

RETOS Y OPORTUNIDADES EN
EL ANÁLISIS COMPOSICIONAL
(XRF) DE CASCABELES DE COBRE
EN DIFERENTES ESTADOS DE
CONSERVACIÓN

• *Niklas Schulze* •

RESUMEN

En las excavaciones de las diferentes etapas constructivas del Templo Mayor de Tenochtitlan (México D.F.), se encontraron ofrendas que contenían un amplio espectro de materiales –entre estos, metal– en diferentes estados de conservación. Los objetos de metal eran en su gran mayoría cascabeles de cobre y sus aleaciones, de los cuales se investigaron 3389 (casi la totalidad), procedentes de 48 ofrendas. ¶ La corrosión intergranular y la delgadez de las paredes de los cascabeles impiden excluir los productos de corrosión de las muestras de análisis sin dañar los objetos. Por lo anterior, los cascabeles se analizaron en la Bodega del Museo sin preparación previa, usando un equipo portátil de XRF. Aunque los datos de la composición se alteran por procesos de enriquecimiento o eliminación de elementos metálicos en la capa de corrosión, los resultados del análisis de más de 550 cascabeles hicieron posible identificar grupos de composición que coincidieron con los conjuntos morfológicos de los cascabeles. ¶ Tanto la información de la cronología relativa, morfología y composición como la comparación con otros cascabeles mexicanos, permitieron mejorar el entendimiento de los mecanismos de abastecimiento del Templo Mayor con material para ofrendas, la organización del trabajo de metales, el significado de los cascabeles y las decisiones tecnológicas de los artesanos. Además, los resultados mostraron que los objetos de metal con capa de óxidos pueden proporcionar información arqueológicamente relevante, sin procesos tardados y destructivos de preparación de la muestra.

-ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE CASCABELES TEMPLO MAYOR-

El oro y la plata impulsaron en gran medida la conquista de América, pero el cobre fue el metal más usado en muchas regiones del continente en tiempos prehispánicos. Aun así, hoy en día muchos arqueólogos sucumben –tal como los conquistadores– al hechizo del metal precioso: el oro, en el momento de formular sus proyectos de investigación, mientras que los objetos más comunes de cobre se acumulan en los museos sin ser estudiados. ¿A que se debe eso?

El cobre, en marcado contraste con el oro, no es estable en su estado metálico. La extracción de sus minerales y la elaboración de artefactos son labores cuyos resultados tienen poca permanencia: debido a los procesos de corrosión, el metal se reconvierte en sus minerales. Sin embargo, este artículo no tratará de las posibilidades de frenar los procesos de corro-

-ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE CASCABELES TEMPLO MAYOR-

sión, sino que abordará, desde el punto de vista de un arqueólogo, cómo analizar un grupo grande de objetos de cobre en mal estado de conservación, y cómo interpretar los datos generados en los análisis.

Aunque los objetos analizados son 3,389 cascabeles de las ofrendas del Templo Mayor de Tenochtitlan, el objeto de investigación es la cultura que los creó y utilizó. Los cascabeles son un ejemplo, una lente, a través de la cual podemos ver algunos aspectos del pasado.

Sus distribuciones y asociaciones pueden proporcionar información sobre el uso de los cascabeles, sin que haya necesidad de ver más detenidamente los objetos mismos. Sin embargo, a lo largo del proceso de producción, los artesanos tomaron decisiones tecnológicas en el campo de tensión entre lo física y tecnológicamente posible por un lado; y lo culturalmente deseable por el otro, imprimiendo de esta manera rasgos en el cascabel, que informan sobre aspectos económicos, sociales, tecnológicos e ideológicos del contexto de producción. Para entender lo anterior, resulta necesario analizar los cascabeles con respecto a su tamaño, forma, ornamentación, faltas de producción y composición.

En el caso de objetos de cobre, toda esta información puede ser ocultada o alterada por los productos de corrosión. Por eso, la investigación de los cascabeles del Templo Mayor de Tenochtitlan sirvió, entre otras cosas, como un estudio metodológico de las posibilidades de obtener datos sobre una colección de artefactos de cobre en diferentes estados de conservación.

Una parte integral de las investigaciones arqueometalúrgicas ha sido cortar, perforar o estirar los objetos de estudio; condiciones que reducen las posibilidades de obtener acceso a objetos únicos o a una numerosa colección. Sin embargo, en las últimas décadas las nuevas tecnologías analíticas han empezado a ofrecer posibilidades de recolectar información de una manera no destructiva e incluso, no invasiva.

