



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE ARTES  
ESCUELA DE POSTGRADO

Proyecto Final para optar al Curso de Especialización de Postítulo en Restauración del  
Patrimonio Cultural Mueble

**METALES ARQUEOLOGICOS DE LA COSTA NORTE DEL PERU;  
CONSERVACION, ANALISIS Y RESTAURACION.**

MARIELA GONZÁLEZ CASANOVA

Profesor guía: Andrés Rosales Zbinden

Título anterior: Licenciada en Artes. Orfebre. U. de Chile

Santiago de Chile

2008

“La clave de la paciencia es hacer otra cosa por mientras”

Albert Einstein

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer sinceramente a Andrés Rosales por su apoyo, confianza y paciencia y a Varinia Varela por su buena voluntad y desinteresada colaboración.

Al Museo Chileno de Arte Precolombino, institución que respaldó la realización de mis estudios de especialización durante todo el tiempo que esto requirió.

También quiero agradecer a Jaime Reyes del laboratorio de Análisis no destructivos de CESMEC y a Cristóbal Mir del laboratorio Análisis no destructivos de IDIEM por ayudarme con las tomas radiográficas sin costo alguno.

A Petra Wallem y Patricio Ojeda por facilitarme de manera generosa el acceso al laboratorio del Departamento de Ecología de la Pontificia Universidad Católica de Chile, en el cual pude realizar las fotografías de microscopía óptica.

A los profesores Diego Morata (Geología), Ernesto Croquevielle (Física) y Fernando Valenzuela (Química) de nuestra casa de estudios por su buena voluntad y disposición a asesorarme en los asuntos relacionados con los análisis y su interpretación.

Y muy especialmente a Pilar Alliende, quien con su apoyo y amistad me mostró un camino que nunca imaginé recorrer y que no deja de sorprenderme cada día.

## TABLA DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCCION.....  | 7  |
| 1.- ANTECEDENTES HISTORICO CULTURALES.....   | 9  |
| 1.1.- Procedencia y asignación de las piezas   |    |
| 1.2.- La costa norte del Perú  |    |
| 1.3.- Contextos culturales de los objetos  |    |
| 1.3.1.- Moche o Mochica  |    |
| 1.3.2.- Chimú  |    |
| 2.- ANTECEDENTES TECNOLOGICOS DE LA ORFEBRERIA EN PLATA Y<br>COBRE MOCHE Y CHIMU.....        | 16 |
| 2.1.- Tecnología de recolección, extracción, procesamiento y fundición de<br>materias primas |    |
| 2.2.- Técnicas de construcción   |    |
| 2.3.- Terminaciones y tratamientos superficiales   |    |
| 3.- PROPIEDADES DE LOS METALES Y PROCESOS DE ALTERACION EN<br>CONDICIONES DE ENTIERRO.....   | 21 |
| 3.1.- Estructura y propiedades de los metales  |    |
| 3.1.1.- Propiedades físicas  |    |

|   |    |
|---|----|
| 3.1.2.- Propiedades químicas  |    |
| 3.2.- La oxidación y la corrosión   |    |
| 3.2.1.- El cobre  |    |
| 3.2.2.- La plata  |    |
| 4.- LIMPIEZA Y ESTABILIZACIÓN DE OBJETOS ARQUEOLÓGICOS DE<br>COBRE Y PLATA..... | 36 |
| 4.1.- Limpieza  |    |
| 4.2.- Estabilización  |    |
| 5.- PROCESOS DE CONSERVACION Y RESTAURACIÓN APLICADA.....                       | 44 |
| 5.1.- Placa ornamental de cobre.....  | 44 |
| 5.1.1.- Identificación del objeto   |    |
| 5.1.2.- Estado de conservación  |    |
| 5.1.3.- Diagnóstico y propuesta de intervención                                 |    |
| 5.1.4.- Restauración aplicada   |    |
| 5.2.- Tumi o cuchillo ceremonial de cobre.....                                  | 61 |
| 5.2.1.- Identificación del objeto   |    |
| 5.2.2.- Estado de conservación  |    |

|   |     |
|---|-----|
| 5.2.3.- Diagnóstico y propuesta de intervención     |     |
| 5.2.4.- Restauración aplicada                       |     |
| 5.3.- Tupu o alfiler de plata.....                  | 84  |
| 5.3.1.- Identificación del objeto                   |     |
| 5.3.2.- Estado de conservación                      |     |
| 5.3.3.- Diagnóstico y propuesta de intervención     |     |
| 5.3.4.- Restauración aplicada                       |     |
| 5.4.- Conservación preventiva.....                  | 108 |
| CONCLUSION.....                                     | 110 |
| ANEXOS.....   | 112 |
| I.- Análisis aplicados                              |     |
| a.- Microscopio óptico y Microscopio estereoscópico |     |
| b.- Microscopia electrónica de barrido SEM con EDS  |     |
| II.- Imágenes complementarias                       |     |
| III.- Documentación fotográfica                     |     |
| BIBLIOGRAFIA.....                                   | 126 |

## INTRODUCCION

La colección del Museo Chileno de Arte Precolombino posee alrededor de 800 piezas de material metálico de distintas procedencias y características. Un conjunto apreciable de esta colección son adornos corporales, máscaras, herramientas e instrumentos de origen precolombino encontrados en contextos funerarios. Este material cuenta con buenas condiciones de conservación preventiva y por lo mismo se encuentran estables y fuera de peligro de deterioro. Sin embargo muchas de ellas podrían recibir un tratamiento de restauración específico que potenciara su valor estético, histórico y técnico.

Bajo esta perspectiva, se seleccionaron tres piezas de la colección para ser sometidas a un proceso de conservación y restauración. Ellas fueron la pieza N° 441, una placa ornamental de cobre de la cultura Moche, la pieza N° 3299, un cuchillo ceremonial de cobre y la pieza N° 3309, un alfiler de plata, ambas de la cultura Chimú, todos procedentes de la costa norte del Perú.

La elección de las piezas se realizó bajo la supervisión de la Conservadora del museo Sra. Pilar Alliende Estévez y todo el proceso de conservación de los mismos se llevó a cabo con la asesoría permanente del Sr. Andrés Rosales Zbinden, restaurador y especialista en metales de la institución.

Inicialmente la investigación se centró en distinguir los procesos de alteración que estos objetos sufrieron, tanto en su contexto original de entierro como en circunstancias posteriores a su hallazgo. De este modo acercarse a la comprensión de la problemática individual que cada uno de estos objetos presenta y luego decidir el tratamiento apropiado en función de la preservación del objeto y su historia.

Para cumplir con los objetivos de esta investigación la metodología utilizada fue, por un lado, la documentación de las tres piezas escogidas, tanto en su estado de conservación, su procedencia y su asignación cultural, esto a través de la compilación de información bibliográfica; y se puso especial interés en los procesos de alteración y

deterioro de metales de origen arqueológico en condiciones de entierro. También se llevó a cabo un completo diagnóstico sobre las piezas a través de la inspección visual y la observación directa y detallada de éstos con microscopio estereoscópico y microscopio óptico. Finalmente se realizaron análisis de laboratorio no destructivos en los laboratorios del Centro de Estudios de Medición y Certificación de Calidad CESMEC S.A., en el Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales IDIEM y en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis EDS de la Facultad de Física de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Todos estos análisis ayudaron a definir la naturaleza del daño de cada objeto, a precisar el alcance de la intervención propuesta y a desarrollar el procedimiento de restauración definido para cada uno.

El principal criterio bajo el cual fueron tomadas las decisiones de tratamiento fue el de mínima intervención, con el fin de respetar la superficie original de cada objeto y de operar sobre ella solo en la medida que esta labor ingiriera directamente sobre su estabilidad en el tiempo o en su legibilidad estética. Por lo mismo las labores de restauración se abocaron exclusivamente a extraer los focos de corrosión activa, a estabilizar los puntos que eventualmente pudieran reaccionar en un medioambiente no adecuado y a buscar la restitución de la forma original.

## 1.- ANTECEDENTES HISTORICO CULTURALES

### 1.1.- Procedencia y asignación de las piezas

Las tres piezas elegidas para este estudio forman parte de antiguas colecciones de arte precolombino, logradas por el interés particular de un privado. Lejos de ser un evento aislado muchos, sino todos, los museos existentes en la actualidad, comenzaron su funcionamiento con donaciones de particulares. Estas colecciones se formaron por motivaciones singulares de coleccionistas interesados en algún tema científico, cultural o artístico. De este modo, las piezas que provienen de colecciones particulares han perdido gran parte de su información contextual por cuanto no han sido obtenidas mediante excavaciones científicas, único modo que nos permite con certeza saber de su origen en tiempo y espacio. Sin embargo, es posible recobrar parte de esta información por comparación sometiendo cada pieza a la experticia de especialistas que, según conocimientos, pueden atribuirlos a una cultura y a un tiempo determinado.

La primera pieza proviene entonces de la colección Sergio Larraín García Moreno, quién en los años 40 comienza a formar el “corazón” del Museo Chileno de Arte Precolombino y que en el año 1979 donara a la Fundación Familia Larraín Echenique, actual propietaria de la institución.

Las otras dos piezas elegidas para este estudio son parte de la Colección Mayrock del Museo Chileno de Arte Precolombino. Esta colección está comprendida mayormente por piezas de tamaño reducido y gran calidad estética. En su totalidad proceden de distintas culturas del antiguo territorio peruano. Antiguamente la colección fue adquirida por su propietario, el señor Norbert Mayrock, en la década de los años 30 del siglo XX cuando vivió en Perú por asuntos laborales. Y luego, aparentemente antes de la Segunda Guerra Mundial, una gran parte de su colección fue donada al Museo Estatal de Antropología de Munich<sup>1</sup>. Felizmente las piezas de dicha colección

---

<sup>1</sup> Schindler, 2000.

no sufrieron daño, considerando el penoso evento mundial, y en el año 2000 fue protagonista de un excelente Catálogo<sup>2</sup>. En el año 2004 una parte de la colección, que aparentemente habría quedado en Chile, fue donada por la familia descendiente y residente en el país, al Museo Chileno de Arte Precolombino. Esta constituye una de las donaciones más importantes de los últimos años y está conformada por 220 piezas, tanto de alfarería, metales, maderas, conchas y textiles, elaboradas por anónimos artistas de culturas precolombinas del Perú.

La primera pieza N° 0441 corresponde a una Placa ornamental de Estilo Vicus/Moche. Fase Tardía o Vicus DE. 0-500 d.C. Costa norte del Perú.

La segunda pieza N° 3299 corresponde a un "Tumi" o cuchillo ceremonial con figura antropomorfa. Cultura Chimú 1100- 1470 d.C. Costa Norte del Perú.

La tercera pieza N° 3309 corresponde a un "Tupu" o alfiler con decoración geométrica y ornitomorfa. Cultura Chimú 1100- 1470 d.C. Costa Norte del Perú.

## 1.2.- La costa norte del Perú



La costa norte del Perú es una región desértica que limita con Ecuador y que consiste en una franja de tierra relativamente estrecha atravesada por numerosos ríos que vienen de la Sierra y que forman fértiles valles. Las lluvias periódicas que caen sobre estos valles son favorables al desarrollo de una abundante vegetación y densos bosques de árboles.

En estas regiones se presentan durante el verano precipitaciones que oscilan entre los 50 y los 200 mm, siendo este clima tropical seco, clima conocido

---

<sup>2</sup> Schindler, 2000.

como de tipo sabana tropical.

Los inviernos son cálidos pero muy secos, rara vez la temperatura baja de los 25 °C durante el día y por las noches baja hasta los 16 °C. En esta época del año es común la existencia de vientos en la costa debido a la presencia de la fría Corriente de Humboldt que viene de sur a norte, afectando el clima tropical. Contrariamente los veranos son muy calientes y existen noches muy lluviosas. Las temperaturas rodean a veces los 40 °C durante la tarde y la humedad se incrementa gracias a la intervención momentánea de la cálida Corriente del Niño que viene de norte a sur entre los meses de diciembre a abril. La primavera y el otoño mantienen temperaturas cálidas que promedian entre 28 °C durante el día y 19 °C durante las noches.

Cuando se presenta el fenómeno climático conocido como El Niño es decir cuando la temperatura del mar sobrepone los 27 °C durante los veranos el clima de toda la costa varía substancialmente presentándose inundaciones que ocasionan daños de diversa naturaleza y el clima se tropicaliza manifestándose no solo en la radiación solar que caracteriza a los veranos y primaveras sino en la vegetación como ocurre en los departamentos de Piura y Tumbes.<sup>3</sup>

### **1.3.- Contextos culturales de los objetos**

#### **1.3.1.- Moche o Mochica**

La cultura Moche o Mochica existió entre los siglos 100 a.C. y 800 d.C. y su población se extendió entre los territorios de valle de Nepeña al Sur y de Piura al Norte. Ocuparon los valles de la Leche, Lambayeque, Jequetepeque, Chicama, Moche, Virú, Chao, Santa y Nepeña.

---

<sup>3</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa\\_del\\_Per%C3%BA](http://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_del_Per%C3%BA)

Históricamente fue conocida como Protochimú o Chimú Temprano, pero recibió el nombre de cultura Moche tras los descubrimientos en el valle de Moche. También se la denomina cultura Mochica en razón del nombre de la lengua, el muchik, que hablaban sus pobladores.



Inicialmente se pensó en la cultura Moche como en una unidad cultural, pero la división natural de la Costa Norte por el desierto de Paiján dividió también las manifestaciones culturales de los mochicas en Mochica del Norte y Mochica del Sur.

Los Mochicas del Norte tuvieron mayor abundancia de metales en sus tumbas (el Señor de Sipán es un ejemplo), mientras que los Mochicas del Sur se caracterizaron por su alfarería y fabricaron la mayoría de los huacos retratos que casi no existen entre los norteños.

Los centros principales en Moche Norte fueron el valle del río Jequetepeque, donde se halla San José de Moro y Huaca Dos Cabezas, y el valle del río Lambayeque, donde se halla Sipán y Pampa Grande.

Los centros principales de Moche Sur fueron el valle del río Moche, donde se halla la Huaca del Sol y de la Luna, y el valle del río Chicama, donde se halla el Complejo El Brujo.

Se trató de una sociedad belicosa y militarista, sólidamente organizada. Las clases sociales se reducían básicamente a dos: mandatarios y pueblo. En los mandatarios, como el Señor de Sipán, recaía la responsabilidad suprema de la producción/distribución de los alimentos, la defensa del territorio y la ampliación de los dominios.

Una característica propia de la vida religiosa de la Cultura Mochica era el culto al Felino, el que se encuentra personificado en la divinidad de un dios supremo llamado Al Apaec, que representa a un hombre con grandes colmillos.

Emplearon la metalurgia del oro, la plata y el cobre. Alcanzaron en ello un elevado grado de desarrollo, y fue destinada tanto a finalidades rituales como a la fabricación de armas e instrumentos de producción agraria. Confeccionaban una variedad de objetos de uso real, sacro y militar; también adornos para la élite como collares, narigueras, orejeras, brazaletes, pinzas, sortijas, coronas, pectorales, platos, copas, cuencos. También se conocen instrumentos agrícolas, quirúrgicos, cuchillos, máscaras funerarias, protectores y perfectos instrumentos musicales como sonajas, pitos, quenás, tambores, entre otros<sup>4</sup>.

Los metales en esta cultura no sólo denotaban un símbolo de riqueza y poder, si no que además su forma, su color, su sonido, eran factores determinantes en la utilización y exhibición de éstos en actos ceremoniales públicos, en los cuales el efecto de estos enseres infundía respeto y admiración.

Las prácticas fúnebres de esta cultura se caracterizaron por incluir dentro del ajuar instrumentos metálicos y objetos rituales de violencia hacia la vida; como cuchillos, mazas y estólicas. También otros objetos metálicos usados como ofrendas en la muerte fueron collares, coronas, estandartes y máscaras con las que cubrían el rostro de personajes de alto rango político-religioso y social. Estas máscaras fúnebres solían ser repujadas y adornadas por una serie de objetos pendientes sujetos a perforaciones hechas sobre la lámina base. Dichos adornos solían colgar mediante uniones mecánicas o alambres desde las orejas, las orejeras, los ojos y la nariz de la máscara.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> <http://www.gabrielbernat.es/peru/preinca/cultpreincaicas/dregionales/MOCHE/moche.html>

<sup>5</sup> Carcedo Muro, 1999.

### 1.3.2.- Chimú

La cultura Chimú se desarrolló entre los siglos 1100 d.C. y 1470 d.C. en el mismo territorio donde siglos antes existió la cultura Moche. Su núcleo se encontraba en la ciudadela de Chanchán en el departamento de La Libertad, y se expandió por un vasto territorio, llegando por el norte hasta Tumbes y por el Sur hasta el valle de Huarney. Por el este, sus límites fueron definidos por la cordillera montañosa, ya que la cultura no logró imponerse en la sierra. Los habitantes de Chimú hablaban distintas lenguas según su territorio, pero prevalecía la lengua muchik.



Su desarrollo político y social tuvo dos etapas: en la primera, se trataba de un pequeño grupo focalizado en el valle de Moche y zonas aledañas; mientras que en la segunda, se trató de un reino expansivo.

El sistema económico y social funcionaba por medio de una red de centros urbanos rurales que se encargaban de receptionar y enviar a la capital los tributos obtenidos. El estado se administró en la ciudad capital Chanchán, desde allí se maneja, organizó y monopolizó la producción, el almacenamiento, la redistribución y el consumo de bienes y productos.

El culto principal estuvo dedicado a la Luna debido a su influencia sobre el crecimiento de las plantas, las mareas y a su utilización como marcador del tiempo; sin embargo, cada pueblo debió poseer sus deidades y santuarios locales. Los Chimú decían descender de cuatro estrellas, de las dos mayores los nobles y la gente común de las otras dos. Creían que el alma de los difuntos iba hasta la orilla del mar, desde donde era transportada por los lobos marinos hacia su última morada en las islas<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> <http://www.gabrielbernat.es/peru/preinca/cultpreincaicas/eregionalest/CHIMU/chimu.html>

Destacaron por su metalurgia y trabajaron los metales en talleres divididos en secciones para cada caso del tratamiento especializado de los metales. Dominaron las técnicas del enchapado, el dorado, el estampado, el vaciado a la cera perdida, el perlado, la filigrana, el repujado sobre moldes de madera, entre otros. Con todas estas técnicas elaboraron una variedad de objetos; adornos como coronas, pectorales, narigueras, orejeras, brazaletes, pinzas, sortijas. Objetos domésticos como platos, copas, cuencos; instrumentos agrícolas, quirúrgicos, cuchillos. Y objetos rituales utilizados como ofrendas, principalmente miniaturas recortadas en metal o con volumen que representaban escenas de la vida cotidiana, objetos de distinta índole, instrumentos musicales, aves y animales, etc.<sup>7</sup>.

Una de las piezas más elaboradas de esta época son los Tumis o cuchillos de metal, de los cuales se distinguen los de uso ceremonial por llevar representaciones de figuras humanas mitológicas en su parte superior, sobre la hoja de media luna. También era habitual representar animales, aves u hombres asociados al cultivo de la tierra, a la pesca y a la caza<sup>8</sup>.

Otro de los objetos más habitualmente fabricados en este metal son los Tupus o alfileres asociados al vestuario femenino, los cuales denotaban el estatus de su usuaria dentro de la jerarquía social y económica de su comunidad. Solían representar animales o aves en su parte superior y decoraciones geométricas<sup>9</sup>.

Los orfebres del reino Chimú fueron famosos por su destreza en el trabajo de la plata, la que le valió que sus maestros plateros fueran trasladados a la ciudad del Cuzco durante el Impero Inca, para la enseñanza de nuevos oficios.

---

<sup>7</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Chim%C3%BA>

<sup>8</sup> Carcedo Muro, 1999.

<sup>9</sup> Dreyer Costa, 1994.

## **2.- ANTECEDENTES TECNOLOGICOS DE LA ORFEBRERIA EN PLATA Y COBRE MOCHE Y CHIMU**

### **2.1.- Tecnología de recolección, extracción, procesamiento y fundición de materias primas**

El uso de los minerales y los metales esta muy vinculado a la forma en que el ser humano los encuentra en la naturaleza. Por un lado hay minerales que se presentan aleados o mezclados con otros en forma natural, pero también hay las aleaciones o mezclas que el ser humano hace intencionalmente, con un fin o un propósito determinado. Los primeros metales encontrados en estado natural fueron el oro, la plata y el cobre nativos, que en rigor no son puros sino que vienen mezclados con otros elementos en pequeñas proporciones, lo que los convierte en verdaderas aleaciones naturales<sup>10</sup>.

Los antiguos orfebres que trabajaron el cobre nativo lo hicieron primeramente martillando el metal en estado natural, supeditando el tamaño de las piezas a un tamaño similar a la pepita o nódulo de metal original. Aquí el trabajo se realizaba en frío y el material se volvía rápidamente frágil y quebradizo. Posteriormente, cuando comprendieron que calentando el metal éste volvía a ser blando y maleable, pudieron hacer piezas más grandes. Así, cuando manejaron el efecto de derretir o fundir los metales y vaciarlos sobre moldes de tierra o arcilla es cuando comenzaron a generar objetos de mayor volumen. Estos eran hechos a partir de un lingote martillado y recalentado alternadamente o en su defecto, vaciados sobre un molde que le daba la forma definitiva<sup>11</sup>.

---

<sup>10</sup> Carcedo Muro, 1999.

<sup>11</sup> Rovira Llorens, 1991.

El cobre nativo era encontrado en la parte superior de los depósitos minerales oxidados, donde se encontraban otros minerales de colores llamativos como la azurita, malaquita y la crisocola.

La plata era hallada de forma nativa asociada a la presencia de minerales de cobre, plomo y zinc. Estos yacimientos llamados plumbo-argentíferos eran muy abundantes en la zona andina<sup>12</sup>.

El proceso metalúrgico se vuelve más complejo posteriormente con la fundición de metales. Tanto el cobre como la plata eran recolectados en bruto en roca mineral, para luego ser triturado a golpes con martillos de piedra y separado manualmente de las piedras inútiles. Luego era fundido en hornos de terracota y piedra con el fin de disociar el metal del remanente de impurezas o escoria de fundición. Estos hornos de arcilla llamados Huayras tenían numerosos agujeros que establecían el tiraje para atizar el fuego y lograr la temperatura deseada. Eran ubicados sobre un gran fogón en la ladera de un cerro o colina donde el viento hacía las veces de fuelle. Era habitual también que introdujeran el mineral en crisoles de tierra cocida y polvo de carbón, que ponían sobre el fuego y era constantemente avivado por un número de hombres soplando sobre las brasas con canutos<sup>13</sup>. En este sentido llama la atención un vaso de arcilla en estilo Moche encontrado en entierro cerca de la Huaca de la Luna en el Valle Moche, que representa un horno para fundir o calentar metal. En torno a éste están agrupados varios artesanos que soplan aire con tubos sobre brasas<sup>14</sup>.



Vaso de arcilla de estilo Moche que representa un horno de fundir y los sopladores a su alrededor. Imagen extraída del libro "El cobre en el antiguo Perú" de Paloma Carcedo Muro, 1999.

---

<sup>12</sup> Luis González, 2004.

<sup>13</sup> Luis González, op cit.

<sup>14</sup> Donnan, 1973.

Una vez fundido el metal extraían el crisol con largas varas de palo o de cobre y vaciaban el líquido sobre moldes de tierra humedecida, donde solidificaba al enfriarse convirtiéndose en un lingote de cobre o plata, según el caso<sup>15</sup>.

## **2.2.- Técnicas de construcción**

Las láminas eran obtenidas a través de un proceso en el cual el metal bruto (lingote, torta o pepita) era sometido a martillado sobre yunques de piedra dura muy bien pulidos, empleando como percutores una amplia gama de instrumentos líticos con caras preparadas para estos efectos<sup>16</sup>. Como ya se mencionó antes, el metal era trabajado en frío en un primer momento, pero luego era periódicamente sometido a recocido térmico para devolverle la maleabilidad perdida y así proseguir con la laminación hasta obtener el espesor deseado.

Los orfebres precolombinos de los Andes centrales a menudo fabricaban piezas mediante la unión de láminas hechas individualmente, desarrollando una serie de uniones tanto mecánicas como metalúrgicas. Dentro de las uniones mecánicas destacaron la técnica del “cosido”, que trataba al metal como si fuera un textil, y la del “recortable”, en la cual a una lámina con una forma determinada se le superponen otras fijándolas entre si mediante alambres o lengüetas<sup>17</sup>. Las uniones metalúrgicas en cambio, corresponden a procesos de unión en los cuales interviene temperatura con el fin de fundir localmente las superficies a unir o introducir metal fundido entre ambas.

El Repujado o embutido profundo era una técnica muy frecuente en el trabajo ejecutado con láminas por los antiguos orfebres andinos, y consistía en la decoración en relieve de una lámina lograda mediante martillado con un cincel de embutido sobre

---

<sup>15</sup> Ravinés, 1978.

<sup>16</sup> Carcedo Muro, 1996. Lothrop, 1950.

<sup>17</sup> Carcedo Muro, 1999.

una matriz, dando por resultado una decoración positiva por el anverso y negativa por el reverso<sup>18</sup>.

