

RECUBRIMIENTOS DORADOS, PLATEADOS Y PLATINADOS EN LA METALURGIA PRECOLOMBINA DEL ECUADOR

GOLDEN, SILVER, AND PLATINUM COATINGS IN PRE-COLUMBIAN METALLURGY OF ECUADOR

Patricia Estévez-Salazar¹, David Romero-Estévez²

Recibido 5 junio 2023. 22 septiembre 2023

Resumen: La trascendencia del desarrollo de los procesos tecnológicos alcanzados durante varios miles de años por los orfebres precolombinos radica en el alto desempeño de sus técnicas metalúrgicas, sin conocerse hasta la actualidad, todos los métodos que emplearon para lograr los dorados, platinados y demás recubrimientos como técnicas finales de acabado de los objetos. En contraste, las técnicas modernas, las cuales, a pesar de ser elaboradas con alta tecnología, los recubrimientos sufren desgaste perdiendo su calidad con el paso del tiempo. Esta síntesis trata de los procesos tecnológicos de dorado, plateado y platinado superficial, adicionalmente, los estudios, teorías e hipótesis relacionadas al reemplazo electroquímico, sinterización, y a la disponibilidad de materia prima. Finalmente, se sintetiza los análisis de composición realizados por diferentes investigadores nacionales y extranjeros para resaltar el conocimiento ancestral aborigen que, en todo sentido, es comparable con el desarrollo de las técnicas aplicadas por la metalurgia actual.

Palabras clave: dorados superficiales, metalurgia prehispánica, reemplazo electroquímico, sinterización, tecnologías del platino.

Abstract: The significance of the development of technological processes achieved over several thousand years by pre-Columbian goldsmiths lies in the high performance of their metallurgical techniques, without knowing until now, all the methods they used to achieve gilding, platinum plating, and other coatings such as final techniques for finishing objects. In contrast to modern techniques, which, despite being elaborated with high technology, the coatings suffer from wear and tear, losing their quality over time. This synthesis deals with the technological processes of gilding, silvering, and superficial plating, additionally, studies, theories, and hypotheses related to electrochemical replacement, sintering, and the availability of raw material. Finally, the composition analysis carried out by different national and foreign researchers is synthesized to highlight the ancestral aboriginal knowledge that, in every sense, is comparable with the development of the techniques applied by current metallurgy.

Key words: electrochemical replacement, metallurgy, superficial gilding, pre-Hispanic sintering, platinum technologies.

Introducción

De las distintas ciencias y saberes ancestrales, la metalurgia comprende un amplio horizonte tecnológico desarrollado en milenios, y forma parte de los sistemas de producción en los que se desarrolló una clara especialización. Sobre todo, por hallazgos de objetos de metales de oro (Au), plata (Ag), platino (Pt), y cobre (Cu), las investigaciones arqueológicas han puesto en conocimiento que las sociedades precolombinas del Ecuador iniciaron tempranamente el laboreo de los metales. Las evidencias más tempranas de la actividad metalúrgica en el Ecuador aparecen con el descubrimiento realizado por Rehren & Temme (1994) en el taller de fundición localizado en el sitio arqueológico Putushío (Provincia de Loja), que alcanza aproximadamente 400 hectáreas de extensión. Existen numerosos vestigios que cubren fechas entre 3420 ± 255 a 435 ± 135 antes del presente (A.P.) (Rehren & Temme, 1994, pp. 368-369), es decir, un período de 3000 años en que los orfebres de Putushío definieron el desarrollo de sus técnicas metalúrgicas. En este sitio se han encontrado aparte de los hornos de fundición, una extensa área acondicionada como taller junto con abundante material cerámico, lítico y demás como una parte de los vestigios

de actividad metalúrgica. Sobre todo, la cerámica ha permitido evidenciar relaciones con diferentes culturas al trabajo con Au, Cu y sus aleaciones en un mismo sitio durante varios siglos. Tanto la interpretación de los resultados de análisis de composición como de los fechamientos realizados son sugestivos con relación a la preexistencia de una metalistería aún más temprana, puesto que un taller orfebre de tan larga duración puede haber dejado vestigios desde el laboreo individual hasta el trabajo colectivo con posible división de tareas. Este hecho ofrece una mirada de cómo era transmitido el conocimiento sobre la manufactura de objetos de metales preciosos por varias generaciones, en su evolución favorable para llegar a una producción en grandes volúmenes, lo que hace suponer los innumerables hallazgos en

¹ Investigadora independiente. Bouguer Oe1-22 y Vozandez, ECU170510. Quito-Ecuador. Email: estevezpaty22@hotmail.com, ORCID: 0009-0001-7870-613X..

² Centro de Estudios Aplicados en Química – Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Av. 12 de Octubre 1076 y Vicente Ramon Roca. ECU 170525 Quito-Ecuador. Email: dfromero@puce.edu.ec, ORCID: 0000-0003-1381-9464.

áreas próximas como fueron las grandes tumbas ubicadas en Gualaceo, Sigsig en la provincia de Azuay y en otras de amplias zonas de su entorno cercano y distante como en varios sitios del norte del Perú. Resultaría interesante examinar con mayor detenimiento las peculiaridades de este taller de fundición desde una perspectiva que ubique a este como un sitio de producción importante para una región más extensa.

Los metales Au, Ag, Cu y sus aleaciones fueron seleccionados para plasmar la representación de símbolos y conceptos, en especial aquellos que fueron elaborados obedeciendo a relaciones jerárquicas vinculadas a un complejo mundo ceremonial en el que los minerales y metales tenían también connotaciones simbólicas. Los mineros-metalurgistas tuvieron una participación protagónica en el desenvolvimiento social de la comunidad, su creatividad, destreza y dominio tecnológico se repitió en innumerables procesos que les permitió transformar la materia a su voluntad con principios, conceptos, técnicas y experiencias propias. Según su cosmovisión, al utilizar el metal trabajaban con una “materia sagrada”, mediante la cual alcanzaron su propósito formal, funcional, simbólico, jerárquico, conforme al entramado del sistema de valores inherente a cada sociedad. Investigaciones destacadas sobre el tema vislumbran el valioso contenido simbólico de las figuras ecuatorianas, de ellos los exponen extensamente Di Capua en su libro *De la Imagen al Icono* (2002), Ugalde en su publicación *Iconografía de la Cultura Tolita* (2009), entre otros. Además, los trabajos de María Falchetti (1999, 2018), conducen hacia interpretaciones importantes en cuanto a la interrelación del ser humano con el orden cosmogónico, circunstancia de la que deriva la simbología de los metales, aleaciones e incluso los minerales de donde proceden.

Resulta inagotable el material bibliográfico que describe la riqueza en Au, Ag, Pt, piedras preciosas y demás minerales y metales que se utilizaron antes de la invasión incásica e intrusión hispana, mismo que forma parte de los relatos de los cronistas tempranos, de los registros y noticias de minas, memorias de excavaciones, obras catalogadas como “raras”, innumerables investigaciones: etnohistóricas, arqueológicas y multidisciplinarias de más de un siglo, entre otros documentos que son fuente de información de importancia. Por otro lado, la comprensión integral de la metalurgia prehispánica del Ecuador conduce más allá de una perspectiva estética, figurativa, socio-económica o en la trama de las esferas religiosa y política, la metalistería se perfila con relevancia en el contexto del desarrollo tecnológico, puesto que la metalurgia junto con la minería fueron prácticas técnicamente innovadas y mejoradas por aquellos artífices que conocían las características y singularidades de sus recursos. Evidentemente, la razón de ser de la minería fue la metalurgia como sistema de producción cultural. El metalurgista utilizó herramientas trabajadas para cada propósito, conocía y aplicaba determinadas plantas y extractos vegetales, materiales como ceras, carbón, fundentes, arcillas refractarias, descubriría leyes, claves y también rituales. Las técnicas son numerosas y se las clasifica y compila cronológicamente en la Tabla 1.

Los antiguos pobladores del territorio Quito (Ecuador actual), utilizaron el Au aluvial y explotaron las minas muchos siglos antes de la llegada de los Incas, quienes desde su incursión desde el sur y avanzando en un largo proceso de ocupación hacia el norte, demostraron gran interés por la búsqueda y aprovechamiento de los metales preciosos. Igualmente se conoce que, durante el corto período de implantación del sistema cultural y económico del incanato, buscaron y llevaron al Cuzco a los mejores orfebres.

Cronología		Costa Norte			Costa Central				Sierra Norte		Sierra Central		Sierra Sur			Oriente			
		LAS BALSAS	LA TOLITA	ATACAMES	SALANGO	LOS CERRITOS	BAHIA	JAMA-COAQUE	MILAGRO-QUEVEDO	MANTENO-HUANCA VILCA	CARCHI-NARIÑO	CHAUPICRUZ-QUITUS (La Florida)	PURUHÁ	CERRO NARRIO	PUTUSHO	PIRINCAY	CAÑAR (Sigsig?)	NAPO	INCA
Integración	1500 d.C.																		
	1000 d.C.																		
	500 d.C.																		
	0																		
	500 a.C.																		
Formación	1000 a.C.																		
	1500 a.C.																		
	1500 a.C.																		
Metales procesados																			
Au		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Cu		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ag																			
As																			
Pt																			
Pb																			
Técnicas físicas y fisicoquímicas																			
Fundición		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Aleaciones		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Vaciado en moldes		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Granulación		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Soldaduras		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Dorado		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Plateado																			
Platinado		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Sinterización		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
R. electroquímico		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Técnicas mecánicas																			
Martillado		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Laminado		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Repujado		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Recortado		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Estrado		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Forjado		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Técnicas de acabado																			
Dorado lámina		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Dorado fusión		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Dorado oxidación		●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
● Solo objetos de metal ● Objetos de metal y restos que indican manufactura de objetos de metal ● Solo restos que indican manufactura de objetos de metal ● Relato de cronistas de la primera expedición en 1542																			

Tabla 1. Cronología de la producción metalúrgica. Estévez (2016).

Resulta difícil resumir las investigaciones sobre los antiguos objetos metálicos, que de hecho son tan innumerables como fueron los sistemas de pensamiento existentes en las sociedades ancestrales, las singularidades técnicas de los objetos, al no ser examinados con la atención que merecen, pueden perderse definitivamente.

