

# *Estudio científico de los objetos de metal de Ingapirca (Ecuador)*

Andrés ESCALERA UREÑA  
M.<sup>a</sup> Angeles BARRIUSO PÉREZ

Los objetos de metal presentados en este trabajo proceden de las excavaciones que la Misión Arqueológica Española, dirigida por el doctor José Alcina Franch, realizó en Ingapirca (Ecuador) durante las campañas de 1974 y 1975. El estudio de estos objetos ha sido llevado a cabo dentro de un programa de colaboración entre el Departamento de Antropología y Etnología de América, de la Universidad Complutense, y el Laboratorio del Instituto de Conservación y Restauración de Obras de Arte (ICROA), de Madrid.

Ingapirca está situado al sur de la sierra andina ecuatoriana, en el valle de Cañar, a una altura de 3.200 m. El yacimiento, próximo al actual pueblo de Ingapirca, es extraordinariamente extenso, encontrándose abundantes restos arqueológicos en toda la zona. Las excavaciones se realizaron principalmente en los sectores denominados «El Castillo», «Pilaloma» y «La Condamine», en los cuales se hallan importantes conjuntos arquitectónicos, entre los que sobresale «El Castillo» —monumento típicamente incaico—, que da nombre al primero de estos sectores.

Las fechas obtenidas por carbono 14 para diferentes lugares excavados sitúan la ocupación de Ingapirca desde el 900 d. C. hasta el 1400 d. C., datación que probablemente puede ampliarse en los dos sentidos, hasta el siglo VII d. C., por un lado, y hasta la llegada de los españoles, por otro (Alcina, 1978). Estas fechas se encuadran en el Período de Integración, durante el cual se desarrolló en esta área la cultura Cashaloma (cañari), con una fase final de dominación inca inmediatamente anterior a la llegada de los españoles.

Nos interesa destacar el hecho de la ocupación de este lugar por poblaciones culturalmente distintas, que en algún momento coexistie-

ran: la cañarí, a la que se debe la ocupación más larga del sitio y a la que parecen corresponder la mayoría de los restos culturales, y la inca, a la que le pertenece una parte destacable de las construcciones arquitectónicas, si bien supuso un período de tiempo muy breve. Muchos de los materiales recogidos plantean, por tanto, el problema de su asignación a una u otra cultura, y aun habría que tener en cuenta que posiblemente algunos de esos materiales pertenecen a la época colonial; lo cual ha sido uno de los principales motivos que nos han inducido a realizar el presente trabajo.

Las piezas metálicas que hemos analizado están compuestas fundamentalmente de cobre. La mayoría de ellas proceden de enterramientos localizados en los sectores de «Pilaloma» y «La Condamine» durante las excavaciones de los edificios. El conjunto más importante de objetos forma parte de los ajuares funerarios asociados a los cuerpos de la Tumba I de «Pilaloma», un entierro colectivo de once personas. Se han recogido otras piezas de ajuar en diversos enterramientos del sector de «La Condamine». Estos objetos de carácter funerario tienen una función ornamental, pues a ninguno se le ha podido asignar la condición de utensilio. Contamos también con otras varias piezas halladas sin asociar a enterramientos en las distintas zonas excavadas, así como con algunas encontradas en superficie.

Nuestros estudios han partido de análisis espectrográficos cuantitativos, que permiten determinar la composición de los objetos, y de análisis metalográficos, que nos dan a conocer su estructura y, por tanto, la técnica metalúrgica empleada en su fabricación. Al comenzar dichos análisis nos planteamos el comprobar si los objetos metálicos presentan o no características homogéneas. Dado que, como hemos visto, la zona de Ingapirca estuvo ocupada por culturas diferentes, nuestro interés se centra, como más arriba se apuntó, en poder inferir de los resultados de esos análisis si los metales proceden de una misma y única fuente o, por el contrario, de fuentes diversas, ya sea de aprovisionamiento de la materia prima —el cobre—, ya sea como objetos acabados, así como también si las técnicas metalúrgicas varían de unos a otros; para poder precisar con ello si su procedencia cultural es una o múltiple, estableciendo comparaciones a la vez con datos obtenidos de la literatura existente sobre el tema.

