

# **SÍNTESIS DEL ANÁLISIS DE INFORMES INGEMMET**

Lilian Cristofol  
Ingeniero en Ciencia de Materiales / Caracterización  
Noviembre de 2018

Traducción: Antoine Bruno

## SUMARIO

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Lote nº1 - muestra 01 : roca.....</b>	<b>2</b>
1.1 Presentación.....	2
1.2 Resumen de los resultados de caracterización en SEM / EDS .....	2
1.3 Discusión de los resultados en el contexto de estudio.....	3
<b>2. Lote nº1 - muestra 02: Implante de metal de Josefina.....</b>	<b>4</b>
2.1 Presentación.....	4
2.2 Resumen de los resultados de caracterización en SEM / EDS.....	4
2.3 Discusión de los resultados en el contexto de estudio.....	5
<b>3. Lote nº1 - muestra 03 : implante metálico anular de una mano tridáctila.....</b>	<b>6</b>
3.1 Presentación.....	6
3.2 Resumen de los resultados de caracterización en MEB / EDS.....	6
3.3 Discusión de resultados en el contexto de estudio.....	7
<b>4. Lote nº1 - muestra 04 : implante metálico de una mano tridáctila.....</b>	<b>8</b>
4.1 Presentación.....	8
4.2 Resumen de los resultados de caracterización en MEB / EDS.....	8
4.3 Discusión de resultados en el contexto de estudio.....	9
<b>5. Lote nº2 - muestra 01 : Implante de metal en la cadera de Alberto.....</b>	<b>10</b>
5.1 Presentación.....	10
5.2 Resumen de los resultados de caracterización en MEB / EDS.....	10
5.3 Discusión de los resultados en el contexto del estudio .....	11
<b>6. Lote nº2 - muestra 02 : objeto metálico en forma de cruz.....</b>	<b>12</b>
6.1 Presentación.....	12
6.2 Resumen de los resultados de caracterización en MEB / EDS.....	12
6.3 Discusión de resultados en el contexto del estudio.....	13
<b>7. Comentarios adicionales .....</b>	<b>14</b>

## **Introducción**

El propósito de este documento es resumir los resultados de los microanálisis elementales realizados en EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) y realizados por INGEMMET en seis muestras enviadas por el Instituto INKARI-CUSCO.

El objetivo aquí es poder evaluar, dentro de los límites de los resultados obtenidos, la relevancia de la autenticidad de los objetos de los que se extrajeron las muestras analizadas, ubicadas en el contexto de estudio, es decir, objetos posiblemente del período precolombino.

En esta síntesis para cada muestra, después de la presentación, se presenta un resumen condensado de las características químicas elementales notables medidas en los microanálisis de EDS, seguido de una breve discusión en el contexto del estudio.

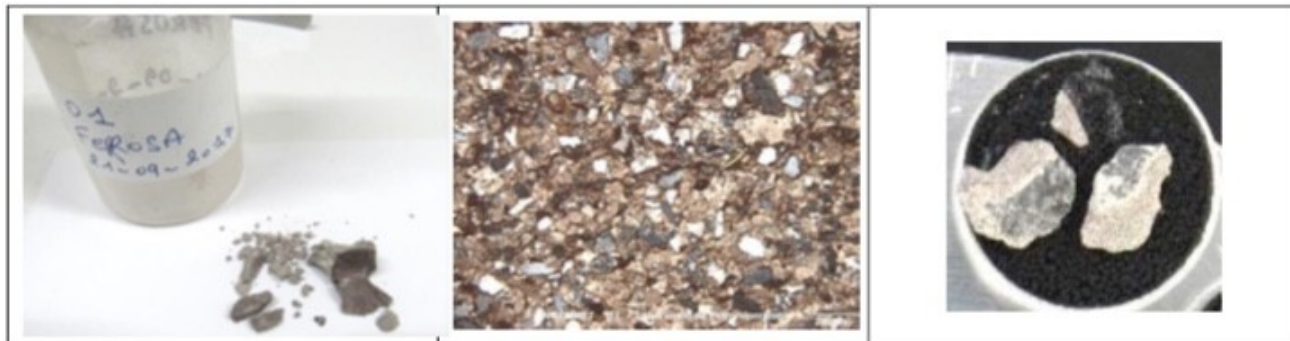
Para los detalles completos de los análisis de cada muestra presentada aquí, consulte el informe "ANÁLISIS DE INFORMES DE INGEMMETES".

Buena lectura.

**1. Lote n°1 - muestra 01 : roca**

**1.1 Presentación**

La muestra 01 del lote n°1 se compone de varios fragmentos de roca, tres de los cuales se toman para su análisis :



Muestra 01 del lote 1 (izquierda) - Foto con una lupa binocular de la muestra 01 (en el centro) - Fragmentos de la muestra 01 en la parcela para análisis (derecha).

**1.2 Resumen de los resultados de caracterización en MEB/EDS**

Para esta muestra, se analizan 3 zonas en los fragmentos muestreados, para un total de 39 espectros realizados, y para cada uno una medición de las concentraciones de masa elemental.

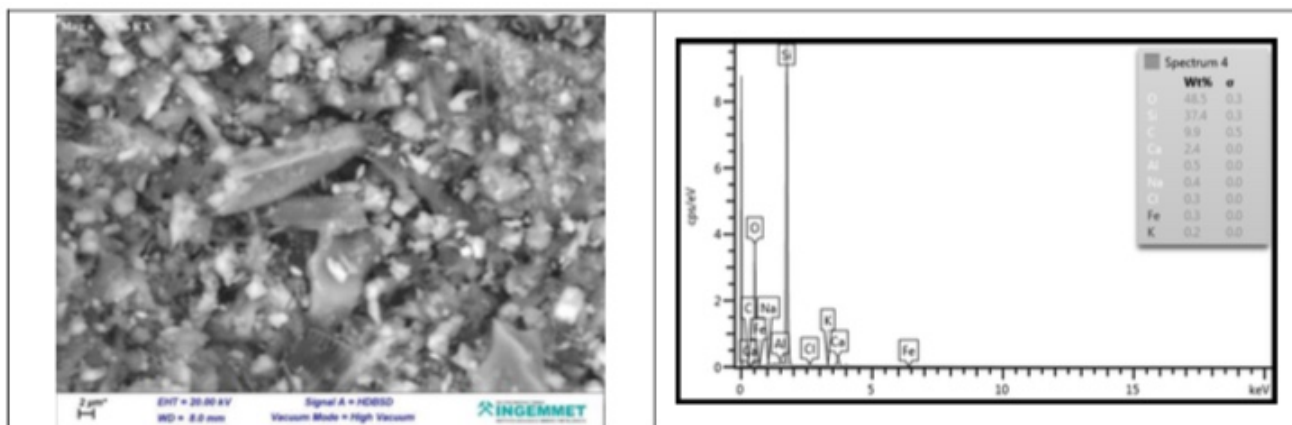


Imagen MEB (izquierda) y espectro de adquisición EDS (derecha) de la muestra 01 del lote 1. El espectro muestra una firma química silíceo de la muestra.

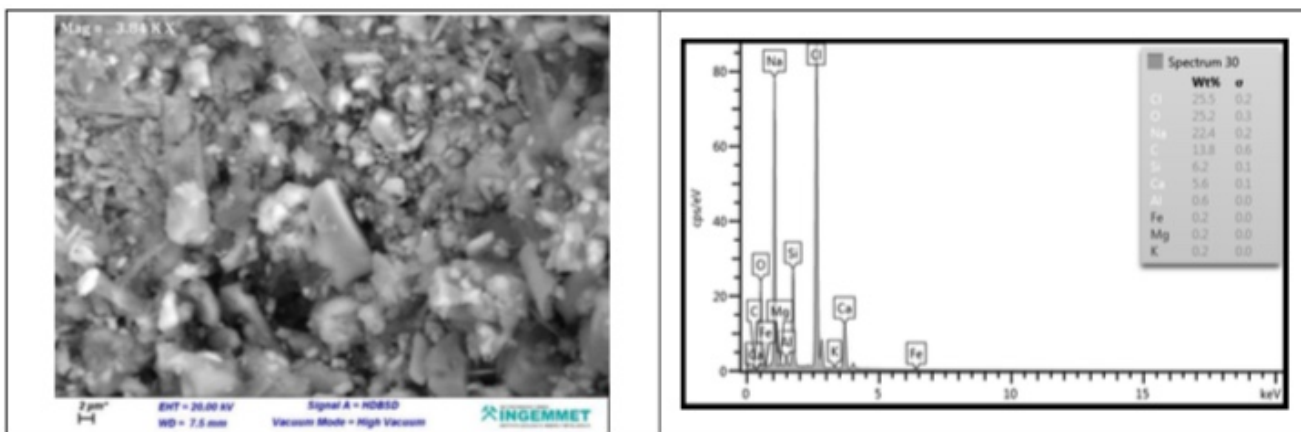


Imagen MEB (izquierda) y espectro de adquisición EDS (derecha) de la muestra 01 del lote 1. El espectro muestra una firma química correlacionada con una evaporita de tipo halita.

