

Técnicas nucleares en el estudio de piezas de oro de Morro de Étén

Luisa Vetter¹, Susana Petrick², Paula Olivera^{3,*}

¹ Museo Nacional Sicán, Instituto Riva Agüero-PUCP

² Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería,

³ Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear

Resumen

En el sitio arqueológico de Morro de Étén, Elera durante sus excavaciones se encontró entre 1979 y 1988 pequeñas piezas de oro, algunas de las cuales fueron analizadas encontrándose en su composición platino. Por otro lado, a simple vista algunas parecían haber sido cubiertas parcialmente por un polvo o pigmento rojo inicialmente identificado por Elera como hematita. El objetivo de este trabajo ha sido esclarecer la presencia de platino en dichas piezas, verificando si todas ellas contienen este elemento en su composición para comprender de qué modo ésta pudo influir en la tecnología de los antiguos orfebres; además, intentamos dilucidar si el pigmento que se encuentra en las piezas de oro de Morro de Étén es hematita o cinabrio; para ello, recurrimos a diferentes técnicas nucleares como Activación Neutrónica (NAA), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Espectrografía de Emisión Atómica, Fluorescencia de Rayos X (FRX) de Energía Dispersiva, y Microanálisis de Energías Dispersivas de Rayos X (EDAX) y microscopía óptica. Finalmente, se pudo concluir que las piezas analizadas contienen Pt en pequeñas cantidades, entre 0,6 y 1 %, y el análisis del polvo adherido a la superficie del anillo revela que se trata de cinabrio.

Abstract

In the archaeological place of Morro de Étén, Elera found during his excavations between 1979 and 1988 small pieces of gold, some of which they were analyzed being found in their composition platinum. On the other hand, at first sight some they seemed to have been covers partly by a dust or red pigment initially identified by Elera as hematite. The objective of this work has been to clear the presence of platinum in these pieces, verifying if all they contain this element in his composition to understand of what way this could influence in the technology of the old goldsmiths; besides, we try to clarify if the pigment that is found in the gold pieces of Morro de Étén is hematite or cinnabar; for it, we resort to different analytic techniques as the Optical microscopy, Electronic Microscopy of Sweeping (SEM), Spectrographic of Atomic Emission, Energy Dispersive X-Rays Fluorescence (EDXRF), Neutron Activation (NAA) and Energy Dispersive of Microanalysis X-Rays (EDAX). Finally it could be concluded that the pieces analyzed contain Pt in small quantities, between 0.6 and 1 %, and the analysis of the dust adhered on the surface of the ring reveals that is a matter of cinnabar.

1. Introducción

Los estudios sobre metalurgia para el período Formativo son aún escasos, lo que dificulta la interpretación de los resultados que hasta el momento se tienen de piezas procedentes de ocupaciones de este período. Recientemente, se ha realizado análisis químicos elementales (LA-ICP-MS) a muestras recolectadas de diferentes yacimientos de oro y su posterior comparación composicional con objetos del Formativo de Chavín, Paracas y Nasca que se encuentran en distintas colecciones, habiéndose obtenido algunos de excavaciones arqueológicas y otros de saqueo [1].

El oro nativo no es químicamente puro, se puede encontrar aleado de forma natural con plata y en menor proporción con cobre (*electrum*), como también con metales del grupo del platino, tal como ha sido hallado en La Tolita (600 a. de C. - 400 d. de C.), Esmeraldas en la costa norte de Ecuador [2] y en piezas de oro de Chongoyape y Morro de Étén [3,4]. Elera menciona que existen muchas evidencias que harían suponer que en Morro de Étén se explotaba y trabajaba el oro nativo desde el Formativo Tardío, y que los objetos elaborados podrían haber sido trasladados a otras zonas cercanas. Como

* Correspondencia autor: polivera@ipen.gob.pe

apoyo a sus hipótesis, señala el significado del topónimo Éten, el cual se encuentra asociado a un tipo de oro (caracterizado por la cantidad de quilates) relacionado con el fulgor de la salida del sol detrás del Morro. Además, menciona que cerca del templo y el camino ritual de Morro de Éten se encuentra una mina cuyos minerales se asocian con el oro terciario, además la elevación rocosa del sitio presenta un registro de rocas básicas a ultrabásicas, que indicarían presencia de platino. Más aún, Elera afirma que las piezas de Chongoyape pudieron haber sido manufacturadas en Morro de Éten, tanto por su cercanía con el sitio, como por las evidencias de platino en la composición química de al menos una de las piezas, así como por los motivos iconográficos marinos que decoran las piezas de Chongoyape [4]. En el desarrollo de este trabajo se observó que en algunos casos no existe coincidencia en los resultados obtenidos por diversas técnicas de análisis para la medición del platino, hecho que se explica teniendo en cuenta la fenomenología en la que se fundamentan cada una de las técnicas, sus límites de detección y las interferencias.