El vaciado o fundición a la cera perdida por el contrario, fué una técnica que permitió el desarrollo de objetos volumétricos macizos, los cuales primeramente eran modelados en cera y luego introducidos en moldes de arcilla. Luego, este molde era calentado lentamente con el fin de endurecer la arcilla y simultáneamente eliminar la cera, liberando el espacio dentro del cual posteriormente se vaciaba el metal recién fundido y en estado líquido. Al enfriar se rompía el molde, y la pieza que inicialmente estaba realizada en cera salía convertida en una pieza metálica que reproducía fielmente la original<sup>19</sup>.

### **2.3.- Terminaciones y tratamientos superficiales**

Las operaciones de pulido y desbaste de irregularidades con el fin de obtener superficies lisas y brillantes en la superficie del metal eran desarrolladas mediante tierras abrasivas de grano fino, vegetales con algún contenido de sílice, y con instrumentos líticos de grano fino que utilizaban como desbastadores y bruñidores<sup>20</sup>.

También, uno de los tratamientos de superficies mas característicos de la orfebrería precolombina de los andes centrales es el dominio que tenían de técnicas de dorado o plateado de metales. Desarrollaron una metalurgia en la cual la transformación del color superficial en la pieza final era sumamente importante, ya que el color y brillo que el oro y la plata irradiaban era uno de las características primordiales que el orfebre precolombino quería imprimir en el resultado final de un objeto. Dominaron sofisticadas técnicas que enriquecían la superficie metálica ya fuera añadiendo a ésta un nivel de oro o plata, o también a través de tratamientos químicos que transformaban la superficie de una aleación preparada especialmente para estos

---

<sup>18</sup> Luis González, 2004.

<sup>19</sup> Ravinés, 1978.

<sup>20</sup> Luis González, op.cit..

efectos<sup>21</sup>. Sin embargo ninguna de las piezas abordadas en este estudio presentaba señas de este último recurso.

---

<sup>21</sup> Carcedo Muro, 1999. Warwick, 1991.

### **3.- PROPIEDADES DE LOS METALES Y PROCESOS DE ALTERACION EN CONDICIONES DE ENTIERRO**

#### **3.1.- Estructura y propiedades de los metales**

##### 3.1.1.- Propiedades físicas

Se les denomina metales a determinados elementos químicos que poseen ciertas propiedades físicas características:

- ★ Alta densidad (relación entre la masa del volumen de un cuerpo y la masa del mismo volumen de agua).
- ★ Son sólidos a temperatura ambiente (excepto el Hg y el Ga).
- ★ Reflejan la luz (brillo).
- ★ Son maleables (capacidad de los metales de hacerse láminas).
- ★ Son dúctiles (propiedad de los metales de moldearse en alambre e hilos).
- ★ Son tenaces (resistencia que presentan los metales a romperse por tracción).
- ★ Son buenos conductores de electricidad y calor.

El concepto de metal se refiere tanto a elementos puros, así como aleaciones con características metálicas. Una aleación es la unión íntima y homogénea de dos o más elementos, siendo al menos uno de ellos un metal<sup>22</sup>.

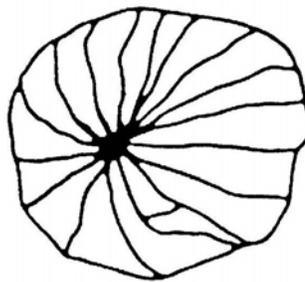
---

<sup>22</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Aleaci%C3%B3n>

Los metales y sus aleaciones están conformados por granos o cristales, cuyo tamaño, forma y configuración están en directa relación a cómo éste fue producido y usado. Estas circunstancias son las que le transfieren cualidades físicas de maleabilidad, dureza o fragilidad, y determinan las características propias del objeto en proceso.

Si pudiéramos observar microscópicamente la estructura cristalina de un metal, podríamos distinguir los distintos momentos o procesos de trabajo al cual éste fue sometido durante su transformación. Esto mediante la observación de la forma, la disposición y el tamaño de sus cristales, ya que la conformación cristalina de un metal difiere cuando ha sido sólo vaciado que cuando ha sido además recalentado y alterado mecánicamente<sup>23</sup>.

Al vaciar el metal puro en estado líquido dentro de un molde, el metal que esta en contacto con el borde del molde se enfriará con mayor rapidez que el que se encuentra en el núcleo. Esto dará por resultado una **Estructura columnar**, esquematizada a través del siguiente gráfico<sup>24</sup>:



1. Columnar

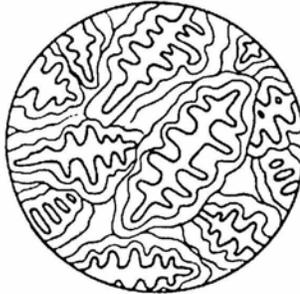
Sin embargo, si el metal que vaciamos en el interior de un molde es una aleación homogénea, que es una aleación cuyos componentes se encuentran mezclados uniformemente, ocurrirá que conforme los cristales vayan enfriando, éstos se acomodarán libremente, en diferentes direcciones y tamaños, formando cristales

---

<sup>23</sup> Carcedo Muro, 1999.

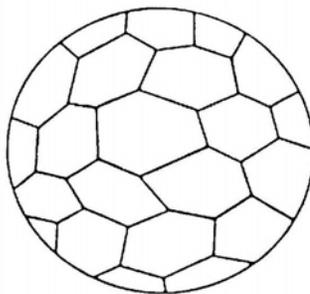
<sup>24</sup> Carcedo Muro, op. cit.

con forma arbórea llamados dendritas. Esto dará por resultado una **Estructura equiaxial dendrítica**, esquematizada a través del siguiente gráfico<sup>25</sup>:



2. Dendrítica

Cuando un metal presenta dendritas puede que sus propiedades mecánicas no sean favorables para el trabajo orfebre, motivo por el cual será necesario calentar el metal, con el fin de modificar su estructura y mejorar sus propiedades mecánicas. Con este calentamiento no se alterará el grano si no solamente se eliminará la dendrita, provocando que éstos se muevan a una nueva posición y liberen tensión. Esto dará por resultado una **Estructura equiaxial o de recocido**, esquematizada a través del siguiente gráfico<sup>26</sup>:



3. Equiaxial

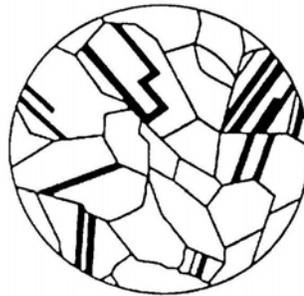
En esta nueva situación es posible trabajar mecánicamente el metal, forjándolo, doblándolo o estirándolo con facilidad, sin embargo paulatinamente los cristales se irán

---

<sup>25</sup> Carcedo Muro, 1999.

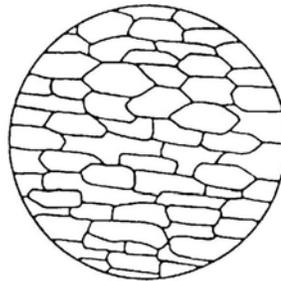
<sup>26</sup> Carcedo Muro, op. cit.

deformando y estresando entre si, fragilizando el metal y haciendo necesario un nuevo recocido o recristalizado. Con este nuevo calentamiento, los granos se volverán poligonales y de lados rectos, apareciendo unas líneas paralelas que irán de lado a lado del grano. Estas marcas se llaman maclas de recocido y son particularmente visibles en aleaciones de oro, plata y cobre. Esta será una **Estructura poligonal o de recristalización**, esquematizada a través del siguiente gráfico<sup>27</sup>:



4. Poligonal  
(recristalización)

Una vez recocidos los metales, si éstos son trabajados en frío los granos se van alargando y desfigurando según la dirección de la deformación plástica a que son sometidos, lo cual lo convierte en un metal más duro y con mayor resistencia. A mayor deformación el cristal será más alargado y aplastado, dando por resultado una **Estructura de grano alargado**, esquematizada a través del siguiente gráfico<sup>28</sup>:



5. Alargada  
(metales deformados en frío)

---

<sup>27</sup> Carcedo Muro, 1999.

<sup>28</sup> Carcedo Muro, op. cit.

Aparte de la forma de los granos, las propiedades físicas de los metales se ven afectadas por el material que los componen.

En metales puros o en algunas aleaciones los granos son de una misma conformación, es decir de una sola fase, por lo cual son conocidos como **monofásicos**. En cambio, en aleaciones que tienen dos uniones de granos son llamadas **bifásicas**, y las que tienen varias uniones de granos creando composiciones diferentes son llamados metales **multifásicos**, cuya estructura cristalina es más complicada dado que la forma, dimensiones y separaciones de las fases están relacionadas con el tipo de aleación, además de los tratamientos mecánicos y de recristalización a que ha sido sometido<sup>29</sup>.

Las diferentes fases de una aleación tienen características físicas específicas, algunas de las cuales serán transmitidas al metal resultante, motivo por el cual cada aleación tiene cualidades propias que la hacen apropiada para el tipo de trabajo u objetivo puntual que se persigue, por ejemplo reducir o aumentar el punto de fusión del metal, volverlo más resistente o tenaz, modificar su color o acrecentar su capacidad de resistencia a la oxidación.

### 3.1.2.- Propiedades químicas

Es característico de los metales tener valencias positivas en la mayoría de sus compuestos. Esto significa que tienden a ceder electrones a los átomos con los que se enlazan. También tienden a formar óxidos básicos. Por el contrario, elementos no metálicos como el nitrógeno, azufre y cloro tienen valencias negativas en la mayoría de sus compuestos, y tienden a adquirir electrones y a formar óxidos ácidos<sup>30</sup>.

Los metales tienen energía de ionización baja: reaccionan con facilidad perdiendo electrones para formar iones positivos o cationes. De este modo, los metales actúan como agentes reductores en una reacción llamada **óxido-reducción**. Las

---

<sup>29</sup> <http://www.scribd.com/doc/305855/Estructura-de-Materiales-Estructura-de-Aleaciones-y-Diagramas-de-Equilibrio>

<sup>30</sup> <http://perso.wanadoo.es/chyryes/glosario/metales.htm>

reacciones redox o de óxido-reducción son aquellas donde hay movimiento de electrones desde una sustancia que cede electrones (reductor) a una sustancia que capta electrones (oxidante). Por lo tanto, la sustancia que cede electrones, se oxida y la sustancia que gana electrones, se reduce<sup>31</sup>.

En su estado elemental los átomos poseen una cantidad de electrones (de carga negativa) y de protones (de carga positiva) equivalente. Sin embargo en los compuestos todos los átomos ceden o adquieren electrones, para formar enlaces. De esta manera llegan a tener un número distinto de electrones que el que tenían originalmente.

Así, si un átomo cede electrones a otro, se oxida, o sea, aumenta su número de oxidación. Por el contrario, si adquiere electrones, se reduce, o sea, disminuye su número de oxidación. La oxidación y la reducción siempre se producen simultáneamente, ya que en las reacciones químicas comunes nunca se crean ni se destruyen electrones.

### **3.2.- La oxidación y la corrosión.**

A excepción del oro y el platino, los metales utilizados en la antigüedad no son estables y tienden a reaccionar o combinarse con otros componentes no metálicos, como el oxígeno, para formar así compuestos menos reactivos. Esto no es extraño ya que en su estado natural el cobre y la plata se obtienen de diversos minerales (malaquita, carbonatos, azurita, etc.) que se someten a procesos de fusión en ambiente reductor (sin oxígeno), liberando el enlace entre el componente no metálico y el metálico y extrayendo de ellos el metal. Los procesos de corrosión son por lo tanto una reacción que ocurre entre el metal y el medio ambiente para tratar de recuperar su estado mineral original.

---

<sup>31</sup> <http://www.educarchile.cl/Portal.Base/Web/VerContenido.aspx?ID=181944>

Existen dos formas de deterioro químico: la **oxidación** y la **corrosión acuosa**<sup>32</sup>.

La oxidación se da cuando, incluso en condiciones ambientales secas, el metal se combina con el oxígeno u otros gases para producir compuestos en su superficie (pátina). La superficie metálica es en sí muy reactiva y forma dichos compuestos rápidamente, con aún más facilidad si hay humedad en el medio. Sin embargo, esta capa de óxido puede formar una barrera protectora (pasivación) que, a baja temperatura, previene reacciones posteriores entre el metal y los gases en la atmósfera.

La corrosión acuosa es más común que la anterior y consiste en el deterioro de los metales y en especial de las aleaciones, cuando un electrolito (solución acuosa) está presente. En condiciones atmosféricas normales la humedad se presenta en forma de vapor, pero cuando éste se condensa sobre una superficie metálica o es atraído por un material higroscópico como por ejemplo el polvo o tierra, estamos en presencia de un proceso de corrosión que no sólo involucra reacciones químicas, sino también procesos eléctricos, dando por resultado la **corrosión electroquímica**<sup>33</sup>.

Un proceso electroquímico es en el cual un metal reacciona con su medio ambiente para formar óxido o algún otro compuesto, con la intervención de una solución acuosa. En el término solución acuosa se incluyen aguas naturales, suelos, humedad atmosférica, lluvia y soluciones creadas por el hombre, medios todos de alta conductividad iónica.

Este proceso está compuesto esencialmente por tres componentes: un ánodo, un cátodo y un electrolito (la solución conductora de electricidad). El ánodo es el lugar donde el metal es corroído: el electrolito es el medio corrosivo; y el cátodo, que puede ser parte de la misma superficie metálica o de otra superficie metálica que esté en contacto, forma el otro electrodo en la celda y no es consumido por el proceso de corrosión. En el ánodo el metal corroído pasa a través del electrolito como iones cargados positivamente (oxidación), liberando electrones que participan en la reacción catódica (reducción). Es por ello que la corriente de corrosión entre el ánodo (reductor)

---

<sup>32</sup> Cronyn, 1990.

<sup>33</sup> [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec\\_6.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_6.htm)

y el cátodo (oxidante) consiste en electrones fluyendo dentro del metal y de iones fluyendo dentro del electrolito.

Una vez ocurrida la corrosión electroquímica, ésta puede devenir en dos tipos de corrosión, la **corrosión activa** o la **corrosión estable**<sup>34</sup>, ambas relativas al nivel de acidez o alcalinidad del medio que le circunda.

La corrosión activa es la que ocurre cuando el metal forma productos solubles que migran fuera de él hacia el ambiente como iones acuosos, mientras el metal sigue corroyéndose.

La corrosión estable en cambio, ocurre cuando el metal forma productos de corrosión sólidos (carbonatos, óxidos, hidróxidos y sulfatos), que se adhieren a la superficie del objeto y previenen de mayores ataques, actuando como protección o capa pasivante.

Cada metal tiene una tendencia o potencial para ionizarse o corroerse en un medio acuoso. Los iones que forma tienden a salir a la solución y depositarse sobre su superficie formando manchas. Cuando un metal está en contacto o mezclado con otro, el que tiene una mayor tendencia a ionizarse es el primero en comenzar el proceso de deterioro; así, el metal más noble será protegido de la corrosión por el menos noble. Esto es llamado **protección catódica**, y tiene su fundamento en el fenómeno de la **corrosión galvánica**<sup>35</sup>.

La corrosión galvánica se establece cuando dos metales distintos entre si actúan como ánodo uno de ellos y el otro como cátodo. Aquel que tenga el potencial de reducción más negativo procederá actuando como ánodo, cediendo sus electrones y oxidando, y viceversa aquel metal o especie química que exhiba un potencial de reducción más positivo procederá como cátodo, aceptando electrones y reduciendo.

Los metales que pierden electrones con mayor facilidad son llamados electronegativos o metal base y son los que tienden a corroerse con mayor rapidez.

---

<sup>34</sup> Cronyn, 1990.

<sup>35</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n#Corrosi.C3.B3n\\_galv.C3.A1nica](http://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n#Corrosi.C3.B3n_galv.C3.A1nica)

Por el contrario, los metales electropositivos, son llamados metales nobles y su corrosión es dificultosa y lenta. Por ello en aleaciones el fenómeno de corrosión galvánica es complejo y va a depender de los porcentajes en que dos o más metales se encuentren en la aleación, la naturaleza de éstos y las características del medio ambiente en que se encuentren.

|  |
|--|
| <p style="text-align: center;"><b>SERIE GALVÁNICA<sup>36</sup></b><br/><b>de metales arqueológico antiguos<sup>37</sup></b><br/>Ordenada de mayor electronegatividad a mayor nobleza.</p> <p style="text-align: center;">Zinc<br/>Aluminio<br/>Hierro de fundición<br/>Plomo<br/>Estaño<br/>Cobre<br/>Latón (cobre + zinc)<br/>Bronce (cobre + estaño)<br/>Plata<br/>Oro<br/>Platino</p> |
|--|

De todos modos, es muy difícil que cuando un metal es encontrado en un yacimiento arqueológico éste se encuentre sin ningún tipo de corrosión, por muy puro o noble que sea.

### 3.2.1.- El cobre

El cobre es un metal cuyo punto de fusión es de 1084°C y que habitualmente se encuentra asociado a pequeños porcentajes de arsénico, antimonio, estaño, plomo o hierro, presentes como impurezas.

<sup>36</sup> <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/RC-12.htm>. Serie modificada para consignar solamente metales arqueológicos antiguos.

<sup>37</sup> Theile, 1991.

Por lo mismo, en la metalurgia andina es difícil encontrar objetos realizados en cobre puro. Por el contrario, ésta se caracteriza por haber utilizado habitualmente aleaciones de cobre con pequeños porcentajes de arsénico, alcanzando en ocasiones un 2,5 %. Esta aleación es conocida como **bronce arsenical**<sup>38</sup>, más fácil de trabajar en frío que el cobre puro.

También son conocidas aleaciones con estaño, llamadas **bronces estañíferos**<sup>39</sup>, con cualidades similares al bronce arsenical. Es posible observar incluso aleaciones ternarias en las que convivían estaño y arsénico en la misma mezcla.

Sin embargo, ya que es imposible calibrar la exacta constitución de una aleación de cobre sin un análisis y en la ausencia de éste, es esencial que la aleación sea referida con un nombre genérico como “aleación de cobre”, más que con el término “bronce”, en este caso impreciso e improbable.

Los productos de corrosión que habitualmente presentan las aleaciones de cobre de origen arqueológico son generados en lentos procesos de deterioro en presencia de humedad, dióxido de carbón, oxígeno o agua de mar. El color de estos productos de corrosión depende en parte del ambiente en el cual éstos se han conservado y en parte de la naturaleza de la aleación.

El proceso de corrosión en el cobre tiene lugar en varias etapas: un objeto terminado comienza inmediatamente a deteriorarse, aún en una atmósfera corriente; en la etapa inicial de la corrosión atmosférica los depósitos son leves; cuando la corrosión progresa, se desplaza por los límites de los granos del metal y convierte los cristales metálicos en minerales. En la medida que continúa el deterioro, mayores cantidades de metal son convertidas a mineral, y esto causa un crecimiento en el volumen, dejando así la capa original cubierta por corrosión. Esta puede progresar hasta hacer desaparecer todo el metal, pero dentro de ella se conserva la capa que

---

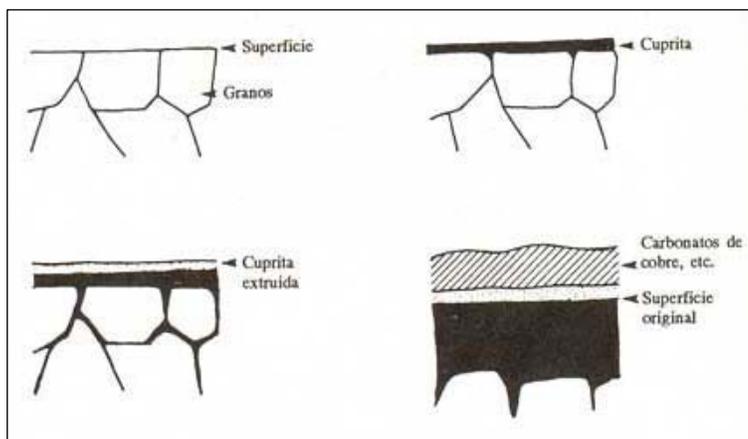
<sup>38</sup> Lechtman, 1996.

<sup>39</sup> Luis González, 2004.

representa la superficie original del objeto, la cual puede retener evidencias de manufactura y ser recuperada y preservada con una conservación adecuada<sup>40</sup>.

La causa común del ennegrecimiento de las aleaciones de cobre en el aire es el desarrollo de un delgado deslustre protector de óxido cuproso Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) de color rojo/café, a veces mezclado con algo de óxido cúprico ( $\text{CuO}$ ) de color negro. Las superficies ennegrecidas en objetos encontrados en depósitos de baja oxigenación, como puede ser en condiciones de entierro, podrían indicar la presencia de sulfatos de cobre, Covelita ( $\text{CuS}$ ) y Calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ). La presencia de coloraciones claras amarillo verdosas en aleaciones de cobre expuestas a la atmósfera es normalmente sulfato básico de cobre o Brocantita ( $\text{CuSO}_4$ ). Los colores verde esmeralda y verde oscuro se encuentran asociados a la existencia de productos básicos de corrosión como carbonato básico de cobre o Malaquita ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ), y de manera menos común el desarrollo de un color azulado característico de otro carbonato básico de cobre, o Azurita ( $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ )<sup>41</sup>.

Sin embargo la naturaleza exacta de estos productos de corrosión sólo puede ser confirmada analíticamente.



Secciones que muestran la corrosión de cobre y sus aleaciones. (Cronyn, 1990.)

De manera muy esquemática, la corrosión en el cobre en situación de entierro se desarrolla a partir de cuatro estados sucesivos; en un primer momento, al ser

<sup>40</sup> Cronyn, 1990.

<sup>41</sup> Cronyn, op. cit.

depositado el objeto metálico en el yacimiento, ya trae consigo óxidos superficiales adquiridos durante su vida útil. En un segundo momento, una vez enterrado el objeto, en contacto con el oxígeno y la humedad presentes en el entorno, su superficie metálica comenzará a corroerse lentamente generando una capa compacta de cuprita primaria ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). En un tercer momento, esta capa de cuprita paulatinamente irá profundizando su aparición formándose en los espacios intergranulares de la aleación de cobre, generando el movimiento de la capa anterior de cuprita hacia la superficie y cubriendo al objeto de una capa de cuprita secundaria. Finalmente, en un cuarto momento, esta capa exterior de cuprita reaccionará con los productos químicos presentes en el medio y reaccionará formando carbonatos básicos, sulfatos y probablemente productos clorados<sup>42</sup>.

Donde la extrusión de cobre degradado ocurre lentamente, se desarrolla una capa compacta que actúa como protección (pátina). Sin embargo, habitualmente esto ocurre rápidamente, propiciando la formación de costras y facilitando la deposición de productos de corrosión al interior de las cavidades superficiales del metal. De ahí que en objetos encontrados en excavaciones estos productos de corrosión suelen presentarse como incrustaciones rugosas y/o costras irregulares, generando la pérdida de la superficie original.

Los iones de cloro presentes en la mayoría de los suelos tienen la facultad de migrar a través de las capas protectoras de óxidos y carbonatos básicos de cobre, estimulando la corrosión y generando capas de cloruro de cobre o Nantokita ( $\text{CuCl}$ ). En condiciones de ausencia de humedad y oxigenación, la Nantokita es estable y permanece inactiva al interior de las costras o las capas de corrosión compacta. Sin embargo basta un RH tan bajo como 35 – 50 % para que ésta reaccione lentamente produciendo cuprita. En niveles más altos de RH se puede producir una reacción extremadamente rápida, que lleva a la formación de cloruro básico de cobre o Paratacamita ( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), la cual se presenta como pequeños cristales verde pálidos. Estos productos de Paratacamita quedan atrapados dentro de la corrosión o en las concreciones de las piezas y pueden aparecer con posterioridad a su excavación como

---

<sup>42</sup> Cronyn, 1990.

brotos de corrosión muy destructiva. Se presentan como cristales físicamente disgregados que ejercen presión sobre las capas más superficiales, produciendo la erupción de la superficie y la dispersión de nuevos iones cloruros que generan nuevos procesos de corrosión<sup>43</sup>. Esta corrosión activa muy frecuente en piezas arqueológicas, se manifiesta en puntos pequeños de cristales sueltos de color verde claro, es conocida como "enfermedad del bronce" y representa el problema más significativo en la conservación de objetos metálicos de cobre<sup>44</sup>.

### 3.2.2- La plata

La plata es un metal cuyo punto de fusión es de 960,5 °C y que habitualmente se encuentra asociado a pequeños porcentajes de cobre, plomo o hierro, presentes como impurezas. Sin embargo es habitual que estas mezclas, cercanas a un 5% sean intencionales, con el objetivo de modificar las características físicas y mecánicas de la plata. Entre estas ligas, la aleación con cobre no solo tiene la particularidad de contribuir al endurecimiento del metal sino que además permite conservar su color y brillo, dada su condición de nobleza que lo asemeja a la plata.

Aún en un medioambiente seco, el cobre presente en la aleación se oxida produciendo en la superficie del objeto un oscurecimiento llamado "mancha de fuego". Esta sombra es notoria a simple vista durante la vida útil del artefacto y en el tiempo de reposo oscurece su superficie notoriamente<sup>45</sup>.