En el caso de la colección de cascabeles del Templo Mayor no era posible sacar una cantidad importante de los objetos de la bodega del museo ni prepararlos para el análisis, por razones curatoriales. Para poder investigar el mayor número posible de cascabeles resultó necesario analizarlos en el museo, sin remover la capa de corrosión. Esta oportunidad

-ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE CASCABELES TEMPLO MAYOR-

se presentó con el uso del prototipo de una unidad de Fluorescencia de Rayos-X (FRX) portátil, desarrollado en el Instituto de Física de la UNAM (Picazo et al. 2003, Picazo 2005). A continuación se explicará por qué la decisión de no reducir el número de muestras a favor de una (supuesta) mejor calidad del dato analítico fue correcta y qué tipo de resultados ofreció el análisis realizado.

Una particularidad de los cascabeles del Templo Mayor es que se pueden adscribir a diferentes etapas constructivas del templo principal de los mexicas (López Luján 1994; Matos Moctezuma 2006). En el Templo Mayor, los cascabeles fueron encontrados principalmente en las etapas IVb hasta VII, un lapso de apenas 51 años. Los cascabeles se encontraron en 48 ofrendas (Figura 1), ubicadas en la pirámide principal y algunos de los edificios aledaños. El espectro de formas de los cascabeles se reduce a cuatro formas básicas: *Periforme*, *Globular*, *Tubular* y *Olivoide* (Figura 2). Predominan los cascabeles *Periformes* y *Globulares* que representan en conjunto un total de 85.3% de los cascabeles del Templo Mayor. Solamente los cascabeles *Periformes* tienen rasgos

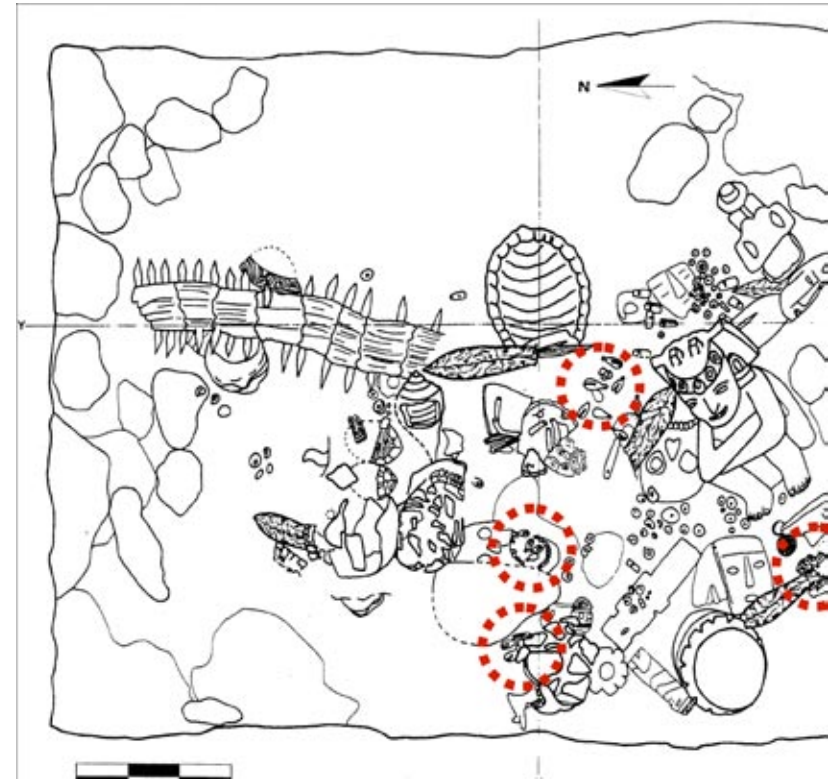
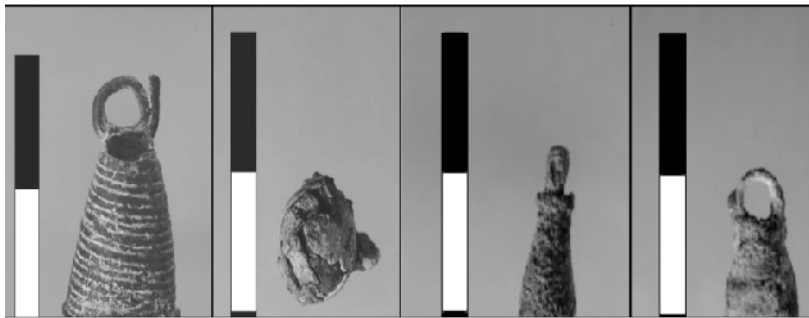


FIGURA 1. Capa de excavación de la ofrenda 20 del Templo Mayor, con lotes de cascabeles (Fuente: Museo del Templo Mayor - INAH).

-ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE CASCABELES TEMPLO MAYOR-

que permiten una clara categorización en sub-grupos (Schulze, 2008). La gráfica de distribución por tamaño (Figura 3), basada en la *altura máxima* (con argolla) y la *anchura* de los cascabeles, demuestra que las categorías de forma básica logran separar bien a los grupos morfológicos.



Aunque la distribución espacial de los cascabeles en el sitio arqueológico del Templo Mayor no es exclusiva, se puede distinguir un énfasis en los espacios en el frente (oeste) y detrás (este) de la pirámide principal, tanto como en las ofrendas en el eje Este-Oeste (Figura 4). Otro hecho notable es el cambio radical de las formas de cascabeles utilizadas a partir de la VI etapa constructiva: se reduce el espectro total de formas y los cascabeles *Globulares* sustituyen a los cascabeles *Periformes* como los más comunes (Figura 5).

Los cascabeles de todas las etapas constructivas y de todas las ofrendas están afectados por la corrosión. Aun si hubiera importantes diferencias en el grado de afectación, no se identificaron claras tendencias, probablemente debido al gran espectro de factores que influyen en el estado de conservación de los objetos de cobre. Para el trabajo de análisis



-ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE CASCABELES TEMPLO MAYOR-

se hizo una clasificación de los cascabeles en cinco diferentes estados de conservación: *Muy Bueno*, *Bueno*, *Regular*, *Malo* y *Muy Malo*. Los cascabeles en *Mal* o *Muy Mal* estado de conservación tenían solamente un valor limitado para la investigación, dado que no permitieron identificar los rasgos clasificatorios, y la probabilidad de encontrar suficiente metal para un análisis de composición también es menor. En el caso de los 1,543 cascabeles *Periformes*, 389 tienen un estado *Regular* o mejor de conservación. La distribución de los estados de conservación de los cascabeles *Periformes* se parece mucho a la de toda la colección, ya que cuenta con un grupo más grande de cascabeles en *Mal* estado. El impacto que la corrosión tiene sobre los rasgos clasificatorios como tamaño y elementos ornamentales se puede ver claramente en la Figura 6, tomando como ejemplo los cascabeles *Periformes*: los cascabeles tienden a crecer con la capa de óxidos.

El siguiente paso de esta investigación era verificar si los resultados de los análisis de contenido metálico de los cascabeles (Figura 7) confirmaban las agrupaciones identificadas en los estudios morfológicos.

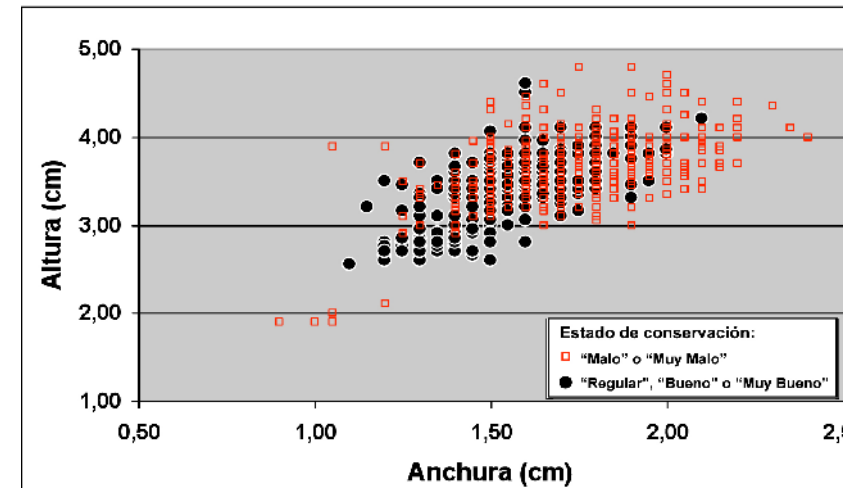


FIGURA 6: Efectos de la corrosión sobre el tamaño de los cascabeles *Periformes*



Al analizar especímenes arqueológicos de metal hay que tener en mente que existen limitantes que reducen la posibilidad de llegar a una representación cuantitativa exacta de la composición de los objetos (Geilmann, 1967; Butler e Ison, 1976; Tylecote, 1979; Scott, 1991; Hughes, 1993; Moreau y Hancock, 1999;