1.1 Ubicación del sitio y el contexto

Morro de Éten es un sitio del período Formativo Tardío (600 - 400 a. de C.) [5] que se localiza en el flanco oeste y central así como en el flanco este del cerro "Morro de Éten", ubicado en el distrito de Puerto de Éten, Lambayeque en la costa norte del Perú.



Figura 1a.
Colgante U: 8-D.



Figura 1b.
Orificio del colgante.

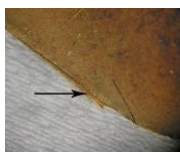


Figura 1c.
Evidencia del corte.

Este sitio está conformado por arquitectura representada por terrazas, un templo, un mirador y un camino, además de varios cementerios, los cuales se ubican en las mesetas arenosas colindantes a las quebradas.

Carlos Elera (1986) priorizó sus investigaciones al estudio de los materiales funerarios recuperados en el cementerio central del sitio. Estas excavaciones se realizaron en dos temporadas de campo (1979 y 1988), donde se recuperaron varias láminas de oro muy

delgadas, así como un colgante circular laminado y un anillo elaborado de alambres retorcidos [4].

Según Elera (1986) este cementerio se encuentra localizado en una meseta de naturaleza física arenosa, la cual se ubica en el flanco oeste del Morro y adyacente a un barranco marino. Además, indica que este cementerio ha sido profanado por huaqueros, haciendo difícil contextualizar las piezas que formaban parte del ajuar funerario de los individuos.

2. Material de estudio

En la primera temporada de campo, Elera recuperó del Entierro 1, Unidad 8D (U:8-D, E:1), un colgante circular laminado de oro. Este entierro estaba casi destruido, ya que parte de éste cayó al barranco de la quebrada como consecuencia de factores naturales como derrumbes y lluvias, entre otros. Por tal motivo, solo fue posible registrar parte de la fosa funeraria consistente en el relleno y la base, imposibilitando identificar la ubicación exacta del colgante dentro del entierro. Por las osamentas encontradas, se sabe que este entierro perteneció a un infante, de sexo indefinido por encontrarse desarticulado.

El colgante (Figura 1a), que llamaremos pieza U: 8-D, es una lámina de 0,25 mm de espesor, de forma circular de 4,2 cm de diámetro con dos orificios en la parte superior, para ir como colgante o cocida a algún textil. Los orificios se hicieron con un punzón de sección circular, como se observa en la Figura 1b y la pieza fue recortada para darle forma con un cincel de corte, evidencia que se aprecia en la Figura 1c.

En el entierro E: 1, Unidad 13D (U: 13-D, E:

1) Elera ubicó entre varias piezas desordenadas y dispersas, una cuenta tubular de oro, pero por encontrarse este entierro disturbado las piezas no se ubicaron en su posición original. Como parte de los objetos recuperados se hallaron cuentas de turquesa que, según Elera (1986), pudieron formar parte de un collar junto con la cuenta de oro. Este entierro perteneció a un individuo adulto cuyo sexo no pudo definirse por las precarias condiciones en que se encontró el esqueleto.

La pieza de oro que llamaremos U: 13-D (Figura 2), es una cuenta de forma tubular laminada, de 9,5 mm de longitud y 1,65 mm

de diámetro exterior. Para su confección se habría utilizado un método de rolado coaxial de dos láminas.



Figura 2. Cuenta de oro U: 13-D.

Durante la segunda temporada de campo, Elera halló en la Meseta Central, en el Entierro 10 (E: 10), siete láminas de oro muy delgadas y arrugadas en forma de tubos aplastados (Elera, comunicación personal 2008). El espesor de las láminas es en promedio de 0,10 mm y sus formas y tamaños son irregulares. Estas piezas se identificarán como E: 10 (Figura 3).



Figura 3. Láminas de oro E: 10.