No obstante el ennegrecimiento más drástico de la plata sucede en contacto con el azufre presente en el medioambiente en forma de sulfuro de hidrógeno<sup>46</sup> (H<sub>2</sub>S) o dióxido de azufre<sup>47</sup> (SO<sub>2</sub>), lo que genera en la plata la aparición de una capa de sulfuro de plata o Argentita (Ag<sub>2</sub>S). El azufre esta presente en casi cualquier tipo de ambiente, incluyendo el mar, por lo cual es habitual que los objetos de plata se cubran de esta capa estable o pátina protectora. Sin embargo en condiciones extremas de contacto

---

<sup>43</sup> Cronyn, 1990.

<sup>44</sup> Sáenz Obregón, 1990.

<sup>45</sup> Cronyn, op. cit.

<sup>46</sup> Gas incoloro presente en ambientes contaminados. Asociado a la degradación de materiales orgánicos y la refinación de petróleo. <http://html.rincondelvago.com/contaminantes-principales-en-planta-de-acido-sulfurico.html>

<sup>47</sup> Principal causante de la lluvia ácida ya que al hidratarse en la atmósfera es transformado en ácido sulfúrico. [http://html.rincondelvago.com/elementos-quimicos\\_2.html](http://html.rincondelvago.com/elementos-quimicos_2.html)

persistente a altas dosis de estos contaminantes puede suceder que la superficie produzca capa tras capa de sulfuro de plata hasta desintegrar el núcleo metálico<sup>48</sup>.

Las costras de colores negro, gris, púrpura, marrón, lila o azul grisáceo, están compuestas por una mixtura de productos como la llamada “plata córnea” o cloruro de plata o Cerargirita (AgCl) de color gris ceroso, bromuro de plata o Bromirita (AgBr) de color marrón opaco, manchados con tintes rosados por la cuprita o ennegrecidos por la presencia de sulfuros de plata y de cobre. En objetos provenientes de depósitos ricos en materia orgánica es posible encontrar altos niveles de bromuros<sup>49</sup>.

La plata se corroe intergranularmente, con depósitos de cloruros de plata en el interior del objeto y otros generados hacia las capas externas de la plata. Esta capa externa constituye una capa protectora sobre el objeto y mantiene un aspecto similar a la forma original, sin embargo producida en altos niveles puede llegar a constituir duras costras abultadas que deforman al cuerpo externamente, mientras que internamente genera pequeñas cavidades en el núcleo metálico, llegando incluso a desaparecer el metal dentro de la costra<sup>50</sup>.

La existencia de incrustaciones de color verde en el objeto es por efecto de la corrosión del cobre presente en la aleación, depositando sus productos ya sea en la superficie como en los espacios intergranulares de la plata. Estos productos pueden llegar incluso a cubrir totalmente un objeto de plata, dándole un aspecto que dificulta su diferenciación de un objeto de aleación de cobre a simple vista. Por lo mismo, es posible aproximarse a la composición de la aleación con que un artefacto de plata fue fabricado a partir de las costras de corrosión y su aspecto. Por ejemplo, una costra dura y verde implica una plata con aleación de cobre, mientras que una costra de “plata córnea”, cerosa y grisácea indicaría plata pura. Sin embargo, la presencia de cobre en una aleación de plata contribuye a proteger católicamente a la plata, dado que ésta es un metal más noble que el cobre<sup>51</sup>.

---

<sup>48</sup> Cronyn, 1990.

<sup>49</sup> Cronyn, op.cit.

<sup>50</sup> Cronyn, op. cit.

<sup>51</sup> Cronyn, op. cit.

Una vez extraído un objeto de la excavación, tanto la plata como el bromuro de plata o Bromirita (AgBr) reaccionarán a la luz oscureciendo su color superficial, sin embargo, salvo que tenga un alto contenido de cobre en su aleación, en la plata no ocurren otras corrosiones después de la extracción<sup>52</sup>.

---

<sup>52</sup> Cronyn, 1990.

## 4.- LIMPIEZA Y ESTABILIZACIÓN DE OBJETOS ARQUEOLÓGICOS DE COBRE Y PLATA

### 4.1.- Limpieza

Hasta hace poco tiempo los artefactos metálicos eran frecuentemente limpiados por medios químicos, lo cual involucraba extraer una capa del objeto, es decir la remoción total de los productos de corrosión para dejar a la vista el metal original. Sin embargo, actualmente estos métodos son considerados insatisfactorios y poco éticos, ya que estos procedimientos modifican los materiales presentes en la superficie del objeto y en la costra mineral borrando información irreparablemente. Por otro lado, cuando se han utilizado productos químicos en la limpieza de un metal, es imprescindible limpiar y extraer eficazmente estos productos del objeto tratado, lo que muchas veces es virtualmente imposible en tanto estos productos se impregnan e interactúan de manera irreversible con la composición del metal, especialmente en el caso del hierro y del cobre<sup>53</sup>.

Otra técnica de limpieza es la limpieza electrolítica. Ésta consiste en generar un flujo de electrones que revierte el ocurrido durante la corrosión electroquímica. Aquí el flujo electrónico es reemplazado por una fuente externa como una batería de bajo voltaje. El terminal negativo de ésta es conectado al metal corroído, mientras el terminal positivo es conectado a un metal inerte. Ambos son sumergidos en una solución o electrolito<sup>54</sup> y una vez que sucede el flujo eléctrico, el metal inerte actúa como ánodo y el metal corroído actúa como cátodo siendo alimentado por los electrones. Esta reacción de reducción en el cátodo libera gas Hidrógeno, formando burbujas en la superficie del metal por debajo de la costra de corrosión, facilitando su

---

<sup>53</sup> Cronyn, 1990.

<sup>54</sup> Sustancia que se descompone en iones o partículas cargadas de electricidad cuando se disuelve en agua, permitiendo que la energía eléctrica pase a través de ellos. Estos pueden ser por ejemplo sodio, el potasio y el calcio.  
<http://pastebin.com/f5315105a>

extracción y en ocasiones formando una capa de metal polvoriento que se remueve sencillamente<sup>55</sup>.

Bajo este mismo método, es posible limpiar áreas puntuales de corrosión sin necesidad de sumergir el objeto en el electrolito. Esto se logra sometiendo a breves toques la zona afectada con una varilla de metal unida al terminal positivo de la batería. Esta varilla debe estar envuelta en un algodón humedecido en el electrolito, formando una tórula. El objeto metálico a la vez debe estar unido al terminal negativo de la batería. De esta manera nuevamente el metal corroído es convertido en cátodo, posibilitando la remoción de la porción de producto de corrosión que no se quiere mantener<sup>56</sup>.

Los métodos electrolíticos actualmente están casi tan en desuso como los químicos, sin embargo hay ocasiones en que su uso es justificado, particularmente si el metal que requiere limpieza es muy blando y una limpieza mecánica pudiera dañarlo irremediablemente.

Los métodos mecánicos suelen ser los más recomendables en la mayoría de los tratamientos de limpieza, pudiendo ser de mayor a menor delicadeza en función de la tenacidad del producto superficial que se requiere remover. Así, para extraer tierra y polvos sueltos, se pueden usar pinceles y brochas, idealmente de materiales inertes como plásticos o fibra de vidrio. Para productos de fijación más fuerte, los implementos mas habitualmente utilizados son herramientas dentales, alfileres y bisturís, que se utilizan cuidadosamente como raspadores. Eventualmente es posible utilizar discos de silicona y raspadores suaves con micromotor, pero este tipo de recursos es muy delicado ya que es posible dañar la superficie si no se trabaja con el control y agudeza apropiados. Para todos los casos siempre se deben extraer eficazmente los residuos, idealmente mediante aspiradora o en su defecto mediante soplador o pera de aire.

Antiguamente, grandes esfuerzos de limpieza se enfocaron en devolver a los objetos metálicos el color y la apariencia brillante que se suponía tenían originalmente.

---

<sup>55</sup> [http://www2.cleantool.org/lang/sp/mat\\_cleaning/13\\_reinigungprozess.htm](http://www2.cleantool.org/lang/sp/mat_cleaning/13_reinigungprozess.htm)

<sup>56</sup> Cronyn, 1990.

Sin embargo actualmente la orientación de los tratamientos de limpieza se concentra en preservar la costra de corrosión también, debido a que ésta contiene información importante sobre la pieza y su historia.

Los objetos metálicos de origen arqueológico generalmente presentan su superficie completamente cubierta por productos de corrosión, pudiendo presentar tres situaciones distintas<sup>57</sup>. Puede encontrarse bien preservado, cubierto por una fina capa de pátina protectora, bajo la cual la superficie original se encuentra perfectamente legible. En este caso un tratamiento de limpieza sólo se justifica en la medida de que éste remueva la tierra o materiales higroscópicos que pudieran atraer humedad y propiciar un futuro deterioro sobre ella. También es posible encontrar en su superficie, incrustaciones y costras que advierten la presencia de focos de corrosión que distorsionan la forma o superficie original. En este caso un tratamiento de limpieza pudiera estar enfocado en dos grandes objetivos. Por una parte, extrayendo los productos de corrosión solubles dado que esta condición los convierte en potenciales focos de corrosión activa y por otra parte, devolviendo al objeto la legibilidad de su superficie original en los sectores en que costras y abultamientos desfiguran su forma.

Por último, en el peor de los casos, es posible encontrar que la forma original es mantenida por una serie de capas de productos de corrosión cubiertas por una fina pátina exterior, pero en su interior el núcleo metálico casi no existe. En este caso un tratamiento de limpieza significa la virtual desaparición del objeto, motivo por el cual cualquier tratamiento sólo debe ser ejecutado en función de su delicada preservación.

Como los productos químicos no distinguen entre la superficie original de un objeto de cobre y la cuprita que le cubre, éstos pueden destruir la información y modificar la materia que le cubre, impregnando el objeto y detonando un proceso agresivo e irreversible en el objeto. El uso de productos químicos sólo se recomienda en casos puntuales, de manera ocasional y bajo criterios muy juiciosos, como por

---

<sup>57</sup> Cronyn, 1990.

ejemplo para disolver o reblandecer los minerales de cobre presentes en una costra o incrustación de corrosión muy tenaz<sup>58</sup>.

La limpieza electroquímica no puede ser utilizada en el cobre y sus aleaciones ya que remueve la totalidad de los productos de corrosión de la superficie del artefacto incluyendo la pátina de cuprita, depositando sobre el metal desnudo una capa de cobre rosado. Por lo mismo, los objetos de cobre cubiertos por costras de corrosión generalmente son limpiados mecánicamente mediante el uso de herramientas simples como alfileres o bisturí, removiendo delicadamente la capa de corrosión sin llegar a raspar o dañar la superficie original, respetando la pátina o capa de cuprita que la cubre<sup>59</sup>. Es necesario tener práctica y habilidad para localizar la superficie original y remover la capa de corrosión superpuesta sin dañar el objeto, motivo por el cual es recomendable trabajar bajo microscopio estereoscópico.

Un procedimiento químico habitual en el tratamiento de limpieza tanto de objetos de cobre como de plata es a través de agentes quelantes<sup>60</sup>, los cuales contribuyen al debilitamiento de productos de corrosión en tanto que hacen solubles a los iones metálicos que se encuentran formando un compuesto insoluble y hacen posible que éstos sean arrastrados posteriormente con agua<sup>61</sup>. Ejemplos de estos productos son el Ácido etilendiaminotetraacético<sup>62</sup>  $((\text{HOOCCH}_2)_2 \text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_2)$  (EDTA) y el Titriplex III<sup>63</sup>. Éstos pueden ser aplicados por inmersión o por compresas, sin embargo es muy importante lavar muy bien el objeto tras su aplicación.

La plata por su parte, suele ser limpiada con fines estéticos para su exhibición, siendo ésta una decisión compleja ya que las capas de corrosión son protectoras y se

---

<sup>58</sup> Cronyn, 1990.

<sup>59</sup> Cronyn, op. cit.

<sup>60</sup> Compuesto químico capaz de fijar o secuestrar iones metálicos formando compuestos estables llamados quelatos. [http://64.233.169.104/search?q=cache:EHL-xDe5k7MJ:www.iqb.es/diccio/a/agente.htm+agente+quelante&hl=es&ct=clnk&cd=2&gl=cl&lr=lang\\_es](http://64.233.169.104/search?q=cache:EHL-xDe5k7MJ:www.iqb.es/diccio/a/agente.htm+agente+quelante&hl=es&ct=clnk&cd=2&gl=cl&lr=lang_es)

<sup>61</sup> Cepero Acán, 2005.

<sup>62</sup> Sólido cristalino incoloro, poco soluble en agua, insoluble en los disolventes orgánicos comunes. Lo neutralizan los hidróxidos de los metales alcalinos formando una serie de sales solubles en agua. [http://ge-iic.com/index.php?option=com\\_fichast&Itemid=83&tasko=viewlso&task=view&id=10](http://ge-iic.com/index.php?option=com_fichast&Itemid=83&tasko=viewlso&task=view&id=10)

<sup>63</sup> Sal disódica del EDTA, fácilmente soluble en agua, con reacción ácida.

[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000189/docs\\_curso/lecciones/Sublecciones/sub1.7.html](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000189/docs_curso/lecciones/Sublecciones/sub1.7.html)

continúan generando cada vez que son removidas, produciendo la persistente pérdida de metal. Esta limpieza suele ser mecánica a través de productos muy finos, como paños suaves o pastas abrasivas<sup>64</sup>. Sin embargo en artefactos de excavación la corrosión se presenta como una costra dura y firme, muy difícil de extraer mediante estos procedimientos.

La remoción mecánica de la plata córnea debe ser realizada con sumo cuidado, experticia y habilidad, dado que estas costras suelen ocultar irregularidades o cavidades dentro del metal, además de tener una dureza mucho mayor que la plata, situación ante la cual es muy fácil rayar e incluso extirpar pequeños fragmentos del núcleo, por lo que una limpieza mecánica con raspadores, bisturís o micromotor podría dañar su superficie de manera irreversible. Bajo este argumento se podría justificar un método electroquímico, reduciendo las concreciones de corrosión a un polvo fino de plata fácilmente removable con una escobilla y permitiendo la aparición de la superficie original. Sin embargo cualquiera de estos tratamientos debe hacerse con sumo cuidado, bajo ampliación con microscopio estereoscópico y cesando la limpieza tan pronto como la superficie de la plata aparece.

Si fuese necesario remover los productos verdes propios de la corrosión del cobre presente en la aleación, cuando éstos son muy difíciles de extraer por medios mecánicos, es posible utilizar métodos químicos, mediante productos para disolver las sales de cobre, como el Ácido fórmico<sup>65</sup> ( $\text{H-COOH}(\text{CH}_2\text{O}_2)$ ), o el Amoniaco ( $\text{NH}_3$ ), que utilizados con discreción no atacan a la plata<sup>66</sup>.

#### **4.2.- Estabilización**

Una vez que un objeto ha sido extraído del depósito o yacimiento arqueológico en el cual fue encontrado es posible que el cambio medioambiental al

---

<sup>64</sup> Calvo, 1997.

<sup>65</sup> Ácido orgánico de un solo átomo de carbono, y por lo tanto el más simple de los ácidos orgánicos.

[http://es.wikipedia.org/wiki/Acido\\_formico](http://es.wikipedia.org/wiki/Acido_formico)

<sup>66</sup> Calvo, op. cit.

cual es expuesto le ponga en una situación de desequilibrio, reaccionando desfavorablemente si no se le procuran las medidas de conservación adecuadas en el momento oportuno. Estas medidas buscan generar en el objeto y en su nuevo medio las condiciones necesarias para que éste se estabilice y no genere nuevos focos de deterioro que pongan en peligro su integridad. Con este objetivo, es necesario extraer la totalidad de humedad presente en el objeto y su medio ambiente, idealmente dentro de las siguientes 48 horas después de la excavación<sup>67</sup>.

En el caso de objetos de cobre o aleación de cobre que presentan núcleo metálico pero que no contienen cloruros, la corrosión puede ser prevenida manteniendo un RH inferior a un 60% y evitando la contaminación con partículas de tierra, cloro y residuos relacionados con el aire acondicionado. Por el contrario, en objetos de aleación de cobre con presencia de cloruros, la HR no debe ser mayor que un 35%, manteniendo estas condiciones con la ayuda de Silica Gel<sup>68</sup> en el espacio en que el objeto sea depositado<sup>69</sup>.

Es posible contribuir a la inhibición de futuros focos de corrosión agregando químicos llamados inhibidores, los cuales pueden ser administrados en forma de película o depositados por aspersion, como vapor. Estos elementos químicos disueltos en una solución a bajas concentraciones, son pares reductores que se oxidan ellos mismos a cambio de la pieza, contribuyendo a la inactivación de la corrosión formando micropelículas químicas estables<sup>70</sup>.

Posteriormente, con el objetivo de sellar la superficie y evitar la reabsorción de humedad además del contacto con el oxígeno, es necesario cubrir el artefacto con una delgada capa de cera o laca que actúe como protección de la superficie. La aplicación de esta película protectora debe ser medida para evitar dejar la superficie con un

---

<sup>67</sup> Cronyn, 1990.

<sup>68</sup> Dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), producto sólido cuya estructura interna contiene una red de millones de poros microscópicos conectados entre sí que son capaces de atrapar y retener humedad. <http://www.cituc.cl/Silica%20Gel.html>

<sup>69</sup> Theile, 1991.

<sup>70</sup> Cronyn, op. cit.

aspecto brillante o plastificado, que modifique el aspecto del objeto e interfiera con su estudio y fotografía<sup>71</sup>.

No obstante, en objetos pequeños que contienen cloruros presentes en su costra mineral, la practica más habitual para evitar la corrosión activa y su estabilización es la aplicación de un agente inhibidor como el Benzotriazol ( $C_6H_5N_3$ ) (BTA). Las moléculas de este producto son absorbidas dentro de la cuprita e integradas dentro de la Nantokita, formando una barrera protectora ante el agua y volviendo a ésta un mineral inerte<sup>72</sup>.

La aplicación de este inhibidor es mediante la inmersión del objeto en una solución de BTA en agua o alcohol, propiciando la absorción de éste dentro de la costra hasta lo más profundo, alcanzando a la Nantokita y al corazón metálico. Este tratamiento puede ser utilizado antes de la limpieza, sin embargo cuando se presentan en la superficie erupciones que evidencian la presencia de corrosión activa por cloruros, es indispensable remover la mayor cantidad posible de estos cristales para luego aplicar el inhibidor.

Posteriormente es necesario agregar una capa de laca protectora que evite la ruptura física de la película de Benzotriazol (BTA), dado que éste es degradado por la presencia de luz UV. Lo óptimo es utilizar Incralac, laca especial que contiene BTA en su composición, además de un polímero acrílico que le otorga una gran resistencia a la luz ultravioleta<sup>73</sup>. Es posible también utilizar Paraloid B 72, polímero acrílico que presenta gran estabilidad y permanencia de las características ópticas con el envejecimiento<sup>74</sup>.

En presencia de objetos metálicos muy debilitados, es recomendable el uso de Cera microcristalina Cosmoloid H 80, la cual presenta una plasticidad excepcional y

---

<sup>71</sup> Calvo, 1997.

<sup>72</sup> Cronyn, 1990.

<sup>73</sup> Cronyn, op. cit.

<sup>74</sup> Calvo, op. cit.

una alta resistencia a la humedad, cualidades que la hacen particularmente considerable en la consolidación de objetos cuyo núcleo metálico es mínimo<sup>75</sup>.

Para la estabilización de la plata es recomendable remover los sulfuros del ambiente en que el objeto es mantenido, ya sea almacenado o en exhibición. De esta manera se evita el ennegrecimiento y se potencia la duración de su aspecto brillante por largo tiempo, con el fin de distanciar las limpiezas ya que éstas siempre resultan abrasivas. Otro método más sencillo es la aplicación de una fina capa de laca o película plástica, por ejemplo Frigilene<sup>76</sup>, con el objetivo de sellar la superficie y evitar el contacto con los sulfuros del ambiente<sup>77</sup>.

---

<sup>75</sup> Calvo, 1997.

<sup>76</sup> Laca de nitrocelulosa de secado al aire que protege la plata sin modificar el aspecto del acabado superficial. No disminuye el lustre de la plata pulida, ni da brillo a las superficies mates.

<http://www.productosdeconservacion.com/index.php?opcion=2,0>

<sup>77</sup> Calvo, op.cit.

## 5.- PROCESOS DE CONSERVACION Y RESTAURACIÓN APLICADA

### 5.1.- Placa ornamental de cobre

#### 5.1.1.- Descripción y estado general del objeto

##### Datos del objeto

1. Número de registro: 0441
2. Objeto: Placa ornamental
3. Tipo de objeto: Metal arqueológico/condiciones de entierro
4. Lugar de procedencia: Costa norte del Perú
5. Asignación Cultural: Vicus/Moche
6. Asignación corológica: Vicus Fase Tardía. Estilo Vicus/Moche. Esta pieza o placa ornamental correspondería a la fase metalúrgica del Periodo Intermedio Temprano (aprox. 0-600 AC)<sup>78</sup>, período en el cual las aleaciones de cobre no eran intencionales y momento que se sustenta principalmente en el uso de láminas.
7. Cronología: 0 - 500 d.C.
8. Técnica de datación: Por comparación.
9. Medidas: Alto: 62 mm, Ancho: 69 mm, Espesor: 0.6 mm, Peso: 11.5 grs.
10. Materias primas: Aleación de cobre
11. Colores: Negro, verde claro, verde amarillento, verde esmeralda y marrón rojizo.

---

<sup>78</sup> Rovira Llorens, 1991.

12. Descripción: Objeto laminar con parte inferior de forma semicircular, formas recortadas y pequeña perforación en su borde superior central. En el centro de su zona superior tiene la representación de un personaje mitológico visto de frente sosteniendo en ambas manos unas figuras zoomorfas. Tanto el contorno del personaje central como el de las figuras zoomorfas se encuentra calado. Del personaje se distinguen sus extremidades superiores e inferiores, su vestimenta y el rostro, en el cual resaltan sus ojos, nariz, orejas y su boca mostrando los dientes.

13. Técnica de manufactura: Esta pieza fue manufacturada inicialmente mediante la fundición del metal y formación de un lingote, el cual fue convertido en lámina mediante la técnica de laminado o batido por percusión. Posteriormente fue repujado y decorado en relieve, labrado con un cincel de embutido sobre una matriz, dando por resultado una decoración positiva por el anverso y negativa por el reverso. Su forma base fue recortada y calada mediante el uso de un cincel de corte de extremo filoso, y la perforación que presenta en su zona superior fue realizada con un punzón.

14. Uso probable: Una de las prácticas mortuorias habituales entre los Mochicas era la fabricación de máscaras funerarias con que cubrían el rostro de sus muertos. Estas máscaras solían llevar pendiendo distintas piezas metálicas ornamentales entre

las cuales era común encontrar adornos nasales y placas similares a esta<sup>79</sup>.



Esta imagen, extraída del libro “El cobre en el antiguo Perú”, es ejemplo de ello e ilustra una placa ceremonial ornamental proveniente del enterramiento de Loma Negra, acompañada de la siguiente leyenda: “Típico diseño proveniente del cementerio de loma negra. Placa ceremonial ornamental en forma de luna creciente en la parte inferior,

---

<sup>79</sup> Lapiner 1979: Fig. 360.

representando escena mitológica en la parte superior: personaje que tiene sujetos en ambas manos a dos prisioneros trofeo con sogas al cuello. Los tiene sujetos por el pelo...<sup>80</sup>.

#### 5.1.2.- Estado de conservación

El aspecto general del objeto fue documentado fotográficamente, tanto en su anverso como en su reverso (Fig. 1 y 2).

La pieza se observa íntegra salvo en el extremo derecho de la media luna, donde presenta un faltante. En su reverso presenta una inscripción con el número "441" (Fig. 3 y 4).

El objeto presenta la totalidad de su superficie cubierta por una capa extendida de costras de corrosión negra. Sobre ésta se disgregan cristales verde claro de aspecto polvoriento además de pequeños sectores con productos de corrosión de color marrón rojizo. El anverso del objeto presenta en un sector del brazo izquierdo del personaje central costras de corrosión de color verde amarillento, y en la zona inferior izquierda de la media luna un sector con desprendimiento de materia, productos de color claro y consistencia similar a la leche en polvo. Esto indicaría existencia de un foco de corrosión activa (Fig. 5). Por otra parte, el reverso del objeto presenta en la zona superior izquierda productos de corrosión verde esmeralda, de aspecto sólido y cristalino. Una gran extensión de la zona central derecha de la media luna se presenta cubierta por productos verde claro en mayor proporción y densidad que en el resto del objeto (Fig. 6).

El 5 de diciembre de 1990 el objeto fue accidentalmente sometido a ambiente desinfectante de PHOSTOXIN, producto de laboratorio DEGESCH, consistente en una mezcla de fosfuro de aluminio<sup>81</sup> + carbamato de amonio<sup>82</sup>+ parafina. Hasta esa fecha el

---

<sup>80</sup> Carcedo Muro. 1999. Fig. 51.