Para concluir, el conjunto de mediciones de concentración de masa realizadas en EDS para cada zona se compila en el siguiente gráfico de barras de resumen:

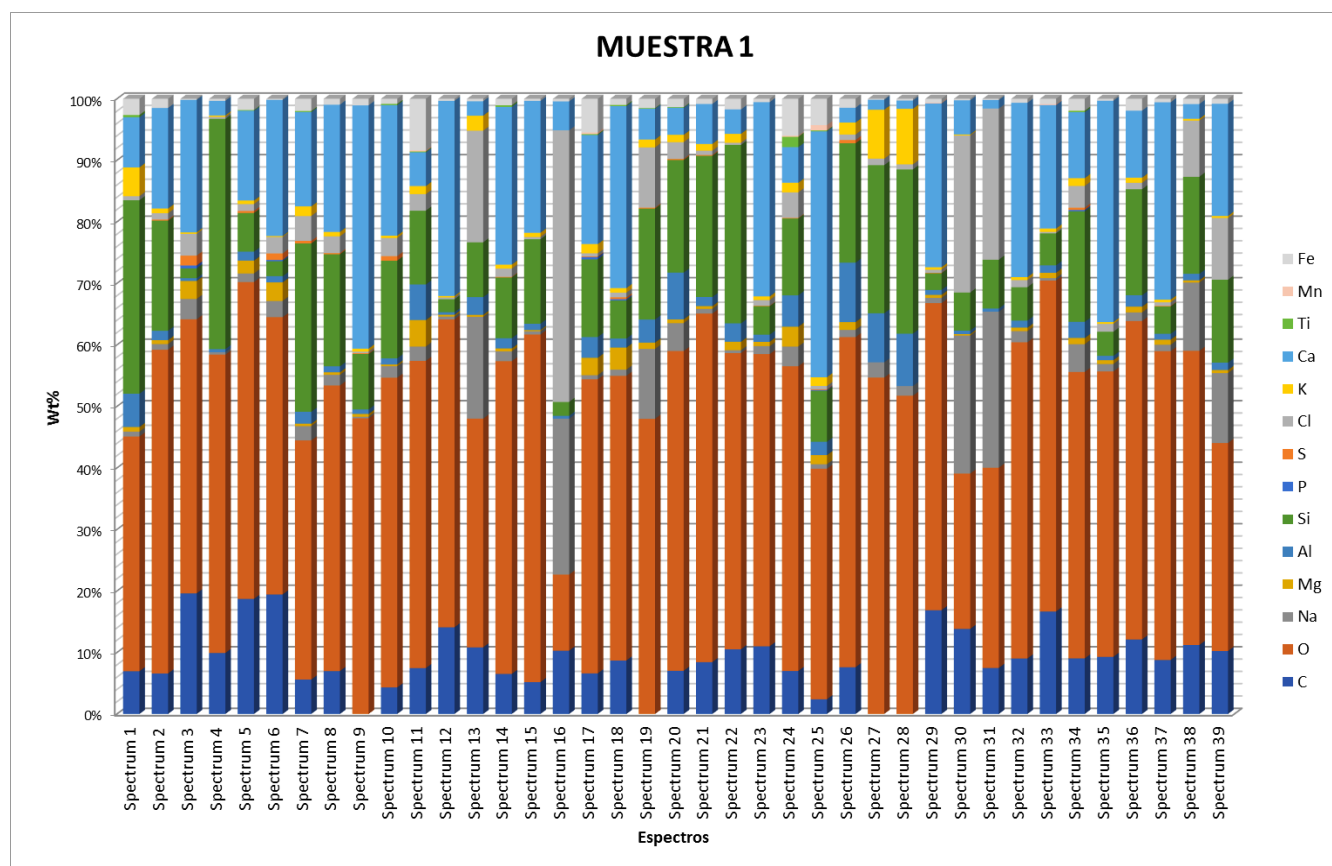


Tabla recapitulativa de las mediciones de la concentración de masa realizadas en el EDS para la muestra 01 del lote n°1. Existen varios perfiles de composición similares a los perfiles de composición química mineral.

En síntesis, esta muestra sería una roca sedimentaria de tipo arenisca, como lo demuestra su composición elemental, que indica la posible presencia, además de granos de cuarzo, de minerales característicos de rocas ígneas, cementados por una matriz de carbonato.

Notamos la presencia para esta muestra de restos de organismos microfósiles, cuya naturaleza exacta queda por determinar, aunque es muy probable que se trate de diatomeas (morfología, química). También es difícil determinar si estos restos de microfósiles son intrínsecos a la muestra o una contribución exógena.

### 1.3 Discusión de resultados en el contexto de estudio.

En el contexto del estudio, esta muestra es completamente consistente con la geología peruana, sin embargo, es difícil obtener información sustancial sin mucha más investigación: puede ser posible identificar el depósito de origen, sin embargo a escalas geológicas (varios cientos / miles de kilómetros), esto tendría poca relevancia para la ubicación precisa de un lugar, por ejemplo.

## 2. Lote n°1 - muestra 02 : implante de metal de Josefina.

### 2.1 Presentación

Esta muestra está compuesta por varios fragmentos extraídos del implante pectoral de Josefina, cuales tres de ellos se recogen para su análisis.



Fotografías del organismo donde se implanta el objeto. de origen de la muestra 02 del lote 1 (rodeado de rojo).

### 2.2 Resumen de los resultados de caracterización en MEB/EDS

Para esta muestra, se analizan 5 zonas en los fragmentos recolectados, para un total de 70 espectros realizados, y para cada uno una medición de las concentraciones de masa elemental.

Además, se realiza un mapeo EDS de los elementos carbono, oxígeno, silicio, azufre, cloro, calcio y cobre en uno de los tres fragmentos.

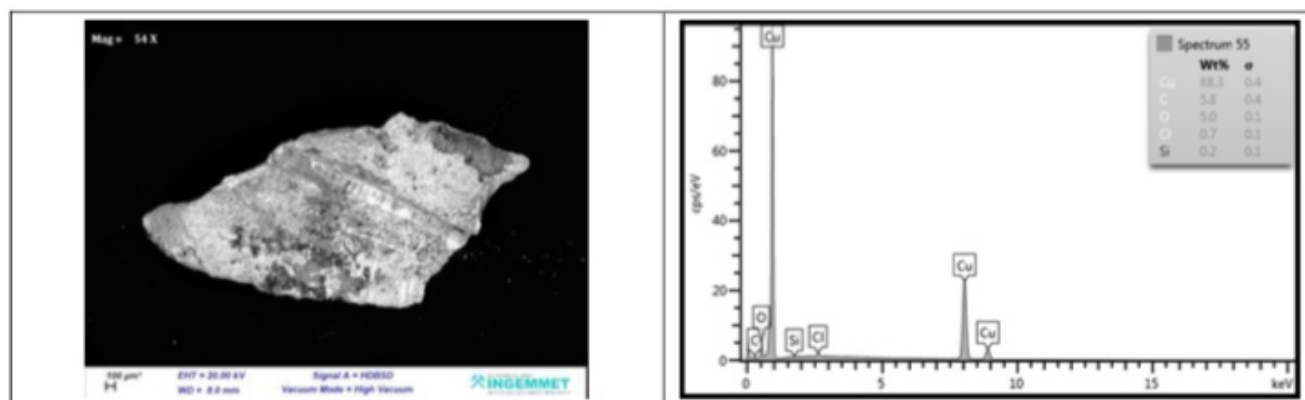
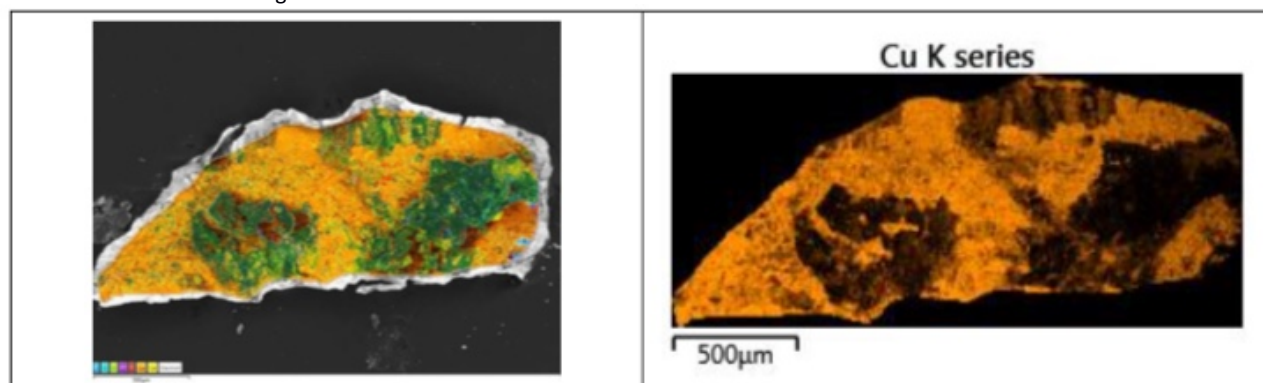


Imagen MEB (izquierda) y espectro de adquisición EDS (derecha) de la muestra 02 del lote 1. Este espectro muestra una zona rica en cobre Cu del fragmento analizado.