Hacia el norte de la Meseta Central se ubica la Meseta del Anillo, donde se halló fuera de contexto funerario un anillo elaborado con dos alambres de oro de aproximadamente 1 mm de diámetro cada uno, trenzados y soldados, con evidencia de pigmento rojo en la superficie (Elera, comunicación personal 2008) (Figura 4). El diámetro exterior del anillo es de 19 mm y 16 mm de diámetro interior.

También fuera de contexto funerario en la Meseta del Anillo se hallaron seis cuentas tubulares de oro (Elera, comunicación personal 2008). Éstas son láminas tubulares semi aplastadas que van entre 5,1 a 8,4 mm de longitud, dando forma de rectángulos con un ancho de 3,2 mm (Figura 5).



Figura 4. Anillo.



Figura 5. Cuentas tubulares de oro.

La última pieza es una placa de 8 mm de largo con 3,96 mm de ancho (Figuras 6a y 6b). La denominaremos Ornamento Battistini y, corresponde a la misma afiliación cultural y proviene del valle medio de Lambayeque.



Figura 6a. Ornamento Battistini.

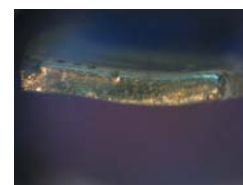


Figura 6b. Borde del Ornamento Battistini.

3. Resultados del análisis químico elemental

Elera (1986) realizó análisis químicos cualitativos (semicuantitativos) de las piezas recuperadas en la primera temporada de campo, es decir, del colgante (U: 8D) y de la cuenta tubular (U: 13D). Los resultados se muestran en la Tabla 1.

En estos resultados se observa la presencia de Au y Ag, como elementos mayores (%), el

Cu como elemento menor (~1%) y trazas de diversos elementos (< 1 %).

Tabla 1. Resultado del análisis realizado por espectrógrafo de emisión atómica.

Pieza	Elementos mayores	Elementos menores	Trazas
U:8D	Au, Ag	Cu	Ni, Fe, Si, Pt, Mg, Mn, Pd
U:13D	Au, Ag	Cu	Fe, Si, Mg, Mn, Pt

Lechtman también analizó químicamente una serie de piezas de Chavín y de Chongoyape, cuyos resultados indican que existen dos grupos: [6] a) el primero compuesto por objetos que tienen una aleación natural ternaria de oro, plata y cobre, cuyo porcentaje de plata es alrededor de 25%, es decir, *electrum*; b) el segundo grupo, caracterizado por algunas piezas de Kuntur Wasi excavadas y analizadas por la misión japonesa, tiene aleación intencional de oro y plata, donde la plata tiene una concentración del 35 al 37% [7].

Tabla 2. Resultados de NAA y FRX de la pieza E:10.

Elemento	AAN (%)	FRX (%)
Cu	2.50 ± 0.02	2.5 ± 0.1
Ag	30.5 ± 0.7	31 ± 2
Pt	ND	< 0.25
Au	66.5 ± 1	66 ± 2

ND: No detectado

En la Tabla 2 se observa que no se detecta platino por ninguna de las dos técnicas; sin embargo, los resultados por EDAX reportan 0,3 % de Pt, como se observa en la Tabla 4.

De manera similar en la tabla 3 se muestra la concentración química elemental de todas las piezas estudiadas por FRX, en las que el Pt al parecer se encuentra siempre por debajo del límite de detección (< 0,25 %), contradiciendo los resultados obtenidos por EDAX que se presentan en la tabla 4.

Tabla 3. Resultados de FRX de todas las piezas.

Elem %	Meseta del anillo	Ornamento Battistini	Anillo	U:13-D, E:1	E:10	U:8-D, E:1
Cu	1.0	1.00	1.0	1.0	2.5	4.2
Ag	15.0	34.27	38.9	23.5	31	36.9
Pt	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
Au	84.0	64.73	60.1	75.5	66	58.9

Tabla 4. Resultados de EDAX a todas las piezas.

%	Meseta del anillo	Anillo	U:13-D, E:1	E10	U:8-D, E:1
Cu	1.1	3.0	1.0	2.2	1.4
Ag	4.6	26.0	5	30.2	19.0
Pt	2.3	0.7	1.0	0.34	ND
Au	92.0	70.3	93	67,3	79.6

La identificación de platino en los espectrogramas de emisión atómica y los resultados aparentemente contradictorios obtenidos por FRX y AAN merecen ensayar una interpretación, por su probable aplicación a la identificación de la proveniencia del metal.