<sup>81</sup> Plaguicida utilizado por agricultores que al entrar en contacto con el aire libera un Gas Fosfina, que es muy tóxico para el organismo. <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=788>

<sup>82</sup> Sal del ácido carbámico que se forma a partir de dióxido de carbono seco y amoníaco gas. Muy estable pero que cambia a carbonato en solución acuosa, especialmente, cuando se hierve.

objeto presentaba su superficie completamente cubierta de productos de corrosión verdes. Su exposición al ambiente contaminante produjo el ennegrecimiento de la superficie (negro pizarra) y la formación de abundante ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) (Fig. 7 y 8). Tras este hecho accidental el objeto fue rigurosamente lavado con agua desmineralizada.

Intentando revertir los resultados de este accidente se recurrió a la asesoría de un especialista quien guió un procedimiento a cargo de Andrés Rosales. Primeramente la pieza fue sumergida en agua destilada con un sistema de ultrasonido, lo que resultó ser muy agresivo pues dejaba el metal al descubierto, por lo que no se prosiguió.

Luego se procedió a humedecer la pieza, envolverla en papel de seda sin ácido “papel japonés” y posteriormente se puso en ambiente con carbamato durante cuatro horas (se desconoce concentración). Se produjo una reacción que tiñó azul el papel (Fig. 9). Luego se extrajo el envoltorio y se lavó la pieza con agua desmineralizada. Se dejó secar a temperatura ambiente, con una HR de 40% aprox. Como resultado de este procedimiento la superficie se cubrió con cristales verde pálido y de débil fijación, capa bajo la cual el negro persistió.



*Fig. 1.- Anverso del objeto.*



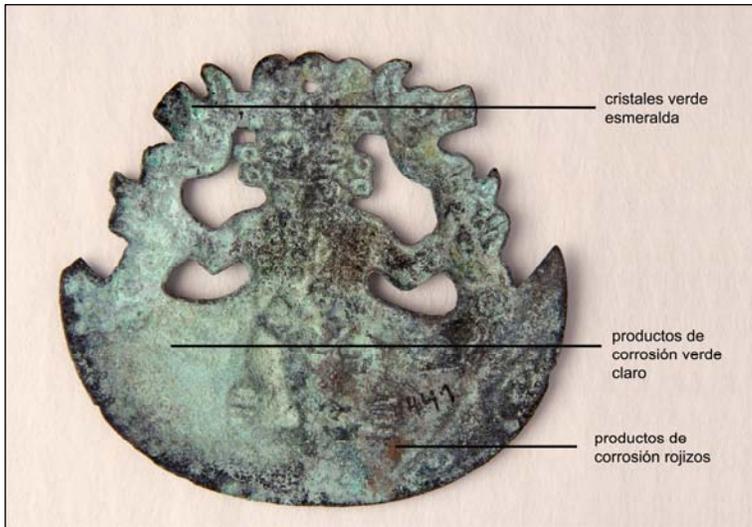
*Fig. 2.- Reverso del objeto.*



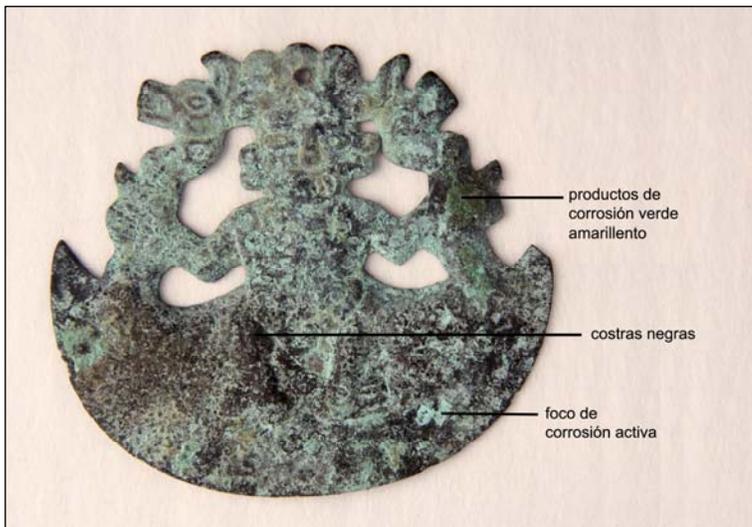
*Fig. 3.- Faltante en extremo de la media luna.*



*Fig. 4.- Inscripción en el reverso.*



*Fig. 5.- Productos de corrosión en anverso del objeto.*



*Fig. 6.- Productos de corrosión en reverso del objeto.*



*Fig. 7.- Piezas metálicas tras su contaminación accidental.*



*Fig.8.- Pieza 441 tras su contaminación con PHOSTOXIN.*



*Fig. 9.- Pieza en tratamiento sometida a ambiente con carbamato.*

### 5.1.3.- Diagnóstico y propuesta de intervención

El diagnóstico y análisis del estado particular del objeto se realizó a través de una toma radiográfica, con el fin de conocer la situación del metal tras la costra mineral. Mediante inspección visual con microscopio estereoscópico y microscopio óptico, se propuso reconocer tentativamente la naturaleza de los productos de corrosión y con microscopía electrónica de barrido se abordó la composición de

algunos de estos productos para, por una parte comprender la naturaleza de la costra negra y por otra parte identificar la posible presencia de cloruros.

La toma radiográfica realizada al objeto mostró un núcleo firme y bien conservado, sin trazas de daños mecánicos en su constitución. También fue posible apreciar una serie de detalles formales del atuendo del personaje central, su pectoral, taparrabos y tocado, además de la forma de los seres que sostiene con sus manos, decoraciones que a simple vista era muy difícil distinguir ya que los productos de corrosión las ocultaban (Fig. 10 y 11).

Al observar el objeto bajo microscopio se observó que las conformaciones cristalinas de color verde esmeralda y verde amarillento presentes en algunos puntos del objeto presentaban un aspecto firme y sólido. Esto permitió suponer que estas concreciones eran carbonatos básicos de cobre, productos estables e insolubles (Fig.12).

Por otra parte la observación de algunos puntos de color rojizo permitió suponer que estos productos serían óxido cuproso o Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), posiblemente generado como pátina natural en los sectores en los cuales el metal quedó al descubierto tras el tratamiento con sistema de ultrasonido (Fig. 13).

La costra negra extendida por casi toda la superficie del objeto se presentaba firme, sólida y opaca (Fig. 14). En un primer momento fue simple suponer que ésta estaría conformada por óxido cúprico ( $\text{CuO}$ ), sin embargo, dado que la aparición de esta capa negra fue posterior al incidente de desinfección, era necesario conocer con mayor certeza la naturaleza de ésta. Para esto el objeto fue sometido a análisis con microscopio electrónico de barrido, analizando un punto preciso en que la superficie se encontraba cubierta de esta costra (Fig. 15). El resultado arrojó la presencia de altas concentraciones de fósforo y de oxígeno, además de carbono (véase anexo I.- b1). Mediante la ayuda e interpretación de estos análisis por el Profesor Diego Morata

Céspedes<sup>83</sup> no sólo se corroboró la existencia de óxido cúprico (CuO) sino que además se identificó fosfato de cobre ( $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$ ), sal iónica insoluble<sup>84</sup>.

Finalmente, se investigaron los cristales verde claro que, además de estar presentes en el foco de corrosión activa, ya referido, se encontraban disgregados por toda la superficie del objeto. Se pudo observar la consistencia polvorienta de éstos y apreciar el modo como menudo se presentaban incrustados en la costra negra en micro agujeros (Fig. 16 y 17), lo que hacía temer la potencial aceleración y formación de más focos de corrosión activa. Para corroborar esta sospecha se analizó con microscopio electrónico de barrido un punto exacto en el cual la superficie del objeto presentaba estos cristales (Fig. 18). El resultado arrojó presencia de cloro, además de fósforo, carbono y oxígeno, lo que confirmó la suposición de la existencia de cloruro de cobre (CuCl) en el objeto (véase anexo I.- b2).

Habiendo realizado una completa documentación fotográfica del estado inicial del objeto y con los antecedentes recavados mediante análisis, fue posible desarrollar la siguiente propuesta de intervención:

El examen radiográfico realizado a la pieza dejó en evidencia que; por una parte el metal bajo la capa de corrosión se encuentra firme y por lo mismo la pieza esta capacitada para resistir un tratamiento de limpieza, y por otra parte existen en el objeto una serie de decoraciones que se pierden tras la costra mineral. Por este motivo se propuso desarrollar una limpieza mecánica que despejara finamente la superficie para rescatar por lo menos de manera parcial la decoración oculta. El procedimiento debería desarrollarse con extremo cuidado en no levantar las costras minerales insolubles de carbonatos básicos, óxidos y fosfatos, ya que éstas protegen el objeto y le confieren estabilidad, actuando como pátina o protección natural. Este mismo procedimiento de limpieza debería abocarse también a la extracción de productos de corrosión clorados, con el fin de interrumpir puntualmente los focos de corrosión activa, para posteriormente aplicar un tratamiento de estabilización con un agente inhibidor como Benzotriazol (BTA), de modo de anular potenciales contaminaciones posteriores.

---

<sup>83</sup> Doctor en Ciencias Geológicas y Profesor del departamento de Geología de la Universidad de Chile.

<sup>84</sup> <http://espanol.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080207073634AAagEEO>

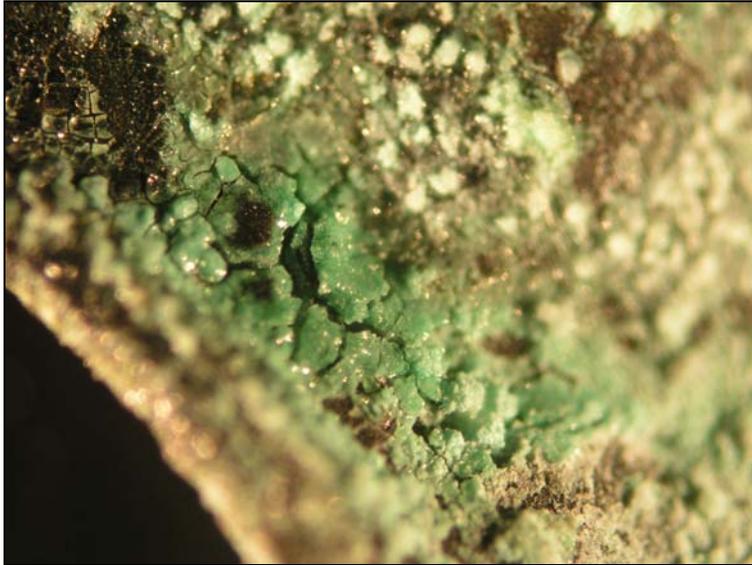
Finalmente, se planteó aplicar una película de protección acrílica con el propósito de estabilizar y consolidar los productos de corrosión que permanecieran en la superficie del objeto.



*Fig. 10.- Toma radiográfica del objeto.*



*Fig. 11.- Detalle de la toma radiográfica del objeto que permite apreciar las decoraciones reveladas por ella.*



*Fig. 12.- Fotografía digital microscópica 4x que ilustra los cristales verde esmeralda presentes en algunos puntos de la superficie del objeto.*



*Fig. 13.- Fotografía digital microscopio 4x que ilustra un punto de la superficie del objeto cubierta por pátina natural de cuprita.*



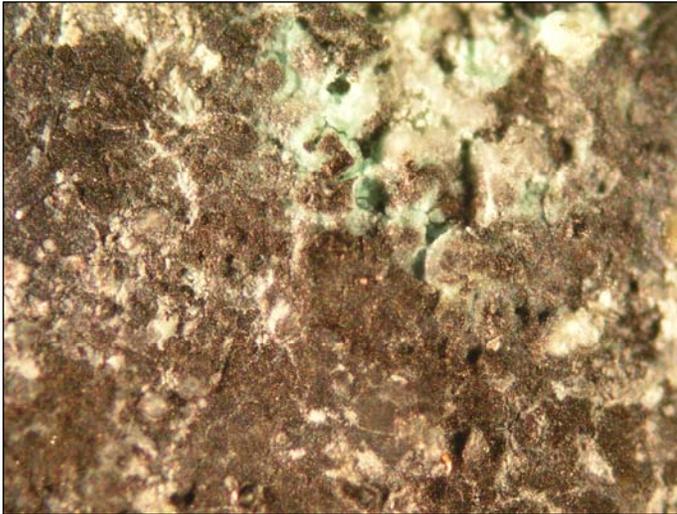
*Fig. 14.- Fotografía digital microscopio 4x que ilustra la costra negra que cubre la mayor parte de la superficie del objeto.*



*Fig. 15.- Punto del objeto utilizado para análisis de microscopía electrónica de barrido con el fin de identificar la conformación de la costra negra.*



*Fig. 16.- Fotografía digital microscopio 4x que ilustra la consistencia polvorienta de los cloruros presentes en la superficie del objeto.*



*Fig. 17.- Fotografía digital microscopio 4x que ilustra los cloruros incrustados en la costra negra que evidencian pequeños focos de corrosión activa.*



*Fig. 18.- Punto del objeto utilizado para análisis de microscopía electrónica de barrido con el fin de corroborar la presencia de cloruros.*

#### 5.1.4.- Restauración aplicada

Para desarrollar las labores de limpieza, se fabricó una “cama” de Ethafoam<sup>85</sup> tallada especialmente según la anatomía de la pieza con el fin de sostenerla firme pero cuidadosamente.

Primeramente se extrajeron los productos de corrosión de los focos activos utilizando un raspador metálico<sup>86</sup>, cuidando de eliminar el polvo con la ayuda de una pera de aire (Fig. 19 y 20). Posteriormente se barrió toda la superficie del objeto con pincel de fibra de vidrio, con el cual fue posible remover gran cantidad de cristales cloruros, intentando no levantar la costra de protección. Sin embargo a medida que se iba desarrollando el proceso, se fueron revelando puntos en los cuales pese a verse cubiertos por la capa o costra negra, tenían focos internos de corrosión por cloruros, los cuales se exfoliaron con facilidad al paso del pincel, dejando el metal a la vista (Fig. 21 y 22). Los sectores que aún se encontraban estables tras la pátina resistieron la limpieza, permitiendo dejar entrever las decoraciones ocultas (Fig. 23 y 24). Todo el procedimiento fue ejecutado con ampliación 6,4x con Microscopio estereoscópico.

Una vez terminado el proceso de limpieza mecánica, se procedió a limpiar la superficie con tómulas humedecidas en una solución de Agua desmineralizada con Alcohol etanol ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ ) al 50%.

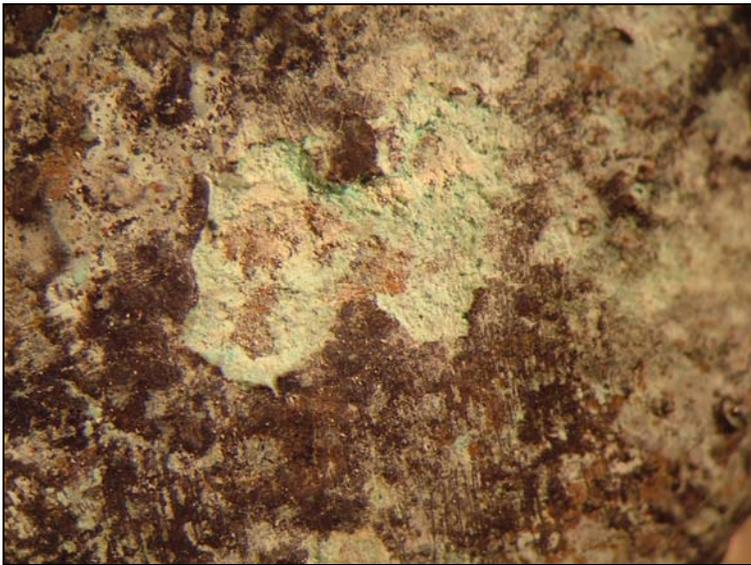
La aplicación del agente inhibidor se ejecutó manteniendo el objeto inmerso en una solución de Benzotriazol (BTA) al 3% en Alcohol metílico ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) por un período de 3 hrs. Una vez extraído el objeto de la solución de Benzotriazol (BTA), se expuso a secado ubicándolo sobre un papel sin ácido bajo luz infrarroja 150 w durante 3 horas, a una temperatura de 40°C aprox.

---

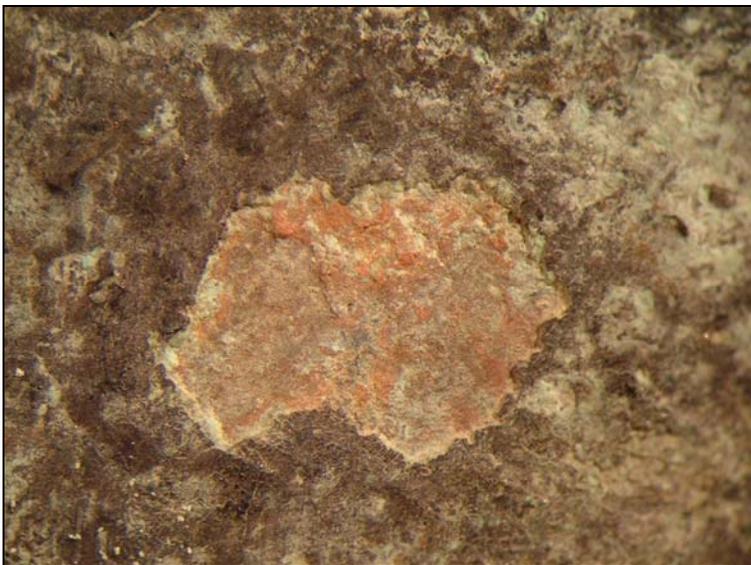
<sup>85</sup> Plancha de polietileno semi rígido, compactado y estabilizado. [http://www.stem-museos.com/productos\\_item.asp?seccion=30&cont=2364](http://www.stem-museos.com/productos_item.asp?seccion=30&cont=2364)

<sup>86</sup> Instrumento preparado especialmente a partir de una aguja gruesa de acero, esmerilada formando una punta espatulada y filosa con bordes redondeados. Con ésta es posible levantar suavemente los minerales sin rayar la superficie metálica.

Finalmente, cuando el objeto estuvo totalmente seco, se le agregaron dos manos de una película de protección de Paraloid B72 al 5% en Acetona ( $\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$ ), con pincel y con una diferencia de 8 horas entre la primera y la segunda capa.



*Fig. 19.- Foco de corrosión activa por cloruros hidratados. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 20.- Foco de corrosión extraída. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 21.- Sector del objeto antes de ser barrido con pincel de fibra de vidrio. Apparently no presenta focos de corrosión activa. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 22.- Sector del objeto después de ser barrido con pincel de fibra de vidrio. Los sectores que presentaban focos ocultos de corrosión activa exfoliaron dejando el metal a la vista. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 23.- Sector del objeto antes de la limpieza. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 24.- Sector del objeto después de la limpieza. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*

## **5.2.- Tumi o cuchillo ceremonial de cobre**

### 5.2.1.- Descripción y estado general del objeto

#### Datos del objeto

1. Número de registro: 3299
2. Objeto: Tumi o cuchillo ceremonial.
3. Tipo de objeto: Metal arqueológico/condiciones de entierro.
4. Lugar de procedencia: Costa norte del Perú.
5. Asignación Cultural: Chimú
6. Asignación corológica: Período intermedio tardío. Esta pieza pertenecería a la fase metalúrgica del Periodo Intermedio Tardío (aprox. 650-1570 DC)<sup>87</sup>, periodo en el cual ya existía un manejo metalúrgico de aleaciones de cobre intencionales y las técnicas de fundición evolucionaron hacia vaciados cada vez mas complejos.
7. Cronología: 1100 – 1470 d. C.
8. Técnica de datación: Por comparación.
9. Medidas: Alto: 84 mm, Ancho: 50 mm, Espesor: 18 mm. Peso: 35.2 grs
10. Materias primas: Aleación de cobre
11. Colores: Superficie cubierta por concreciones verde oscuro, verde esmeralda, verde claro, rojo, marrón anaranjado y marrón claro.
12. Descripción: Pequeño cuchillo de mango corto laminar que termina en una hoja de media luna. En la parte superior del mango hay una figura humana, maciza, vista de cuerpo entero. Está de pie con los brazos a los lados y orientados hacia arriba,

---

<sup>87</sup> Rovira Llorens, 1991.

sosteniendo entre las manos un instrumento en posición horizontal y afirmado en la parte posterior del cuello. El personaje lleva algún tipo de implemento acordonado amarrado por sobre el hombro derecho, colgando sobre su cuerpo y pasando bajo su brazo izquierdo, además de una especie de taparrabo trapezoidal.

13. Técnica de manufactura: El objeto fue manufacturado con una combinación sucesiva de técnicas, fundición a la cera perdida primeramente y laminado posterior. La figura habría estado inicialmente modelada en cera, conformando la figurilla humana superior unida a un volumen macizo inferior. Este modelo habría sido depositado en el interior de un molde de arcilla húmeda, probablemente compuesto por dos o mas partes, el que luego habría sido expuesto a calor, secando y endureciendo la arcilla y disolviendo la cera atrapada en su interior, esto con el fin dejar el espacio vacío para después ser llenado con metal. Posteriormente se habría vaciado el metal fundido en estado líquido en el interior del molde, para luego romperlo y extraer de él una copia exacta pero irrepetible de la figura inicial, generada por el metal al enfriar y solidificar. El lingote o volumen inferior, habría sido convertido en la hoja del cuchillo mediante laminado por martillado, intercalando procesos de recristalización por recocido, consiguiendo paulatinamente los espesores y la forma de media luna que le caracterizan.

14. Uso probable: Estos cuchillos eran comunes la cultura Chimú de la costa norte del Perú, sin embargo los Tumis más ceremoniales eran



los que llevaban en la parte superior de la media luna la representación de una figura humana mitológica o de animales solos o en parejas<sup>88</sup>. Friedrich Mayer, en su libro “Armas y herramientas de metal prehispánico en Perú” muestra algunos especímenes similares denominándolos “formas diversas”<sup>89</sup> y señala que por las figurillas elaboradas en el extremo del mango se podría argumentar estilo Chimú.

<sup>88</sup> Carcedo Muro, 1999.

<sup>89</sup> Friedrich 1998, Fig. 239.

Esta imagen extraída del libro “El arte del cobre en el mundo andino” editado por el Museo Chileno de Arte Precolombino, ilustra un Tumi de origen Chimú, similar a la pieza en estudio. Éste también proviene de la Colección Mayrock, y pertenece actualmente al Museo.

#### 5.2.2.- Estado de conservación

El aspecto general del objeto fue documentado fotográficamente, tanto en su anverso como en su reverso (Fig. 1 y 2).

El objeto se encuentra en estado regular a malo. La hoja presenta al menos cuatro líneas de doblez, y tiene faltantes en los extremos, borde y centro de la hoja (Fig. 3 y 4). En su reverso presenta una inscripción con el número “3299”, con tinta negra sobre un fondo de pintura blanca (Fig. 5).

Luce tierra adherida en algunos sectores de la figurilla superior, la cual se encuentra completamente recubierta por costras minerales de diversos colores y consistencias, siendo una serie de focos de corrosión profunda en diversos puntos de sus brazos los que generan mayor preocupación, dado que presentan exfoliación y pérdida de materia, lo cual indicaría presencia de cloruros (Fig. 6 y 7).

El anverso de la hoja tiene productos de corrosión verde oscuro y verde esmeralda, mezclado con manchas de un producto de aspecto terroso de color marrón claro (Fig. 8). En los sectores aledaños a las fisuras y faltantes, en capas visibles a mayor profundidad, hay zonas recubiertas de óxidos rojizos y marrón anaranjado, coexistiendo con productos de corrosión de color verde claro, los que se presentan en capas de distintos niveles de profundidad y con una consistencia polvorienta (Fig. 9). Subiendo por la hoja hacia la zona media del objeto, se presentan productos de corrosión de colorido y consistencia similares a los existentes en la hoja, pero con disminución de productos de color verde claro.

El reverso de la hoja y su zona media presentan productos de corrosión similares a los descritos en el anverso y en una distribución similar. Llama la atención la existencia de un producto blanquecino y polvoriento presente en la zona superior derecha de la media luna, que aparentemente no se presenta en ningún otro sector del objeto (Fig. 10).

La pieza no presenta intervenciones anteriores.



*Fig. 1 y 2.- Anverso y reverso del objeto.*



Fig. 3 y 4.- Deterioros, fisuras y faltantes en la hoja del objeto.



Fig. 5.- Inscripción en el reverso del objeto



Fig. 6 y 7.- Zonas con focos de corrosión aparentemente activas en la figura superior.



Fig. 8 y 9.- Productos de corrosión presentes en la hoja del cuchillo.



*Fig. 10.- Presencia de producto blanquecino en el reverso del objeto, extremo superior de la media luna.*

### 5.2.3.- Diagnóstico y propuesta de intervención

El diagnóstico y análisis del estado general del objeto se realizó a través de toma radiográfica, con el fin de constatar la situación del metal tras la costra mineral, principalmente en las áreas fisuradas. Mediante inspección visual con microscopio estereoscópico y microscopio óptico, se propuso reconocer tentativamente la naturaleza de los productos de corrosión y con microscopía electrónica de barrido se abordó, por una parte la composición del producto blanquecino presente en el reverso del objeto y por otra parte la confirmación de la presencia de cloruros.

