológica.

### REFERENCIAS

- Alcina, J. (1981): Fechas radiocarbónicas en la Arqueología de Ecuador. *Revista Española de Antropología americana*, **XI**: 95-101.
- Lechtman, H. (1984): Pre-Columbian surface metallurgy. *Scientific American*, **250**(6): 56-63.
- Rovira, S. (2004): Un fragmento de placa dorada precolombina procedente de Ecuador: estudio analítico en "Tecnología del oro antiguo: Europa y América", A. Perea, I. Montero, O. García-Vuelta, eds. *Anejos de AEspA. CSIC*, 83-90.
- Scott, D. (1983): Depletion gilding and surface treatment of gold alloys from the Nariño area of ancient Colombia. *Historical Metallurgy*, **17**(2): 99-115.
- Vindel, E., Hernando, M., García, J., Gumiel, C., López-Acevedo, V., Parras, M. (2013): Análisis composicional de aleaciones precolombinas mediante técnicas no destructivas. *Macla*, **17**:115-116.