Tropezamos en este punto con una dificultad, y es que, si bien nuestros resultados analíticos son válidos en sí mismos, no siempre son comparables con análisis similares, debido a la poca bibliografía a nuestra disposición. En efecto, a pesar del gran desarrollo que alcanzó la metalurgia en la América prehispánica, no son muy abundantes los estudios sobre objetos de cobre americanos, ya que la amplia utilización que se hizo de los metales preciosos —oro, plata o sus

aleaciones con cobre— ha dado lugar a que la mayoría de las investigaciones se hayan dirigido al conocimiento de la orfebrería.

En Colombia y Perú, regiones vecinas a Ecuador, el oro es un metal muy abundante, y precisamente el primero que empezó a utilizarse. En Colombia el empleo del oro tuvo una extraordinaria importancia, llegando las culturas calima, tolima y quimbaya, entre otras, a un gran perfeccionamiento técnico (Root, 1961). En Perú, aunque el oro fue el primer metal trabajado, también el uso del cobre estuvo ampliamente extendido, habiéndose encontrado gran cantidad de utensilios y ornamentos de este metal procedentes de áreas y épocas diversas. Los estudios realizados sobre piezas de cobre peruanas halladas en la costa sur (Root, 1949) o en la costa norte —estas últimas corresponden, en general, a la cultura moche— (Patterson, 1971) han dado interesantes resultados que, lamentablemente, no podemos utilizar con fines comparativos en lo que se refiere a la composición de las piezas, porque es grande la distancia espacial y temporal entre éstas y las que son objeto de nuestro estudio, es decir, las procedentes de Ingapirca.

Ecuador, región intermedia entre Colombia y Perú, permanece casi por completo desconocido. Muy pocos son los estudios sobre objetos de metal ecuatorianos, y los realizados se han encaminado en general al análisis de los metales preciosos, oro, plata y platino, principalmente provenientes de la provincia de Esmeraldas. Destacan por su importancia los estudios efectuados por Bergsøe (1937 y 1938) sobre piezas esmeraldeñas de oro, plata, platino y cobre. Los estudios de Rivet y Arsandaux (1946) referidos a metales diversos de distintas partes de América, y en los que se incluyen los de Ecuador, se basan fundamentalmente en el contenido en estaño, sin considerar apenas otros elementos que, aunque aparezcan como impurezas, pueden ser ocasionalmente muy significativos, ya que a veces indican cambios evidentes en la composición. Todavía se puede citar algún trabajo más sobre orfebrería (Zevallos, 1965); con todo, no disponemos de suficientes datos respecto a objetos de cobre ecuatorianos, lo que hace que los obtenidos por nosotros merezcan ser considerados no sólo en el caso concreto de Ingapirca, sino también para su posible utilización comparativa con otros análisis que puedan realizarse en el futuro.

El alto grado de humedad, debido al intenso régimen de lluvias de aquel área geográfica, ha dado lugar a una fuerte corrosión del metal que se obtuvo en las excavaciones de Ingapirca, el cual presenta en muchos casos un mal estado de conservación. A este proceso de degradación ha contribuido, indudablemente de manera importante, la misma descomposición de los cadáveres sobre los cuales estaban colocados la mayoría de los objetos; todo esto ha originado en ocasiones la total desaparición de algunas piezas, de las que no se apreció

más que la mancha verde dejada por ellas en la tierra. En un primer examen visual comprobamos que el estado de conservación variaba de unas a otras piezas: así, mientras que aquellas de mayor tamaño y más gruesas estaban relativamente bien conservadas y con pátinas estables, las más pequeñas, y en especial las de menor espesor o huecas, presentaban una fase de corrosión muy avanzada, careciendo casi totalmente de núcleo metálico. Debido a esto, se eliminaron todos aquellos objetos que, por estar muy mineralizados, no nos darían unos resultados equiparables al resto.

De casi un centenar de piezas llevadas al ICROA, se seleccionaron finalmente sesenta, que han sido las sometidas a análisis. Puesto que el número de objetos era bastante grande, para una mayor facilidad operativa, los hemos dividido en tres grupos genéricos, según su forma y finalidad: aros, adornos y agujas y tupos; grupos que se estudian por separado, aunque estableciendo comparaciones entre los resultados parciales.