Moens et al., 2000; Baños, 2004). Entre los factores que tienen influencia sobre los resultados se debe nombrar:

- Heterogeneidad de los objetos
- Superficies irregulares
- Alteraciones de las superficies por procesos de corrosión
- Efectos de matriz
- Superposiciones de líneas de diferentes elementos

Entre estos factores hay que destacar la heterogeneidad de los objetos arqueológicos, que tiene sus raíces, por un lado, en los procesos de producción (la estructura dendrítica, la segregación, las inclusiones de escoria o la porosidad) y, por otro lado, en los procesos de deterioro por corrosión. Lutz y Pernicka (1996, traducción del autor) advierten que los análisis de superficies corroídas son "inherentemente poco fiables" por procesos de enriquecimiento (por ejemplo plomo y estaño) o pérdida (por ejemplo cobre) selectiva de elementos en la capa oxidada. El

grado y la dirección de estos cambios de composición dependen de muchos factores y son difíciles de predecir. Los autores señalan (Lutz y Pernicka, 1996) que los problemas de una capa de corrosión pueden ser reducidos al tomar muestras (*drill shavings*). Sin embargo, incluso en este caso hay factores, como el peso y la geometría de la muestra, que pueden influenciar los resultados. Con aleaciones que contienen plomo se llega a observar que el metal blando, que no forma una solución sólida con el cobre, se unta en las superficies de la muestra, con lo que puede aumentar la cantidad medida.

Además hay que tomar en consideración que la oxidación altera las superficies exteriores e interiores de los objetos, así como los espacios entre los granos de la matriz metálica. Por esta corrosión intergranular, la toma de muestras o la preparación de la superficie de la muestra (si es posible) no siempre logra excluir los productos de corrosión. Ponting (1999, traducción del autor) habla de una "inevitable contaminación por corrosión interna". Especialmente en el caso de los cascabeles con paredes muy delgadas, resulta difícil o imposible (dependiendo del estado

-ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE CASCABELES TEMPLO MAYOR-

de conservación) liberar o extraer metal sano con la seguridad de no incluir, los antes mencionados, productos de corrosión en los análisis (Figura 8).

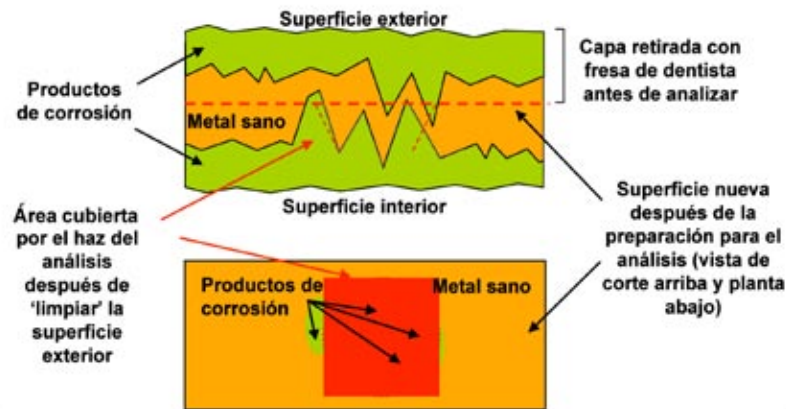


FIGURA 8. Corrosión y la preparación de objetos con paredes delgadas

Para mitigar los problemas señalados, en esta investigación se analizó un gran número de cascabeles, irradiando en casi todos los casos por lo menos dos puntos en cada cascabel. Al final se escogieron sólo los análisis con mayor intensidad total de rayos X (> 350.000 cuentas), gracias a lo cual se eliminaron los análisis con peor base estadística y menor contenido metálico; ya que el XRF no da lugar a rayos X de los elementos ligeros de productos de corrosión. Esta selección ayudó a homogeneizar la calidad de

la muestra (Schulze, 2008). Con estos criterios se incluyeron 997 análisis que representan un total de 567 cascabeles: 433 *Periformes*, 88 *Globulares*, 30 *Oli-voides* y 12 *Tubulares*.