En la presente síntesis, se trata brevemente de los procesos tecnológicos de recubrimiento superficial. Las descripciones específicas se refieren a piezas completas y fragmentos del fondo arqueológico del Ministerio de Cultura (antes colecciones del Banco Central del Ecuador), que fueron analizados en el curso de varios años y etapas. Se han revisado algunas investigaciones de antiguas excavaciones arqueológicas en las que se han descubierto herramientas para trabajar metales. También interesan varias de las primeras fuentes escritas reflejadas en la documentación etnohistórica (relatos, crónicas, y otros), que refieren los hallazgos y tesoros, información que recoge notas precisas que se relacionan con el tema. Igualmente se destacan algunos rasgos poco conocidos sobre la metalurgia preincaica ecuatorial que merece una especial atención por varias particularidades, como la notable antigüedad de los vestigios de orfebrería que proceden de la sierra sur y arrojan fechas que los sitúa entre los más antiguas del continente americano, junto con los hallazgos situados en Bolivia y Perú; de igual manera es importante el rol significativo que desempeñó el orfebre ecuatoriano en el desarrollo y expansión de la metalurgia en América.

Adicionalmente, se mencionan los aportes de investigadores nacionales y extranjeros de varias disciplinas que, por décadas, han centrado su interés en las prácticas metalúrgicas preincaicas. Cabe anotar que en el acápite referente a las tecnologías de producción metalúrgica se recogen los aportes de Gonzalo Estévez Espinel quien, mediante el estudio de objetos principalmente de oro y plata procedentes de colecciones privadas y museos, investigó los procesos relacionados con el dorado y el plateado superficial, así como el vaciado a la cera perdida, entre otras técnicas. Finalmente, la perspectiva sobre las tecnologías de reemplazo electroquímico, objeto de este trabajo, se complementa necesariamente con resultados de investigaciones recientes, de hecho, es un acercamiento que con justicia pretende dar cuenta del avanzado conocimiento de los antiguos orfebres.

La abundancia de yacimientos auríferos, auro-platiníferos y demás metales con los que el orfebre elaboró los artefactos fueron esenciales. Muchas minas explotadas por los asentamientos de mayor antigüedad continuaron explotándose durante la ocupación incásica, en la época de la colonia y unas tantas aún interesan a la minería en el presente siglo.

Metalurgia prehispánica y sus procesos

La metalurgia de los pueblos que habitaron la geografía ecuatorial nace en los inicios del sedentarismo y se dispersa, no es inmóvil en el tiempo ni está aislada en un solo grupo humano, es dinámica, saturada de simbolismo, de expresiones de poder y sobre todo de un gran conocimiento enriquecido por la práctica milenaria de sus especialistas. Las técnicas, métodos y procesos fueron descubiertos, aplicados y tuvieron continuidad, muchos de ellos no son necesariamente una evolución del anterior, simplemente son diferentes, otros singularizan a una zona y luego desaparecen o no se encuentran en otras regiones.

En la Tabla 1, se configura el escenario tanto de los

sitios tempranos en los que se han encontrado evidencias de metalistería como aquellos cuya correspondencia cultural se refiere a los desarrollos posteriores enfatizando las técnicas empleadas en el trabajo de los metales hasta el momento conocidas en las culturas del Ecuador prehispánico, (Estévez, 30 junio 2016). El conocimiento de las técnicas mecánicas, entre otras: martillado, laminado, repujado, así como de los métodos físicos como fundición, soldaduras y sus variantes han sido tratados ampliamente en la literatura arqueológica, razón por la que no se presentan en este trabajo, dando paso a la descripción de las técnicas denominadas físico-químicas de dorado, plateado y platinado que fueron aplicadas como tratamiento final de acabado de las piezas de orfebrería, dando especial atención a los procesos de recubrimiento electroquímico y sinterización, importantes en la elaboración integral del objeto y su propósito.

Las técnicas para la obtención de recubrimientos superficiales sitúan a los expertos en la condición de revalorizar sus procedimientos, uno de ellos es el reemplazo electroquímico, el cual dadas sus peculiaridades, en especial la permanencia de las superficies doradas, plateadas y platinadas durante siglos, y en su mayoría en perfectas condiciones a pesar de encontrarse en enterramientos sujetos a cambios en de humedad del suelo, así como a los procesos bioquímicos y químicos que podrían degradarlos, son notablemente superiores a los dorados actuales que se alteran fácilmente. Además, debe considerarse la información descrita en los relatos sobre la extensa riqueza en Au, Ag y piedras preciosas que obtuvieron los conquistadores por distintos medios, por los cuales se presume el uso de técnicas aún desconocidas. Una muestra de ello son las anotaciones del historiador Inca Garcilaso de la Vega, [(1609), 1960] quien en varios capítulos de su libro "Comentarios Reales de los Incas" describe aquellos tesoros, como es el caso del Capítulo II que se titula: "Contrahacían de oro y plata cuánto había para adornar las casas reales" anota:

"En todas las casas reales tenían hechos jardines y huertos donde el Inca se recreaba. Plantaban en ellos todos los árboles hermosos, y vistoso, posturas de flores y plantas olorosas y hermosas que en el reino había, a cuya semejanza hacía de oro y plata muchos árboles y otras matas menores... Entre estas y otras grandezas, hacían maizales, contrahechos al natural con sus hojas, mazorcas y caña, con sus raíces y flor. Los cabellos que echa la mazorca eran de oro, y todo lo demás de plata, soldado lo uno con lo otro. Y la misma diferencia hacían en las demás plantas, que la flor, o cualquier otra cosa que amarilleaba, lo contrahacían de oro, y lo demás de plata" (Inca Garcilaso de la Vega, 1960[1609], pp. 234-236).

Asimismo, en el Capítulo XXIV "Del jardín de oro y otras riquezas del templo, a cuya semejanza había otros muchos en aquel imperio", se menciona:

"Había un gran maizal y la semilla que llamaban quinua y otras legumbres y árboles frutales, con su fruta toda de oro y plata, contrahecho al natural. Había también en la casa rimeros de leña contrahecha de oro y plata, como los había en la casa real; también había grandes figuras de hombres y mujeres y niños, vaciados de lo mismo..." (Inca Garcilaso de la Vega, 1960[1609], pp. 143-144).

Igualmente, Agustín de Zarate, (1947[1555], p. 446) en relación con la riqueza en la isla Puná menciona "...y en otra pequeña isla, junto a ella (isla Puná) se halló en una casa el retrato de una huerta, con los arboles y plantas de plata y oro".

Parecería tratarse de una fantasía, sin embargo, se ha pensado que los antiguos metalurgistas conocieron procesos que no se practican en la actualidad, pero que fueron realizados gracias a la gran capacidad de observación, comprensión de la naturaleza y de su entorno, evidentes en su legado. La utilización de los metales alcanza mayor depuración estética y complejidad tecnológica en la producción de diversas técnicas de acabado superficial que los orfebres desarrollaron para modificar el aspecto externo de los objetos elaborados con un determinado metal o aleación. Se afirma que el color es una de las propiedades fundamentales que originaron su producción. La utilización de la tumbaga, así como las técnicas de dorado y plateado, según sostiene Lechtman (1971, pp. 3-4) tipifican a la metalurgia americana, y, el proceso de enriquecimiento superficial es uno de los más antiguos métodos de recubrimiento (Lechtman, 1978, pp. 513-514). El dorado, plateado y platinado fueron aplicados con frecuencia sobre los objetos metálicos elaborados en varias etapas de trabajo. La elaboración parte de la fundición de la materia prima, se continúa con el martillado y templado o directamente el vaciado en moldes abiertos, en moldes cubiertos o en moldes de piezas múltiples. Luego los objetos son bruñidos con herramientas que permitían alisar las superficies por presión, se realizaba luego el pulimento mediante el frotamiento de las piezas con diversos materiales, como la arena húmeda, el polvo fino, hueso, entre otros. La aplicación de técnicas de recubrimiento o acabado fue selectiva se utilizó para modificar el aspecto de las superficies de los objetos en relación con el color, con su función, y, en opinión de los autores del presente artículo los orfebres conocían su importancia en la protección y resistencia del objeto frente al deterioro.

Los métodos reportados con mayor frecuencia, en las publicaciones arqueológicas, para el acabado final de las piezas precolombinas son: el dorado de lámina (*foil gilding*), dorado por fusión (*fusion gilding*), dorado por reducción (*depletion gilding*) y el reemplazo electroquímico (*electrochemical replacement plating*), en la presente síntesis se recoge la información sobre las técnicas de recubrimiento conocidos para los objetos de Ecuador prehispánico con un mínimo de ejemplos, y, con especial interés en el proceso de recubrimiento electroquímico.

El dorado por fusión, descrita por Bergsøe (1982, pp. 61-80) como una de las primeras referencias; y más tarde por Scott (1985, pp. 288-306; 2011, pp. 86-89), con aportes relevantes y Ramírez (2013, pp. 5-7, 29-30) igualmente, con sugestivas contribuciones. El proceso consistía en aplicar una aleación de Au fundido en la superficie de un objeto elaborado con un metal o aleación de mayor punto de fusión. Este sustrato podía ser sumergido en el baño del metal fundido, o si solo se deseaba dorar una de las superficies, era aplicado localmente, resultando un revestimiento de coloración dorada y espesor variable. Se conoce el uso de esta técnica en material proveniente de Ecuador y del área de Nariño en Colombia. Se lo denominó también dorado por inmersión, "el sumergimiento del objeto listo de cobre dentro de un baño de aleación de oro fundida, o la aplicación de la aleación de oro a la superficie, seguida de martillado y recocido" (Scott, 1985, p. 297). Un ejemplo de plateado por inmersión lo detalla Scott en el análisis de la nariguera de Cu recubierta de Ag, de la fase Milagro Quevedo, quien proporciona una interpretación

sobre su microestructura y señala: "Probablemente se logró sumergiendo la nariguera de Cu limpia y caliente dentro de una aleación de cobre y plata fundida. El proceso de manufactura de este artefacto puede ser, por tanto, casi totalmente reconstruido con base en la evidencia metalográfica" (Scott, 1985, pp. 290-291). Los métodos descritos cuentan con análisis metalográficos y sustentos experimentales que demuestran su uso en las piezas precolombinas. Investigaciones de arqueometalurgia llevadas a cabo en la Universidad de los Andes constituyen aportaciones significativas sobre "procesos de modificación de propiedades de superficie y procesos de unión y ensamble" (Cano Gonzáles, 2017, pp. 1-86).

El dorado de lámina o dorado de hoja con unión por difusión (Scott, 1985, pp. 292-294), consistía en recubrir el sustrato metálico, de Cu, Ag o sus aleaciones, con una lámina de otro metal, generalmente Au, se aplica calentamiento mientras se lo bruñe. La zona de difusión se presenta después de aplicar mecánicamente la hoja de Au sobre la superficie lisa de Cu y al dar calor a las dos superficies, se genera una migración de átomos de Cu en la aleación de Au y Ag. El uso de estas técnicas ha sido reportado para artefactos metálicos precolombinos provenientes de Ecuador (Scott, 1985, pp. 292-298). En cuanto a la técnica anteriormente descrita, Scott lo explica ampliamente y propone procesos alternativos interesantes, como el uso de un ligante orgánico, y la posible aplicación de una determinada aleación por flujo controlado sobre un sustrato metálico (Scott, 2011, pp. 86-88).