Según Bergsøe, “*para el examen cuantitativo de los principales metales en una aleación el examen espectroscópico (por emisión atómica) no es tan satisfactorio como el químico*”, esto se explica debido a que en el examen químico se usa todo el metal de la muestra y el resultado es un promedio, mientras que en el examen espectroscópico se analiza solo el punto en el que se induce el arco. Esto puede dar lugar a errores si la pieza no es homogénea.

La presencia de platino en una pieza de oro puede ser un caso típico de inhomogeneidad composicional debida a la diferencia entre las temperaturas de fusión de estos metales. Así, mientras el oro puro tiene un punto de fusión de 1065 °C, que tiende a disminuir al estar aleado con Ag (oro argentífero), el platino tiene un punto de fusión por lo menos 700 °C más alto. Esta diferencia en los puntos de fusión provoca que las partículas de platino existentes no se fundan y se combinen con el Au para formar una aleación, sino que permanezcan como inclusiones sólidas segregadas o diferenciadas.

El pigmento rojo encontrado en el anillo y algunas láminas dobladas de Morro de Éten, parece haber sido un elemento muy importante dentro de los rituales funerarios, ya que no solo cubría las piezas de oro, sino a los mismos individuos. En Kuntur Wasi se excavaron ocho tumbas de las cuales siete tenían cinabrio, sobre todo cerca del cráneo del individuo [8].

Los análisis con EDAX y FRX del polvo rojo que cubre parte del anillo y de las piezas Meseta del Anillo, dio como resultado mercurio y azufre, (Figura 7). Este pigmento sería cinabrio, es decir, sulfuro de mercurio.

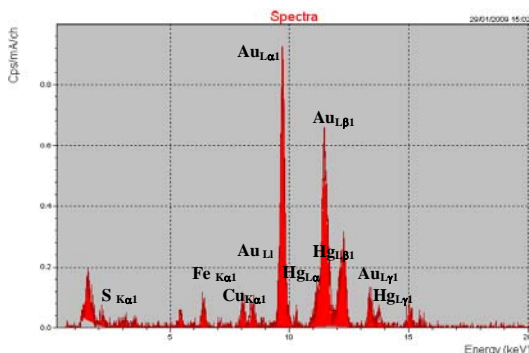


Figura 7. Espectro FRX de pigmento naranja del anillo.

El polvo de cinabrio también se utilizó como ofrenda en las tumbas. Aunque su función en estos contextos funerarios aún se discute, posiblemente se intentaba representar la sangre derramada durante diferentes ritos. Este mineral se encuentra como pigmento en piezas de metal y madera, así como sobre individuos, en entierros hasta del periodo Inca.

4. Discusión

1.- Con relación a la aparente contradicción entre los resultados de los análisis cualitativos por emisión atómica, practicados en dos de las muestras (U:8-D y U:13-D), en los que se reporta Pt como elemento traza, mientras que no es detectado en los análisis realizados por FRX podemos ensayar algunas explicaciones:

i. En el caso de FRX vemos que debido a la superposición de los picos de Au y Pt, la detección simultánea de ambos elementos se dificulta. Más aún cuando la pieza está constituida por una matriz de Au (93 %) en la que suponemos que el Pt se encuentra no homogéneamente distribuido sino en pequeñas inclusiones, de las que no hemos podido estimar el tamaño al no haber realizado observaciones metalográficas. De acuerdo con la simulación realizada ver Figura 8, el límite de detección de platino para FRX para la geometría utilizada es este caso de 0,25 %, correspondiente a 2500 ppm, lo que pondría al Pt como elemento traza en una concentración muy alta fácilmente observable por emisión atómica.

ii. La corroboración de la presencia del Pt utilizando microsonda EDAX muestra que en la pieza U:8-D estaría incluso por debajo del límite de detección de la técnica, mientras que en la pieza U:13-D se calcula en cerca del

1%. En este caso, una vez más, llamamos la atención en el hecho que este contenido de Pt puede no estar uniformemente distribuido sino en pequeñas inclusiones localizadas aleatoriamente.