#### OBSERVACIONES TÉCNICAS

Para estudiar exhaustivamente los objetos arqueológicos de metal, es necesario partir de unos buenos análisis que nos aporten datos sobre su composición, tanto con respecto a los elementos llamados mayores constituyentes, que son los que configuran la aleación, como con respecto a los elementos que aparecen en el orden de impurezas y trazas, el conocimiento de cuyas proporciones exactas nos ofrecerá (sin embargo, no siempre de manera total) datos acerca del la metalurgia, fuentes de las que proceden las menas, etc.<sup>1</sup>. Esta es la razón por la que nosotros hemos abordado un trabajo de tipo analítico.

#### 1. Análisis espectrográficos

*Toma de muestras.*—Una vez elegidos y agrupados los objetos, el primer paso del proceso analítico es realizar un muestreo aleatorio sobre cada objeto, que nos dé una imagen representativa del conjunto de la masa metálica de cada pieza. En el presente caso la realización del muestreo ofrecía las siguientes peculiaridades. Primero, al tratarse de piezas de reducido volumen, pocas muestras eran necesarias para obtener una visión suficientemente representativa del conjunto, ya que las pequeñas dimensiones de las piezas hacen suponer una gran homogeneidad de la masa metálica y a la vez facilitan relativamente la

<sup>1</sup> Ejemplo importante sobre los resultados obtenidos con estudios técnicos sobre metales arqueológicos son los realizados por Gettens (1969).

elección del lugar para la toma de dichas muestras. Pero, segundo, por otro lado, el poco peso y tamaño de las piezas exige un gran cuidado para la toma de muestras, porque es premisa fundamental respetar la integridad de la pieza y evitar su destrucción aun parcial.

Como se indicó más arriba, casi todas las piezas estaban bastante degradadas, con gran cantidad de productos de corrosión en superficie, los cuales no pueden de ninguna manera incluirse dentro de la muestra, pues, al formarse dichos productos por contacto con la tierra, incorporan muchos elementos de ésta a la composición de las capas superficiales. Por tanto, si se incluyeran las pátinas en las muestras, los análisis darían lugar a interpretaciones erróneas, a causa de que las analogías se establecerían no entre los mismos objetos, sino entre los lugares en que fueron enterrados. Por esto las muestras se han tomado únicamente del metal puro y exento de pátina y productos de corrosión.

Para la obtención de muestras se ha utilizado un pequeño taladro de mano, con una broca de acero-vanadio de 1 mm. de grueso, extra-yéndose mediante él unas limaduras que, recogidas, son trasladadas a viales de vidrio y numeradas. La cantidad de metal así conseguida de cada pieza oscila alrededor de 20 mg. Se tomaban en general muestras de dos lugares diferentes del objeto, mezclándose posteriormente. El agujerito efectuado en el objeto se tapa con cera, coloreada igual que la pieza; así se evita que por estas perforaciones penetren focos de corrosión en el núcleo de la pieza, ya estabilizada con el medio que la rodea.

Las muestras, una vez desengrasadas, se pesan en una balanza analítica en proporciones de 10 mg.  $\pm$  0,1 mg.; tras lo cual cada una de ellas se deposita, junto con 20 mg. de grafito de pureza espectrográfica, en la excavación de un electrodo de grafito, también de pureza espectrográfica<sup>2</sup>. Desde el principio de la operación se evita el contacto de la muestra, el grafito y los electrodos con las manos o con cualquier objeto que pueda añadirles alguna contaminación.

*Equipo.*—Actualmente el Laboratorio del ICROA dispone de un equipo espectrográfico de ARL modelo Spectrographic Analyzer, provisto de red de difracción. El equipo está construido con un montaje «Wadsworth» modificado, con una distancia focal de 0,855 m. y una red de 960 líneas por milímetros. El equipo tiene en el primer orden una dispersión recíproca de 6,08 Å/mm., mientras que la dispersión en el segundo orden es de 12,16 Å/mm. La rendija primaria está fijada en 20 micras. Se trabaja normalmente en el segundo orden con longitudes de onda comprendidas entre 2.250 y 4.650 Angströms.

<sup>2</sup> Los electrodos están fabricados por Johnson Matthey Ouemicals Limited. Londres. Modelo JM-21-25.