Antes de proceder a la interpretación de los datos analíticos se realizó un experimento para entender mejor la influencia de la capa de corrosión sobre los resultados. Para eso se aprovecharon los cascabeles que fueron preparados para análisis como parte de otra investigación (Méndez, 2003). Los once cascabeles incluidos en esta muestra tenían una o dos áreas de aproximadamente 5 mm² liberadas de corrosión, que dejaban al descubierto el metal sano. Para detectar las tendencias, se compararon los resultados del análisis del metal sano con los resultados de la capa de óxidos de un mismo cascabel, convirtiendo las diferencias en un índice porcentual. Para empezar, se calculó el promedio de los resultados de los dos puntos de análisis de metal sano de un cascabel. Este promedio fue comparado, elemento por elemento, con los resultados de los análisis de la capa de óxidos:

	(Análisis Metal sano promedio – Análisis Óxidos)	
0 =	$[(\text{Análisis Metal sano promedio} + \text{Análisis Óxidos}) / 2]$	* 100

-ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE CASCABELES TEMPLO MAYOR-

Este cálculo se repitió para los once cascabeles y se calcularon los promedios. El índice porcentual de diferencia entre el metal sano y el metal con capa de corrosión (O) llega a 114.6 para estaño (Sn) y tiene un promedio de los ocho elementos de 62.4 (ver Tabla 1). Después se compararon los resultados del análisis de los dos resultados del metal sano (M), cada elemento por separado, calculando nuevamente el índice basado en los resultados de todos los cascabeles.

(O) Comparación de análisis de capa de óxidos y metal sano (promedio)	(M) Comparación de dos análisis de metal sano	(R) Comparación de valores extremos del material de referencia SRM 1107
Sn (114.6 %)	Sn (114.1 %)	Pb (13.7 %)
Ag (89.5 %)	As (54.6 %)	Zn (10.0 %)
Fe (71.6 %)	Sb (54.2 %)	Sn (9.9 %)
As (64.5 %)	Pb (47.3 %)	Cu (9.6 %)
Pb (57.6 %)	Ag (42.6 %)	Fe (9.2 %)
Sb (33.1 %)	Fe (18.0 %)	
Cu (6.1 %)	Cu (9.3 %)	
Promedio 62.4 %	Promedio 48.6 %	Promedio 10.5 %

Tabla 1. Comparación de índices porcentuales de diferencia entre metal, capa de corrosión y material de referencia

Confrontando estos dos grupos de datos (O y M) se observan algunas coincidencias. El índice (M) también llega hasta 114 para estaño (Sn), pero tiene un promedio más bajo de todos los elementos, 48.6. Sin embargo, la diferencia entre los índices promedios (62.4 y 48.6) no es tan importante como se supondría; considerando que los dos análisis de metal sano provienen del mismo cascabel y deberían aportar resultados iguales o muy parecidos, con un índice de diferencia muy bajo. Las mayores diferencias observadas entre los resultados para (M) y (O), se calcularon para los elementos plata (Ag) y hierro (Fe) que son considerados en este estudio como elementos menores, que en pocos cascabeles superan 1% de la composición. En general, se puede notar que ambos índices promedios expresan una variabilidad que es considerablemente más alta que en el caso de la muestra de referencia NIST 1107, donde se compararon los resultados extremos, altos y bajos, de 54 puntos de análisis. Aplicando la misma fórmula utilizada antes, se calcula un índice porcentual promedio de 10.5 que indica una muy baja variabilidad (R).

Lo que distingue las muestras de referencia de las muestras arqueológicas preparadas (análisis sobre metal, no sobre capa de corrosión) es la falta de heterogeneidades y corrosión intergranular, que en muchas ocasiones se encuentra en objetos arqueológicos de metal, y que en el caso de los cascabeles con las paredes delgadas no se deja eliminar por completo.

Estos datos nos llevan a la conclusión de que la confiabilidad de un análisis individual de una muestra arqueológica es baja, sin importar si es una muestra preparada o no. Lo anterior implica que la única manera de aumentar esta confiabilidad consiste en analizar grandes cantidades de objetos que permitan establecer la existencia de tendencias claras, y confirmar que las agrupaciones que aportan las composiciones de los metales tienen un sentido arqueológico en su contexto social, económico, tecnológico e ideológico. Ante lo cual resulta válido trabajar con los promedios totales (de todos los estados de conservación), sin dejar de lado que los resultados probablemente no reflejan en todos los casos las composiciones reales de los objetos, sino representan más bien un criterio de agrupación.