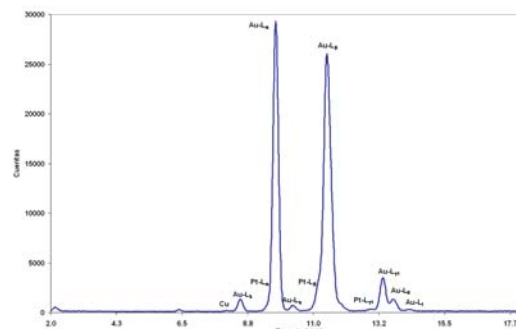


Figura 8. Espectro de FRX de una muestra de Platino en Lamina de Oro (0.8% de Pt. aprox.).

iii. Estos mismos criterios para comparar los resultados obtenidos por FRX y EDAX, se aplican al análisis del anillo. En este caso vemos que por FRX tampoco se puede detectar presencia de Pt, mientras que los resultados de la microsonda nos hablan de aproximadamente 0,7 % de Pt en algunas partes del cuerpo, mientras en otras partes no es detectable.

iv. Una mención especial se puede hacer en el caso del análisis de la soldadura. Aquí vemos que hay variaciones en los contenidos de Au, Ag y Pt, respecto de lo detectado en el cuerpo del anillo. (el Au sube de 70 a 80%, la Ag baja de 26 a 16 % y el Pt sube de 0,7 a 1%). Estas diferencias composicionales no necesariamente serían indicadores del uso de un material diferente para la soldadura. Según Bergsøe: “*en el proceso de solidificación de una aleación fundida se produce un proceso de cristalización diferenciada debido a las temperaturas de fusión distintas, que varía las proporciones elementales desde el interior hacia la superficie*”.

2.- Los resultados de AAN, en los que no se ha detectado Pt, nos llevan a buscar una interpretación. Los métodos analíticos nucleares (FRX, AAN y PIXE) aplicados para el análisis de elementos del grupo del Platino, tienen restricciones metodológicas por las cuales la aplicación de AAN es posible solo luego de realizar tratamientos de preconcentración y en condiciones de irradiación especiales [9].

i.- Estas metodologías especiales si bien posibilitan la detección de Pt, en otro tipo de matriz, a través del decaimiento de ^{199}Pt (emisiones gamma de 542,7 y 317 keV) que tiene una vida media de 30.8 minutos, o del ^{199}Au (158,4 y 208,2 keV) que tiene una vida media de 3,13 días; en nuestro caso se tropieza con la dificultad adicional de la interferencia provocada por la activación del ^{197}Au que por la reacción $(2n,\gamma)$ también produce ^{199}Au .

3.- Con relación a los resultados del análisis con microsonda del pigmento y la arcilla adheridos al anillo, principalmente en los intersticios formados entre los alambres, verificamos lo siguiente:

i.- El pigmento está constituido por cristales de hábito cúbico compuestos de Hg y S, de donde sin mucha dificultad se deduce que se trata de cinabrio.

ii.- La mezcla del pigmento con algún otro material para producir una capa oscura adherida a la superficie y acumulada en los intersticios se analizó con la microsonda y la presencia de Si, Al, Mg, K y Fe, nos sugiere arcilla propia del suelo del entierro.

iii.- El Fe detectado puede estar dentro de la arcilla o también como óxido, tal y como se observa en el resultado obtenido por MET. En este último caso, debido a que se detecta en pequeña cantidad (solo 1%) no creemos que sea un óxido de hierro añadido intencionalmente sino más bien de ocurrencia natural en el suelo.

5. Conclusiones

De los análisis realizados a las piezas de oro de Morro de Éten por AAN, FRX, EDAX se concluye que:

- El Pt de elevado punto de fusión no llega a fundirse en la matriz de Au, Ag y Cu, quedando al parecer como pequeñas inclusiones.

- La presencia de Pt en las piezas no podría ser utilizada en este caso como un indicador de la proveniencia del oro [1], ya que de acuerdo con la información disponible, el Pt se encontraría en placeres en varias localidades hacia el centro y oriente del Perú (comunicación personal de Atilio Mendoza, setiembre 2009), en donde en algunos casos las inclusiones de Pt puro alcanzan tamaños

mayores a 250 micrones.

- En el caso del anillo, el análisis con microsonda revela que la distribución de Pt no es homogénea, reforzando la hipótesis que el Pt no se ha mezclado con la matriz sino que ha quedado disperso en inclusiones muy pequeñas, que podrían incluso pasar desapercibidas en un estudio metalográfico.