La toma radiográfica realizada al objeto mostró, en la figurilla superior un núcleo sin trazas de daños mecánicos, firme y bien conservado en su constitución, salvo en el brazo derecho, en el cual es posible apreciar la pérdida de materia que evidenciaría que la corrosión activa allí estaría atacando al metal de manera agresiva (Fig. 11). Por otro lado, dado el estado que a simple vista se puede apreciar de la hoja del cuchillo,

las dudas apuntaban a si existía aún metal en los puntos más frágiles de la lámina, o si ésta se mantenía unida solamente por los productos minerales que le cubrían. La observación de la toma radiográfica permitió constatar que la hoja se encuentra muy debilitada, con zonas en las que la densidad del material es mínima, asumiendo que probablemente éstas se encuentran casi totalmente mineralizadas (Fig.12).

A través de observación microscópica, se investigaron primeramente los cristales verde claro presentes en los focos de corrosión activa en la figurilla superior, pudiendo observar la consistencia polvorienta de estos (Fig. 13) y apreciar el modo como se presentaban atravesando capas profundas de la costra de corrosión llegando hasta el núcleo metálico (Fig. 14 a y b), tal cual evidenció la toma radiográfica. La consistencia y el color claro de estos productos patentizaron aún más la presencia de cloruros hidratados y activos, generando la llamada enfermedad del bronce.

Luego, bajo observación microscópica, se inspeccionaron las características físicas de las fisuras más expuestas, pudiendo observar el material profundamente agrietado y delicado en torno a las fracturas (Fig. 15), quedando en evidencia el extremo cuidado con que es necesario proceder en su manipulación. No existen antecedentes que indiquen si este objeto habría sido encontrado en estas condiciones de deterioro físico al momento de su extracción o si éste se habría producido con posterioridad al hallazgo, sin embargo es posible suponer que la hoja del objeto se hubiera visto extremadamente fragilizada por la corrosión y hubiera cedido a un aplastamiento desfigurándose y perdiendo metal en algunas zonas, sobre todo teniendo en consideración el hecho de que la lámina del cuchillo, dadas las características de su manufactura, ya era propensa a la generación de corrosión por su estructura microcristalina interna<sup>90</sup> y por su delgadez en relación al resto del objeto. También es posible que el aplastamiento, de haber ocurrido en condiciones de entierro, pudiera ser consecuencia de movimientos de suelos, ya sea por fenómenos naturales o por acción externa, incluso en el proceso de extracción al momento del hallazgo.

---

<sup>90</sup> Asumiendo que la hoja hubiera sido realizada por laminado posterior, las características intercristales de esta zona del objeto probablemente sean muy distintas a las del resto del cuerpo. Esto condicionaría una fragilidad mecánica y con ello una propensión a generar corrosión. Sin embargo esto es comprobable solamente con análisis destructivos a través de muestras que no es posible extraer del objeto.

Al observar el objeto bajo microscopio se observó que las conformaciones cristalinas de color verde oscuro y verde esmeralda presentes en gran parte del objeto presentaban un aspecto firme, sólido y cristalino, lo que permitió suponer que estas concreciones se tratarían de carbonatos básicos de cobre, productos estables e insolubles (Fig. 16).

Por otra parte la observación de sectores de color marrón anaranjado y rojizo permitió suponer que estos productos serían óxido cuproso o Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) (Fig. 17), generado como pátina natural en gran parte de la superficie del objeto y particularmente en los sectores en los cuales el metal pareciera haberse exfoliado al ocurrir el deterioro físico del cuchillo.

La observación microscópica de los productos blanquecinos presentes en el reverso del objeto, en el extremo superior derecho de la media luna, mostró un producto polvoriento, fino y con poca fijación (Fig. 18), sin embargo dado que en la literatura referida a los productos de corrosión propios del cobre no se había encontrado ninguna descripción que se asemejara a éstos, se le practicó análisis de microscopía electrónica de barrido a este producto, utilizando como muestra un punto específico del sector afectado (Fig. 19). Los resultados indicaron la presencia de pequeñas dosis de fósforo, calcio, aluminio, potasio y hierro, además de carbono, cloro y oxígeno (véase anexo I.- b3). Nuevamente con la ayuda del Profesor Diego Morata Céspedes fue posible interpretar estos análisis, concluyendo que la interacción de estos elementos podría haber formado distintos compuestos coexistentes. Por una parte fosfato de aluminio+cobre o Turquesa ( $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), producto insoluble y originado por un fenómeno de alteración e hidratación ocurrido en presencia de fósforo, aluminio y cobre, pudiendo este último ser reemplazado por hierro<sup>91</sup>. Por otra parte fosfato cálcico ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), compuesto exógeno producto de la interacción con huesos animales o humanos o con guano presente en el entorno. También cloruro potásico ( $\text{KCl}$ )<sup>92</sup>, producto exógeno presente en agua salada y que actúa como fertilizante natural. A raíz de estas observaciones fue posible concluir que los dos primeros compuestos presentes en esta muestra serían, por una parte el mineral de

---

<sup>91</sup> [http://www.pedrobueno.com/ppreciosas/piedras\\_preciosas\\_la\\_turquesa.htm](http://www.pedrobueno.com/ppreciosas/piedras_preciosas_la_turquesa.htm)

<sup>92</sup> Haluro metálico soluble. [http://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro\\_de\\_potasio](http://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro_de_potasio)

turquesa consecuencia de la interacción del material constitutivo con elementos externos presentes en la tierra del entorno y por otra parte el fosfato cálcico, material externo adherido al objeto. Ambos productos estables que no representarían riesgo para el objeto. Sin embargo el tercero, cloruro potásico, sería un factor de deterioro para el objeto ya que es un producto soluble.

Finalmente se observaron los cristales verdes existentes en torno a las fisuras de la hoja, temiendo que éstos fueran cristales de corrosión activa, dada la naturaleza clara y polvorienta de éstos. En las imágenes fue posible apreciar que en estos focos de corrosión coexistían cristales verde claro con cristales verde esmeralda (Fig. 20), sospechando allí una mezcla de carbonatos básicos de cobre y cloruros. Para despejar esta duda el objeto fue sometido a análisis con microscopio electrónico de barrido, analizando un punto preciso en que la hoja se encontraba cubierta de estos productos (Fig. 21). El resultado arrojó la presencia de altas concentraciones de cloro presentes en la muestra, además de carbono y oxígeno (véase anexo I.- b4). Mediante la ayuda e interpretación de estos análisis por el Profesor Diego Morata Céspedes se corroboró la existencia de cloruros de cobre además de carbonatos básicos de cobre.

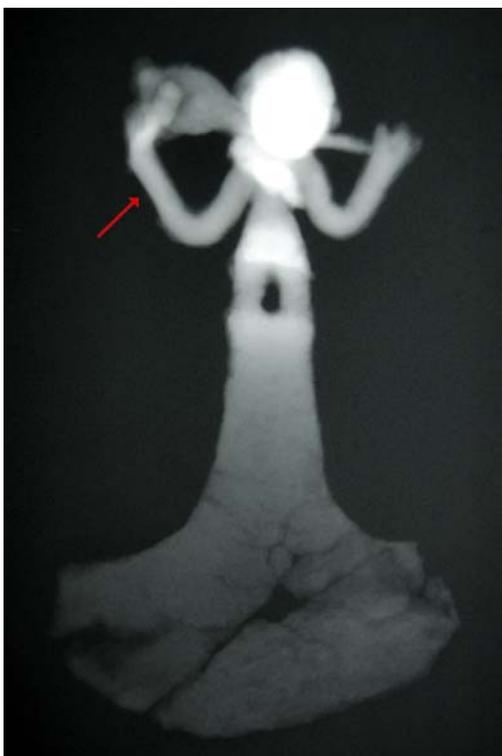
Habiendo realizado una completa documentación fotográfica del estado inicial del objeto y con los antecedentes recavados mediante análisis, fue posible desarrollar la siguiente propuesta de intervención:

Dado que la toma radiográfica realizada al objeto mostró que la hoja se encuentra muy debilitada y con zonas de muy baja densidad material, una intervención de limpieza debería ejecutarse bajo condiciones de delicadeza y cuidado especiales, procurando que la pieza se viera lo menos forzada posible a resistir un tratamiento mecánico muy agresivo. Por lo mismo, una primera propuesta iba enfocada a generar para este objeto un sistema de soporte que se ajustara a la anatomía precisa del objeto, de tal manera que en el trabajo de limpieza se pudieran usar pinceles y raspadores, mientras que al mismo tiempo el objeto fuera lo menos manipulado y estresado posible.

La limpieza estaría dirigida específicamente a extraer los cristales de los focos de corrosión activa y los productos exógenos adheridos al objeto, esto es la tierra adherida en la superficie e intersticios del objeto además de los fosfatos cálcicos y cloruros de potasio. El procedimiento se desarrollaría con extremo cuidado de no levantar las costras minerales insolubles de carbonatos básicos y óxidos, ya que éstas protegen el objeto y le confieren estabilidad, actuando como pátina o protección natural. También se propone extraer la inscripción presente en el reverso del objeto, ya que constituye un elemento demasiado llamativo visualmente, que entorpece la legibilidad estética de la pieza.

Posteriormente se aplicaría un tratamiento de estabilización con agente inhibidor Benzotriazol (BTA), anulando potenciales contaminaciones posteriores.

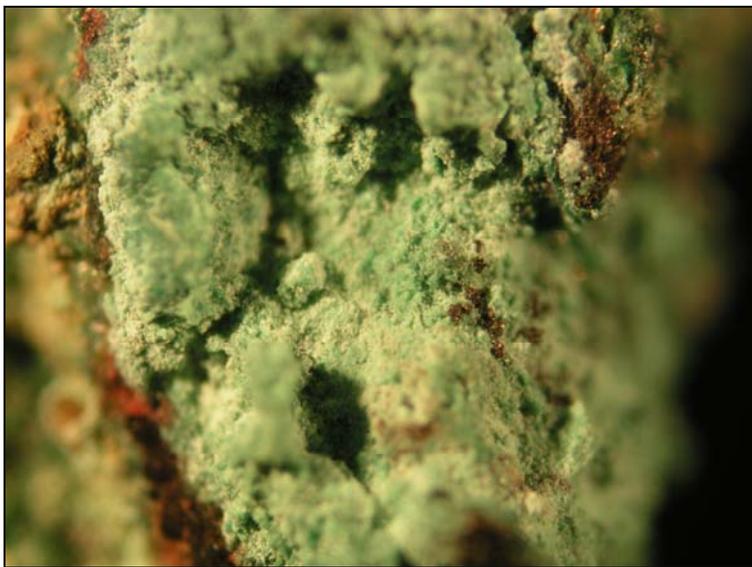
Finalmente, se aplicaría una película de protección acrílica con el propósito de estabilizar y consolidar los productos de corrosión que permanezcan en la superficie del objeto.



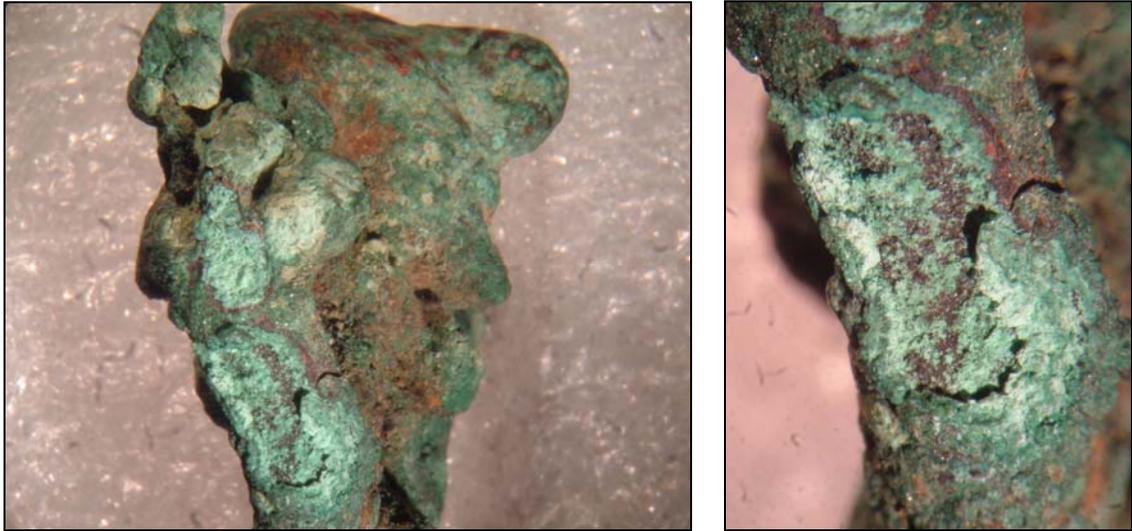
*Fig. 11.- Toma radiográfica del objeto, con un indicativo del sector del brazo que presenta pérdida de material.*



*Fig. 12.- Detalle de la toma radiográfica del objeto que permite apreciar el precario estado del metal tras la costra de corrosión en la hoja del cuchillo.*



*Fig. 13.- Imagen que ilustra los productos de corrosión activa presentes en la figurilla del objeto. Fotografía digital microscopio estereoscópico 40x.*



*Fig. 14 a y b.- Imagen que ilustra la profundidad con que los cloruros se encuentran presentes en el focos de corrosión activa en el brazo de la figura superior. Fotografía digital microscopio estereoscópico 6,4x y 16x.*



*Fig. 15.- Fotografía digital microscopio 4x que ilustra una pequeña fracción de una de las fisuras de la hoja del cuchillo en su anverso.*



*Fig. 16.- Fotografía digital microscopio 4x que ilustra los cristales verde oscuro y esmeralda presentes en algunos puntos de la superficie del objeto.*



*Fig. 17.- Fotografía digital microscopio 4x que ilustra un punto de la superficie del objeto cubierta por pátina natural de cuprita.*



*Fig. 18.- Fotografía digital microscopio 4x que ilustra los productos de aspecto blanquecino ubicados en un sector de la hoja del objeto.*



*Fig. 19.- Punto del objeto utilizado para análisis de microscopía electrónica de barrido con el fin de conocer la composición de los productos blanquecinos presentes en este sector.*



*Fig. 20.- Fotografía digital microscopio 10x que ilustra la coexistencia de cristales cloruro con cristales de carbonato básico de cobre*



*Fig. 21.- Punto del objeto utilizado para análisis de microscopía electrónica de barrido con el fin de identificar la conformación de la corrosión presente en ese sector de la hoja.*

#### 5.2.4.- Restauración aplicada

Para desarrollar las labores de limpieza con el cuidado y precaución definido, se fabricó una “cama” o molde especial de caucho silicona, material que se manipula en estado líquido espeso y que solidifica en poco tiempo manteniendo una blandura relativa suficiente para resistir sin ceder a la presión ejecutada sobre el objeto al usar raspadores, pero sin generar abrasión por roce.

Para fabricar el molde se elaboró una pequeña caja de plástico sobre la cual se vació el caucho silicona en estado líquido (Fig. 22). Luego se cubrió sin presionar la mezcla, con una película plástica, depositando el objeto sobre ella y permitiendo que éste se “hundiera” en el líquido espeso. Posteriormente se permitió que la mezcla solidificara con el objeto puesto. Este procedimiento se ejecutó primeramente para generar el negativo del anverso de la pieza, y se repitió después para hacer el negativo del reverso de del objeto (Fig. 23). De esta manera se contó con dos “camas” o moldes que cumplían con los requisitos anteriormente expuestos. No obstante, como se desconoce el nivel de inercia del caucho silicona, se trabajó con este material cubierto con film plástico para aislar el objeto del contacto directo con él (Fig. 24).

Al ejecutar la limpieza, primeramente se extrajeron los productos de corrosión de los focos activos utilizando un raspador metálico, cuidando de eliminar el polvo con la ayuda de una pera de aire (Fig. 25, 26, 27 y 28). Posteriormente, con el mismo raspador se removieron la tierra y los productos de corrosión de débil fijación, el fosfato cálcico y cloruro de potasio entre ellos, intentando no levantar la costra de protección (Fig. 29 y 30). En general la costra mineral tras estos productos extraídos se encontraba firme y estable, motivo por el cual el objeto no sufrió exfoliación ni el metal quedó a la vista en ningún momento. Posteriormente se extrajo la inscripción, levantando la pintura al principio con un palito de madera tallado como espátula, y luego, las zonas más rebeldes, con raspador metálico (Fig. 31 y 32). Todo el procedimiento de limpieza fue ejecutado con ampliación 6,4x con microscopio estereoscópico.

Una vez terminado el proceso de limpieza mecánica, se procedió a limpiar la superficie con tómulas humedecidas en una solución de Agua desmineralizada y Alcohol etanol ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ ) al 50%.

La aplicación del agente inhibidor se ejecutó manteniendo el objeto inmerso en una solución de Benzotriazol (BTA) al 3% en Alcohol metílico ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) por un período de 3 hrs. Una vez extraído el objeto de la solución de Benzotriazol (BTA), se expuso a secado ubicándolo sobre un papel sin ácido bajo luz infrarroja 150 w durante 3 horas, a una temperatura de 40°C aprox.

Finalmente, cuando el objeto estuvo totalmente seco, se le agregaron dos manos de una película de protección de Paraloid B72 al 5% en Acetona ( $\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$ ), con pincel y con una diferencia de 8 horas entre la primera y la segunda capa.



*Fig. 22.- Mezcla de caucho silicona en estado líquido, recién vaciado en la caja para el molde.*



*Fig. 23.- Molde fraguado y solidificado junto al otro molde, en proceso.*



*Fig. 24.- Objeto depositado sobre el molde, protegido por una película plástica.*



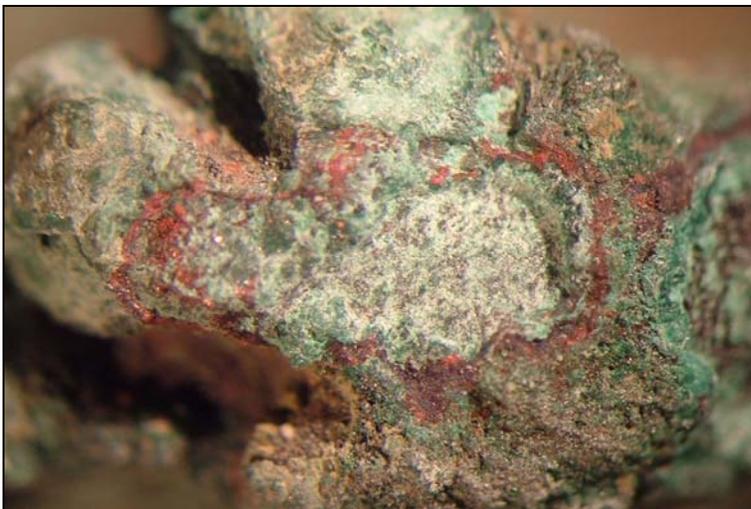
*Fig. 25.- Punto de corrosión activa por cloruros de cobre hidratados. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 26.- Punto de corrosión extraída. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 27.- Punto de corrosión activa por cloruros de cobre hidratados. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 28.- Punto de corrosión extraída. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 29.- Sector del objeto cubierto por productos de fosfato cálcico y cloruro de potasio. Fotografía digital microscopio estereoscópico 6,4x.*



*Fig. 30.- Sector sin los productos extraídos. Fotografía digital microscopio estereoscópico 6,4x.*



*Fig. 31.- Inscripción antes de la limpieza. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 32.- Inscripción después de la limpieza. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*

### **5.3.- Topu o alfiler de plata**

#### 5.3.1.- Descripción y estado general del objeto

##### Datos del objeto

1. Número de registro: 3309
2. Objeto: Topu o prendedor alfiler.
3. Tipo de objeto: Metal arqueológico/condiciones de entierro.
4. Lugar de procedencia: Costa norte del Perú.
5. Asignación Cultural: Chimú
6. Asignación corológica: Período intermedio tardío. Esta pieza pertenecería a la fase metalúrgica del Periodo Intermedio Tardío (aprox. 650-1570 DC)<sup>93</sup>, periodo en el cual ya existía dominio de aleaciones intencionales y las técnicas de fundición evolucionaron hacia vaciados cada vez mas complejos.
7. Cronología: 1100 – 1470 d. C.
8. Técnica de datación: Por comparación.
9. Medidas: Alto 215 mm, Ancho 27 mm, Espesor 11 mm, Peso: 44.1 grs.
10. Materias primas: Aleación de plata
11. Colores: Corrosión de color gris oscuro, marrón oscuro, verde oscuro y blanco.
12. Descripción: Alfiler compuesto de un largo cuerpo de sección circular y terminado en punta. En el extremo contrario presenta decoración consistente en un aro de borde exterior dentado y de doble reborde. Dentro del aro existen un par de aves gemelas dispuestas una al lado de la otra, vistas de cuerpo entero, de perfil y de largo

---

<sup>93</sup> Rovira Llorens, 1991.

pico ligeramente curvo. En la parte superior del aro sale una figura romboidal escalonada que recuerda la esquematización de un pez, que también se observan en los textiles de estas culturas<sup>94</sup>. Los ojos del pez corresponden a dos pequeñas cabecitas de felinos que miran de frente. En el vértice interior y superior del cuerpo hay una pequeña argolla. La cola del supuesto pez tiene forma trapezoidal invertida y parece haber tenido líneas paralelas en sobre relieve.

13. Técnica de manufactura: Este objeto fue fabricado con la técnica de fundición a la cera perdida. Inicialmente modelado en cera, habría sido revestido de arcilla con el fin de conformar un molde firme y seco. Éste habría sido sometido a calor con el fin de derretir y eliminar la cera atrapada en el interior, para permitir que posteriormente el hueco dejado en el molde fuera llenado con metal fundido en estado líquido. Así, una vez solidificado el metal, se habría roto el molde, extrayendo de su interior la pieza original e irrepetible conformada por la figura superior y la aguja inferior en un mismo vaciado.

14. Uso probable: El Topu o prendedor alfiler es un tradicional y simbólico ornamento andino usado por las mujeres para sujetar y adornar sus atuendos<sup>95</sup>. Éstos solían ser planos de forma circular o en perfil de abanico, sin embargo ocasionalmente podían llevar figuras macizas en su parte superior, normalmente representando aves u otros animales<sup>96</sup>.

Ejemplo de esto es esta imagen extraída del libro “El arte del cobre en el mundo andino” editado por el Museo Chileno de Arte Precolombino, donde se ilustra un prendedor de plata perteneciente a la colección del museo y que se asemeja al alfiler en estudio.



<sup>94</sup> Información extraída de la ficha de registro del Museo Chileno de Arte Precolombino, confeccionada por la especialista Varnia Varela.

<sup>95</sup> Dreyer Costa, 1994.

<sup>96</sup> Carcedo Muro, 1999.

### 5.3.2.- Estado de conservación

El aspecto general del objeto fue documentado fotográficamente, tanto en su anverso como en su reverso (Fig. 1 y 2).

El objeto presenta su superficie casi totalmente recubierta de costra mineral, a excepción de la parte media de la aguja y un sector en la superficie de la decoración trapezoidal superior, donde el metal se encuentra cubierto por una tenue pátina negra y con huellas de haber sido limado (Fig. 3). En la figura superior, en ambos lados, los ojos del ave se presentan brillantes, desprovistos de pátina protectora (Fig. 4). En la zona media de la aguja presenta una inscripción "3309" con lápiz de tinta negra. Esta inscripción es muy poco perceptible a simple vista (Fig. 5).

La superficie de las decoraciones superiores, tanto en su anverso como en su reverso, presentan duras concreciones de color gris y marrón oscuro. Entremezclados con estos revestimientos se presentan productos de corrosión verde esmeralda de apariencia cristalina, además de depósitos de color blanco (Fig. 6). La aguja presenta sólidas concreciones de color gris y marrón oscuro con incrustaciones de color verde esmeralda, aumentando la presencia de sedimentos de color blanco a partir del tercio inferior de la aguja hacia su extremo final. Las costras de corrosión de la aguja deforman notoriamente la forma de ésta, restándole cualidades estéticas (Fig. 7).

La existencia de sectores desprovistos de costra mineral deja entrever que el objeto fue limpiado parcialmente en algunos sectores con métodos mecánicos, sin embargo esto habría sucedido antes de que esta pieza fuera donada al Museo Chileno de Arte Precolombino, pero no se tienen antecedentes de esta intervención.



*Fig. 1 y 2.- Anverso y reverso del objeto.*



Fig. 3 y 4.- Zonas desprovistas de costra mineral, brillantes o con trazas de haber sido limadas.