La Figura 9 muestra los promedios de composición para los elementos mayores (así definidos en este estudio por tener promedios totales de $> 1\%$, ver Schulze, 2008) de estaño (Sn), plomo (Pb) y arsénico (As) subdivididos en estados de conservación. Los datos indican que no existe una clara tendencia de aumento o disminución de algún elemento en función del estado de conservación del cascabel (por ejemplo, relacionado con el grosor de la capa de corrosión). Incluso en el caso del estaño (Sn), que se puede enriquecer en algunas áreas de las capas de corrosión (ver Geilmann, 1967; Scott, 1991; Hughes, 1993), no se observa un notable aumento del promedio; y únicamente el intervalo de concentraciones se amplía. Esta falta de tendencia en la composición se observa con más claridad al separar los cascabeles por su forma. En los cascabeles Globulares, que aportan la mayor parte del estaño al promedio de los resultados, no se puede detectar ningún aumento constante en la concentración de este metal causado por la corrosión (Figura 10). En el caso de los cascabeles Periformes, la imagen es un poco más dinámica (Figura 11). En esta gráfica se obser-

va el aumento de los valores extremos en general, el comportamiento algo errático del plomo y un ligero aumento del arsénico conforme empeora el estado de conservación. Especialmente en la presentación de gráficas ternarias, que muestran las cantidades relativas de tres elementos, se nota, además, un ligero aumento relativo de estaño (Figura 12).

Después de esta explicación, que estableció la validez de los datos, ¿cuáles son los resultados de los análisis? Los análisis de FRX aportaron las concentraciones relativas de los elementos hierro, cobre, arsénico, plomo, plata, estaño y antimonio. En todos los cascabeles analizados, el cobre es el metal base de la aleación. Al analizar los datos de los aleantes de mayor concentración, estaño, plomo y arsénico; se distinguen claras diferencias de composición entre los cascabeles de diferentes formas básicas: los cascabeles Periformes contienen plomo y / o arsénico, los Olivoides pueden contener plomo o estaño pero en general son de cobre casi puro, los Globulares contienen estaño o un poco de plomo, y los Tubulares solamente contienen estaño (Figura 13). Mientras las gráficas ternarias proporcionan las tendencias relativas, los diagramas



Figura 10. La composición (elementos mayores) de los cascabeles Globulares en función del estado de conservación (n = 88)

-ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE CASCABELES TEMPLO MAYOR-

de cajas ofrecen las concentraciones absolutas. Las tendencias no son exclusivas, pero sí claramente reconocibles. Sin embargo, los patrones de aleaciones no necesariamente se mantuvieron estables durante el tiempo en que se utilizaron estas formas de cascabeles en las ofrendas del Templo Mayor. Los cascabeles Globulares (Figura 14), por ejemplo, parecen haber tenido bajos contenidos de estaño (Sn) –descontando la etapa constructiva II que solamente está representada por un cascabel– hasta las etapas constructivas VI y VII, cuando alcanzaron promedios con valores superiores al 12.0%. En los cascabeles Periformes (Figura 15) se mantuvieron muy bajos los niveles de estaño (Sn). La concentración de plomo (Pb), por otro lado, aumentó considerablemente en las etapas constructivas VI y VII, desde 4.0 % en las etapas IVa, IVb y V, hasta 12.0 % en la etapa VII.

En dado caso que los metales usados en las aleaciones permitieran una clara diferenciación de los grupos morfológicos y existieran claras tendencias de las concentraciones de estos metales a lo largo del tiempo, no se pueden detectar recetas que determinen la composición exacta de una aleación. En