- La unión del anillo, si bien presenta alguna diferencia química con el resto del cuerpo, no podemos asegurar que se ha realizado por soldadura indirecta, con material de soldadura, ya que las diferencias en las proporciones de los metales (Au, Ag, Cu, Pt) se pueden explicar como resultado de los procesos de fusión y solidificación.

- Se observa que el análisis por activación neutrónica en el caso del estudio de piezas de oro para detección de Pt, no contribuye en gran medida debido a la activación del isótopo ^{197}Au y a la presencia del elemento en interés a nivel de trazas.

- De los análisis realizados sobre el colgante vemos que se trata de la pieza con el más elevado contenido de Au (93 %) y bajo contenido de Ag y Cu. Esto sugiere que este oro tiene un origen geológico diferente al de las otras piezas o ha sido tratado de manera distinta para su refinación.

- El análisis del polvo adherido a la superficie del anillo revela que se trata de cinabrio, mientras que el óxido de hierro identificado por el patrón de difracción de electrones en el MET al parecer no habría sido añadido de manera intencional como sugiere Elera (1986).

- Vemos que en las piezas analizadas el platino aparece como elemento asociado, y que no se trabajó como metal en ninguna pieza de Morro de Éten, ni de ninguna otra pieza precolombina peruana que hasta la fecha se conozca, como si ocurrió en Ecuador. Aún es pronto para saber si los orfebres que manufacturaron las piezas de Morro de Éten eran conscientes de que trabajaban con una aleación diferente. ¿Ayudó esto de alguna manera a desarrollar nuevas tecnologías en el trabajo de los objetos de oro? ¿Buscarían el color que esta aleación proporcionaba a los objetos? Son interrogantes que aún no podemos contestar. Si bien no todas las piezas de Morro de Éten tienen platino, no sabemos si su presencia fue intencional o no. En todo caso, se han

planteado estas preguntas que esperamos puedan ser resueltas por futuros estudios.

6. Agradecimientos

Al doctor Carlos Elera por facilitarnos las piezas y la información respectiva, al Grupo de Análisis por Activación Neutrónica del Instituto Peruano de Energía Nuclear por el análisis realizado a una de las muestras en estudio y al doctor Alcides López, experto en Microscopía Electrónica de Transmisión, por su apoyo al analizar la muestra de pigmento extraído del anillo.

7. Bibliografía

- [1]. Schlosser S, Kovacs R, Pernicka E, Günther D, Tellenbach M. Fingerprints in Gold. En: Reindel M, Wagner G, eds. *New Technologies for Archaeology*. Berlin: Spinger-Verlag, Heidelberg; 2009. p. 409-436.
- [2]. Bergsøe Paul. The metallurgy and technology of gold and platinum among the pre-Columbian Indians. 1937. *Ingenioervidenskabelige Skrifter A44*: 22-25, Copenhagen. Traducido como *Metalurgia y tecnología de oro y platino y proceso de dorado y metalurgia de cobre y plomo entre los indios precolombinos*. Tr. C. Plazas, A. Bright y V. A. Roza, Editor C. Plazas, Colombia, 1982. 1-34.
- [3]. Lothrop S K. Gold ornaments of Chavin Style from Chongoyape. Peru. *American Antiquity* 3: Menasha, Wisconsin. 1941, p. 250-262.
- [4]. Elera C. Investigaciones sobre patrones funerarios en el sitio formativo de Morro de Éten, valle de Lambayeque, costa norte del Perú. [Memoria de Bachillerato]. Pontificia Universidad Católica del Perú. Especialidad de Arqueología. Lima; 1986.
- [5]. Kaulicke P. Los orígenes de la civilización andina. En: Del Busto Antonio, ed. *Historia del Perú*. Tomo I. Lima: Editorial Brasa; 1994.
- [6]. Lechtman H. Technical examination of a gold-alloy object from Chavín de Huántar. En: Burger Richard, ed. *The Prehistoric Occupation of Chavín de Huántar, Perú*. University of California Press; 1984. p. 271-276.
- [7]. Burger R. Chavin. *Andean Art at Dumbarton Oaks*. Vol. 1. Elizabeth Hill Boone, ed. Washington D.C.; 1996. p. 45-86.
- [8]. Onuki Y. Ocho tumbas especiales de Kuntur Wasi. *Boletín de Arqueología PUCP*. 1997; 1:79-114.
- [9]. International Atomic Energy Agency. *Nuclear analytical methods for platinum group elements*. IAEA-TECDOC-1443. Vienna: IAEA; 2005.