Mapeo elemental (C, O, Si, S, Cl, Ca, Cu) de un fragmento de la muestra 02 del lote n° 1.

Para concluir, el conjunto de mediciones de concentración de masa realizadas en EDS para cada zona compilado en el siguiente gráfico de barras.

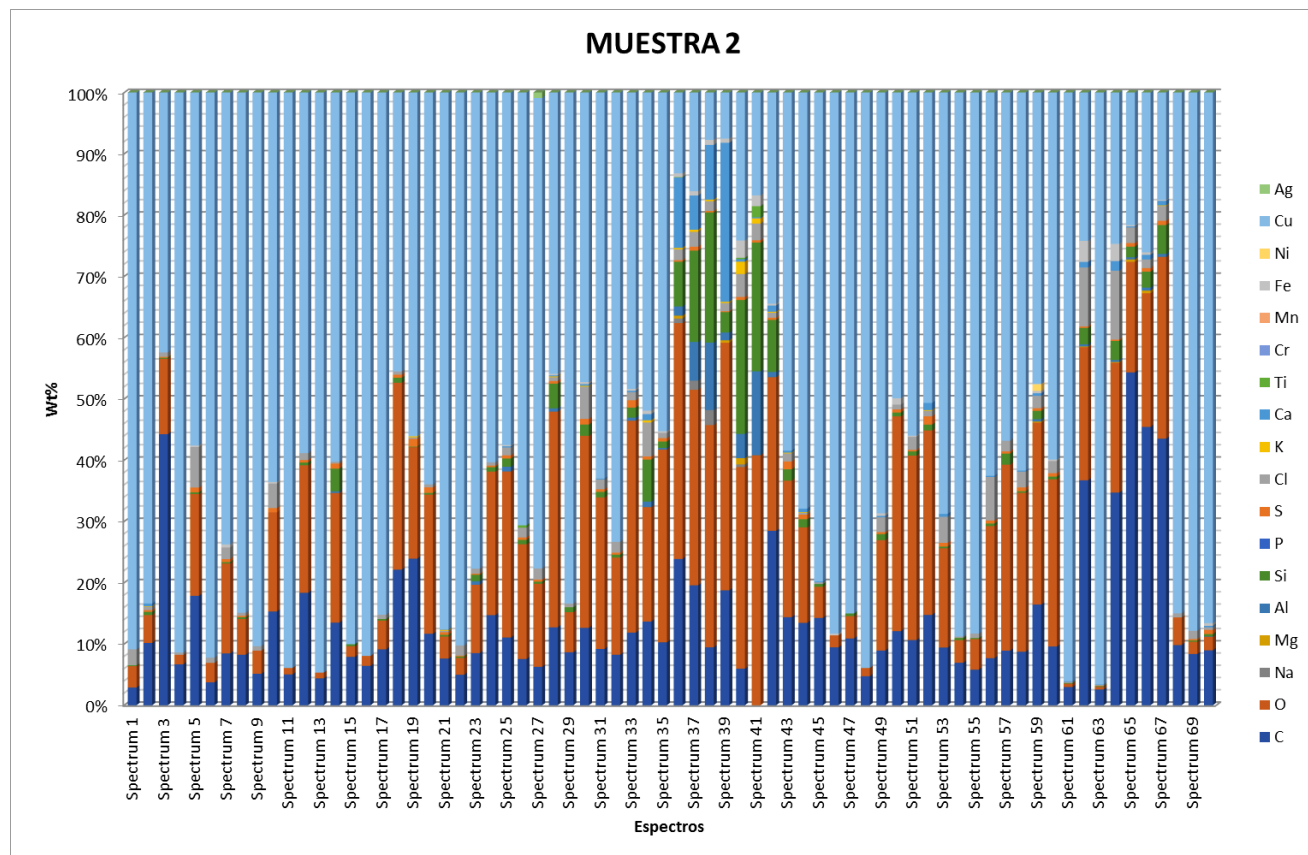


Tabla resumen de mediciones de concentraciones de masa en EDS realizada en la muestra 01 del lote n ° 1. La muestra está hecha principalmente de cobre. También se observa la presencia de minerales.

Esta muestra está compuesta principalmente de cobre metálico (85% de masa en promedio para las áreas más puras.), cuya alteración parcial se observa a través de la formación de productos de oxidación como cuprita o tenorita, o minerales de alteración como la atacamita o la brochantita. Este cobre también contiene impurezas (hierro, azufre, ...), que podrían ser características del mineral del cual se extrajo el cobre utilizado para el diseño del implante. Estas impurezas también podrían dar indicaciones sobre el método de extracción utilizado, especialmente a través de la presencia de azufre (extracción posible a partir de sulfuros de tipo calcocita). Los niveles de azufre y cloro característicos de los productos de alteración observados, como la atacamita, pueden indicar una alteración que ocurre en un lugar con una atmósfera rica en cloro y / o azufre, como un entorno costero o volcánico, o en un entorno contaminado (fábrica, gas de escape).

Para esta muestra existe también una firma química mineral (carbonato, silicatos, sales), que puede ser el resultado de una aportación exógena (ganga que envuelve el implante) o de cristalizaciones in situ en determinadas condiciones.

### 2.3 Discusión de los resultados en el contexto del estudio.

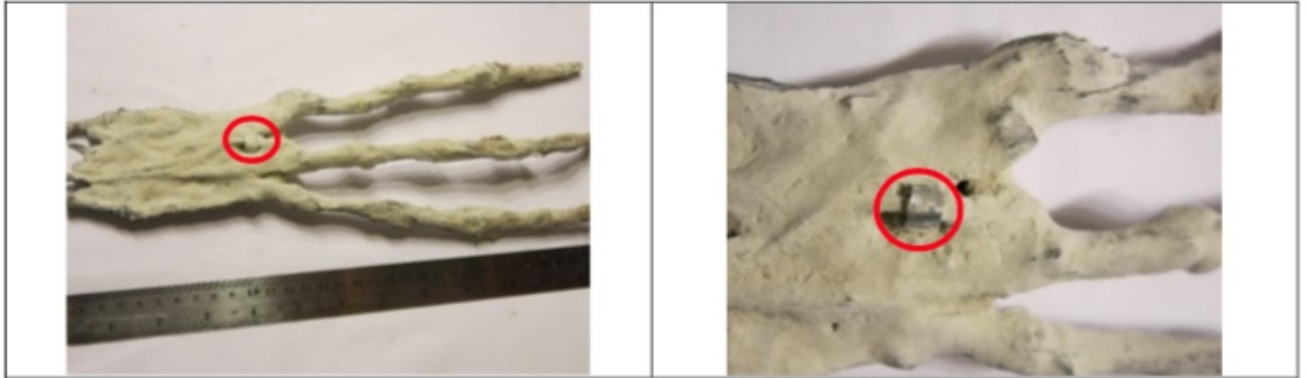
En el contexto del estudio, esta muestra es bastante consistente en términos de composición química (cobre cuya pureza -perfectible- es totalmente compatible con los métodos de refinación conocidos y accesibles en ese momento) con un objeto de Época precolombina. Además, los productos de oxidación y meteorización observados implican procesos lentos y, por lo tanto, contribuyen a corroborar la edad del objeto del cual se extrae la muestra, siempre que no haya sido expuesto a Ambiente muy agresivo (contaminación atmosférica). La firma mineral observada también iría en esta dirección, en caso de cristalización in situ (proceso lento).



**3. Lote n°1 - muestra 03 : implante metálico anular de una mano tridáctila**

**3.1 Presentación**

Esta muestra es un fragmento extraído de un implante anular tomado de la mano tridáctila que Paul Ronceros entregó al Instituto INKARI-CUSCO.