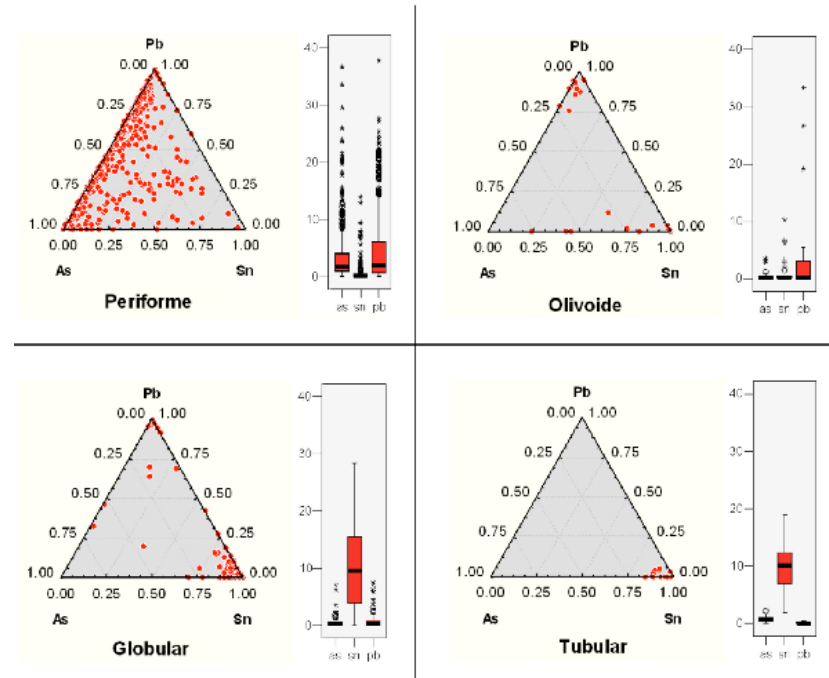


FIGURA 13. Las aleaciones de los cascabeles diferenciadas por forma básica.



-ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE CASCABELES TEMPLO MAYOR-

la Figura 16 se observa que las concentraciones del estaño (Sn) en los cascabeles Globulares no tienen picos que indiquen una agrupación alrededor de una composición particular.

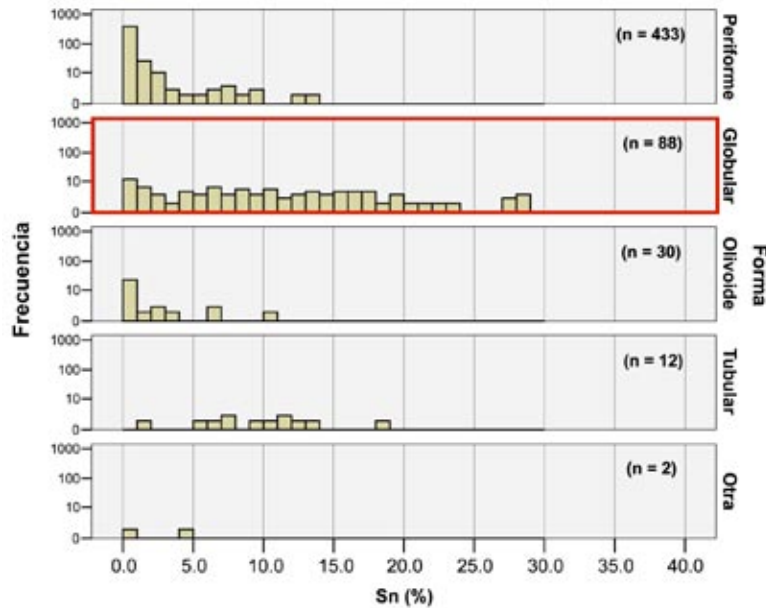


FIGURA 16. Las concentraciones del estaño (Sn) en los cascabeles del Templo Mayor, diferenciadas por forma básica

En resumen, los resultados de los análisis mostraron que el resultado individual no necesariamente refleja la composición exacta del objeto analizado, ni del grupo morfológico o cronológico al cual pertenece. Eso se debe a una combinación de razones:

1. La heterogeneidad de los materiales arqueológicos
2. Los procesos de deterioro que afectan la composición y / o los resultados de los análisis
3. La variabilidad de composición debido a procesos de producción no estrictamente controlados, sea por falta de posibilidad de control o por falta de necesidad.

La imposibilidad de eliminar estos factores, aun en casos que permiten la toma de muestras, convierte al análisis de grupos grandes de objetos y de la identificación de tendencias no solamente en una posibilidad alternativa, sino que representa un primer paso necesario para entender la estructura de los datos y el funcionamiento de una industria en su contexto cultural. Más tarde, en otra etapa del proceso, se pueden escoger y analizar piezas individuales con una amplia gama de técnicas, con el fin de resolver preguntas más específicas.