Es asimismo relevante la investigación referente a un ornamento nasal de la cultura La Tolita cuya estructura es bimetálica, señala la particularidad en cuanto al uso de una lámina de Au-rica en tumbaga unida a una lámina de Cu-rica en tumbaga:

"Por lo tanto, un lado del ornamento aparecería amarillo rojizo, y el otro, un sutil amarillo dorado. Este adorno bimetálico de nariz creciente en dos aleaciones de tumbaga diferentes es otra innovación de La Tolita, que hasta ahora no se ha reportado para ninguna otra área de cultivo en América del Sur" (Scott, 2011, p. 89).

En el siglo pasado, Carlos Zevallos Menéndez (1958, 1965) con sus investigaciones reveló la existencia de técnicas que singularizan la metalurgia ecuatoriana, informa sobre el hallazgo de objetos de filigrana, señala el uso de "soldadura *eutéctica o autógena*", hace referencia al proceso para "enchapar el cobre con el oro" y los hallazgos de herramientas de orfebrería (Zevallos, 1965, p. 73). Describe la elaboración de los alambres únicos en relación con las diversas formas, (rectangulares, romboidales, redondos, ovalados, otros), espesores y composiciones, incluso en un mismo alambre se han trabajado formas circular, elíptica, laminar, triangular, cuadrada, romboidal, entre otras y en grosores diferentes (Zevallos, 1958, pp. 211-215).

Se han descrito adicionalmente técnicas para dorar el Cu y Ag como es el caso del dorado por depleción u oxidación, que consiste en enriquecer con Au la superficie de artefactos de tumbaga u otra aleación, mediante la remoción de los óxidos de Cu o Ag con soluciones ácidas. Zevallos Menéndez menciona con detalle la práctica de métodos de "decoloración artificial" de objetos elaborados con aleaciones Au-Cu, denominadas "tumbaga o guanín" que luego de repetidos procesos de oxidación se sometían a decapado de los óxidos empleando plantas ricas en

ácido oxálico (Zevallos, 1965, p. 72). Respecto al proceso expresa que los objetos trabajados con esta aleación cuando se sumergen en preparaciones de plantas ricas en ácido oxálico, calentando en ellas los objetos previamente sometidos a oxidación, de tal manera que los óxidos de Cu de la superficie son eliminados y aparece mayor concentración de Au en la superficie del metal, se conoce también la técnica como "*Mise-en-couleur*". En el curso de sus investigaciones Zevallos recorrió varios lugares en busca de los conocedores de antiguas técnicas de orfebrería, en una de las poblaciones cercanas a uno de los lavaderos de oro encontró el uso de una de las plantas denominada chulco (Arévalo, 2019) y relata lo siguiente:

"En el pueblo de Gualaceo pude encontrar el uso que hacen de la yerba llamada chulco con la cual los orfebres hierven, todavía, sus joyas de oro, enriqueciendo aparentemente su quilataje. El joyero actual coloca la pieza en chulco machacado, con agua y sal, todo dentro de una vasija de cobre, la que somete a la acción del fuego por un tiempo determinado. Según la cantidad de sal, del chulco y del tiempo que dura el proceso, es el cambio de coloración, más amarilla o más roja" (Zevallos Menéndez, 1965, p. 73)

El nombre común de la hierba "chulco", *oxalis pedunculata*, oxalidáceas, principalmente de la especie *Oxalis pes-caprae* L. (Valdano, 2011, p. 20), es una planta altoandina que se usa como planta alimenticia.

Otra de las técnicas, denominada cementación, consiste en la precipitación de un metal, desde una disolución acuosa mediante otro metal, debido a que el metal precipitado se deposita sobre el metal añadido, lo que hace posible que se realice esta operación es la diferencia de potencial electroquímico que existe entre el elemento a cementar y la del agente cementante, el metal con el potencial de oxidación más positivo, pasará a la solución y desplazará a un metal con un potencial menos positivo, lo que permitirá determinar el medio cementante óptimo (Alejandro, 2015, pp. 25-26). Los elementos aleantes se eliminaban por medio de un ataque, a temperatura elevada, con sales de cloruro de sodio, nitrato de potasio o sulfato ferroso (NaCl , KNO_3 , FeSO_4) mezcladas con arcilla, la cual absorbe los productos de las reacciones químicas que se llevaban a cabo.

Bergsøe anota procesos adicionales para dorar y platear: el dorado y plateado galvánico, dorado por contacto, el baño en solución de oro, dorado químico, dorado al fuego, dorado con hoja de oro, entre otros, con los cuales se presentan argumentos importantes para descartar el uso del mercurio (Hg) tanto en el dorado como en el plateado y dedica un acápite para sus observaciones (Bergsøe, 1982, p. 69). En el sumario de su trabajo expresa:

"VIII. Nordenskiöld, Saville, Baessler y otros, se sienten obligados a concluir que los indios precolombinos doraban con la ayuda de mercurio a pesar del hecho de que es imposible demostrar vestigios de mercurio en el dorado, siendo siempre el argumento el siguiente: como no conocieron otro método, el anterior tiene que haber sido usado. Aún falta demostrar ese argumento" (Bergsøe, 1982, p. 81).

En la publicación de Wolf (1975[1892], p. 353] se menciona

la existencia de Hg en la cordillera Oriental que investigó van Isschot en 1890 en los terrenos auríferos de los lavaderos de Collay, comenta: "La zona inferior es la más trabajada por los antiguos, en ella se encuentran las galerías abandonadas y aguadas". Determinó los minerales más notables en los concentrados de las arenas obtenidas por lavado y los metales preciosos:

"Amalgama de oro, presentándose en las mismas dimensiones y condiciones que el oro. En algunos granos se observa, que éstos han conservado en parte su color de oro y estado puro, y en parte son amalgamados, habiendo sido insuficiente la proporción de mercurio para la amalgamación total. También se halla la amalgama semilíquida o pella, en la que predomina el mercurio metálico. Diseminado en toda la masa de terreno de acarreo en pequeñas proporciones, se halla enteramente pulverizado al estado de globulitos casi microscópicos y cubierto de una capa de óxido, que le impide juntarse, siendo para ello menester emplear la acción de un enérgico reductor" (Wolf, 1975[1892], p. 353).

Burgos (2014) en su interpretación de la adoración a los cerros durante el incanato, expone un fragmento del escrito del Fray Antonio de la Calancha:

"Para que los cerros sean adorados, primero tienen que ser minas de metales nobles: He aquí su jerarquía: Usaban los indios que van a las minas de plata, de oro o de azogue, adorar los cerros o minas, pidiéndoles metal rico, y para ellos velan de noche, bebiendo y bailando, sacrificio que hacen a la riqueza, a los de oro llaman Coya, y al Dios de las minas de plata y a sus metales, Mama, y a las piedras de los metales, Corpa. Adoran besando y lo mismo al soroche, al azogue y al mermellón de azogue, que llaman Ichma o Limpi y es muy preciado para diversas supersticiones" (Burgos, 2014, p. 87).

Esta información ciertamente amplía el horizonte de posibilidades en el ámbito de la antigua metalurgia ecuatoriana.

Respecto al descubrimiento de objetos de Pt y a los primeros estudios realizados existen contadas referencias. Uno de los primeros análisis de pequeñas láminas de Pt, descritas por Wolf en 1879, se encuentran anotados en la publicación de Bergsøe quien incluye en su trabajo datos de un volumen en español escrito por Wolf sobre el hallazgo de unos pequeños artículos:

"En una quebrada, unos centenares de metros al Sur de Lagarto (1° 5' Norte, 79° 28' Oeste), encontró unos trozos de alambre y láminas de metal que podían ser fragmentos de antiguas joyas de los indios... Se sorprendió mucho al encontrar que era una aleación de oro y platino con una pequeña proporción de plata, No establece las proporciones precisas, pero hace referencia a un análisis en el que las proporciones eran similares. Según este, el metal contenía 70% de oro, 18% de platino y 11% de plata" (Bergsøe, 1982, pp. 2-3).

Bergsøe anota entre otras reflexiones de Wolf en cuanto a los hallazgos:

“Había considerable variación del color del oro, siendo a veces bastante oscuro y a veces de color muy claro, se dio cuenta al instante de que las joyas de esta clase no se habían encontrado nunca antes en América. Una nación que sabía trabajar las aleaciones que acabo de enumerar, ciertamente no puede llamarse salvaje, y al menos en la metalurgia no era inferior a la nación de los Incas, suponiendo siempre que los antiguos indios de Lagarto ejercían por sí mismos esta industria y no adquirían esos objetos por medio del comercio. La presencia de la platina, libre y ligada con oro, es un argumento fuerte de la primera opción, es decir de una industria indígena” (Bergsøe, 1982, p. 12-17).

Si bien, Bergsøe define 5 coloraciones en correlación con las propiedades de cada aleación e incluye una tabla de los análisis realizados en aleaciones de Pt, todas de láminas de La Tolita (Bergsøe, 1982, p. 18), dada la extensión del tema específico se tratarán brevemente, en el caso del Pt, únicamente las técnicas de tratamiento superficial, en las que se incluyen los procesos de sustitución electroquímica como otro de los alcances tecnológicos de los expertos de La Tolita y se lo denomina: platinado: “El enchapado con platino nos parece una técnica muy avanzada, porque el platino es conocido sólo desde 1730” (Bergsøe, 1982, p. 16; Bustamante, *et al.*, 2006, pp. 26-45; Scott, 1994, pp. 291-31), se define la relación composición de las aleaciones y el color obtenido.

La técnica de acabado de superficie, como el “enchapado” es una importante práctica utilizada en la metalurgia prehispánica ecuatoriana. La investigación de Roberto Lleras (2015) referente a las colecciones de metales del Fondo Arqueológico del Banco Central del Ecuador, actualmente en custodia del Ministerio de Cultura, y su publicación *Metalurgia prehispánica del Ecuador* aporta con una panorámica interesante respecto al desarrollo metalúrgico de los “Grandes Conjuntos Regionales” Lleras (2015, p. 2). Los métodos de recubrimiento de superficie están identificados en La Tolita, Jama Coaque, Bahía, Milagro-Quevedo, Manteño-Huancavilca, Puruhá, Cañari, Carchi-Nariño, y, en los “Conjuntos Menores” (Lleras, 2015, pp. 169-181). Una contribución relevante además en aspectos esenciales de la metalurgia ecuatoriana que suscita la continuidad de los estudios sobre esta producción cultural y su relación con el contexto regional.