*Método.*—Los electrodos de grafito con la muestra son depositados en una placa de acero con orificios numerados, que se calienta a 400° C durante diez minutos para eliminar cualquier resto de materia orgánica que en el momento de la ignición formaría gases, los cuales podrían proyectar parte de la muestra.

Posteriormente se fija cada electrodo en la cámara de excitación frente a otro electrodo de grafito. Se hace saltar una corriente de arco a 10 amperios durante dos minutos aproximadamente hasta que se consume totalmente la muestra. Paralelamente se han preparado otros electrodos con muestras patrón de la «National Bureau of Standards» elegidos de una composición lo más parecida posible a las muestras problema. De esta forma se eliminan errores, ya que la manipulación es idéntica para la muestra problema y la muestra patrón, y cada línea espectrográfica del problema se puede comprobar y recalibrar con el patrón sobre la misma película.

El espectro se recoge en una película Kodak «Spectrum Analysis N.º 1» de 36 mm., la cual se revela durante tres minutos con revelador D-19.

La lectura de la película se hace con un comparador que aumenta grandemente el espectro y a la vez lo compara con una película patrón. El análisis cuantitativo se efectúa mediante medición de altura de las líneas del espectro.

*Precisión de los análisis.*—Cada análisis se ha hecho por duplicado, dándose como resultado final la media. La precisión de los resultados varía según la concentración de los elementos. Se ha realizado el cálculo de errores aplicando la fórmula:  $E = \frac{\bar{x} - y}{y} \cdot 100$ , siendo: « $\bar{x}$ », la media de los valores estudiados, e « $y$ », cada valor estudiado.

Para los mayores constituyentes, el error es de  $\pm 3$  por 100, siendo del  $\pm 20$  por 100 para los elementos minoritarios o trazas.

## 2. Análisis metalográficos

Para realizar estos análisis, se tomaron nuevas muestras de los objetos considerados más representativos y de los que a la vez era posible obtenerlas sin alterar su forma. Las muestras metalográficas conseguidas se incluyeron en una resina termoplástica y, una vez pulidas, se observaron al microscopio, primero sin atacar por reactivos metalográficos y posteriormente atacadas, a fin de poner de manifiesto sus estructuras. Como equipo óptico se ha utilizado un microscopio «Zetopan-Pol», de Reitcher, con accesorios para luz reflejada, campo oscuro y cámara fotoautomática de 35 mm.

#### INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

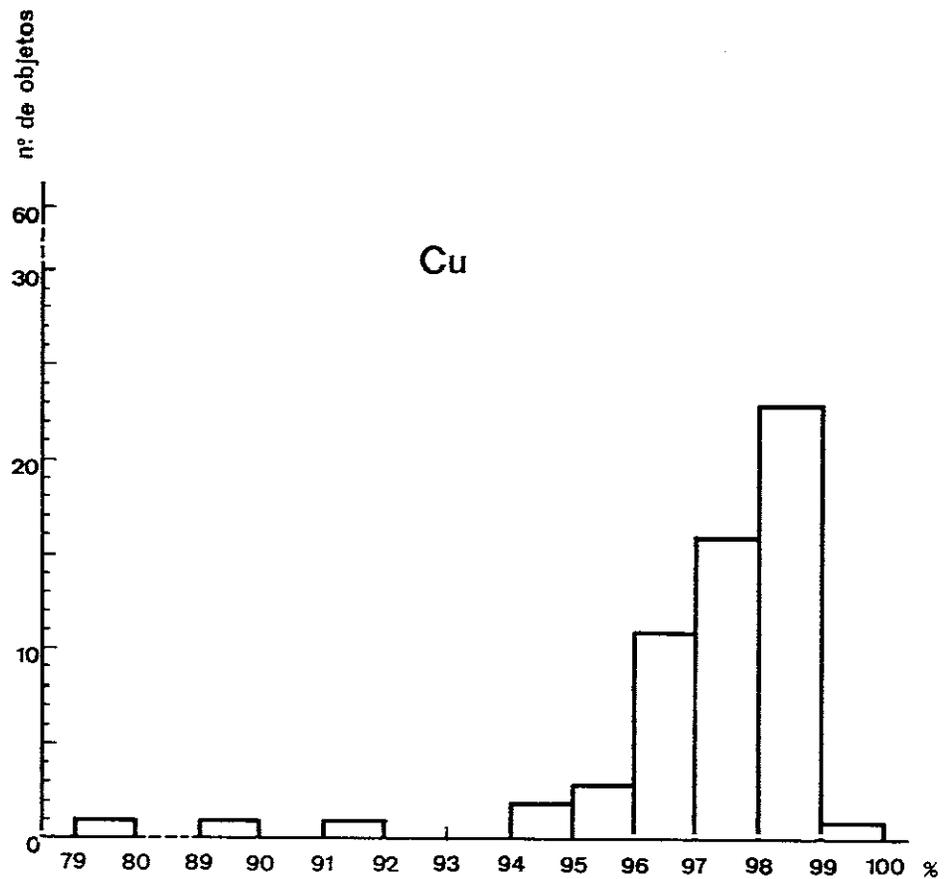
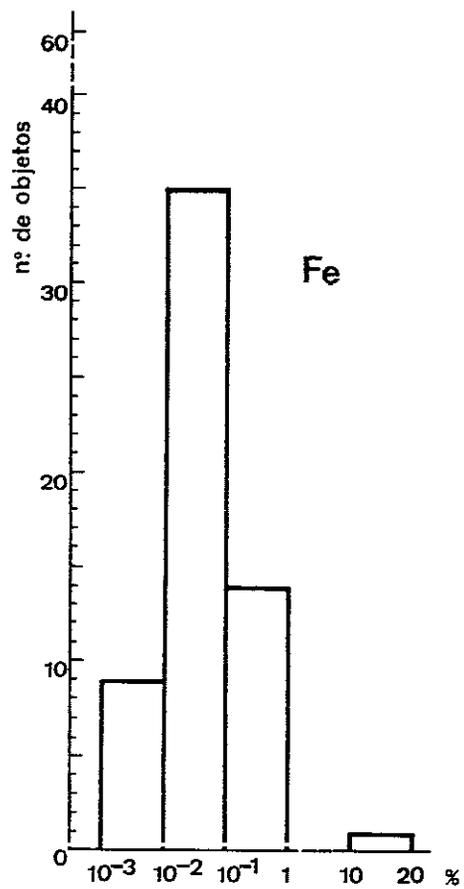
Consideremos las tablas números 1, 2 y 3, en las cuales se exponen los resultados de los análisis espectrográficos. Vemos que las muestras analizadas forman un conjunto homogéneo, pues los elementos se agrupan dentro de unos límites relativamente estrechos. En general, se puede observar que, con alguna señalada excepción de la que ya se hablará, nos encontramos con objetos construidos con cobre de una cierta pureza, pero apreciándose un alto contenido en arsénico.

Las cantidades de cobre varían desde 78,6 por 100 hasta 99,1 por 100, el porcentaje más alto; pero sólo hay tres objetos que continen cantidades menores al 94 por 100: dos tupos, que tienen estaño (P-M-58 y P-M-46), y un adorno (LC-M-6), que contiene gran cantidad de hierro. En el resto de los objetos las cantidades de cobre varían muy poco, entre el 94 por 100 y el 100 por 100.

En el cuadro número 1 se señala la concentración de cobre en relación con el número de objetos. Se observa cómo los objetos presentan concentraciones similares, quedando, no obstante, netamente aislados los tres señalados anteriormente.

Otro elemento que se encuentra en una concentración relativamente alta es el arsénico, aunque sea ya como menor constituyente y aun que en muchos casos como simple impureza. Excepto un objeto —precisamente el tupo, que tiene más estaño (P-M-46)—, el resto de los objetos tienen arsénico y en concentraciones abundantes. En el cuadro número 2 están representados los contenidos de este elemento, los cuales se distribuyen ordenadamente según la curva de Gauss. El alto contenido en arsénico indica que se han empleado minerales de cobre arsenicales, pudiéndose, por tanto, separar, puesto que no forma, evidentemente, parte del conjunto aquel objeto en el que no se ha detectado este elemento. Los cobres arsenicales, cuando son refundidos, pierden arsénico por volatilización; esto explicaría que disminuya en algunas piezas la concentración de arsénico. En efecto, algunas piezas con menor contenido en arsénico pueden proceder de la refundición de objetos o fragmentos metálicos desechados y así utilizados de nuevo.