AGRADECIMIENTOS

La investigación que aportó información para este artículo fue posible por el apoyo de la dirección y del personal del Museo del Templo Mayor, del IIA-UNAM y por becas de la UNAM-DGEP y CONACYT (U49839-R). Un agradecimiento especial merecen Luis Barba, José Luis Ruvalcaba y Nicolás Caretta, que apoyaron el trabajo en todas las fases de la investigación. A Alicia Rosas muchas gracias por sus comentarios sobre el borrador del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

BAÑOS LÓPEZ, LETICIA

- 2004, "Preparación de especímenes para análisis por: difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X", en: Mendoza Anaya, Demetrio, Eva Leticia Brito Benítez y Jesús A. Arenas Alatorre (eds.), *La Ciencia de Materiales y su Impacto en la Arqueología*, Naucalpan, Innovación Editorial Lagares de México. 265 – 274.

BUTLER, G. Y H. C. K. ISON

- 1976 "Corrosion, Design and Materials: General and Pitting", en: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences* 282(1307), 225 - 234.

GEILMANN, WILHELM

- 1967 "Chemische Untersuchungen der Patina vorgeschichtlicher Bronzen aus Niedersachsen und Auswertung ihrer Ergebnisse", en: Levey, Martin (ed.), *Archaeological Chemistry, A symposium*, Philadelphia, University of Pennsylvania Press, 87-146.

HUGHES, RICHARD

- 1993 "Artificial patination", en: La Niece, Susan y Paul Craddock (eds.), *Metal Plating and Patination*, Oxford, Butterworth-Heinemann, 1-18.

LÓPEZ LUJÁN, LEONARDO

- 1994, *The offerings of the Templo Mayor of Tenochtitlan*, University Press of Colorado, Niwot.

LUTZ, J. Y E. PERNICKA

- 1996 "Energy dispersive X-ray Fluorescence analysis of ancient copper alloys: empirical values for precision and accuracy", *Archaeometry* 38:313 - 323.

MATOS MOCTEZUMA, EDUARDO

- 2006 *Tenochtitlan, México*, El Colegio de México y Fondo de Cultura Económica.

-ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE CASCABELES TEMPLO MAYOR-

MÉNDEZ MEJÍA, URSULA

2003 *Técnicas nucleares y convencionales aplicadas al análisis de metales prehispánicos del Templo Mayor de Tenochtitlan*, Tesis para optar por el grado de Maestría, ENAH, México.

MOENS, LUC, ALEX VON BOHLEN Y PETER VANDENABEELE

2000, "X-Ray Fluorescence", en: Ciliberto, Enrico y Guiseppe Spoto (eds.), *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology*, New York, John Wiley & Sons, 55 - 79.

MOREAU, J.-F. Y R. G. V. HANCOCK

1999 "The Effects of Corrosion on INAA Characterizations of Brass Kettles of the Early European Contact Period in Northeastern North America", *Journal of Archaeological Science* 20(8): 1119 - 1125.

PICAZO NAVARRETE, FLORA

2005 *Desarrollo de un dispositivo de XRF portátil para análisis de aleaciones metálicas*, Tesis para obtener el título de Ingeniera Química Metalúrgica, Facultad de Química, UNAM, México.

PICAZO NAVARRETE, FLORA, JOSÉ LUIS RUVALCABA, KARIM LÓPEZ Y FRANCISCO JAIMES

2003 "Diseño y construcción de un dispositivo de fluorescencia de rayos X portátil", Mérida, *XLVI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Física*, 2003, 17.

PONTING, MATTHEW J.

1999 "East Meets West in Post-Classical Bet She'an: The Archaeometallurgy of Culture Change", *Journal of Archaeological Science* 26(10): 1311 - 1321.

SCHULZE, NIKLAS

2008 *El proceso de producción metalúrgica en su contexto cultural: los cascabeles de cobre del Templo Mayor de Tenochtitlan*, tesis de grado de Doctor en Antropología, México, FFyL, IIA-UNAM.

SCOTT, DAVID A.

1991 *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals*, The Getty Conservation Institute, Manna del Rey.

TYLECOTE, R.F.

1979 "The Effect of Soil Conditions on the Long-term Corrosion of Buried Tinbronzes and Copper", *Journal of Archaeological Science* 6, 345 - 368.