Fotografías de la mano tridáctila donde se implanta el objeto fuente de la muestra 03 del lote n°1 (rodeado de rojo).

**3.2 Resumen de los resultados de caracterización en MEB/EDS**

Para esta muestra, se analizan 4 zonas en el fragmento muestreado, para un total de 27 espectros realizados, cada uno con una medición de las concentraciones de masa elementales. También se realiza un mapeo elemental en un área de este fragmento.

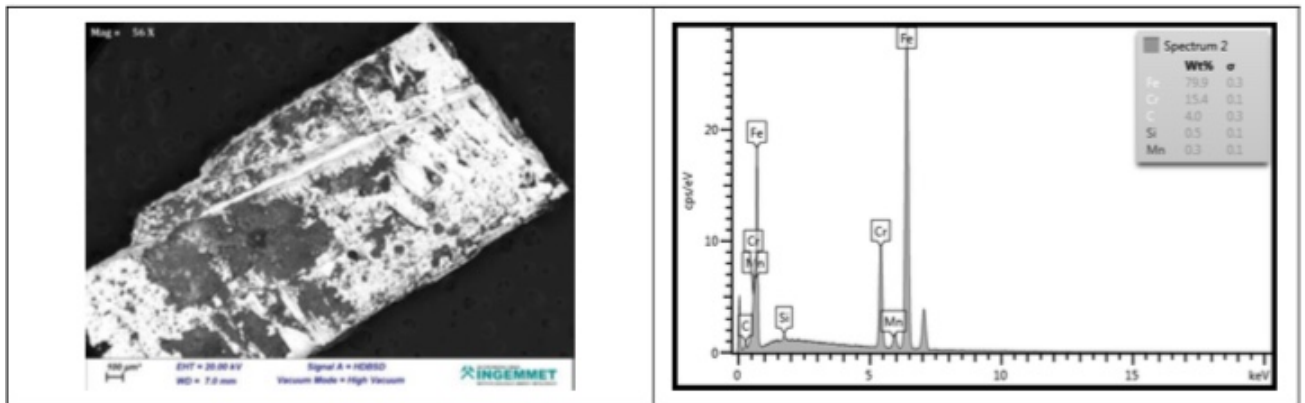
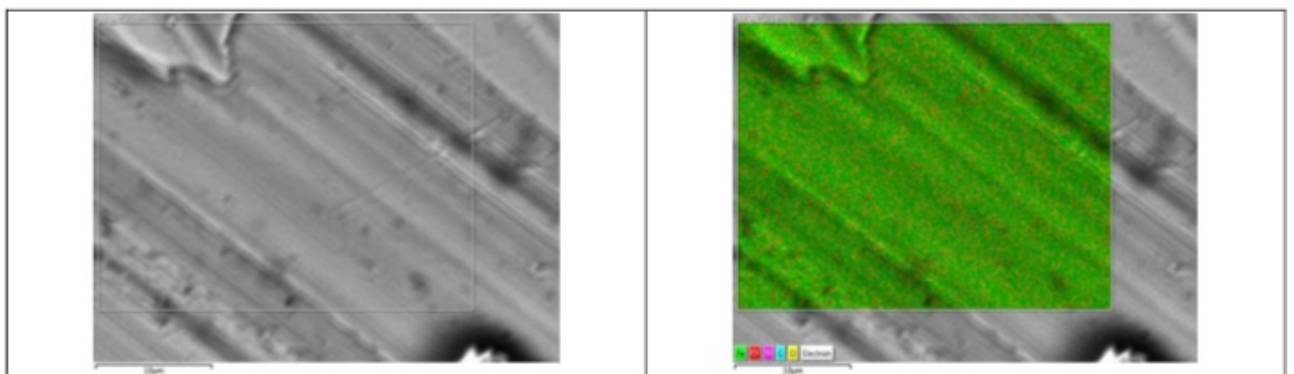


Imagen MEB (izquierda) y espectro de adquisición EDS (derecha) de la muestra 03 del lote 1. Este espectro muestra una zona rica en hierro Fe y cromo Cr, así como la presencia de manganeso Mn.



Mapeo elemental con elementos (C, O, Si, Cr, Fe) de un área del fragmento de la muestra 03 del lote n ° 1. El cromo se localiza puntualmente, en forma de pequeñas inclusiones.



Para concluir, el conjunto de mediciones de concentración de masa realizadas en EDS para cada zona se compila en el siguiente gráfico de barras de resumen:

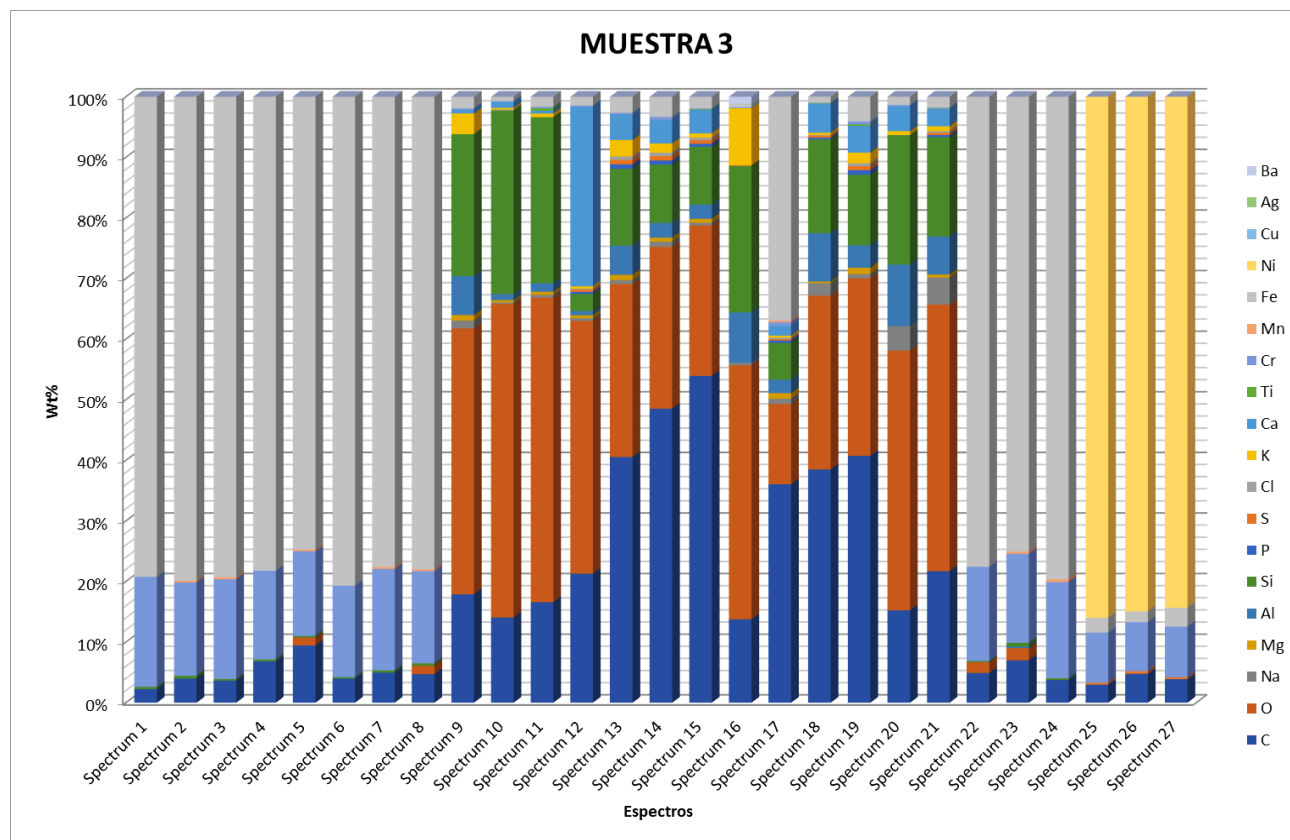


Tabla resumen de las mediciones de la concentración de masa EDS en la muestra 03 del lote n° 1. Observamos las concentraciones de hierro, cromo, así como el mineral elemental y la firma de níquel, confinados a una sola zona.

Esta muestra está compuesta de una aleación de hierro-carbono (promedio de 78% de hierro para 5% de carbono) rica en cromo (promedio de 16%), sin embargo, el análisis EDS no permite decidir entre un acero (inoxidable) o un hierro fundido (blanco). Se observa que si esta aleación no contiene níquel en su composición intrínseca, se detecta, por otro lado, muy localmente en una de las zonas de análisis en una concentración casi pura (promedio del 85%), lo que indicaría la existencia de una Capa de pasivación de níquel para esta muestra (hipótesis a considerar aparte de una posible contribución exógena, con la contaminación por las herramientas utilizadas para la extracción, por ejemplo). Por lo tanto, tendríamos para esta muestra un acero o un hierro fundido, quizás cubierto en la superficie con una capa de níquel, plausiblemente depositada por galvanoplastia (baño químico o electrolítico). También se observa una firma química mineral para esta muestra, que probablemente sea de origen exógeno (ganga mineral).