El tercer elemento en orden de importancia en cuanto a su concentración es el hierro. En el cuadro número 1 se ve el diagrama de los porcentajes del hierro, que se distribuyen normalmente según una curva de Gauss. Todos los objetos analizados contienen hierro, pero generalmente en una concentración muy baja, excepto uno que se destaca claramente del conjunto. Se trata del adorno LC-M-6, del cual ya hemos visto que su porcentaje de cobre (78,5 por 100) es muy inferior al resto.



Cuadro 1

Se ha hecho también diagrama de barras para el estaño (cuadro número 2). En la mayoría de las piezas el estaño o no ha sido detectado o se encuentra en una proporción que apenas entra dentro de los límites de la detectabilidad, salvo los dos objetos (P-M-46 y P-M-48) que podemos considerar sin duda como bronzes y, por tanto, totalmente diferentes a las demás piezas.

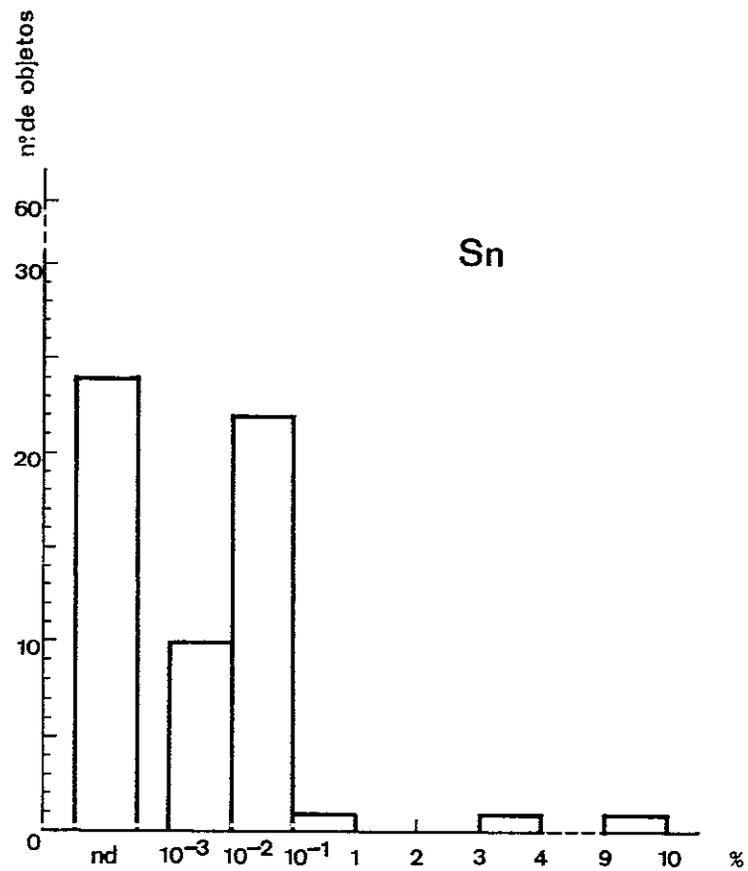
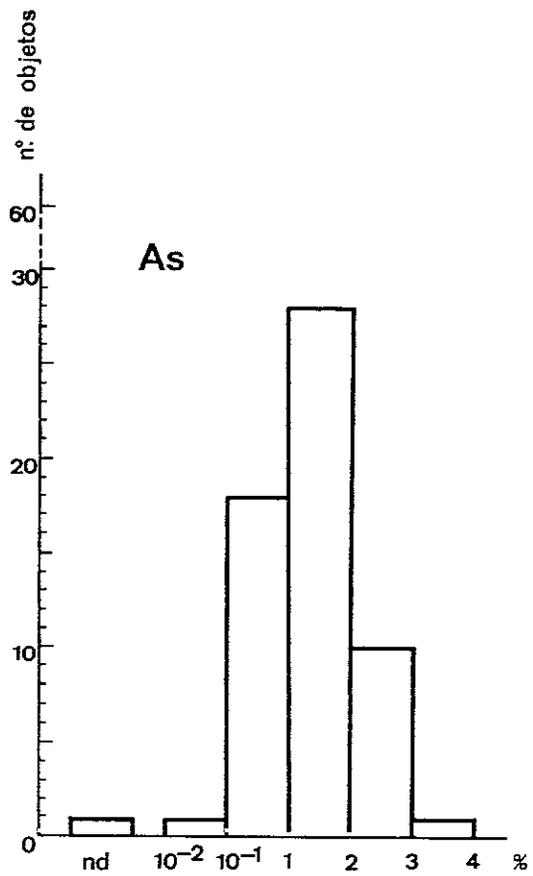
La distribución de los porcentajes con que aparecen los elementos detectados, exceptuado el cobre, se muestra en el cuadro número 3. Ya se han comentado algunos casos en los que la concentración de un elemento destaca ostensiblemente del resto. En esta misma línea, consideremos ahora el zinc, el cual se ha detectado sólo en un objeto (P-M-58) de los ya mencionados anteriormente por su alto contenido en estaño.