Estudios, teorías e hipótesis sobre los dorados y platinados

Varias piezas del fondo arqueológico del Banco Central del Ecuador, actualmente en custodia del Ministerio de Cultura, fueron analizadas hace aproximadamente tres décadas, por Patricia Estévez, en el laboratorio de la Dirección Cultural del Banco Central de Quito. La descripción de los objetos y los resultados de análisis de fluorescencia de rayos X (FRX), se publicaron en el boletín del Museo del Oro Nro. 44-45 (Estévez, 1998). Se seleccionaron objetos recubiertos de Pt sobre Au, representan una parte de los variados tipos de recubrimiento de superficie, como es el caso de piezas recubiertas de Au, Ag o Pt sobre aleaciones binarias o ternarias en las que el Au, Ag y Cu se encuentran presentes. Se utilizó microscopía óptica (Leitz, Germany) para el análisis de piezas arqueológicas de Pt (30 piezas) y Au (50 piezas) de las que: 6 de Pt y 11 de Au presentaron recubrimientos micrométricos uniformes, cuya particularidad

consistió en el espesor que fluctuó entre 2 y 8 micrómetros. Los recubrimientos se extendieron no solo en la superficie y bordes del objeto, sino que alcanzaban a recubrir las pequeñas fallas o grietas de la matriz utilizada. Cabe anotar que las matrices eran aleaciones de Cu con Au. En las piezas de Pt las matrices fueron sinterizados de Au y Pt. Los recubrimientos fueron parte del acabado final del objeto y le confirieron su carácter simbólico definitivo. Desde el punto de vista de la metalurgia, la mayor importancia radica en las técnicas utilizadas ya que, entre otros métodos, lograron la sinterización del Au y del Pt y finos recubrimientos superficiales.

Un ejemplo y de otro lado uno de los primeros estudios realizados en el año 1987, en piezas de la colección en referencia, fue el análisis del objeto de superficie dorada denominado “Hilos de oro” procedente del sitio arqueológico La Tolita (informe de análisis no publicado). Los estudios fueron realizados con el apoyo del laboratorio de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica mediante FRX, durante el análisis del recubrimiento, realizado por el Dr. József Bacsó, científico del Instituto de Investigaciones Nucleares de la Academia de Ciencias de Hungría y experto del OIEA, se detectó la presencia principalmente de Cu y zinc (Zn), pero dadas las limitaciones del método semi-cuantitativo utilizado, no fue posible detectar los componentes que se encontraban en menor proporción. Por las características del objeto y su apariencia de una delgada fibra vegetal enrollada se consultó al Ing. Alberto Ortega especialista en taxonomía vegetal de la Universidad Central del Ecuador, quien mediante microscopía y ampliación 800X, examinó el delicado fragmento metálico mismo que consistía de filamentos vegetales (se identificaron las tráqueas que se presentan en estructuras taxonómicamente desarrolladas paredes celulares relativamente delgadas, es decir, de un material vegetal flexible), evidentemente recubierto de una muy fina película metálica. La observación del Dr. József Bacsó respecto a este singular objeto se relacionó con la factibilidad de una sustitución o reemplazo electroquímico viable en superficies orgánicas en determinadas condiciones naturales. En este caso, fue evidente la imposibilidad de aplicar mecánicamente la lámina sobre el filamento, es decir, utilizando martillado o repujado, igualmente difícilmente podría haberse utilizado el metal o aleación en estado líquido, pues las temperaturas superarían los 700° C, no sería posible el método de vaciado a la cera perdida, dorado por oxidación u otro método descrito hasta la actualidad. La peculiaridad de la estructura del objeto denominado “hilo de oro” se aprecia en la Figura 1, donde la imagen (a) corresponde al recubrimiento metálico en la superficie del filamento, las manchas oscuras en primer plano son residuos metálicos (fuera de foco); en la imagen (b) se aprecian los residuos metálicos hacia el margen superior e igualmente, en el extremo inferior se observa una tráquea con lignificación espiralada. Finalmente, en la imagen (c) en el margen del filamento se encuentra una capa metálica con un espesor aproximado de cinco veces el diámetro de las células marginales (visibles en la estructura vegetal).

Si bien, los hallazgos de filamentos y/o hilos de oro son escasos, han sido de interés por sus características. Uno de ellos procede de excavaciones realizadas en Tumaco y data del año 325 a.C., el hallazgo consiste en varios hilos de oro de sección cuadrangular asociadas a la fase Inguapí, (Bouchard & Gómez, 1979, pp. 1-4; Patiño, 1988, p. 24).

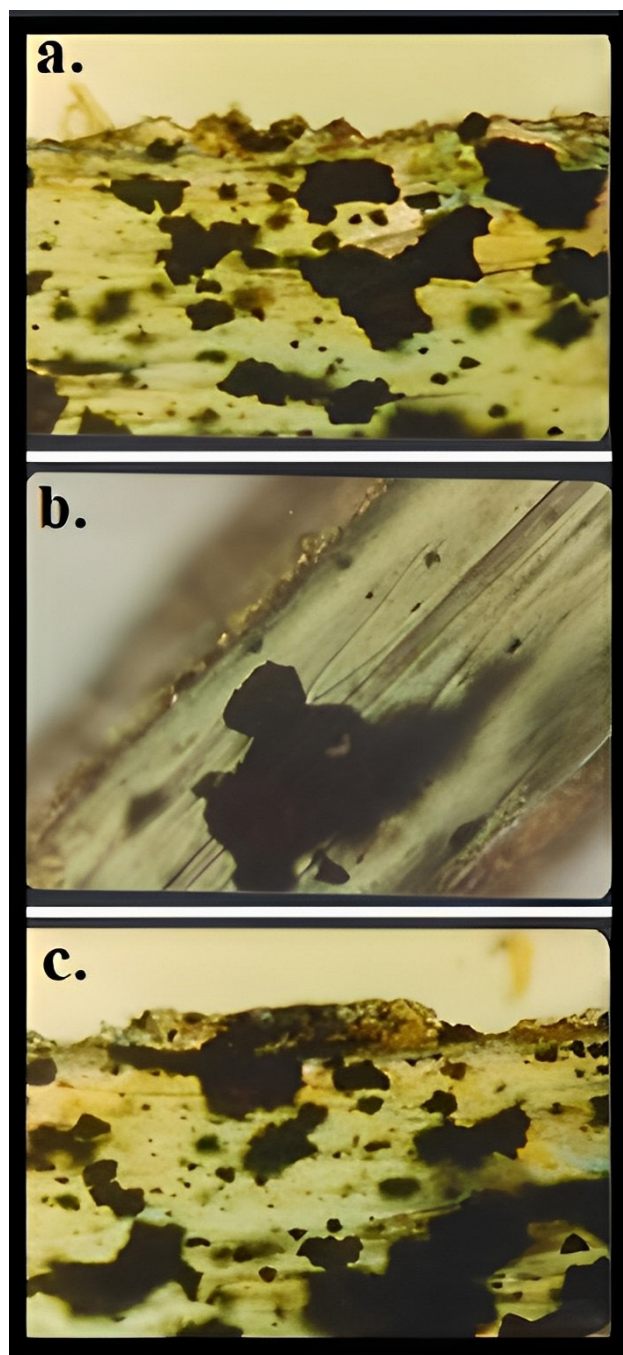


Figura 1. Fotografías de microscopía (800 X), de superficies con recubrimiento metálico en el objeto "Hilo de oro" procedente del pozo-Iglesia/ la Tolita. Fotografía Ing. Alberto Ortega, Universidad Central del Ecuador

Estudio, teorías e hipótesis sobre el reemplazo electroquímico

En la revisión de varias publicaciones de la investigadora Heather Lechtman (1971, pp. :3-19, 1973, pp. 44-52, 1986, pp. 369-375), se encuentra una explicación detallada de los ensayos experimentales mediante los que se descifraron las técnicas de acabado de superficie aplicadas en objetos de Loma Negra (sitio localizado en el extremo norte de la costa peruana en la frontera

con Ecuador). Según lo describe Lechtman, el proceso de reemplazo electroquímico consiste en disolver oro en una solución previamente preparada con minerales presentes en la naturaleza, como son el nitro (KNO_3), alumbre [$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$] y NaCl .

Esta es una práctica posible, pues estas tres sales minerales se disuelven fácilmente en agua y de su interacción se produce cloruro de nitrosilo (NOCl), se desplaza el cloro diatómico Cl_2 (gas), que actúa como disolvente del Au, es decir, tiene los mismos componentes que el agua regia (formada por 1 volumen de ácido clorhídrico HCl y 3 de ácido nítrico HNO_3), en la práctica y en la disolución del Au.

La presencia de Au^{3+} en la disolución es identificada por el color amarillo intenso del complejo AuCl_4^- . Sin embargo, se debe considerar que no siempre el Au se encuentra libre en el mineral y que podría existir Ag o Cu que también pueden disolverse en el HNO_3 , y, en el caso de Cu metálico, puede ser atacado también por el HCl , entonces pueden formarse otras sales y complejos de Ag y Cu que deben ser separados. El metal procedente de los procesos de extracción o incluso el mineral triturado, se disolverá en esta solución dando lugar a una disolución rica en Au. Es evidente que el proceso de disolución del Au en la solución dependerá significativamente de la concentración de Cl_2 (gas) que exista en dicha solución.

Esta etapa de disolución del oro es determinante en la obtención del recubrimiento que se desea conseguir en la siguiente etapa que es realizar el reemplazo electroquímico. En el paso previo, es decir en la disolución del metal se precisa disponer de una mayor concentración de Au en la solución, con la mínima presencia de Cu.

Existe una circunstancia que debe ser tomada en consideración cuando se requiere lograr en este caso láminas finas de Au, (incluso cuando se realiza la obtención de láminas delgadas por otros métodos como serían el martillado y laminado), el material aurífero debe ser refinado para evitar su resquebrajamiento, en este sentido tenemos varios criterios de los especialistas: "El oro aborigen utilizado en Suramérica prehispánica debió ser refinado al fuego, pero es improbable que haya sido tratado por cementación o copelación" (Scott, 1985: 293), además Bergsøe, en base a las evidencias de sus análisis en material de la Tolita, anota lo siguiente:

"Todos los pedazos de oro arriba mencionados muestran señales de licuefacción en la superficie superior, lo que el oro nativo, desde luego, no muestra nunca.