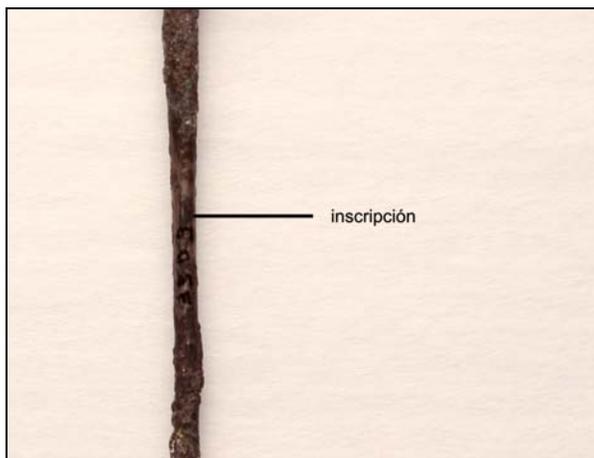
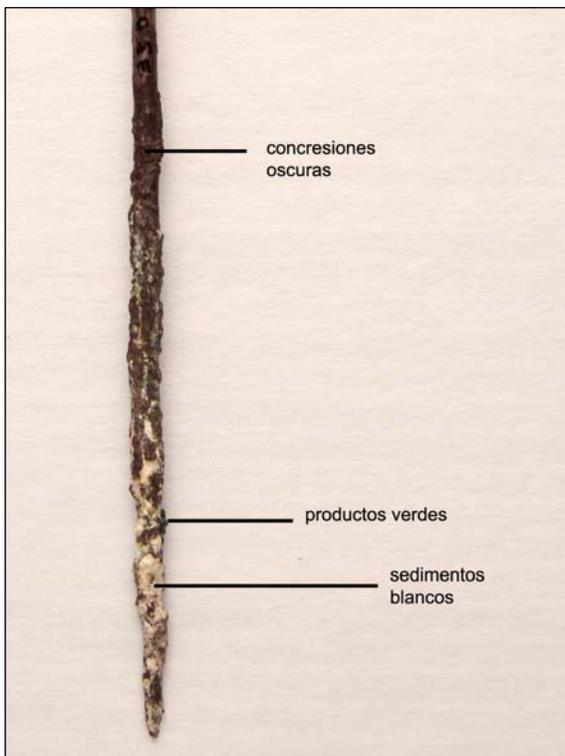


Fig. 5.- Inscripción en la zona media de la aguja.



*Fig. 6.- Productos de corrosión en la zona superior del objeto.*



*Fig.7.- Concreciones y sedimentos que deforman ostensiblemente la aguja.*

### 5.3.3.- Diagnóstico y propuesta de intervención

El diagnóstico y análisis del estado general del objeto se realizó a través de una toma de gammagrafía industrial, con el fin de distinguir la profundidad de la costra mineral y las características anatómicas del núcleo metálico tras estas concreciones. Mediante inspección visual con microscopio estereoscópico y microscopio óptico, se propuso reconocer tentativamente la naturaleza de los productos de corrosión y con microscopía electrónica de barrido se estudió la composición de algunos de estos productos, particularmente las concreciones oscuras presentes en gran parte del objeto, los cristales verdes presentes en algunas zonas del cuerpo del ave y los productos blancos presentes en la aguja.

Las imágenes resultantes de la gammagrafía realizada a este objeto, permitieron constatar que el estado del metal tras las capas de corrosión era en general bueno, el núcleo metálico se encontraba firme y sin debilitamientos (Fig. 8). Sin embargo, a raíz de que una de las características de la corrosión en la plata es que ésta genera cavidades o porosidades tras la costra, existían dudas acerca del estado interno del metal tras las concreciones, particularmente en el borde exterior dentado de la cabeza de la aguja y en la aguja misma. En relación a esta misma, la imagen captada permitió tener una idea del volumen y profundidad de los productos de corrosión en este sector, y aunque no fue suficientemente nítida como para apreciar claramente las condiciones de uniformidad de la superficie original del objeto, permitió observar que el metal se presentaba con un aspecto carcomido (Fig. 9). Por otra parte, fue posible ver que el objeto, en su extremo superior, presentaba una serie de decoraciones incisas que en el objeto no se apreciaban a simple vista ya que se encontraban cubiertas tras la capa mineral (Fig. 10).

La observación microscópica de las zonas brillantes del objeto permitió observar abrasiones que habrían resultado del contacto directo y consecuente roce con los materiales de embalaje en su manipulación y transporte, suponiendo que la pátina de sulfuro de plata en estos puntos habría sido muy débil, motivo por el cual fue gradualmente removida por este tipo de materiales (Fig. 11). Las zonas con rastros de

uso de lima habrían sido raspadas con el objetivo de remover la gruesa costra mineral y dejar a la vista el material constitutivo del alfiler (Fig. 12).

La existencia de cristales de color verde en variados sectores del objeto hacía suponer la presencia de cobre en la aleación de plata (Fig. 13). Con el fin de corroborar esta hipótesis se realizó análisis de microscopía electrónica de barrido a una pequeña muestra de estos productos extraída de la zona media de la decoración superior (Fig. 14). El resultado de este examen arrojó la presencia de cobre en un porcentaje cercano al 2,5%, pudiendo suponer que estaríamos en presencia de una aleación de plata con un pequeño porcentaje de cobre (véase anexo I.- b5). Con la ayuda del Profesor Diego Morata Céspedes fue posible comprender que la presencia de carbono, oxígeno, azufre y cloro en la muestra probablemente determinarían la presencia de óxidos, sulfuros, carbonatos básicos y cloruros de cobre, sin embargo estos compuestos existirían en pequeñas proporciones en la costra mineral y estarían tan íntimamente ligados a los productos de corrosión de la plata, que estarían integrando parte de una heterogénea y compleja concreción en estado de estabilidad química.

Bajo la observación microscópica de las concreciones gris y marrón oscuro fue posible suponer la presencia de una capa insoluble de “plata córnea”, en la que suelen coexistir cloruro de plata (AgCl) de color gris ceroso, bromuro de plata (AgBr) de color marrón opaco. Estos productos son característicos en objetos arqueológicos de plata en condiciones de entierro y generalmente actúan como capa protectora natural (Fig. 15). Sin embargo ante la extensa presencia de estos productos sobre el objeto y la consecuente deformación de éste, existía la inquietud por conocer con mayor certeza su composición. Por lo mismo, con la ayuda de un raspador metálico se extrajo una pequeña muestra de esta costra en un punto de la pieza donde ésta se presentaba tosca y granulosa (Fig. 16). Esta muestra fue sometida a análisis con microscopía electrónica de barrido, examen que arrojó como resultado la presencia de fósforo, cloro, calcio y cobre, además de carbono y oxígeno (véase anexo I.- b6). Con la ayuda del profesor Diego Morata Céspedes, fue posible interpretar estos resultados reconociendo como información relevante la presencia de Fosfato cálcico ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), producto exógeno generado por la interacción con huesos animales o humanos o con

guano presente en el entorno.<sup>97</sup> Por otra parte fue posible corroborar la presencia de altas concentraciones de Cloruro de plata (AgCl), producto elemental de la llamada “plata córnea”. Llama la atención la ausencia de bromo, mencionado por Cronyn como elemento constitutivo de la “plata córnea”<sup>98</sup>.

Finalmente, la observación bajo microscopio óptico de los depósitos blancos presentes en diversas zonas del objeto y particularmente en el extremo de la aguja, permitió observar un producto granuloso y cristalino, del cual era difícil suponer su naturaleza dado que no existían descripciones de productos similares en la literatura consultada (Fig. 17). Por lo mismo una pequeña muestra de estos productos fue extraída del objeto (Fig. 18), siendo sometida a análisis por microscopía electrónica de barrido. Los resultados de este examen arrojaron la presencia de azufre y calcio, además de carbono, oxígeno y fósforo (véase anexo I.- b7). Nuevamente con el apoyo del profesor Diego Morata Céspedes fue posible interpretar estos análisis y concluir que estos productos blanquecinos serían principalmente Sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ), producto exógeno natural que se encuentra con frecuencia asociado con depósitos de sal, el cual puede presentarse cristalizado de color ámbar y que se exfolia en hojas o como sólido blanco, compacto y terroso<sup>99</sup>.

Habiendo realizado una completa documentación fotográfica del estado inicial del objeto y con los antecedentes recavados mediante análisis, fue posible desarrollar la siguiente propuesta de intervención:

Ya que las imágenes resultantes de la gammagrafía realizada a este objeto, permitieron constatar que el estado del metal tras las capas de corrosión era en general bueno, se pudo confirmar que éste estaría en condiciones de resistir un tratamiento de limpieza mecánica sin poner en riesgo su integridad. Sin embargo, dado que la imagen captada permitió observar que el metal se presentaba con un aspecto carcomido, una limpieza debería ser asumida con sumo cuidado, con el fin de extraer

---

<sup>97</sup> Esta información permite conjeturar acerca de las condiciones de entierro de este objeto. Es posible que tratándose de un adorno personal vinculado al atuendo textil femenino, pudiese haber estado asociado a un cuerpo humano en contexto funerario.

<sup>98</sup> No así Calvo, 1997, quien denomina plata cornea a una capa insoluble de cloruros de plata estable.

<sup>99</sup> Calvo, 1997.

las concreciones más notorias y que mayor deformación constituyeran para el objeto, sin necesidad de llegar a desnudar el metal.

Esta determinación se tomó pese a conocer la composición general de las concreciones oscuras de “plata córnea” presentes en el objeto y comprender que éstos no representan para el objeto amenaza alguna en tanto que se encuentran estables y conforman una capa protectora natural. Sin embargo, a pesar de que los productos blancos de Sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) son relativamente insolubles<sup>100</sup>, sus cristales mientras mas polvorientos se presentan, tienen la facultad de absorber humedad aumentando su volumen y provocando destrucción por expansión<sup>101</sup>, característica que explicaría la apariencia de erupciones en las costras oscuras de la aguja (Fig. 19) y su consecuente deformación. Por lo mismo entonces, la propuesta fue desarrollar un proceso de limpieza que no levantara la totalidad de la costra mineral si no que solamente se enfocara en, por una parte extraer los productos higroscópicos, y por otra parte reducir las costras más voluminosas, intentando revelar las decoraciones del objeto y devolverle su legibilidad estética.

Este tratamiento se haría preferentemente de manera mecánica, con raspadores metálicos<sup>102</sup> y bisturí y siempre bajo ampliación microscópica.

Para la limpieza de sectores ocultos de poca visibilidad y difícil acceso para las herramientas se recurriría a métodos químicos locales mediante la aplicación de Ácido etilendiaminotetraacético EDTA, con el fin de debilitar los productos de corrosión allí presentes y volverlos solubles en agua.

La aplicación de métodos electroquímicos sólo se justificaría en el caso excepcional de que la costra no cediera a los procedimientos anteriormente nombrados, y sólo en función de descubrir decoraciones ocultas del objeto.

Ya que esta pieza se mantiene reservada en bodega, se consideró innecesaria una capa de protección, ya que la plata es un metal que no suele generar corrosión

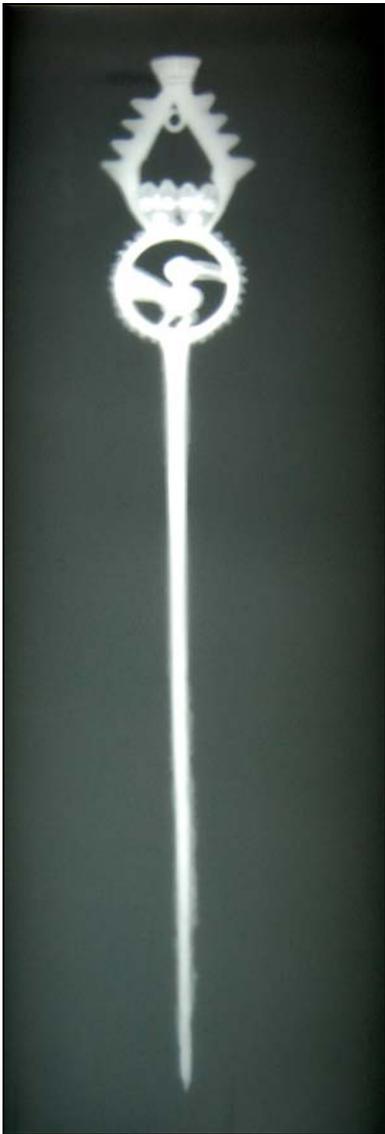
---

<sup>100</sup>[http://64.233.169.104/search?q=cache:6lk8piRkFLMJ:www.edafologia.net/conta/tema12/sales.htm+Sulfato+calcico&hl=es&ct=clnk&cd=7&gl=cl&lr=lang\\_es](http://64.233.169.104/search?q=cache:6lk8piRkFLMJ:www.edafologia.net/conta/tema12/sales.htm+Sulfato+calcico&hl=es&ct=clnk&cd=7&gl=cl&lr=lang_es)

<sup>101</sup> <http://www.imcyc.com/cyt/enero02/concretos.htm>

<sup>102</sup> Uno de ellos el descrito anteriormente y otro preparado especialmente con una punta aguda pero plana.

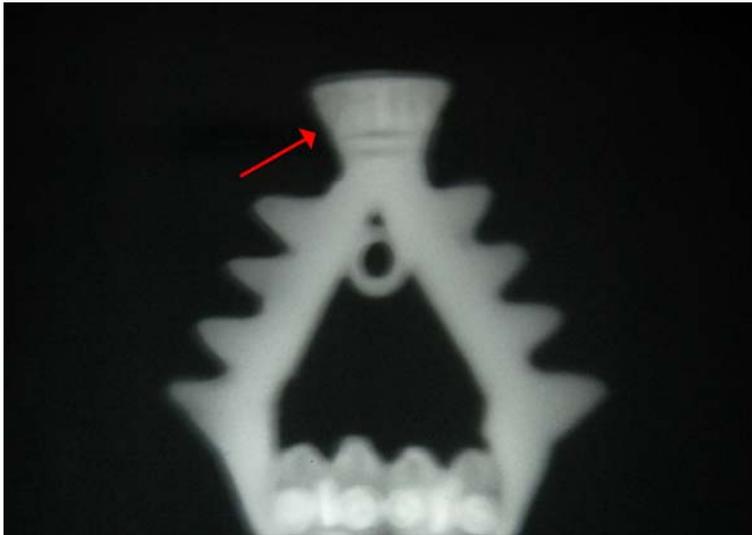
tras su hallazgo salvo una película de sulfuro de plata que constituye su pátina natural protectora, todas condiciones suficientes para asegurar su estabilidad.



*Fig. 8.- Toma radiográfica del objeto.*



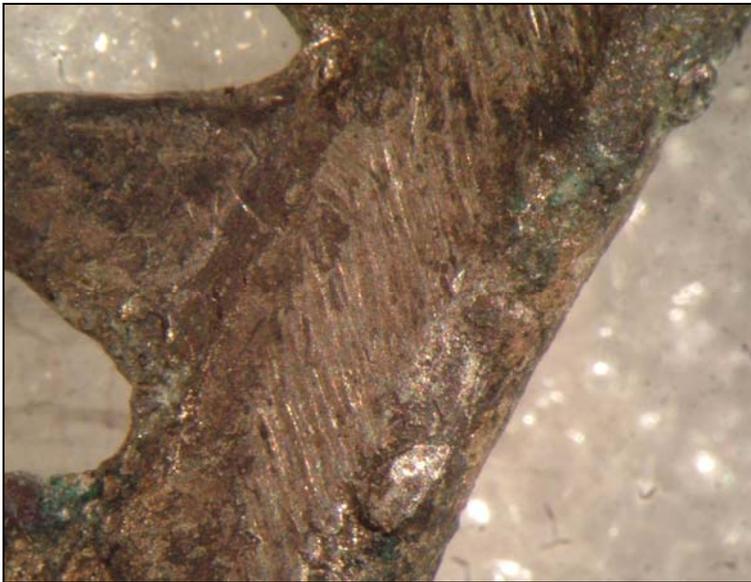
*Fig. 9.- Detalle de la toma radiográfica que permite ver el metal de la aguja con aspecto carcomido.*



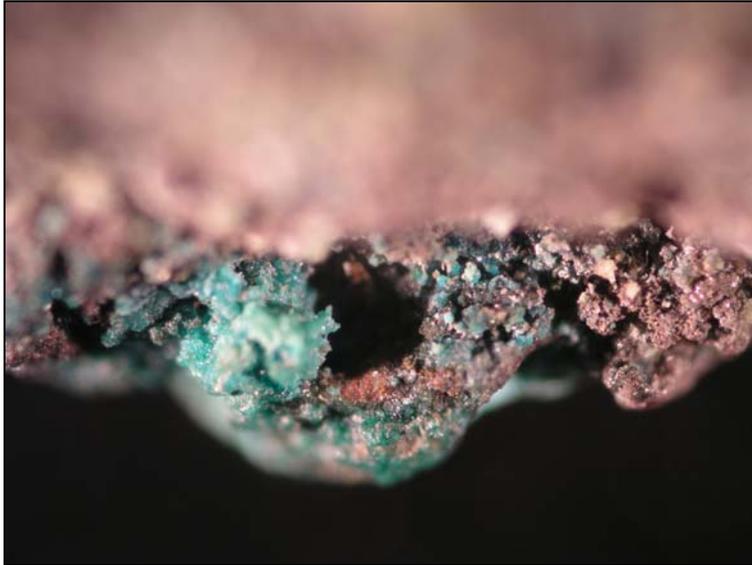
*Fig. 10.- Decoraciones ocultas tras gruesa capa mineral.*



*Fig. 11.- Fotografía digital microscopio 4x que ilustra el ojo del ave brillante por abrasión.*



*Fig. 12.- Zona de la decoración superior con huellas de haber sido limada. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 13.- Fotografía digital microscopio 4x que ilustra inclusiones verdes en la costra de corrosión.*



*Fig. 14.- Punto del objeto desde cual fue extraída una pequeña muestra de cristales verdes con el fin de identificar su conformación a través de análisis de microscopía electrónica de barrido.*



*Fig. 15.- Fotografía digital microscopio 4x que ilustra concreciones negras en la superficie del objeto.*



*Fig. 16.- Punto del objeto desde cual fue extraída una pequeña muestra de costra negra con el fin de identificar su conformación a través de análisis de microscopía electrónica de barrido.*



*Fig. 17.- Fotografía digital microscopio 10x que ilustra sedimentos blancos presentes en la superficie del objeto.*



*Fig. 18.- Punto del objeto desde cual fue extraída una pequeña muestra de cristales blancos con el fin de identificar su conformación a través de análisis de microscopía electrónica de barrido.*



*Fig. 19.- Fotografía digital microscopio 4x que ilustra erupciones blancas en la costra mineral superficial.*

#### 5.3.4.- Restauración aplicada

Para la ejecución de la limpieza la pieza se fabricó una “cama” de Ethafoam tallada especialmente según la anatomía de la pieza, con el fin de sostener el objeto mientras los productos de corrosión eran extraídos mecánicamente.

Primeramente se abordó la limpieza de la aguja del objeto, levantando paulatinamente los productos de corrosión, avanzando desde las zonas desprovistas de concreciones hacia la punta de la aguja. A medida que se avanzaba con este trabajo, se fueron descubriendo por debajo de la costra oscura tintes rosados y violáceos, colores que probablemente estuvieran relacionados con la cuprita existente en el objeto, tal cual había sido descrito en la literatura consultada. Con este procedimiento fue posible avanzar bastante en el sector medio de la aguja, sin embargo acercándose al extremo inferior, al levantar las costras negruzcas se hizo extremadamente difícil distinguir si aún se estaba trabajando sobre éstas o si ya se había tocado el metal, ya que las concreciones oscuras en ese sector, al ser raspadas brillaban de manera muy similar de cómo lo haría el metal. Por lo mismo, la limpieza se abocó exclusivamente a extraer el exceso de volumen.

Por otra parte, hubo zonas en las cuales bajo la gruesa capa de corrosión oscura, aparecieron costras de corrosión verde, muy firmemente adheridas a la superficie de la aguja. Al intentar levantar estas incrustaciones fue posible constatar que bajo ellas existían agujeros o socavones que penetraban en el metal, presentando en su interior depósitos de un material cristalino, blando y esponjoso, probablemente plata pura. El descubrimiento de estas hendiduras en la superficie del metal corroboró que la superficie de la aguja presentaba irregularidades, definiéndose entonces éste el punto límite para la limpieza.

Por su parte, los sedimentos blanquecinos en un primer momento se presentaban blancos y polvorientos y eran relativamente fáciles de levantar, sin embargo a medida que se iba avanzando en profundidad, estos se iban volviendo amarillentos y cristalinos, cada vez más tenaces y difíciles de remover (Fig. 20).

Llegado este punto, no se prosiguió con la extracción, ya que estos productos en ese nivel de cristalización son estables en ambientes con HR controlada.

Una vez finalizado el tratamiento de limpieza en la zona de la aguja, se procedió a trabajar de la misma manera sobre las decoraciones superiores del objeto. Allí se extrajo prolijamente con raspadores y bisturí toda clase de concreciones oscuras, procurando no levantar los cristales verdes ni llegar hasta la superficie original del objeto, con el fin de conservar sobre éste una fina capa protectora (Fig. 21 y 22). Dado que no se conocía con exactitud la realidad del metal bajo la costra en los adornos dentados del círculo superior, éstos casi no fueron intervenidos (Fig.23).

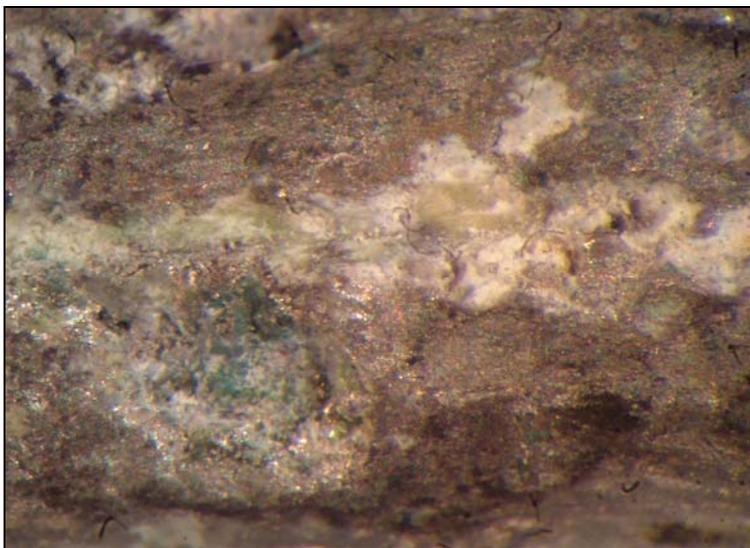
Al trabajar con el bisturí sobre la decoración del extremo superior de la pieza se encontró una costra mineral con características físicas disímiles a las descritas en la aguja. Ésta se presentaba como concreciones particularmente rudas, sin embargo al rasparlas se desgranaban dejando a la vista no solamente cristales verdes y violáceos como en otros sectores del objeto, sino manchas de un material cristalino, blando y esponjoso similar al encontrado bajo los cristales verdes en la aguja (Fig. 24). La diferencia es que en esta oportunidad esto ocurría bajo las concreciones grises, y no las verdes como había sucedido anteriormente.

En este mismo sector del objeto, tal cual se había visto en la toma radiográfica, había una serie de decoraciones ocultas, motivo por el cual se decidió limpiar con un medio electroquímico localizado, intentando reducir las concreciones de corrosión a un polvo fino de plata que se pudiera remover fácilmente y permitiera la aparición de la superficie original, tal cual describía la literatura especializada consultada. Siempre bajo ampliación con microscopio estereoscópico, se dispuso una barra metálica envuelta en algodón humedecido en un electrolito de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y conectada al terminal positivo de una batería de 9w. El terminal negativo de esta misma batería estaba conectado a una pinza metálica que sostenía al prendedor en la zona media donde el objeto estaba desprovisto de corrosión (Fig. 25). Al tocar el punto a tratar con el electrolito, se produjo una reacción de efervescencia, tras lo cual la costra enrojeció y cambió su aspecto tosco a uno más suave (Fig. 26 y 27). Luego, con raspador se comenzó a remover el mineral, el cual se había vuelto blando, cediendo

con facilidad al desgaste (Fig. 28 y 29). Sin embargo tras este material extraído no apareció ningún polvo de plata ni superficie original como lo descrito en la literatura consultada, motivo por el cual la limpieza mecánica se continuó hasta darle al sector tratado un aspecto uniforme, culminando ahí la intervención.

Finalmente, los sectores internos de las decoraciones donde era más difícil acceder con los raspadores fueron tratados con compresas de algodón empapado en EDTA al 3% en agua desmineralizada, envuelto en una película plástica durante 2 horas, procedimiento tras el cual el material soltado se extrajo raspando con un palillo de madera aguzado (Fig. 30 y 31). Posteriormente se neutralizó con un baño de agua desmineralizada.