### 3.3 Discusión de los resultados en el contexto del estudio.

En el contexto del estudio (aparte de las consideraciones de las composiciones elementales: acero o hierro fundido, galvanoplastia con níquel, etc.), el "problema" más grande que plantea esta muestra es que aún no existe objetos fabricados precolombinos, objetos de aleación de base de hierro. La razón principal es puramente técnica: las civilizaciones de esa época no dominaron las técnicas requeridas para la extracción y el trabajo del hierro. La única alternativa para explicar esta "anomalía" en la hipótesis de un objeto desarrollado por una civilización precolombina sería la concepción del objeto de origen del cual la muestra se extrae del hierro nativo de origen meteorítico (observado en Otras civilizaciones antiguas), de composición química equivalente.

**4. Lote 1 - muestra 04: implante de metal de una mano tridáctila.**

**4.1 Presentación**

Esta muestra está compuesta por varios fragmentos extraídos de un implante (en forma de disco) de una de las manos tridáctila. Se toman tres fragmentos de esta muestra para su análisis.



Fotografías del implante metálico del que se extrae la muestra 04 del lote nº 1.

**4.2 Resumen de los resultados de caracterización en MEB/EDS**

Para esta muestra se estudian 3 zonas sobre los fragmentos recogidos, para un total de 23 espectros realizados, cada uno con una medición de las concentraciones de masa elemental. También se realiza un mapeo elemental.

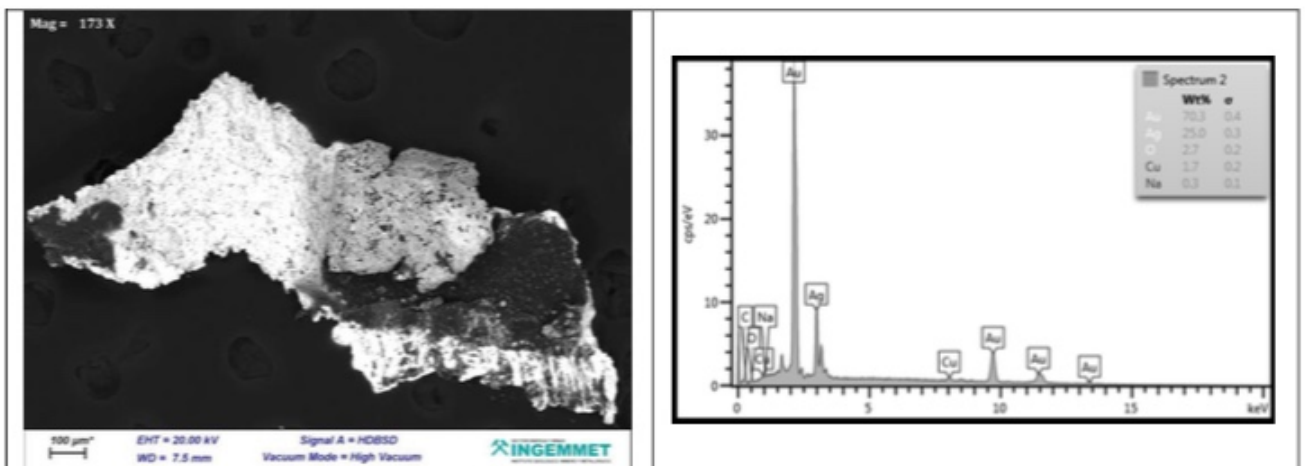
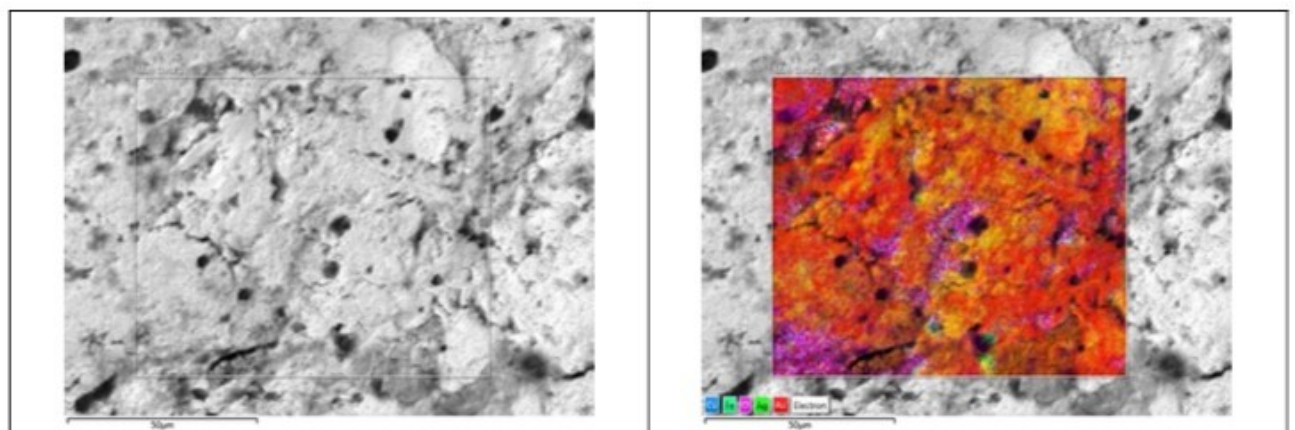


Imagen MEB (izquierda) y espectro de adquisición EDS (derecha) de la muestra 04 del lote 1. Este espectro muestra una zona rica en plata Ag y oro au, así como en la presencia de cobre Cu.



Mapeo elemental EDS de una muestra 04 zona del lote 1: elementos O, Fe, Cu, Ag, Au.

Para concluir, el conjunto de mediciones de concentración de masa realizadas en EDS para cada zona se compila en el siguiente gráfico de barras de resumen:

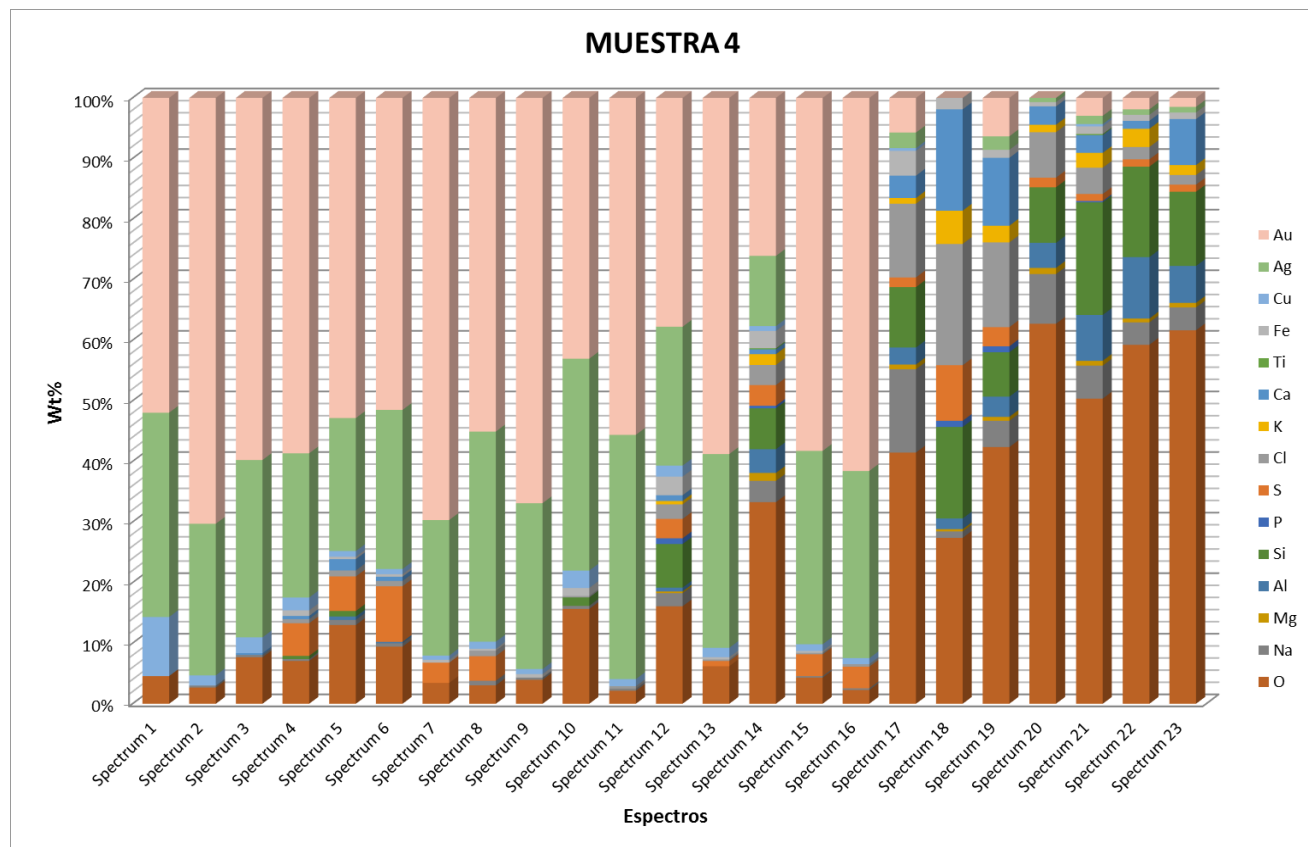


Tabla de resumen de las mediciones de concentración de masa en EDS de la muestra 04 del lote 1. Las concentraciones de oro y plata son casi constantes, así como una firma química mineral.