No hay ninguna duda de que estaba en frente del primer proceso de fundición de los indios, un proceso que tenían que llevar a cabo con éxito antes de continuar su trabajo. El oro no se fundió en un crisol; ningún pedazo mostró señales de haber reposado en el fondo ni del más primitivo crisol. El oro fue fundido sobre un trozo de carbón vegetal y con soplador" (Bergsøe, 1982, p. 13).

Probablemente existieron métodos para purificar Au y la experimentación aclara este paso en el acápite respectivo. Continuando con la segunda etapa efectivamente, el recubrimiento por desplazamiento o reemplazo electroquímico se produce cuando se sumerge en la solución que contiene iones del metal más noble por depositar (ej. Au), un objeto de Cu, Ag o tumbaga a recubrir (cátodo), de tal manera que el sistema se convierta en una celda y el Au se deposite en el objeto. Se precisa el control del pH y de la temperatura. La concentración de protones libres se mantiene baja mediante la adición de álcali, como la cal (CaO), hidróxido de calcio (CaOH_2) o el hidróxido de sodio (NaOH)

para asegurar que el pH durante el proceso se mantenga por encima de 9. En este caso el Cu situado en el extremo negativo de la serie electroquímica, (cátodo), es desplazado y se reemplaza por el Au que se encuentra en el extremo positivo de la serie electroquímica (ánodo), es decir, se produce una simple reacción de desplazamiento: el Cu desplaza al Au en la solución. Una vez concluido el proceso, y para alcanzar una fuerte unión entre el recubrimiento de Au depositado y la superficie de Cu, se necesita la aplicación de calor a temperaturas controladas eficazmente. El método descrito, a diferencia del dorado o recubrimiento electrolítico que utiliza corriente eléctrica (galvanoplastia) (Hein, 1992, p. 509), requiere mayor control de cada una de sus etapas para obtener mejor calidad en el acabado superficial. En el método electrolítico influye la densidad de la corriente, la temperatura y el tiempo y su control constante facilita significativamente el dorado de superficies.

Respecto a la materia prima, en este caso el Au y los minerales en los que se encuentra se debe tomar en consideración las especies mineralógicas más importantes que utilizaron en la época prehispánica en especial en la costa y sierra norte del Ecuador, con seguridad fueron: el Au nativo, (de 85 a 95% Au) y el electrum (Au-Ag en el que se encuentra el rango de 45 a 75% Au). Minerales como los telururos (calaverita, krennerita, petzita, silvanita, entre otros) contienen menos proporción de Au total, por lo que es posible que estos tres últimos no hayan sido utilizados en aquella época dada la abundancia de especies minerales existentes en los yacimientos con mayor concentración del metal.

Surgen varias interrogantes, al utilizar Au y Pt aluviales no era necesario purificarlos, pero cuando procedían de las minas ¿lo refinaron? En la etapa necesaria de disolución del Au o Pt pueden formarse sales y complejos de Ag y Cu que deben ser separados, ¿cómo los separaron? En la fase final del depósito electroquímico ¿cómo controlaron eficientemente las condiciones necesarias para que se produzcan láminas sumamente resistentes al paso del tiempo, en entornos húmedos y presencia de sustancias que podían degradarlos?

Al enfocarse en las características de la técnica de reemplazo electroquímico se observa la aplicación de depósitos uniformes, extremadamente delgados (0,5 micrones). Varios objetos que pertenecen al Fondo Arqueológico del Banco Central del Ecuador fueron examinados y presentaron el espesor y la uniformidad característicos del reemplazo electroquímico. Es el caso de dos láminas analizadas mediante espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDS) y microscopía electrónica de barrido (SEM); una procedente de la cultura Milagro Quevedo (BC1002MQ79), y la segunda con filiación Puruhá (BC1001PU&&). El análisis de las dos láminas fue realizado por Centeno (1998: 1-6). Los elementos detectados fueron: 1. Cu: 93,82%; Ag: 0,92%; Au: 5,26% y 2. Cu: 91,36%; Ag: 1,28%; Au: 5,26%. Los porcentajes de oro y plata en ambos sustratos fueron demasiado bajos para un dorado por eliminación. Sin embargo, los grosores y uniformidad en ambas muestras indicarían el uso de procesos de reemplazo electroquímico. Centeno señaló:

“Los análisis metalográficos, por EDS y SEM revelaron que los depósitos de oro y plata, presentes en estos artefactos tienen muchas características comunes con los observados en objetos provenientes del Valle de Piura, como su morfología superficial, incluyendo la presencia de poros, su extremada delgadez y uniformidad. Ninguno de los depósitos estudiados presenta evidencias de haber sido aplicado mecánicamente como

hoja o lámina, o usando técnicas metalúrgicas como dorado por amalgamación, fusión o difusión” (Centeno, 1998, pp. 3-5).

Las particularidades de las láminas en estudio guardaban similitud a objetos de la cultura Vicús (Perú) que fueron analizados por Centeno (Centeno & Schorsch, 1996, p. 9).

Lleras (2015, p. 64) realizó una amplia descripción de las técnicas de orfebrería en el Ecuador antes de la conquista europea, destaca en la cultura Jama Coaque el “enchape de materiales orgánicos con lámina de oro”.

Un caso específico observado en la investigación del recubrimiento de Pt que en un espesor micrométrico recubre varios componentes de la mascarilla zoomorfa de La Tolita (Figura 2a), cuyas dimensiones son: 3.6 cm. de largo, 5.3 cm de alto y 7.4 cm de ancho.

La figura, una representación antropro-zoomorfa, que se articula a la iconografía típica de la Tolita según la investigación de Ugalde, quien manifiesta: “Podemos postular que, en la iconografía Tolita, no existen representaciones naturalistas de felinos, la presencia del felino (y en especial del jaguar) es inminente, pero siempre en combinación con la figura humana” (Ugalde, 2009, p. 102).

Tecnológicamente se la describe con detalle en el estudio realizado por Nigel Meeks y Susan La Niece del Department of Scientific Research of The British Museum, mediante el que fue posible conocer el procedimiento utilizado en uno de los colgantes (Figura 3) (Meeks, *et al.*, 2002). Es evidente la complejidad en la elaboración de esta máscara, incluso en el decorado con recubrimientos varían las técnicas que se han aplicado. La representación del rostro de felino se encuentra conformado por dos unidades (Figura 2b) y cada una de ellas por varios componentes trabajados independientemente (Estévez, 1995, pp. 31-35). El uso del platino principalmente se presenta como recubrimiento superficial en láminas de la estructura principal y en los elementos colgantes.

El análisis de composición y técnicas de manufactura arrojaron los siguientes resultados: la lámina base de un espesor entre 180 a 250 micras, fue elaborada con una aleación de Au que contiene cerca de 10% de Ag y 1% de Cu. El recubrimiento utilizado para esta lámina contiene en la superficie 36,6% de Pt, que se ha sinterizado con una aleación, (que varía ligeramente en cada área), 36,5% de Au, 21,9% de Ag, 1,4% de Cu y 3,6% de hierro (Fe).

La lámina de recubrimiento platinado consta de granos de Pt sinterizados con una aleación de Au-Ag (Figura 4). Tanto el sinterizado como la aleación son procedimientos en sí de mayor complejidad tecnológica, por otra parte, se usan diferentes composiciones de aleación en las que las concentraciones de Au y Ag varían y por tanto también cambian sus propiedades en cuanto a la temperatura de fusión, la maleabilidad, color, dureza. En la Figura 5 se puede apreciar a) distribución de Ag desigual en el plateado; b) el Au (rojo/blanco/amarillo) las características indican el alto contenido en Au, lo cual es detectable solo analíticamente y no visiblemente; c) distribución uniforme del Pt sobre la superficie coloreada de Ag; d) alto contenido en Pt; e) alto contenido en Ag; f) alto contenido en Au. Así lo demostró el procedimiento de su elaboración: inicialmente, se obtuvo el primer sinterizado utilizando los granos de Pt y la aleación Au-Ag por calentamiento y martillado, que posibilitó la obtención de una hoja sumamente delgada y de espesor homogéneo como es el caso del recubrimiento que alcanza 25 micras de espesor.



Figura 2. Mascarilla zoomorfa (ancho 74 mm de ancho). Fondo Arqueológico. Ministerio de Cultura.



Figura 3. Colgante (largo 8 mm) perteneciente a la mascarilla zoomorfa de la Figura 2.

La matriz que constituye la hoja de Au aleada con plata fue preparada en diferente concentración Au-Ag con procedimientos de martillado y calentamientos sucesivos. El adherir una lámina del recubrimiento previamente preparado a la superficie de la hoja fue realizado con tal maestría que no se observan irregularidades, no se observan plegamientos en la superficie y se mantiene un espesor homogéneo, según se concluye mediante la aplicación de calentamiento y martillado (Meeks *et al.*, 2002, pp. 273-284). En la representación es factible describir entre otros

aspectos técnicos la utilización del sinterizado y de aleaciones intencionales.

A partir de los estudios de Bergsøe en 1938 sobre el sinterizado Au-Pt efectuado por los orfebres precolombinos, se han ampliado las investigaciones sobre el tema y mediante la experimentación y análisis adicionales con nuevas técnicas instrumentales y de metalografía se conocen los procedimientos utilizados antiguamente. Scott & Bray (1980) complementan y amplían sobre los procedimientos para elaboración de los objetos de platino. Bustamante *et al.* (2006, pp. 26-45), realizan análisis de Pt del Museo del Oro del Banco de la República y definen lineamientos relacionados con el uso de aleaciones intencionales para obtener un determinado color. En la publicación de Scott (2011, pp. 75-78) se da especial relevancia al recubrimiento superficial de platino sobre el sinterizado de Au-Ag. Scott & Bray (1994, p. 311), reportan los análisis realizados en objetos de La Tolita, en sus conclusiones diferencia varias categorías de objetos, entre ellos llama la atención uno que integra de piezas “plateadas o revestidas con platino sobre una base de oro o tumbaga”. Los análisis metalúrgicos de los objetos que presentaban revestimientos extremadamente finos de Pt mostraron estructuras formadas por una base de Au con una capa de pequeñas láminas del mismo metal sinterizado con el Au “Platinum-clad alloys”, así como también artefactos bimetálicos (Scott & Bray, 1994, pp. 295-309) y mencionan el interés peculiar de los recubrimientos de Pt sobre plomo (Scott, 2011, p. 80). Estos procesos utilizados para recubrir las superficies de las láminas son conocidos con diferentes denominaciones, entre otras: “aleaciones compenetradas de oro y platino” y “aleaciones revestidas de platino” (Bergsøe, 1982; Scott, 1985).