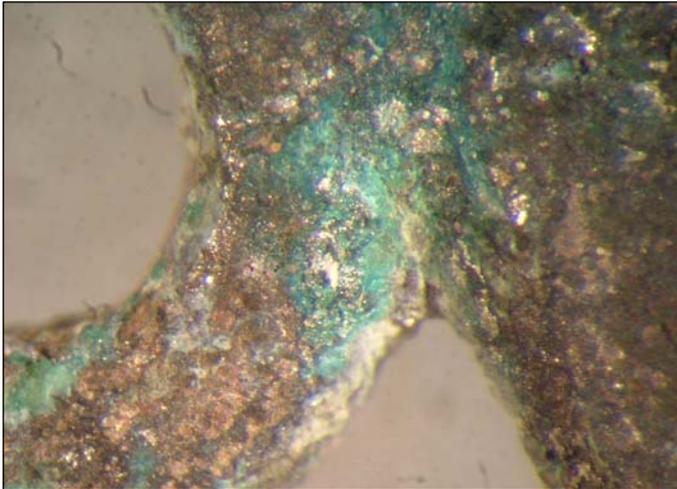
Se limpió la totalidad del objeto con tómulas humedecidas en Agua desmineralizada en Alcohol etanol ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ ) al 50% y se expuso a secado ubicándolo sobre un papel sin ácido bajo luz infrarroja 150 w durante 3 horas, a una temperatura de 40°C aprox.



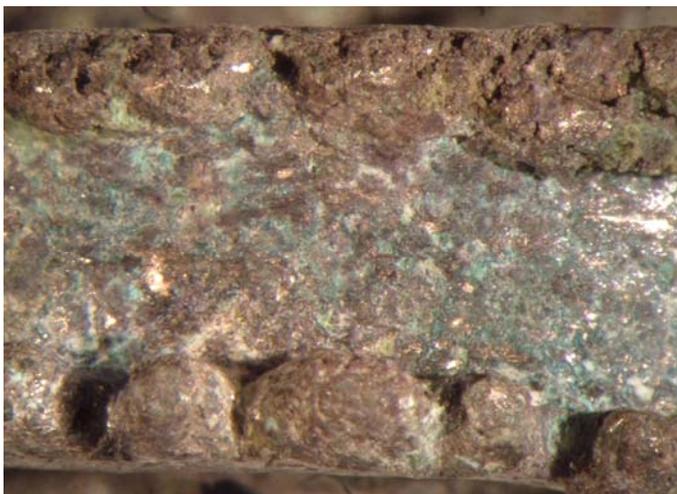
*Fig. 20.- Imagen que ilustra la superficie de la aguja después de la remoción de una primera capa de costra negra. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



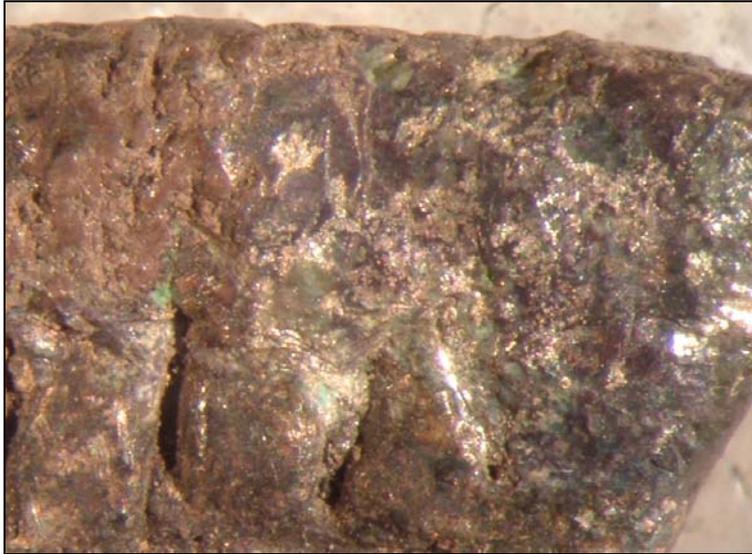
*Fig. 21.- Imagen que ilustra las decoraciones de la aguja después de la remoción de una primera capa de costra negra. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 22.- Zona de la figura superior después de la remoción de la costra negra. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 23.- Zona externa de la decoración superior de la aguja, después de la remoción de la costra negra. Los dientes de la decoración no fueron limpiados. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 24.- Extremo superior de la decoración, donde al extraer la costra negra quedaban a la vista pequeños depósitos de cristales esponjosos. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 25.- Imagen que ilustra equipo y procedimiento de limpieza electroquímica localizado.*



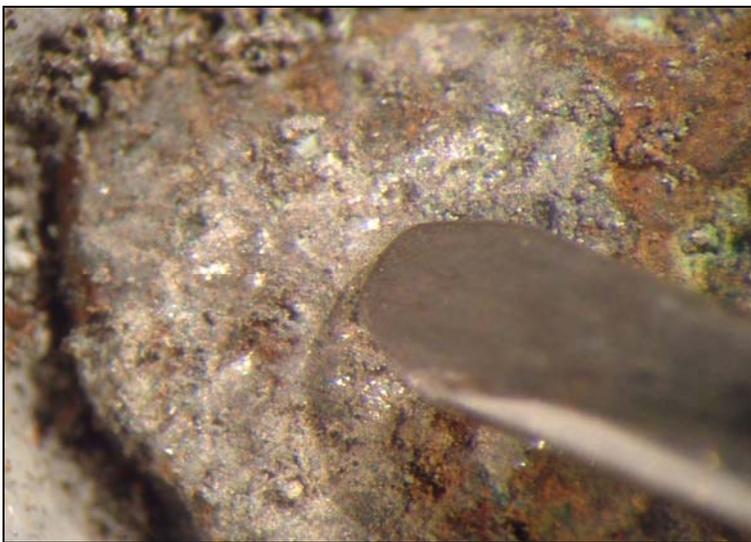
*Fig. 26.- Costra antes de aplicar electrólisis. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 27.- Costra enrojecida y suavizada tras la aplicación de electrólisis. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 28.- Costra reblandecida tras la aplicación electrólisis. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 29.- Costra levantada con raspador, bajo la cual el material sigue teniendo aspecto mineral, sin que aparezca metal o superficie original. Fotografía digital microscopio estereoscópico 16x.*



*Fig. 30.- Imagen que ilustra el modo en el cual las compresas con EDTA fueron aplicadas.*



*Fig. 31.- Imagen que ilustra la envoltura bajo la cual la compresa permaneció en contacto con el objeto durante un tiempo de dos horas.*

#### **5.4.- Conservación preventiva**

Las tres piezas abordadas en este estudio son piezas que se mantienen almacenadas en bodega y que sólo son sacadas para su exhibición ocasional, como sucedió por ejemplo con las piezas 0441 y 3309, las que entre los meses de noviembre del año 2004 y mayo del 2005 fueron exhibidas en el contexto de la muestra temporal “El arte del cobre en el mundo andino”, del Museo Chileno de Arte Precolombino.

Por estas razones, se les fabricó una caja especial que permitiera su transporte y manipulación durante el período de estudio, y que las mantuviera apartadas dentro de la misma bodega, para poder acceder a ellas sin necesidad de hurgar en otras bandejas. Esta caja fue elaborada en cartón sin ácido y adherida con cinta engomada. El interior fue forrado con una plancha de Ethafoam en la cual se tallaron la forma y espacios precisos para contener los objetos, actuando como protección contra ralladuras, golpes y vibraciones (Fig. 1, 2 y 3). De esta manera fue posible mantener las piezas muy bien protegidas durante el tiempo que esta investigación requirió, sirviendo tanto para su almacenaje como para transportarlas dentro del museo o fuera de éste cada vez que fue necesario.

Sin embargo esta caja siempre fue considerada transitoria, ya que no cumplía con los requisitos necesarios para convertirse en almacenaje permanente, pues la cinta adhesiva utilizada en su manufactura no es inerte, esto por que en el transcurso del tiempo tiende a desprender vapores ácidos que pueden potenciar el deterioro de las piezas. Por este motivo una vez finalizado el proceso, los objetos volvieron a sus bandejas originales, las cuales están fabricadas con cartón sin ácido y no llevan adhesivos si no que su armado es a partir de un firme sistema de ensamblaje.

Por otra parte las condiciones ambientales en la bodega de metales en que éstas se mantienen son de una HR 45-50%, a temperatura de 20°C, en oscuridad. El tipo de iluminación que allí existe es de tubo o luminaria fluorescente, la que solamente se mantiene encendida cuando se requiere extraer algún objeto de la bodega.

Como se puede apreciar, las condiciones de conservación preventiva en que se encuentran estos objetos son las adecuadas, pudiendo hacerse tres sugerencias a modo de continuidad en el tratamiento entregado a éstas. Por una parte, supervisar al menos dos veces al año el estado de la superficie de las piezas afectadas por la enfermedad del bronce, con el fin de controlar el estado de su capa protectora y la efectividad del tratamiento inhibidor de benzotriazol. Por otra parte, inspeccionar al menos una vez por año el estado de la superficie del objeto de plata, con la finalidad de corroborar la inalterabilidad de su capa protectora natural. Por último, diseñar y elaborar un sistema de soporte o montaje especial para cada objeto para posibles exhibiciones, en particular en el caso de la pieza N° 3299, objeto que dado el delicado estado de la hoja del cuchillo, pudiera verse reforzado por un soporte elaborado especialmente con ese fin.



*Fig. 1, 2 y 3.- Imágenes que ilustran el embalaje especialmente desarrollado para la manipulación y transporte de las piezas durante su estudio.*

## CONCLUSION

Dentro del campo de especialización en la conservación y restauración de metales, el material de origen arqueológico es quizás uno de los más complejos y delicados de abordar. En su estado de conservación confluyen una serie de factores de los cuales muchas veces es difícil tener control, más aun cuando desconocemos su origen y contexto. Por lo mismo, todo estudio, examen y/o análisis que se lleve a cabo sobre él no sólo se constituye en el material sobre el cual es posible elaborar un diagnóstico y una propuesta de intervención en pro de su preservación, sino que además se entregan elementos a través de los cuales es posible intentar reconstruir su historia y su pasado.

De esta manera, cada objeto es una realidad única, que debe ser tratado con sumo cuidado, ya que del mismo modo que un trabajo criterioso y realizado laboriosamente puede contribuir a su preservación y puesta en valor, un trabajo realizado de manera torpe, infundada o inoportuna, puede perjudicar irreversiblemente su integridad, borrar irremediablemente información salvaguardada durante años en su costra mineral o incluso, destruirlo.

Teniendo plena conciencia de ello, al comenzar a trabajar sobre los objetos confiados por el Museo Chileno de Arte Precolombino, la sensación de temor y confusión me embargó a menudo, enrostrándome permanentemente mi inexperiencia, sobre todo al encontrarme a solas con los objetos y un bisturí en la mano. Sin embargo el pánico inicial se convirtió paulatinamente en curiosidad y entusiasmo por contribuir al saneamiento de cada objeto, asumiendo con confianza la responsabilidad que esto significaba y agradeciendo el apoyo y paciencia de quienes respaldaron mi práctica e hicieron posible que ésta llegara a buen término.

Por otra parte, la delicadeza, concentración y minuciosidad que requiere el trabajo de intervención en si mismo, más de alguna vez me llegó a inquietar, haciéndome cuestionar las cualidades de paciencia y tolerancia a la frustración de la que como joyera a menudo me he sentido dotada. Por lo mismo, muchas veces me

admiré de la humildad y anonimato de las cuales esta labor se alimenta, inspiración a raíz de la cual acuñé la frase de Albert Einstein estampada en el comienzo de esta memoria, pensamiento que hoy me acompaña en los más diversos planos de la vida, no solo en lo profesional.

Finalmente, quizás sea por mi formación anterior de Orfebre, o por la inquietud que siempre me ha producido comprender la naturaleza de los metales y su comportamiento a nivel más intrínseco, al finalizar este proceso de práctica he quedado con la inquietud de poder abordar el estudio de los metales con mayor énfasis en su metalurgia y técnicas de manufactura, con el objetivo de comprender con mayor profundidad el modo en que estos factores afectan y determinan su evolución y deterioro. Por lo mismo, tengo el anhelo de que mi proyección profesional en el campo de la conservación y la restauración se encamine hacia la investigación en ese ámbito, desde donde tengo la convicción, podré aportar al desarrollo de la disciplina y a la formación de especialistas con altura de miras.

## ANEXOS

### I.- Análisis aplicados

#### a.- Microscopio óptico y Microscopio estereoscópico

El tipo de microscopio más habitualmente utilizado es el microscopio óptico, que se sirve de la luz visible para crear una imagen aumentada del objeto. Este microscopio consiste en dos sistemas de lentes, el objetivo y el ocular, montados en extremos opuestos de un tubo cerrado. El objetivo está compuesto de varias lentes que crean una imagen real aumentada del objeto examinado. Las lentes de los microscopios están dispuestas de forma que el objetivo se encuentre en el punto focal del ocular. Cuando se mira a través del ocular se ve una imagen virtual aumentada de la imagen real. El aumento total del microscopio depende de las longitudes focales de los dos sistemas de lentes.

El equipamiento adicional de un microscopio consta de un armazón con un soporte que sostiene el material examinado y de un mecanismo que permite acercar y alejar el tubo para enfocar la muestra. Los especímenes o muestras que se examinan con un microscopio son transparentes y se observan con una luz que los atraviesa, y se suelen colocar sobre un rectángulo fino de vidrio. El soporte tiene un orificio por el que pasa la luz. Bajo el soporte se encuentra un espejo que refleja la luz para que atraviese el espécimen. El microscopio puede contar con una fuente de luz eléctrica que dirige la luz a través de la muestra<sup>103</sup>.

Un Microscopio estereoscópico en cambio, se utiliza para ofrecer una imagen estereoscópica (3D) de la muestra. Para ello, y como ocurre en la visión binocular convencional, es necesario que los dos ojos observen la imagen con ángulos ligeramente distintos, consiguiendo así una imagen «tridimensional» más realista, pues observamos con ambos ojos.

---

<sup>103</sup> <http://www.biologia.edu.ar/microscopia/microscopia1.htm>

Ya que en general el microscopio estereoscópico no consigue más que entre 10 y 50 aumentos es apropiado para observar objetos de tamaños relativamente grandes, por lo que no es necesario modificar los objetos a ver, ni tampoco lo es que la luz pase a través de la muestra, lo que lo hace muy útil fundamentalmente en aplicaciones que requieren manipular el objeto visualizado<sup>104</sup>.

El microscopio óptico utilizado en este estudio es un Olympus CX31 con cámara digital Olympus Camedia C-5050 incorporada. Este es un microscopio de campo claro completo que incluye un tubo de observación binocular con objetivos de 4X, 10X, 40X y uno opcional de 100X de inmersión en aceite. Dado que las imágenes fueron tomadas directamente sobre el objeto, fue necesario incorporar dos lámparas externas de luz rasante fría.

El microscopio estereoscópico utilizado en este estudio es un Wild Heerbrugg M3, equipo que permite observación binocular con objetivos de 6,4X, 16X, 40X. Éste tiene incorporado un sistema de focos lumínicos externos de luz rasante cálida.

#### b.- Microscopia electrónica de barrido SEM con EDS

La microscopia electrónica de barrido (SEM, *scanning electronic microscope*) se utiliza para obtener mayores aumentos de los alcanzados por medio de sistemas ópticos ordinarios. De esta manera proporciona una imagen ampliada de la muestra.

Para ello requiere una fuente radiante constituida por un haz de electrones a gran velocidad, excitando los materiales constitutivos de la muestra y registrando la reacción en una pantalla fluorescente. Esta operación da por resultado una imagen digital de la muestra, que puede llegar a alcanzar una ampliación máxima de 400.000 aumentos.

Al incidir el haz de electrones sobre la muestra, los elementos que conforman a ésta responden generando una serie de rayos X que son colectados por un analizador

---

<sup>104</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Microscopio\\_%C3%B3ptico](http://es.wikipedia.org/wiki/Microscopio_%C3%B3ptico)

o espectrómetro de fluorescencia de rayos X, dispositivo que analiza esta radiación y es capaz de suministrar información sobre la composición de la muestra en tanto que cada elemento químico tiene un nivel de energía de radiación X propia, una firma que lo identifica.

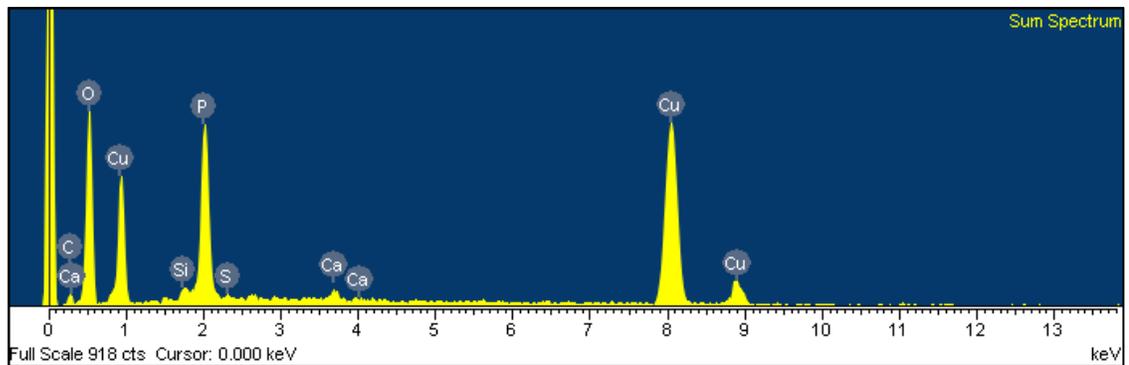
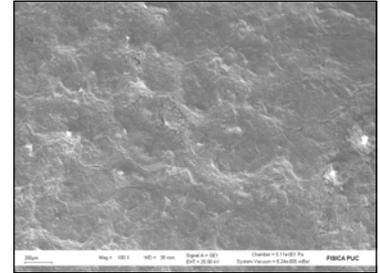
Así, el análisis SEM-EDS es un análisis que proporciona una imagen ampliada de la muestra junto con la información sobre su composición química elemental. Sin embargo esta información es posible de apreciar de manera cuantitativa pero no cualitativa, en tanto es posible apreciar cantidades aproximadas de la presencia de los elementos en la muestra pero no la manera en que estos interactúan entre si.

Los análisis SEM-EDS realizados en el contexto de esta investigación fueron realizados en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis EDS de la Facultad de física de la Pontificia Universidad Católica de Chile por la señorita Marcela Soto Herrera. Este laboratorio fue escogido por dos motivos fundamentales; por una parte es el único en Santiago que posee un equipo que trabaja al vacío, permitiendo sostener la muestra con una cinta adhesiva de carbón que la hace conductora, sin necesidad de impregnarla con oro o carbón. Por otra parte, el tamaño de su cámara de vacío permitía que dos de las tres piezas en estudio entraran en su interior, sin necesidad de extraer muestras de ellas.

Los gráficos de los resultados obtenidos para cada muestra son adjuntados a continuación, junto con la imagen captada por el microscopio electrónico para cada muestra.

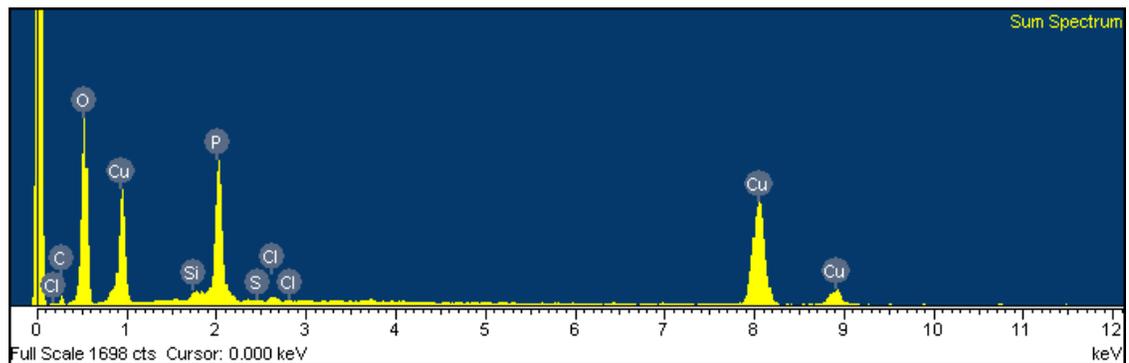
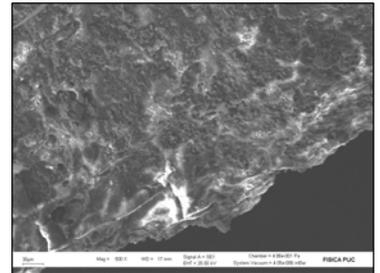
### **b.1.- Producto negro 0441**

| Element | App Conc. | Intensity Corn. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---------|-----------|-----------------|---------|---------------|---------|
| C K     | 0.01      | 0.2478          | 9.95    | 1.92          | 19.86   |
| O K     | 0.06      | 0.7667          | 35.94   | 1.32          | 53.88   |
| Si K    | 0.00      | 0.4302          | 0.81    | 0.24          | 0.69    |
| P K     | 0.02      | 0.7516          | 13.12   | 0.58          | 10.16   |
| S K     | 0.00      | 0.5774          | 0.35    | 0.16          | 0.26    |
| Ca K    | 0.00      | 0.9635          | 0.55    | 0.12          | 0.33    |
| Cu K    | 0.07      | 0.9229          | 39.28   | 1.19          | 14.83   |
| Totals  |           |                 | 100.00  |               |         |



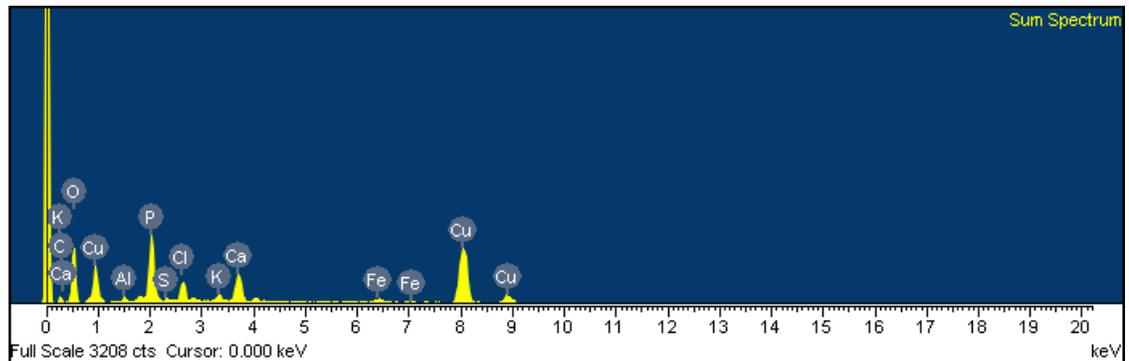
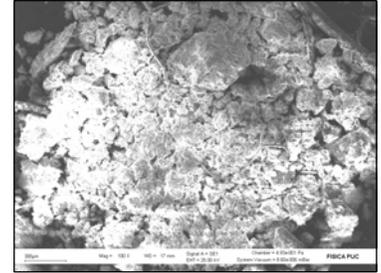
### **b.2.- Producto verde 0441**

| Element | App Conc. | Intensity Corn. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---------|-----------|-----------------|---------|---------------|---------|
| C K     | 0.01      | 0.2457          | 11.35   | 1.76          | 20.51   |
| O K     | 0.12      | 0.8046          | 43.39   | 1.22          | 58.87   |
| Si K    | 0.00      | 0.4619          | 0.43    | 0.19          | 0.34    |
| P K     | 0.03      | 0.7984          | 13.52   | 0.50          | 9.48    |
| S K     | 0.00      | 0.5875          | 0.02    | 0.12          | 0.02    |
| Cl K    | 0.00      | 0.5943          | 0.41    | 0.11          | 0.25    |
| Cu K    | 0.08      | 0.9030          | 30.87   | 0.88          | 10.55   |
| Totals  |           |                 | 100.00  |               |         |



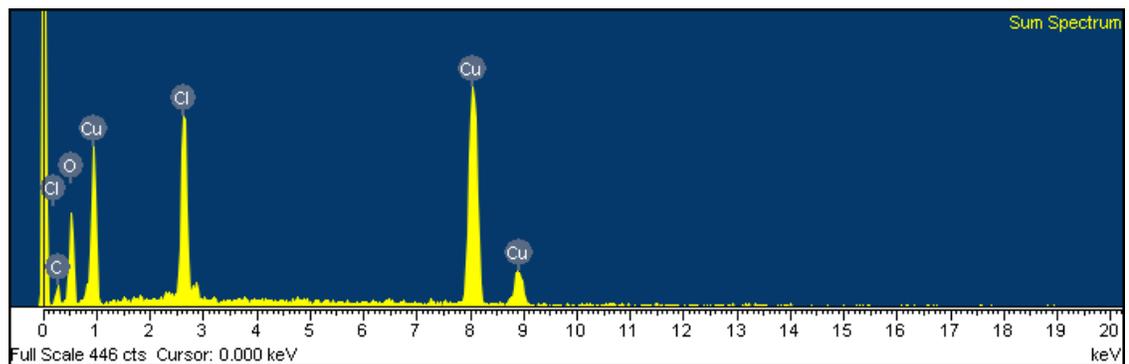
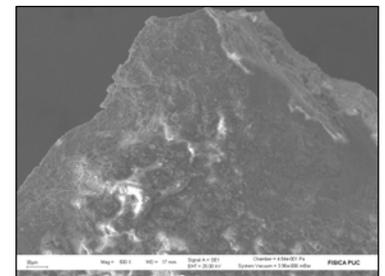
### b.3.- Producto blanco 3299

| Element | App Conc. | Intensity Corr. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---------|-----------|-----------------|---------|---------------|---------|
| C K     | 0.00      | 0.2315          | 11.85   | 4.29          | 22.69   |
| O K     | 0.03      | 0.5387          | 35.67   | 2.04          | 51.25   |
| Al K    | 0.00      | 0.3530          | 1.06    | 0.21          | 0.91    |
| P K     | 0.01      | 0.8101          | 11.50   | 0.69          | 8.54    |
| S K     | 0.00      | 0.6098          | 0.48    | 0.14          | 0.34    |
| Cl K    | 0.00      | 0.6111          | 3.21    | 0.25          | 2.08    |
| K K     | 0.00      | 0.9423          | 0.87    | 0.13          | 0.51    |
| Ca K    | 0.00      | 0.9430          | 4.05    | 0.27          | 2.32    |
| Fe K    | 0.00      | 1.0267          | 0.88    | 0.15          | 0.36    |
| Cu K    | 0.03      | 0.9052          | 30.43   | 1.63          | 11.01   |
| Totals  |           |                 | 100.00  |               |         |