Esta muestra se compone principalmente de una aleación de oro-plata (y en menor medida de cobre), en una proporción media de aproximadamente 60% de oro por 30% de plata (aproximadamente 10% de cobre), excluyendo hipótesis sobre la posible técnica de fabricación del objeto fuente (ver abajo). Observamos la presencia de otros elementos como el hierro presente en forma de inclusión si nos referimos a la cartografía básica, que podría ser una indicación de la fuente de la aleación utilizada para la fabricación del objeto del cual se extrae la muestra 04: podría ser una aleación de oro-plata nativa, que es compatible con la mineralogía peruana. También es posible que se haya aplicado una técnica de acabado de "dorado por empobrecimiento" al objeto, en cuyo caso los valores de concentración de masa medidos sólo serían representativos de la superficie cercana de la muestra y la aleación probablemente proporcional más rica en cobre (tipo *tumbaga*).

También hay una firma química mineral (carbonatos, silicatos, sales), como resultado de una ingesta exógena (ganga mineral que envuelve la muestra), o cristalizaciones in situ (procesos lentos a favor de ciertas condiciones eso atestiguaría la antigüedad del objeto fuente).

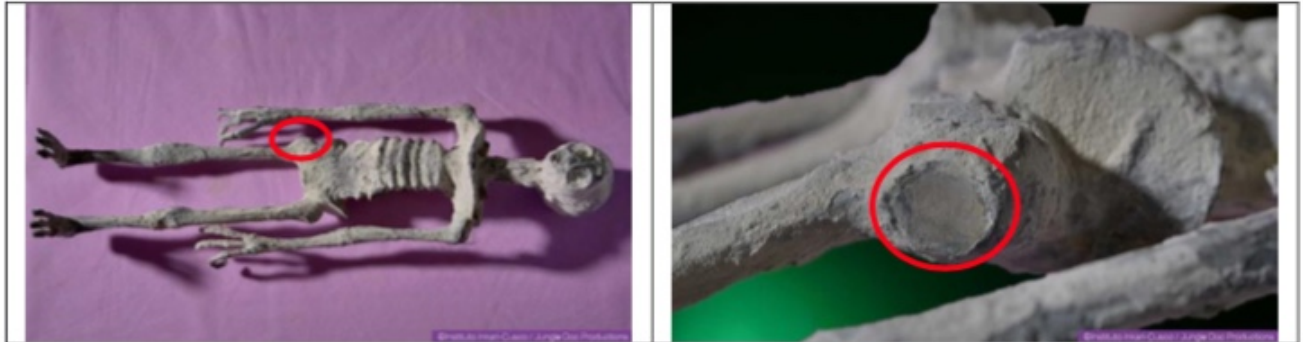
### 4.3 Discusión de los resultados en el contexto del estudio.

En el contexto del estudio, esta aleación de oro-plata es bastante consistente en composición con las aleaciones usadas en tiempos precolombinos. La presencia de impurezas tales como la inclusión de hierro también va en esta dirección, un indicador plausible de la utilización de una aleación nativa de oro-plata para el diseño del objeto, en ausencia de procesos completamente controlados por el metalúrgico precolombino para la producción de este tipo de aleaciones. También es plausible que se aplicara un acabado de tipo "dorado por empobrecimiento" al objeto fuente de la muestra, incluyendo la aleación sería entonces una aleación de oro-plata-cobre característica de muchos objetos del período precolombino y significativamente más rica en cobre en proporción de masa, la *tumbaga*".

**5. Lote 2 - muestra 01: implante de cadera de Alberto.**

**5.1 Presentación**

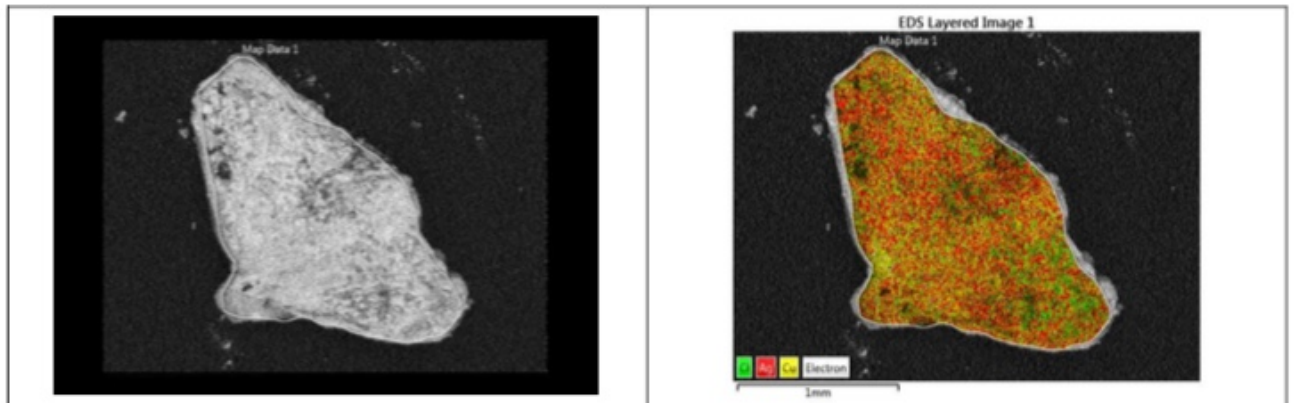
Esta muestra es un fragmento extraído del implante de cadera derecha de Alberto, que tiene la geometría de un disco si se hace referencia a las fotografías, rayos X y tomografías disponibles.



Fotografías del organismo donde se implanta el objeto fuente de la muestra 01 del lote 2 (rodeado de rojo).

**5.2 Resumen de los resultados de caracterización en MEB/EDS**

Para esta muestra se estudian 3 zonas en el fragmento muestreado, para un total de 13 espectros realizados, cada uno con una medición de las concentraciones de masa elementales. En la introducción también se presenta una cartografía elemental (cloro, cobre, plata).



Mapeo elemental de la muestra 01 del lote 2 (Cl, Cu, Ag). La distribución parece homogénea a esta escala.

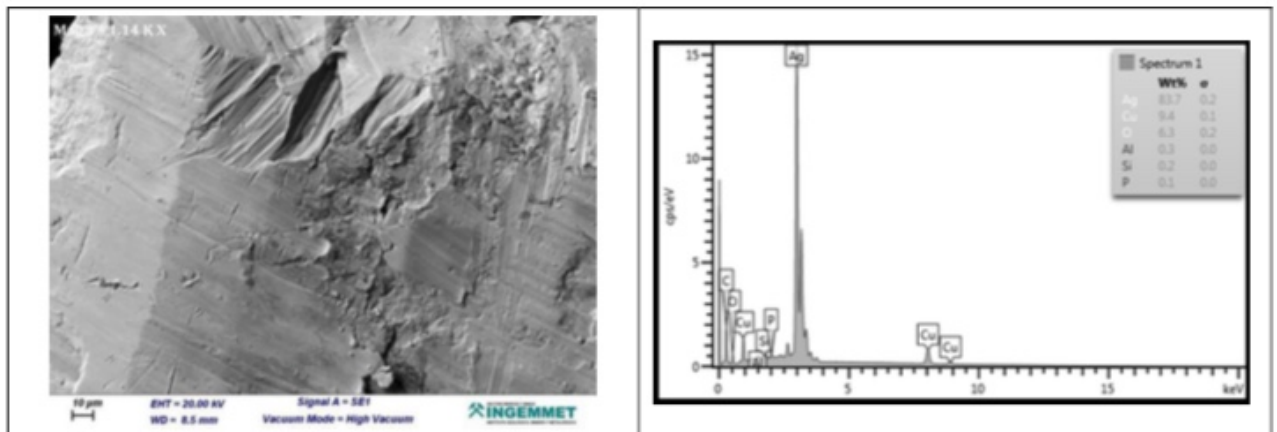


Imagen MEB (izquierda) y espectro de adquisición EDS (derecha) de la muestra 01 del lote 2. Este espectro muestra una zona rica en Ag de plata, así como la presencia de cobre Cu.