Otras diversas maneras de producir recubrimientos de platino se han descrito, entre otros Scott y Bray (1980, 1994) en los que señalan la presencia de unas pocas piezas que debieron ser

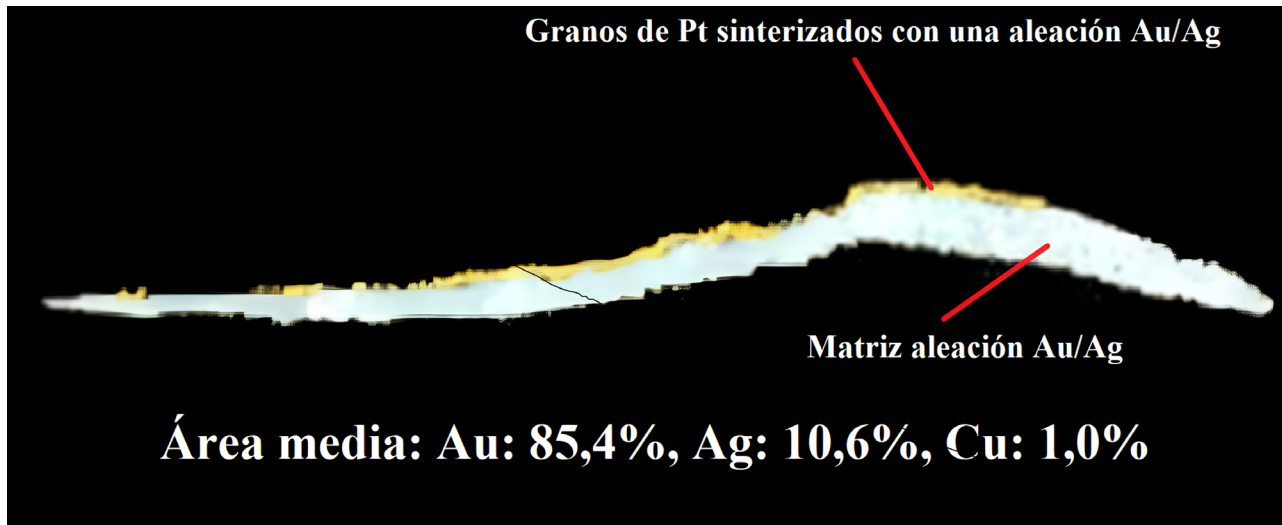


Figura 4. Imagen obtenida con microscopia electrónica de barrido (100X) transversal de la sección pulida de las áreas sin grabar del recubrimiento superficial (Meeks *et al.*, 2002, Figura 6).

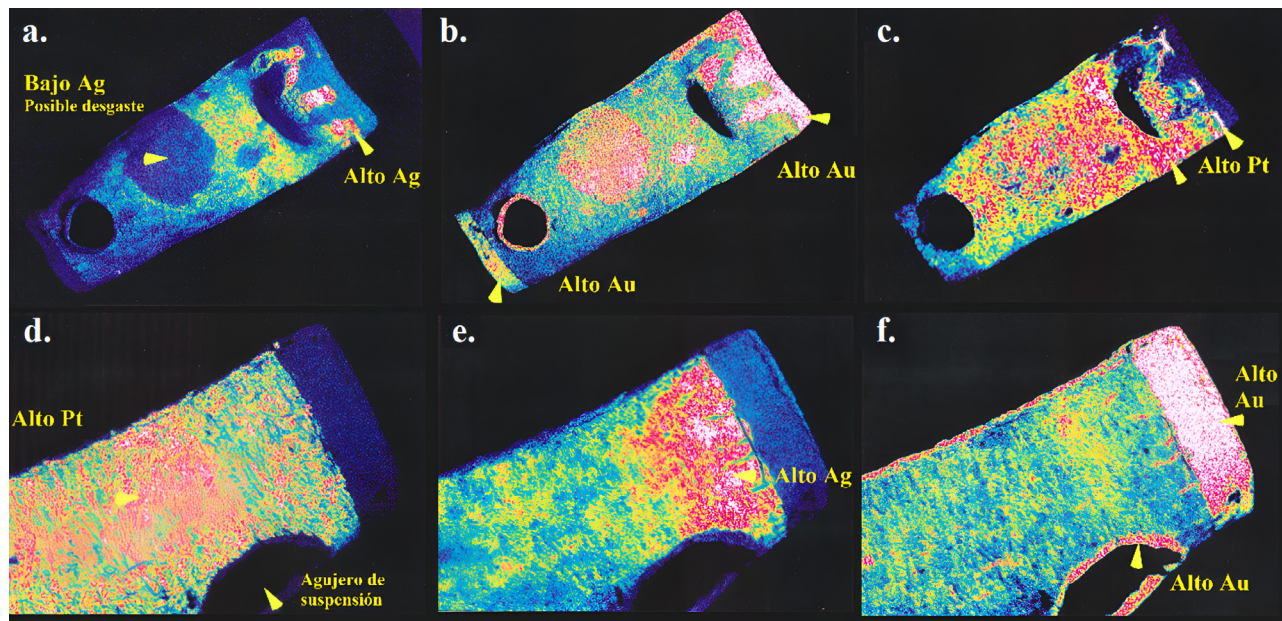


Figura 5. Fotografías de fluorescencia de rayos X para el análisis del “pendiente” (una parte publicada en Meeks *et al.*, 2002, Figura 5, p. 278).

manufacturadas a partir de trozos de aleaciones nativas de Pt-Fe y Pt-Cu-Fe por simple trabajo mecánico sin sinterización y procesos de sinterizado aplicando difusión en estado sólido (Salas Banuet *et al.*, 2019, pp. 94-95). Aún se desconoce el proceso de soldadura de sinterizados de Pt y no se comprende totalmente el tratamiento que los antiguos metalurgistas aplicaron a piezas de Au recubiertas con Pt en los casos en los que la superficie dorada del Au se transparenta a través del platinado.

Revestimientos de platino sinterizado sobre aleaciones de oro

El término “compenetración”, que hace referencia a la sinterización del Au y del Pt, fue descrito inicialmente por

Wolf [1872 (1975)]. Entre los primeros trabajos, son conocidas las investigaciones realizadas por Bergsøe, según su opinión una colección de objetos que analizó en 1936 fue elaborada con sorprendente tecnología; así, de ellos describe a los revestimientos de platino sinterizado sobre aleaciones de Au y tumbaga cuyo punto de fusión alcanza los 800° C (Falchetti, 1999, p. 21), inferior al punto de fusión del Au: 1064° C. y del Cu: 1085° C. En su observación incluyó fragmentos y partes de piezas de orfebrería que le permitieron analizar las posibles técnicas utilizadas por los orfebres de la región de Esmeraldas para la producción de las piezas describiendo diversas formas en las que se utilizó el Pt puro, objetos con base de platino adornados con minúsculas esferas de oro fundidas al platino para formar un borde de platino por un lado y oro por el otro (Bergsøe, 1982, p. 3).

Al realizar el examen metalúrgico del material se expresa en forma clara sobre el trabajo de los orfebres: "Finalmente, está el hecho extraordinario de que esa gente no solo obtuvo con éxito platino en forma coherente, sino que dominó la técnica de utilizar ese platino para enchapar otros metales" (Bergsøe, 1982, p. 10), comentario al que añade: "El enchapado con platino nos parece una técnica muy avanzada, porque el platino es conocido solo desde 1730" (Bergsøe, 1982, p. 31).

Es interesante la descripción que realiza sobre los posibles procesos seguidos para producir finos recubrimientos, tanto en el dorado cuanto en el plateado; sin lugar a duda, el estudio realizado por Bergsøe constituye un aporte al conocimiento de los procesos empleados en la elaboración de los revestimientos metálicos.

La sinterización, descrita en su forma más sencilla, comprende el calentamiento de los granos de Au y Pt, proceso que se efectúa a una temperatura inferior a la del metal de más alto punto de fusión lográndose así que el oro fundido envuelva a los granos de Pt (Bergsøe, 1982). En términos de metalurgia física, este es el proceso que enlaza cuerpos sólidos a través de fuerzas atómicas que, aún hoy en día, no han sido comprendidas en su totalidad. La sinterización exige la ausencia de elementos como el rodio, osmio, rutenio y paladio que, de manera natural, se encuentran mezclados con el platino; es probable que los antiguos artesanos los separaron manualmente para facilitar el manejo de la aleación.

La producción de un sinterizado puede complementarse con varios procedimientos u operaciones suplementarias como el trabajado en frío y el presionado en caliente que favorecen el proceso. Aplicar mayor tiempo de calentamiento o de temperatura, dará como resultado un mejor o mayor enlace y en la resistencia tensil resultante (Avner, 1988, pp. 613-615); al parecer, los antiguos artifices pudieron aplicar estos dos procedimientos. Varios investigadores describen la presencia de granos de Pt alargados y deformados e incluso cambian su orientación (Scott & Bray, 1994, pp. 304-306). Por otro lado, las variaciones descritas en la concentración de los metales pueden producir diferentes coloraciones como el blanco con tonalidad rosácea que, según las determinaciones efectuadas, tenían contenidos del 12-31% de Cu, es decir, son adiciones intencionales en el proceso de sinterizado. A través de la experimentación práctica de un grupo de especialistas del Massachusetts Institute of Technology y del National Institute of Standards and Technology determinaron que la proporción de Pt fluctúa desde concentraciones menores al 1% hasta proporciones que alcanzan el 80% siendo, en estos casos, adiciones indiscutiblemente deliberadas.

Detenerse en la descripción de los estudios que se han realizado en los materiales metálicos procedentes de la zona arqueológica de la costa norte del Ecuador y zona sur de Colombia significaría un trabajo extenso, motivo de un estudio complementario. Se han realizado esfuerzos interesantes que coadyuvan en la difícil tarea de construir una cronología regional en la que se incorporen las variaciones de los conjuntos o grupos de producción metalúrgica.

El estudio que proporciona un importante y significativo número de datos, se realizó en el contexto del análisis de los soles de oro, (logotipo del Banco Central del Ecuador) y de varios objetos de la colección, en él se concentran las determinaciones realizadas por FRX, microsonda en plasma inductivo acoplado a espectrometría de masas (ICP-MS), análisis de activación de neutrones (NAA) y espectrofotometría de absorción atómica

(AAS) (Barrandon *et al.*, 2004, pp. 501-519, Estévez, 1998, pp. 159-180). El objetivo de los análisis fue principalmente comparar los valores de los componentes químicos de las piezas arqueológicas de los objetos analizados de distintas regiones del país, con la composición química existente en los metales procedentes de los yacimientos mineros circundantes, de los resultados obtenidos se derivan conclusiones de interés en cuanto a la composición misma de los objetos, una muestra de ello son las implicaciones metalúrgicas comentadas por Lleras *et al.* (2007, p. 54), que describen las variantes en la obtención de las matrices metálicas y los posteriores tratamientos de acabado de los objetos, mostrando una composición típica dividida en dos grupos claramente diferenciados el primero donde se agrupan los sinterizados de oros argentíferos con platino y por oros argentíferos sin platino, teniéndose al cobre como impureza en proporciones bajas (>6%). El otro grupo está constituido por tumbagas ricas en oro, tumbagas ricas en cobre y cobres. Entre los elementos menores y elementos traza aparecen paladio, osmio, rutenio, níquel y zinc.