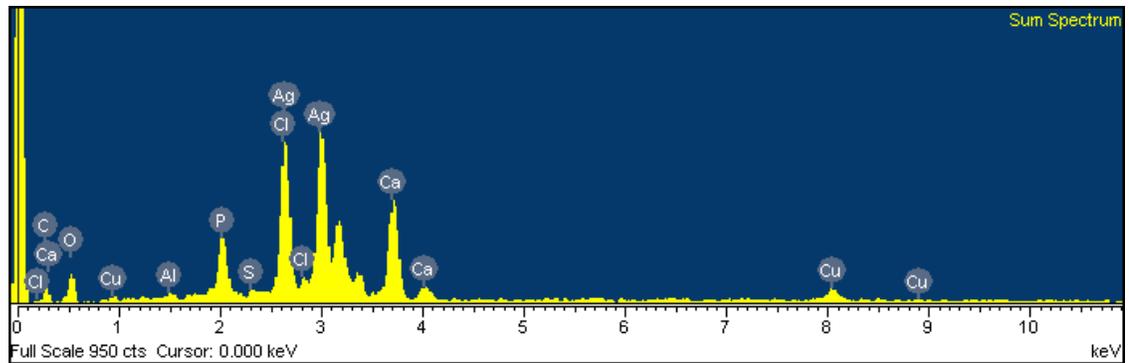
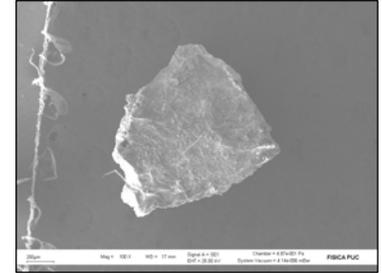
### b.4.- Producto verde 3299

| Element | App Conc. | Intensity Corr. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---------|-----------|-----------------|---------|---------------|---------|
| C K     | 0.00      | 0.2114          | 18.36   | 4.09          | 38.76   |
| O K     | 0.01      | 0.6482          | 21.02   | 1.89          | 33.31   |
| Cl K    | 0.01      | 0.6368          | 11.82   | 0.81          | 8.45    |
| Cu K    | 0.04      | 0.9473          | 48.80   | 2.72          | 19.47   |
| Totals  |           |                 | 100.00  |               |         |



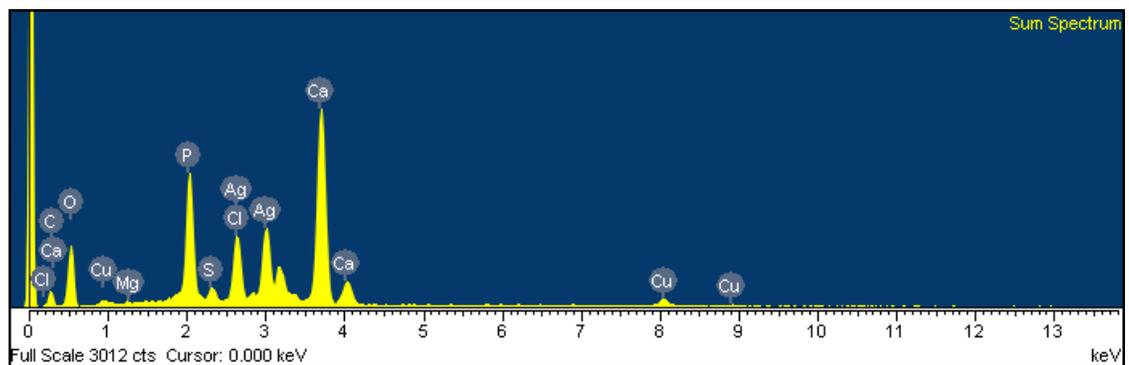
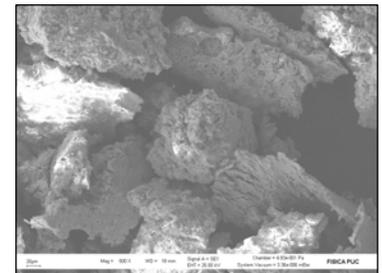
### b.5.- Producto verde 3309

| Element | App Conc. | Intensity Corn. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---------|-----------|-----------------|---------|---------------|---------|
| C K     | 0.01      | 0.3215          | 18.39   | 2.40          | 38.33   |
| O K     | 0.01      | 0.2342          | 23.13   | 2.40          | 36.21   |
| Al K    | 0.00      | 0.5559          | 0.53    | 0.17          | 0.49    |
| P K     | 0.01      | 1.1244          | 3.81    | 0.32          | 3.08    |
| S K     | 0.00      | 0.8584          | 0.27    | 0.15          | 0.21    |
| Cl K    | 0.01      | 0.8104          | 9.60    | 0.52          | 6.78    |
| Ca K    | 0.01      | 0.7066          | 10.64   | 0.58          | 6.65    |
| Cu K    | 0.00      | 0.8900          | 2.75    | 0.41          | 1.08    |
| Ag L    | 0.04      | 0.8149          | 30.88   | 1.47          | 7.17    |
| Totals  |           |                 | 100.00  |               |         |



### b.6.- Producto negro 3309

| Element | App Conc. | Intensity Corn. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---------|-----------|-----------------|---------|---------------|---------|
| C K     | 0.04      | 0.4001          | 13.45   | 1.18          | 23.56   |
| O K     | 0.10      | 0.3155          | 42.65   | 1.16          | 56.10   |
| Mg K    | 0.00      | 0.4838          | 0.15    | 0.11          | 0.13    |
| P K     | 0.07      | 1.1823          | 8.08    | 0.26          | 5.49    |
| S K     | 0.01      | 0.8313          | 0.87    | 0.10          | 0.57    |
| Cl K    | 0.03      | 0.7676          | 4.41    | 0.17          | 2.62    |
| Ca K    | 0.11      | 0.8928          | 16.22   | 0.41          | 8.51    |
| Cu K    | 0.01      | 0.8142          | 1.84    | 0.20          | 0.61    |
| Ag L    | 0.08      | 0.8565          | 12.33   | 0.44          | 2.41    |
| Totals  |           |                 | 100.00  |               |         |





### c.- Radiografía y Gammagrafía Industrial.

Ambos son ensayos no destructivos que se utilizan en las industrias para la detección de anomalías y fallas en materiales, en especial en aceros y sus soldaduras, también para ver espesores e incrustaciones. Permiten visualizar en una película cambios de densidad radiográfica, representada en diversos grados de ennegrecimiento en la imagen resultante. Un área oscura en una radiografía, puede deberse a un menor espesor o a la presencia de un material de menor densidad en la muestra u objeto analizado. Un área más clara en una radiografía, puede deberse a secciones de mayor espesor o un material de mayor densidad en la muestra u objeto analizado<sup>105</sup>.

La diferencia entre ambas es que emplean dos tipos de radiación distintas para la inspección radiográfica: Rayos X y Rayos gamma.

Los rayos X se producen siempre que se bombardea un objeto material con electrones de alta velocidad. La radiación emitida se compone de una amplia gama de longitudes de onda, donde gran parte de la energía de los electrones se pierde en forma de calor; como resultado del impacto. Los rayos gamma en cambio es aquella radiación electromagnética de altas energías asociada a la radiactividad. Mucho más penetrante dado que son eléctricamente neutros, motivo por el cual no se desvían.

Las tomas radiográficas realizadas a las piezas N° 0441 y N° 3299, fueron desarrolladas en la Unidad de Ensayos no destructivos del Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales IDIEM, por el señor Rafael González, bajo la supervisión de Cristóbal Mir Gacitúa, Jefe de Sección Metales. Los parámetros con que estas fueron tomadas son:

#### Pieza N° 0441:

- ★ CV 125
- ★ Ma 8
- ★ 30 segundos de tiempo de exposición.

---

<sup>105</sup> <http://www.monografias.com/trabajos30/radiografia-industrial/radiografia-industrial.shtml>

- ★ Distancia focal. 0,65 m.
- ★ Película lenta D4

#### Pieza N° 3299

- ★ CV 120
- ★ Ma 8
- ★ 15 segundos de tiempo de exposición.
- ★ Distancia focal 0,65 m.
- ★ Película lenta D4

La toma gammagráfica realizada a la pieza 3309 fue desarrollada en la división de Ingeniería mecánica del Centro de Estudios de Medición y Certificación de Calidad, CESMEC S.A., por el señor Julio Parra, bajo la supervisión del señor Jaime Reyes F., jefe de la sección Ensayos no destructivos. Los parámetros con que esta fue tomada son:

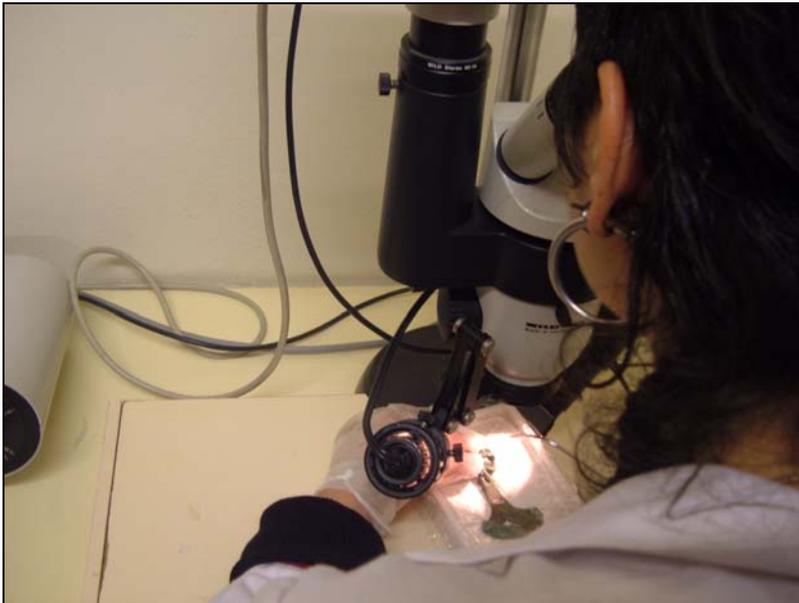
#### Pieza N° 3309

- ★ Gammagrafía industrial con Selenio.
- ★ Actividad selenio, 4 Ci.
- ★ Película lenta D4
- ★ Densidad de placa 2
- ★ 30 minutos de tiempo de exposición
- ★ Revelado manual 5 minutos
- ★ 17 pulgadas de distancia foco/objeto.

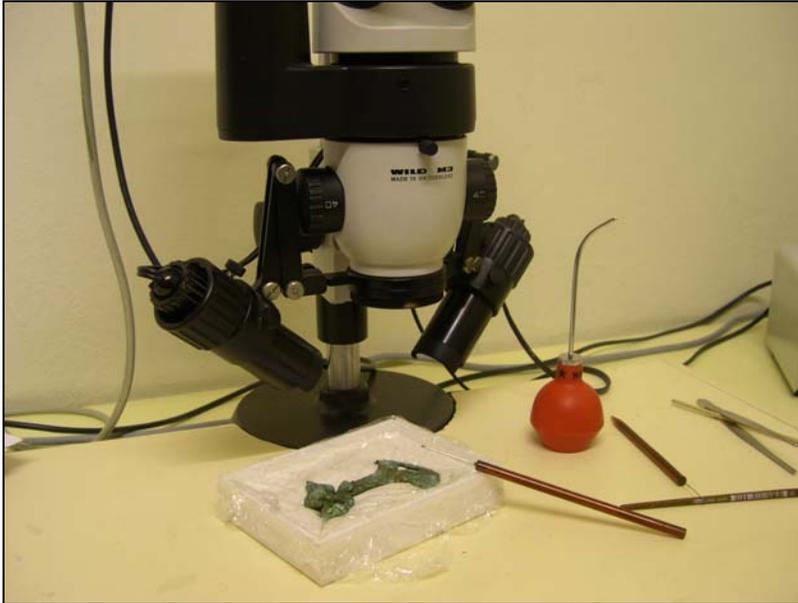
## II.- Imágenes complementarias



1.- Microscopio estereoscópico en el Laboratorio del Museo.



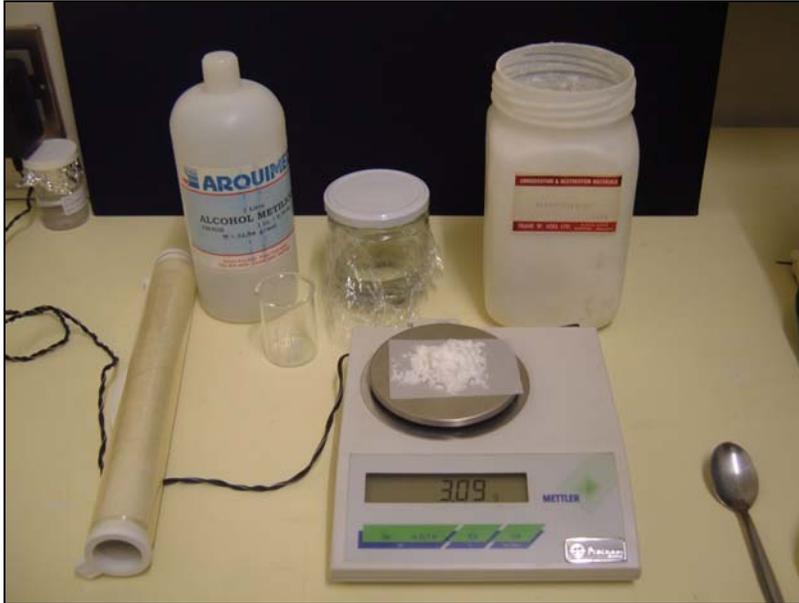
2.- Trabajando sobre la pieza N° 3299 bajo microscopio estereoscópico.



3.- Herramientas de limpieza mecánica.



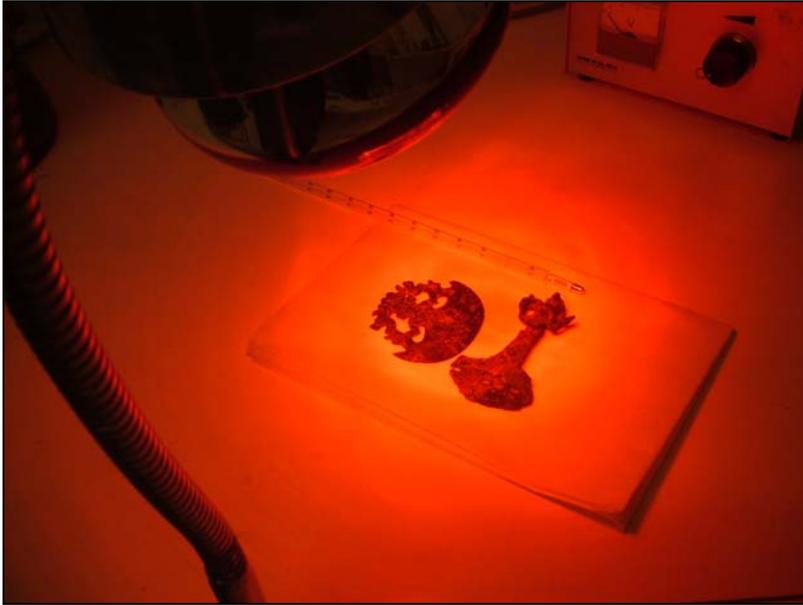
4.- Trabajando sobre la pieza N° 3299.



5.- Preparativos del Benzotriazol.



6.- Piezas N° 0441 y N° 3299 en baño inhibidor de Benzotriazol.



7.- Piezas N° 0441 y N° 3299 en proceso de secado con luz infrarroja.



6.- Piezas N° 0441 y N° 3299 en proceso de secado de capa protectora de Paraloid B72.

### **III.- Documentación fotográfica**

#### Imágenes iniciales:

Tomas: Luis Prato Escárate

Cámara: Canon EOS Digital REBEL XT 8,0 mega píxeles.

Lente: EFS 17-85 mm.

Resolución: 3456 x 2304

#### Imágenes microscopio óptico:

Tomas: Mariela González Casanova

Cámara: Olympus Camedia C-5050 Zoom 5,2 mega píxeles.

Incorporada a Microscopio.

Resolución: 2560 x 1696

#### Imágenes microscopio estereoscópico:

Tomas: Mariela González Casanova

Cámara: Fuji FINEPIX A330 3,2 mega píxeles.

Resolución: 2016 x 1512

#### Imágenes finales:

Tomas: Erick Silva Aguilera

Cámara: Canon EOS Digital REBEL XT 8,0 mega píxeles.

Lente: SIGMA 28-200 mm.

Resolución: 3456 x 2304

## BIBLIOGRAFIA

CALVO, ANA, 1997. "Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos, de la A a la Z". 256 págs. Ediciones del Serbal. Barcelona, España.

CARCEDO MURO, PALOMA, 1999. "Cobre del antiguo Perú". 596 págs. Integra AFP/Southern Peru. Lima, Perú.

CARCEDO MURO, PALOMA, 1996. "Instrumentos líticos y de metal utilizados en la manufactura de piezas metálicas conservadas en los museos". Pág. 241-268. Boletín del Museo del Oro N° 44-45. Banco de la República. Bogotá, Colombia.

CEPERO ACAN, ANA, 2005. "La aplicación de químicos en la restauración de metales". 2° Congreso latinoamericano de restauración de metales.

CRONYN, J.M., 1990. "The elements of the archaeological conservation". 326 págs. Routledge. London, Inglaterra.

DONNAN, CHRISTOPHER 1973. "A precolumbian smelter from Northern Perú". Pág. 289-297. Revista Archaeology, N° 26. Archaeological Institute of America. Nueva Cork, Estados Unidos de Norteamérica.

DREYER COSTA, AUGUSTO, 1994. "Sobre metalurgia prehispánica". Pág. 65. Revista Pumapunku, N° 7. Cimma. La Paz, Bolivia.

FRIEDRICH MAYER, EUGEN, 1998. "Armas y herramientas de metal prehispánico en Perú". 560 págs. Verlag Philipp Von Zabern. Mainz, Alemania.

GONZÁLEZ, LUIS, 2004. "Bronces sin nombre". 432 págs. Fundación CEPPA. Buenos Aires, Argentina.

LAPINER, ALAN, 1976. "Pre-columbian art of South America". 460 págs. Harry N. Abrams, INC. Publishers. Nueva York, Estados Unidos de Norteamérica.

LECHTMAN, HEATHER, 1978. "Temas de metalurgia andina". Pág. 489-520. En RAVINES, ROGER, 1978. "Tecnología Andina". 779 págs. Instituto de estudios peruanos. Lima, Perú.

LOTHROP, SAMUEL, 1950. "Instrumentos para trabajar metales del costa central del Perú". Pág. 160-164. Revista American Antiquity N° 2. Society for American Archaeology. Washington DC, Estados Unidos de Norteamérica.

MUSEO CHILENO DE ARTE PRECOLOMBINO, 1998. "América Precolombina en el Arte". 94 págs. Editorial Trineo S.A. Santiago, Chile.

MUSEO CHILENO DE ARTE PRECOLOMBINO, 2004. "El arte del cobre en el mundo andino". 79 págs. Santiago, Chile.

MUSEO CHILENO DE ARTE PRECOLOMBINO, 2005. "Joyas de los andes". 95 págs. Santiago, Chile.

MUSEO CHILENO DE ARTE PRECOLOMBINO, 1991. "Los orfebres olvidados de America". 95 págs. Engrama. Santiago, Chile.

RAVINÉS, ROGER. 1978. "Tecnología andina". 779 págs. Instituto de estudios peruanos. Lima, Perú.

RODRIGUEZ, LUIS, 1976. "Alcances del estudio de la metalurgia en la región andina". Pág. 16-26. Revista Sarance n° 3. Instituto Otavaleño de Antropología. Otavalo, Ecuador.

ROVIRA LLORENS, SALVADOR, 1991. "Metales y aleaciones del antiguo Perú". Pág. 82-96 en "Los Incas y el antiguo Perú. 3000 años de historia". Tomo I. 497 págs. Sociedad Estatal Quinto Centenario. Madrid, España.

SÁENZ OBREGÓN, 1990. "Notas sobre la restauración y. conservación de los metales precolombinos". Pág. 74-85. Boletín del Museo del Oro. N° 28. Banco de la República. Bogotá, Colombia.

SCHINDLER, HELMUT, 2000. "La Colección Norbert Mayrock del Perú Antiguo". 384 págs. Internacional Publishing GMBH Germaring. Munich, Alemania.

THEILE, JOHANNA, 1991. "El ABC de la conservación". 176 págs. Editorial Arrayán. Santiago, Chile.

WARWICK, BRAY, 1991. "La metalurgia en el Perú prehispánico". Pág. 58-81 en "Los Incas y el antiguo Perú. 3000 años de historia". Tomo I. 497 págs. Sociedad Estatal Quinto Centenario. Madrid, España.

<http://www.gabrielbernat.es/peru/preinca/cultpreincaicas/dregionales/MOCHE/moche.html>

[http://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa\\_del\\_Per%C3%BA](http://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_del_Per%C3%BA)

<http://www.gabrielbernat.es/peru/preinca/cultpreincaicas/eregionalest/CHIMU/chimu.html>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Chim%C3%BA>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Aleaci%C3%B3n>

<http://www.scribd.com/doc/305855/Estructura-de-Materiales-Estructura-de-Aleaciones-y-Diagramas-de-Equilibrio>

<http://perso.wanadoo.es/chyryes/glosario/metales.htm>

<http://www.educarchile.cl/Portal.Base/Web/VerContenido.aspx?ID=181944>

[http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec\\_6.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_6.htm)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n#Corrosi.C3.B3n\\_galv.C3.A1nica](http://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n#Corrosi.C3.B3n_galv.C3.A1nica)

<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/RC-12.htm>

<http://html.rincondelvago.com/contaminantes-principales-en-planta-de-acido-sulfurico.html>

[http://html.rincondelvago.com/elementos-quimicos\\_2.html](http://html.rincondelvago.com/elementos-quimicos_2.html)

<http://pastebin.com/f5315105a>

[http://www2.cleantool.org/lang/sp/mat\\_cleaning/13\\_reinigungprozess.htm](http://www2.cleantool.org/lang/sp/mat_cleaning/13_reinigungprozess.htm)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Acido\\_formico](http://es.wikipedia.org/wiki/Acido_formico)

[http://64.233.169.104/search?q=cache:EHL-xDe5k7MJ:www.iqb.es/diccio/a/agente.htm+agente+quelante&hl=es&ct=clnk&cd=2&gl=cl&lr=lang\\_es](http://64.233.169.104/search?q=cache:EHL-xDe5k7MJ:www.iqb.es/diccio/a/agente.htm+agente+quelante&hl=es&ct=clnk&cd=2&gl=cl&lr=lang_es)

[http://ge-iic.com/index.php?option=com\\_fichast&Itemid=83&tasko=viewlso&task=view&id=10](http://ge-iic.com/index.php?option=com_fichast&Itemid=83&tasko=viewlso&task=view&id=10)

[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000189/docs\\_curso/lecciones/Sublecciones/sub1.7.html](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000189/docs_curso/lecciones/Sublecciones/sub1.7.html)

<http://www.cituc.cl/Silica%20Gel.html>

<http://www.productosdeconservacion.com/index.php?opcion=2,0>

<http://www.biologia.edu.ar/microscopia/microscopia1.htm>

[http://es.wikipedia.org/wiki/Microscopio\\_%C3%B3ptico](http://es.wikipedia.org/wiki/Microscopio_%C3%B3ptico)

<http://www.monografias.com/trabajos30/radiografia-industrial/radiografia-industrial.shtml>

[http://64.233.169.104/search?q=cache:6lk8piRkFLMJ:www.edafologia.net/conta/tema12/sales.htm+Sulfato+calcico&hl=es&ct=clnk&cd=7&gl=cl&lr=lang\\_es](http://64.233.169.104/search?q=cache:6lk8piRkFLMJ:www.edafologia.net/conta/tema12/sales.htm+Sulfato+calcico&hl=es&ct=clnk&cd=7&gl=cl&lr=lang_es)

<http://www.imcyc.com/cyt/enero02/concretos.htm>

[http://www.stem-museos.com/productos\\_item.asp?seccion=30&cont=2364](http://www.stem-museos.com/productos_item.asp?seccion=30&cont=2364)