Para concluir, todas las mediciones de concentración de masa realizadas en EDS para cada zona se promedian y representan en el siguiente diagrama siguiente :

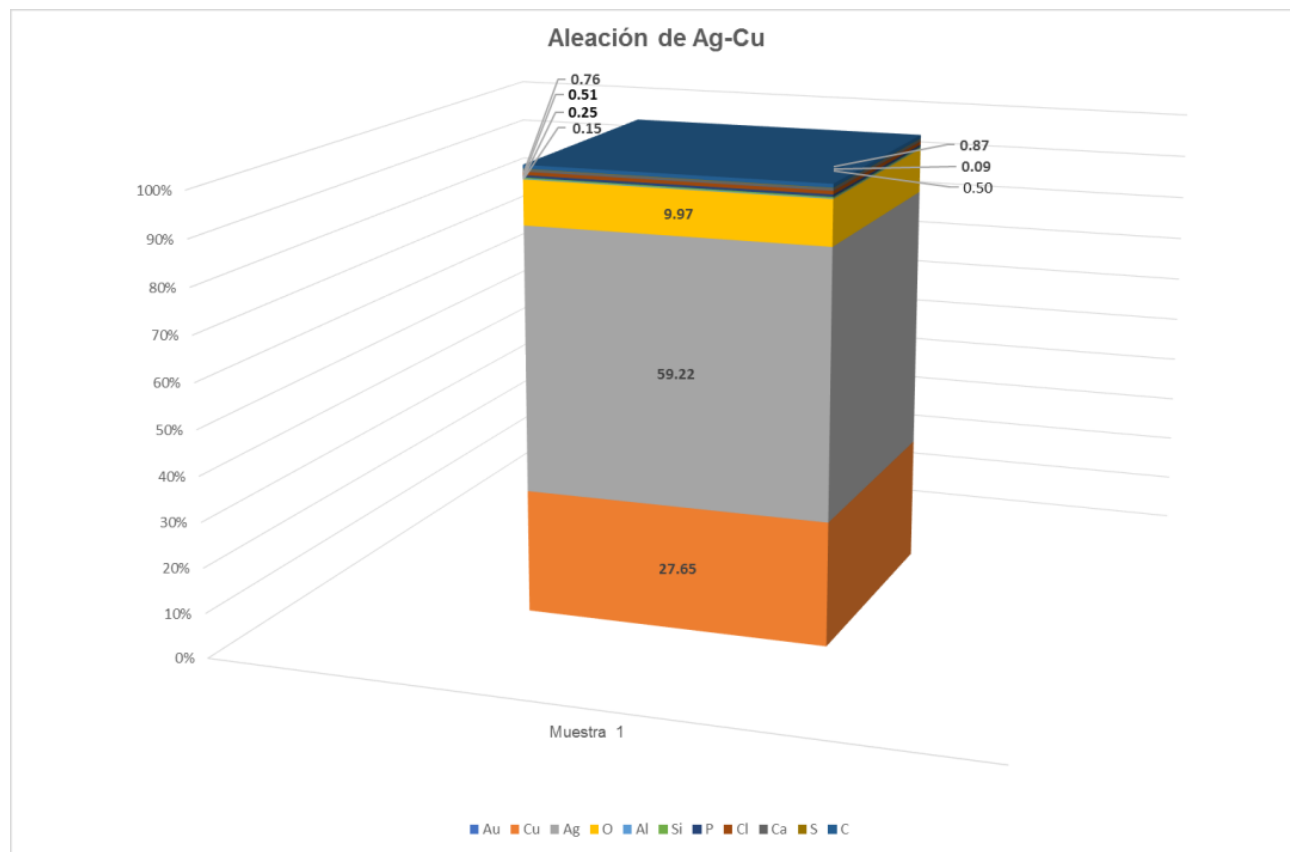


Diagrama resumido de las mediciones de concentración de masa realizadas en EDS en la muestra 01 del lote 2. Esta muestra consiste principalmente en una aleación de cobre-plata con trazas de oro.

Esta muestra está hecha de una aleación de cobre-plata, en una proporción de masa que va desde alrededor del 10% de cobre para el 90% de plata hasta el 10% de plata para el 80% de cobre, dependiendo del área analizada. Estas disparidades están condicionadas por varios factores, siendo los principales la composición de la aleación utilizada para la fabricación de la pieza (relación cobre/plata que favorecerá determinadas microestructuras), el método de fabricación utilizado (fundición, batido en frío, acabado de la pieza, etc.) y la orientación de la muestra durante el análisis (también condicionada por su extracción del objeto fuente).

Existe también una firma química mineral (carbonatos, silicatos, sales), que también puede ser de origen orgánico debido a los elementos involucrados, particularmente con el fósforo utilizado en la composición ósea.

### 5.3 Discusión de resultados en el contexto del estudio.

En el contexto del estudio, la composición de esta muestra es completamente consistente con las composiciones estándar listadas para los objetos de la época precolombina hechos de una aleación de cobre y plata. La microestructura observable en las imágenes topográficas sugiere que el objeto fuente fue diseñado mediante el estampado de láminas de aleación de cobre y plata mediante batido en frío, una técnica también registrada para el diseño de muchos objetos del período precolombino. En cuanto a la biocompatibilidad de un implante diseñado a partir de una aleación de este tipo, dada la actividad química del cobre y la plata según el contexto (pH,...), las consecuencias histológicas sobre un organismo vivo serían inciertas y requerirían el asesoramiento de un especialista.



**6. Lote 2 - muestra 02: objeto metálico en forma de cruz.**

**6.1 Presentación**

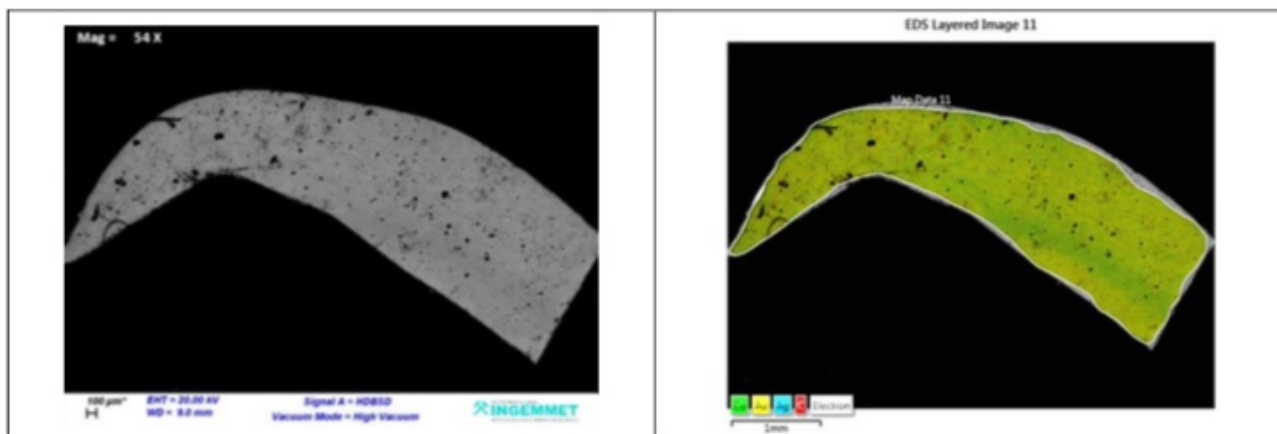
Esta muestra consiste en dos fragmentos extraídos de un objeto de metal en forma de cruz.



Objeto fuente de la muestra 02 del lote n ° 2. Notamos la presencia de posibles minerales en la parte inferior.

**6.2 Resumen de los resultados de caracterización en MEB/EDS**

Para esta muestra se estudian 3 zonas en el fragmento muestreado, para un total de 13 espectros realizados, cada uno con una medición de las concentraciones de masa elemental. En la introducción también se presenta una cartografía elemental (cloro, cobre, plata).



Mapeo elemental EDS de la muestra 02 del lote 2: carbono C, cobre Cu, plata Ag y oro Au. Se observa que a esta escala, la distribución espacial de oro y cobre parece homogénea.