La metalografía del primer grupo ha revelado sinterizados con fases ricas en platino (glóbulos) envueltas por fases de oro, teniéndose en algunos casos hay una considerable disolución de los glóbulos de platino en la fase de oro por trabajo mecánico y recocido. En cuanto a las metalografías del segundo grupo se observan estructuras de trabajo en frío, coladas con posterior trabajo mecánico y recocido, coladas sin trabajo mecánico, dorados y soldaduras por exudación (Valdez *et al.*, 2007).

Evidentemente, son técnicas de decoración y acabado de la superficie que definía el carácter final de la pieza elaborada y muchos de los elementos utilizados habían sido obtenidos por técnicas igualmente complicadas, en las que era necesaria la experticia del orfebre.

Tal es el caso de la adición de lentejuelas, colgantes y demás elementos formados por laminillas, generalmente de forma rectangular o circular (igualmente recubiertas o no de un metal diferente al de la matriz del diminuto colgante), que se sujetaban a la lámina base gracias a finos alambres de sección cuadrada o rectangular que eran atravesadas por pequeños orificios replegándose sobre sí para ser sujetados a la lámina base. Las lentejuelas y elementos colgantes producían efectos sonoros y visuales cuando los objetos eran puestos en movimiento. Fue muy frecuente la utilización de clavos, ganchos, argollas y, en muchos casos, de hilos metálicos que sujetaban los aditamentos de la decoración. En este trabajo no se analiza la inclusión de piedras preciosas, semipreciosas, mullos de distinta naturaleza, elementos vegetales u otros componentes que existieron en gran diversidad y abundancia.

Si bien la obtención de superficies en color para los objetos pudo orientarse a conferir una simbología determinada, con la aplicación de Au sobre Cu o Ag y de Pt sobre tumbaga y Au puro, asimismo, pudo haber respondido a la necesidad de conseguir características específicas como resistencia a la corrosión, ductilidad y permanencia del color; cualidades que han permitido la conservación de los objetos hasta nuestros días tomando en cuenta, que al formar parte del ajuar funerario de diversos entierros durante siglos, estuvieron sujetas a condiciones adversas.

Posiblemente, el color gris acerado del platino, ligado a su estabilidad y permanencia, adquirió una singular simbología que, gracias a su tonalidad similar, permitió que lo eligieran en lugar de la plata. En opinión de los autores del presente artículo,

la “inalterabilidad” cumplió un rol relevante como símbolo y característica perfectamente conocida por el artífice que, en este caso, se unió sutilmente al color.

Otras investigaciones y experimentaciones relacionadas con recubrimientos dorados

La reconstrucción teórica y práctica de métodos utilizados en metalistería precolombina fueron parte de los trabajos de investigación de Gonzalo Estévez Espinel, quien entre los años 1965-1980, experimentó los procesos de fundición, la obtención de aleaciones binarias y ternarias y técnicas de dorado superficial, mediante ensayos y aplicación de diferentes métodos (prescindiendo de los instrumentos o equipos modernos), consiguió inferir varias técnicas posiblemente utilizadas por los antiguos orfebres ecuatorianos y propuso hipótesis en base a la elaboración de réplicas de piezas en Cu, en Ag, en aleaciones binarias Ag-Cu, y en objetos recubiertos con finos depósitos de Au mediante métodos electroquímicos.

El conjunto de pruebas y resultados se relacionaron con la fundición del metal, el uso de crisoles, de carbón, de fibras, sopladores, experiencia en tiempo de fusión, vaciado, el uso de moldes, elaboración de diseños, uso de la cera, y otros aspectos del proceso previos a la obtención de las piezas metálicas y la aplicación de recubrimientos.

El objeto representado en la Figura 6 corresponden a a) réplica en Cu obtenida en base a la reproducción en cerámica del rostro de un personaje Jama Coaque y b) copia de la pieza original en cerámica. La Figura 6a es una pieza incompleta, puesto que, durante el perfeccionamiento de los procesos electroquímicos se requieren varias repeticiones hasta obtener el espesor, resistencia y textura similar a las piezas antiguas. Las dimensiones de la figura antropomorfa son: altura 5.30 cm. ancho: 4.83 cm, espesor en figura Cu: 0,40 cm. El objeto de la Figura 6b fue elaborado con una preparación de caolín y minerales inertes (feldespatos, cuarzo, entre otros), para obtener una superficie lisa y compacta.

Otras réplicas realizadas por G. Estévez, mediante vaciado pueden apreciarse en la Figura 7, a) un objeto zoomorfo, se trata de facsímil de Ag obtenido por la técnica de vaciado en molde abierto, y b) un objeto réplica de la cultura Chorrera elaborado por vaciado de Au de alta ley.

Además, G. Estévez experimentó técnicas como la de deposición electroquímica sobre aleaciones binarias (Au/Cu), utilizadas para la réplica de un personaje de la cultura Jama Coaque (Figura 8). En la cual se aplicó la técnica de disolución del oro mediante el uso de nitro, cloruro de sodio y alumbre, para el posterior reemplazo electroquímico obteniendo el dorado superficial del objeto.

Los procedimientos electroquímicos se realizan en dos etapas principales, la primera es la disolución del Au y la segunda etapa consiste en el depósito sobre el reductor metálico. El recubrimiento por desplazamiento se produce cuando se sumerge en la solución (obtenida en la primera etapa), un objeto de Cu, por ejemplo. En este caso el Cu situado en el extremo negativo de la serie electroquímica, (cátodo), es desplazado y se reemplaza por el Au que se encuentra en el extremo positivo de la serie electroquímica, (ánodo).

En la práctica, los procedimientos de disolución del Au, como paso previo a un depósito electroquímico, se consiguieron con la utilización de minerales corrosivos (nitro, sal, alumbre),

sin embargo, se conoce igualmente que podían ser utilizadas sustancias de origen vegetal, capítulo que merece una consideración especial con proyección hacia nuevos horizontes del conocimiento.

Hipótesis sobre uso de extractos orgánicos

En la década 1960-1970 los hallazgos de sitios arqueológicos en Quito y sus alrededores propiciaron el debate multidisciplinario. Uno de los grupos de aficionados a la arqueología (CENDA) participó en cursos y actividades diversas abriendo un interesante espacio para quienes se interesaban en el patrimonio cultural, G. Estévez participó en este grupo y tuvo la oportunidad de presentar varios de sus avances en la replicación de técnicas de dorado a expertos como Olaf Holm, Hernán Crespo Toral, Jorge Salvador Lara. Igualmente, Guillermo Segarra Ñíguez se ocupó de la compilación de las memorias de las actividades del grupo.

Paralelamente a la práctica con recubrimiento por reemplazo electroquímico, G. Estévez experimentó en múltiples ocasiones con otra de las técnicas de dorado de superficie descrito en la publicación “El Tesoro del Sigsig, Ecuador” (Segarra, 2000, p. 123) y teniendo como segunda etapa del proceso de dorado la reducción del oro en solución, para aplicarlo directamente sobre una superficie determinada. Guillermo Segarra anota:

“Al Sr. Estévez, le he visto licuar el oro en frío, con el procedimiento que empleaban los indios prehispánicos, lo que descubrió al examinar residuos presentes en tiestos arqueológicos neutralizando una disolución metálica con saponina de cabuyo -según él me comunica- se producen sales inestables que reaccionan en presencia de una materia prima orgánica como el glucósido del maíz, descomponiéndose gradualmente y formando por reducción una película metálica de una concentración cada vez más alta y uniforme de metal, a medida que se siga estimulando la reacción..... Aislado pequeñas áreas con grasa-continúa el Sr. Estévez-y repitiendo el proceso con otro metal se obtienen, sin soldadura, las combinaciones polimetálicas que tanto llaman la atención” (Segarra, 2000, p. 123).

La técnica mencionada al parecer sencilla implica varias fases y condiciones para que sea eficiente. Todos y cada uno de los trabajos de G. Estévez, estuvieron orientados al conocimiento de la tecnología desarrollada por las antiguas culturas ecuatorianas, razón por la que en justo homenaje a su prolífica investigación y experimentación se han incorporado en este trabajo unas breves notas y fotografías como evidencia práctica de sus análisis, ensayos, técnicas, es decir de su conocimiento en relación con procesos completos de elaboración, cuyos resultados incuestionables son los objetos.

A manera de conclusión

Existen variantes de los procesos de recubrimiento superficial por reemplazo electroquímico que fueron aplicados por los orfebres del Ecuador en la época prehispánica. Existió una relación con: la región en la que se efectuaba el laboreo del metal, el conocimiento y uso de la materia prima del entorno, el



Figura 6. Réplicas del rostro de un objeto antropomorfo proveniente de la cultura Jama Coaque en Cu (a) y cerámica (b).



Figura 7. Réplicas de objetos obtenidos mediante vaciado de Ag (a) y Au de alta ley (b).



Figura 8. Réplica realizada mediante depósito electroquímico sobre una aleación binaria Au-Cu.

destino del objeto y los procesos conocidos en cada territorio. Se ha delineado una aproximación al conocimiento que guarda una brillante pieza de arte prehispánico, al examinar las técnicas de acabado superficial que fueron importantes en la configuración integral del objeto. La experimentación es fundamental en este caso, repetir innumerables veces las técnicas hasta conseguir una pieza que demuestre la operatividad del proceso utilizado en su elaboración, tal es el caso del vaciado a la cera perdida que ha probado su uso en épocas precolombinas. Debemos recordar que: el taller de un orfebre era funcional, que conocía los recursos de su ambiente circundante, que además de la técnica comprendía y enlazaba la función y simbología del objeto para seleccionar un determinado metal, luego los análisis de las piezas deben apoyarse paralelamente en la experimentación práctica de las técnicas.

Los argumentos expuestos en el presente trabajo son suficientes para admitir que, si bien existen diferencias entre las técnicas aplicadas por la ciencia actual y la sabiduría ancestral indígena, los resultados que obtuvieron los artífices de una u otra cultura son importantes y sustentan un pasado rico en producción metalúrgica. Las sofisticadas aplicaciones de acabados de superficie como los que se realizaron con sinterizados Au/Pt, que difícilmente podrían reproducirse en la actualidad, surgieron en horizontes del conocimiento complejos y apenas conocidos. Vestigios de talleres de fundición y metalúrgicos en los que la materia prima experimentó transformaciones importantes, deben constar en la primera línea de las investigaciones arqueológicas, igualmente las evidencias de antiguos lavaderos, minas y yacimientos mineros, los procesos de refinación, de laboreo, constituyen los pilares iniciales de una producción cultural que se destaca por su alto grado de desarrollo.

Las antiguas estructuras sociales del Ecuador legitimaron a la metalurgia, como un componente significativo de su cosmovisión comunitaria, constituyéndola así en una expresión de la cultura material que ha logrado superar el contexto espaciotemporal en el que se produjo. Sin lugar a duda, los orfebres de La Tolita trascendieron en el tiempo gracias a su singular producción en platino y oro, actividad que los consagró como verdaderos especialistas prehispánicos en la rama. Aún faltan investigaciones sistemáticas tanto de las técnicas como de la procedencia de los objetos, se requiere un estudio ampliado de los talleres de fundición que se han descubierto en varias regiones del Ecuador. Los objetos son los testimonios invaluable de las prácticas metalúrgicas, del nivel de desarrollo alcanzado en los grupos orfebres asentados en Ecuador en la época precolombina.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a los diferentes investigadores que han permitido desarrollar un enfoque desde la perspectiva del alto desarrollo de las técnicas aplicadas por los orfebres precolombinos. Los aportes de Mathilde Themme, Heather Lechtman, Paul Bergsøe, entre otros, ha permitido el desarrollo de la presente revisión. Adicionalmente, el agradecimiento y en memoria del investigador independiente Gonzalo Estévez Espinel, cuya labor permitió comprender los procesos de conocimiento ancestral que son completamente comparables con las prácticas actuales.

Bibliografía

- Avner, S. (1988). *Introducción a la metalurgia física*. México: Editorial Mc.Graw-Hill.
- Arévalo, O. (2019). *Estudio de la flor del chulco*. (Tesis de pregrado inédita). Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/10827>
- Bergsøe, P. (1982[1938]). The gilding process and the metallurgy of copper and lead among the pre-Columbian Indians. En C. Plazas & S. Bergsøe (Eds.), *Metalurgia y tecnología de oro y platino entre los indios precolombinos* (pp. 1-56). Copenhagen: Fondo de Copenhagen – Cali: Cia. Metalúrgica Bera de Colombia S.A.
- Barrandon, J.N., Valdez, F. & Estévez, P. (2004). Identificación mineralógica de las fuentes del oro precolombino en la metalurgia prehispánica del Ecuador. En A. Perea, I. Montero & O. García Vuelta (Eds.), *Tecnología del Oro Antiguo: Europa y América* (pp. 403-416). Anejos de AESPA XXXII. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto de Historia.
- Bouchard, J.F. (1979). Hilos de oro martillado hallados en la Costa Pacífica del Sur de Colombia. *Boletín Museo del Oro*, 5(2), 21-24.
- Burgos, H. (2014). *Santuarios de Tomebamba. Modelo de geografía sagrada en tiempos de los Incas*. Cuenca: Gobierno Autónomo Descentralizado de Cuenca-Ecuador.
- Bustamante, N., Garzón, L., Bernal, A. & Hernández, C. (2006). Tecnología del platino en la fabricación de piezas de orfebrería precolombina. *Boletín del Museo del Oro*, 54, 26-45.
- Cano Gonzales, S. (2017). *Granulación en la metalurgia precolombina: tensión superficial, soldadura y difusión al servicio de la orfebrería prehispánica. Hipótesis de manufactura y replicación*. (Tesis de Maestría inédita). Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- Centeno, S. (1998). *Informe de análisis de objetos Milagro Quevedo y Puruhá*. New York: The Rockefeller University.
- Centeno, S. & Schorsch, D. (1996). Caracterización de depósitos de oro y plata sobre artefactos del valle de Piura (Perú) en el período intermedio temprano. *Boletín del Museo del Oro*, 41, 165-185.
- de Zarate, A. (1947[1577]). Historia del descubrimiento y conquista de la Provincia del Perú y de las guerras y cosas señaladas en ella, acaecidas hasta el vencimiento de Gonzalo Pizarro y de sus secuaces, que en ella se rebelaron contra su Majestad. En *Biblioteca de Autores Españoles. Tomo II: Historiadores Primitivos de Indias* (pp. 446). Madrid: Atlas.
- Di Capua, C. (2002). *De la imagen al ícono. Estudios de arqueología e historia del Ecuador*. Quito: Ediciones Abya-Yala.
- Estévez, P. (1995). *Catálogo de la Sala de Oro. (31-35)*. Quito: Museo Nacional del Banco Central del Ecuador.
- Estévez, P. (1998). Platino en el Ecuador precolombino. *Boletín*

- Museo del Oro*, 44-45, 159-181.
- Estévez, P. (30 de junio de 2016). Cronología de la producción metalúrgica presentada durante la conferencia: "El patrimonio metalúrgico del Ecuador prehispánico", Museo del Oro, Banco de la República. Bogotá, Colombia 2016. Disponible en: <https://www.banrepcultural.org/multimedia/el-patrimonio-metalurgico-del-ecuador-prehispanico>.
- Falchetti, A.M. (1999). El poder simbólico de los metales: la tumbaga y las transformaciones Metalúrgicas. *Boletín de Arqueología*, 14(2), 53-82.
- Falchetti, A.M. (2018). *Lo humano y lo divino. Metalurgia y cosmogonía en la América antigua*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Hein, M. (1992). *Química*. Ciudad de México: Grupo editorial Iberoamericana.
- Inca Garcilaso de la Vega. (1960). *Comentarios reales de los Incas*. Cusco: Ediciones de la Universidad Nacional del Cusco, Perú. Disponible en: https://biblioteca-repositorio.clacso.edu.ar/bitstream/CLACSO/15293/1/Comentarios_reales_1_Inca_Garcilaso_de_la_Vega.pdf
- Lechtman, H. (1986). Traditions and styles in central Andean metalworking. En R. Maddin (Ed.), *The beginning of the use of metals and alloys* (pp. 344-378). Cambridge: MIT Press.
- Lechtman, H. (1971). Ancient methods of gilding silver: examples from the Old and the New Worlds. En Robert H. Brill (Ed.), *Science and Archaeology* (pp. 2-29). Cambridge: MIT Press.
- Lechtman, H. (1973). The gilding of metals in Precolumbian Perú. En W.J. Young (Ed.), *Application of Science in Examination of Works of Art* (pp. 38-52). Boston: Museum of Fine Arts.
- Lechtman, H. (1978). Temas de metalurgia andina. En R. Ravines (Ed.), *Tecnología Andina* (pp. 489-520). Lima: Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas.
- Lleras, R., Gómez, L.A. & Gutiérrez, J. (2007.) El tiempo en los Andes del norte de Ecuador y sur de Colombia: un análisis de la cronología a la luz de nuevos datos. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino*, 12(1), 61-83.
- Lleras, R. (2015). *Metallurgy in ancient Ecuador: A study of the collection of archaeological metallurgy of the Ministry of Culture*. Oxford: Archaeopress.
- Meeks, N., La Niece, S. & Estévez, P. (2002). The technology of early platinum plating: a gold mask of the La Tolita culture. *Archaeometry*, 44(2), 273-284.
- Patino, D. (1988). Orfebrería prehispánica en la Costa Pacífica de Colombia y Ecuador. "Tumaco-La Tolita". *del Museo del Oro*, 22, 17-31..
- Ramírez J. (2013). El dorado por oxidación: el punto de vista de la difusión en el estado sólido (Tesis de Maestría inédita). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México: Disponible en: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/371541>
- Rehren, T. & Themme, M. (1994). Pre-Columbian gold processing at Putushio, South Ecuador: the archaeometallurgical evidence. En D. Scott & P. Meyers (Eds.), *Archaeometry of Pre-Columbian sites and artifacts* (pp. 267-284). Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- Salas Banuet, G., Ramírez Vieyra, J.G. & Noguez Amaya, M.E. (2019). Las aleaciones sudamericanas prehispánicas de Au-Pt desde la ciencia e ingeniería metalúrgicas. *Revista Colombiana de Materiales*, 14, 81-101. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/materiales/article/view/339787>. Acceso: 29 de junio de 2021.
- Segarra, G. & Saville, M.H. (2000[1924]). El tesoro del Sigsig. Ecuador. *Leaflets of the Museum of the American Indian. Heye Foundation*, 3(6), 5-20.
- Scott, D. (1985). Dorado por fusión y dorado de lámina en Colombia y Ecuador prehispánicos. En C. Plazas (Ed.), *Metalurgia de América Precolombina* (pp. 281-306). Bogotá: Colección Bibliográfica del Banco de la República.
- Scott, D. & Bray, W. (1980). Ancient platinum technology in South America, its use in Prehispanic times. *Platinum Metals Review*, 24, 147-157.
- Scott, D. & Bray, W. (1994). Pre-Hispanic platinum alloys: their composition and use in Ecuador and Colombia. En D. Scott & P. Meyers (Eds.), *Pre-Columbian Sites and Artifacts* (pp. 285-322). Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Scott, D. (2011). The La Tolita–Tumaco culture: master metalsmiths in gold and platinum. *Latin American Antiquity*, 22(1), 65-95.
- Ugalde, M.F. (2009). Iconografía de la cultura Tolita. Lecturas del discurso ideológico en las representaciones figurativas del Desarrollo Regional. *Cuadernos de Investigación*, 9, 145-148. <https://doi.org/10.26807/ant.v0i9.70>
- Valdano, T. (2011). *Plantas altoandinas del Ecuador*. Quito: Abya-Yala.
- Valdez, F., Barrandon, J.N. & Estévez, P. (2007). Mucho ruido y pocas nueces. El epílogo de la controversia del origen de los soles de oro del Ecuador. En R. Lleras (Ed.), *Metalurgia en la América Antigua* (pp. 501-520). Bogotá: Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales, Banco de la República, IFEA.
- Wolf, T. (1975[1892]). *Geografía y geología del Ecuador publicada por orden del supremo gobierno de la república*. Quito: Casa de la Cultura Ecuatoriana.
- Zevallos Menendez, C. (1958). Tecnología metalúrgica arqueológica. Elaboración del alambre. Capítulo de la obra inédita *Orfebrería Prehistórica del Ecuador*. Guayaquil: Casa de la Cultura Ecuatoriana
- Zevallos Menendez, C. (1965). Estudio regional de la orfebrería precolombina de Ecuador y su posible relación con las áreas vecinas. *Revista del Museo Nacional (Lima)*, XXXIV, 68-81.