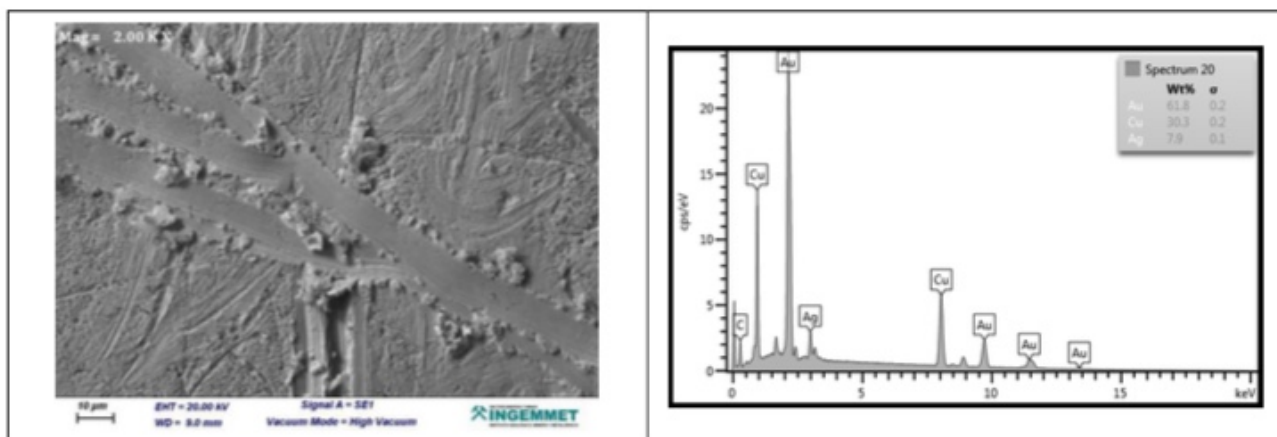


Imagen MEB (izquierda) y espectro de adquisición EDS (derecha) de la muestra 02 del lote 2. Este espectro muestra una zona rica en Au y Cu cobre oro, así como la presencia de Ag plata. En la imagen MEB se observa una textura superficial porosa en áreas inalteradas..



Para concluir, todas las mediciones de concentración de masa realizadas en EDS para cada área de esta muestra se promedian y representan en el siguiente diagrama resumen:

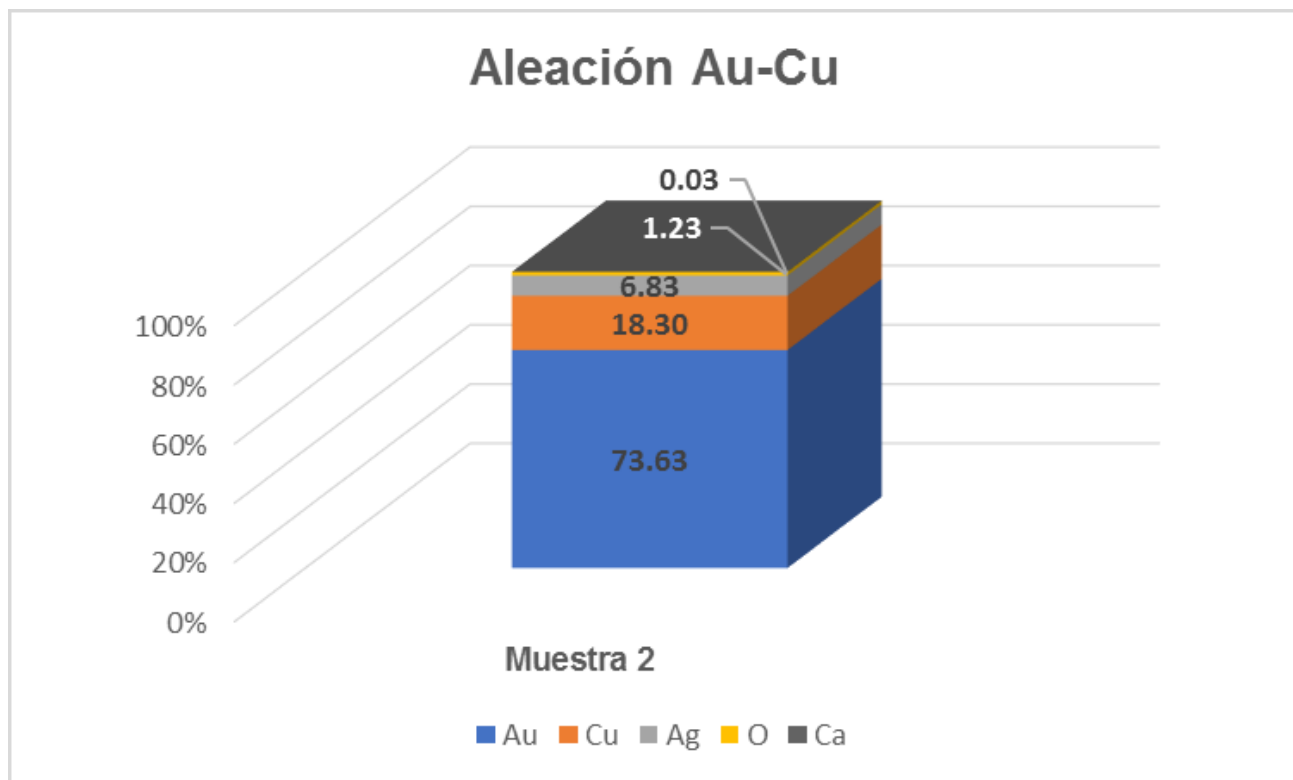


Diagrama de resumen de las mediciones de concentración de masa realizadas en EDS en la muestra 02 del lote 2. Esta muestra consiste principalmente en una aleación de oro y cobre, o tumbaga, con rastros de plata.

Esta muestra muestra la composición química de una aleación de oro y cobre (con un poco de plata, en promedio de 5 a 7% en masa), llamada *tumbaga*. La relación promedio de concentración de masa de oro / cobre varía de aproximadamente 8% de cobre, 85% de oro a 26% de cobre y 65% de oro, según las zonas analizadas.

Los análisis también muestran una firma química mineral (carbonatos, silicatos), posiblemente inducida por la contaminación exógena.

### 6.3 Discusión de los resultados en el contexto del estudio.

En el contexto del estudio, la aleación oro-cobre (-plata) que compone esta muestra es característica de objetos manufacturados precolombinos, lleva el nombre de *tumbaga*. Muchos objetos hechos de esta aleación han sido listados. También es interesante observar que las disparidades en la medición de la concentración serían la consecuencia de una técnica de acabado de objetos de *tumbaga*, dorado por empobrecimiento, una técnica utilizada regularmente por los metalúrgicos de la época precolombina para embellecer los objetos diseñados. La hipótesis de la aplicación de esta técnica sobre este objeto es corroborada aún más por la textura porosa de la superficie de las áreas inalteradas, una textura porosa que puede observarse en la imagen MEB realizada en contraste topográfico. Esta muestra presenta numerosas pistas que atestiguan un origen antiguo plausible.

## 7. Comentarios adicionales

Con respecto a todas las muestras de metal, cabe señalar que ninguna de ellas muestra rastros de arsénico (As), según los microanálisis químicos de EDS.

Esto puede ser un indicador importante del origen de los objetos en el contexto del estudio (período precolombino): el arsénico, utilizado por primera vez por la cultura Moche, a veces se agregaba como endurecedor en las aleaciones, por lo que se encuentra en varios objetos de la época precolombina. También se observa que este elemento puede estar presente o ausente en la fuente de los minerales utilizados para fabricar las aleaciones utilizadas, que puede ser la ubicación del origen de los minerales utilizados para fabricar las aleaciones (Petersen G. Georg, William E. Brooks, *Mining and Metallurgy in Ancient Perú*), en conjunción con la cultura que diseñó los objetos, además de los métodos de explotación minera y de manufactura utilizados.

Se puede hacer la misma observación para el elemento de estaño Sn, para el cual no se ha detectado ningún rastro durante los microanálisis elementales de las diferentes muestras de metal.

Este metal, utilizado para la fabricación de bronce (aleación de cobre-estaño), fue usado significativamente por las civilizaciones precolombinas solo desde el final de la cultura Moche / comienzo de la cultura de la cultura Inca (es decir, hace unos 1400 años), basado en análisis de composiciones químicas disponibles y realizadas en varios artefactos que datan de esos tiempos (Petersen G. Georg, William E. Brooks, *Mining and Metallurgy in Ancient Perú*). El estaño en las aleaciones anteriores a este período solo está presente como una impureza (fuente de los minerales utilizados). Este indicador, la ausencia de estaño en las diversas muestras de metal analizadas, puede ser un fuerte indicador del período de fabricación de los objetos fuente correspondientes en el contexto del estudio (civilizaciones precolombinas).