El oro se encuentra en los objetos en proporción muy baja, llegando a no detectarse en alguno. La plata ha sido detectada en todos los objetos analizados, dando en algunos de ellos (tablas números 1, 2 y 3) proporciones realmente altas. Al analizar este elemento nos encontramos con un obstáculo insalvable, ya que el espectro de la plata es muy pobre en líneas, por lo que sólo se han podido leer las correspondientes a 3280,68 y 3382,89 Å, con las cuales únicamente se detectan concentraciones inferiores al 0,02 por 100. Para concentraciones entre el 0,02 por 100 y el 3 por 100 no existen líneas analíticas en nuestro intervalo de trabajo del espectro de la plata, por lo que para esos valores hemos tenido que poner en la tabla la indicación > 0,02 por 100.

De todo lo cual se concluye que la poca precisión en la detectabilidad de la plata, nos lleva a considerar su porcentaje como un contenido errático, sin que esto se pueda atribuir a algún hecho concreto.

El silicio aparece en concentraciones relativamente altas; su procedencia será con probabilidad la ganga del mineral, a causa de un tratamiento metalúrgico poco eficaz, aunque también puede proceder de los crisoles de arcilla utilizados para fundir el metal.

El fósforo y el aluminio se encuentran en proporciones muy similares. Entre 1 por 100 y 0,1 por 100 en los porcentajes mayores, siguiendo después las proporciones comprendidas entre 0,1 y 0,01 por 100. Se ha efectuado la relación de concentraciones P/Al; excepto un valor errático de 30, el conjunto gira en torno a la unidad, con una media de 1,61; es decir, de una proporción en peso de 3 de fósforo a 2 de aluminio, ya que sus pesos atómicos son parecidos, lo que parece indicar que los minerales empleados proceden de una fuente en la que el fósforo y el aluminio se encuentran formando compuestos en esta proporción aproximadamente. En efecto, los fosfatos de aluminio hidratados [ $\text{PO}_4\text{Al}_2(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ] suelen formar parte de algunos minerales de cobre; ahora bien, en este caso la proporción P/Al sería



*Cuadro 2*

de 1:2. Por lo que cabe la posibilidad de que el contenido en fósforo sea mayor debido a una acción intencionada, ya que en la metalurgia primitiva es frecuente la adición de cenizas de huesos, muy ricos en fósforo, para que actúen como fluidificante (Smith, 1965).

Las proporciones de antimonio y níquel se encuentran entre el 1 por 100 y el 0,01 por 100, siendo mayor el número de objetos con más porcentaje de níquel que de antimonio. El LC-M-9 contiene 1,2 por 100 de níquel, porcentaje bastante superior al resto de los objetos. En cuanto al antimonio, hay tres piezas en las que no se ha detectado, uno de los cuales es el P-M-46, ya citado por su notable contenido en estaño.

Del resto de los elementos analizados, el manganeso y el bismuto se encuentran en porcentajes muy similares y con una distribución estadística con concentraciones máximas entre 0,1 por 100 y 0,01 por 100. Igualmente el boro y el calcio se han detectado en concentraciones muy bajas, del mismo orden para ambas, entre 0,01 y 0,001 por 100.

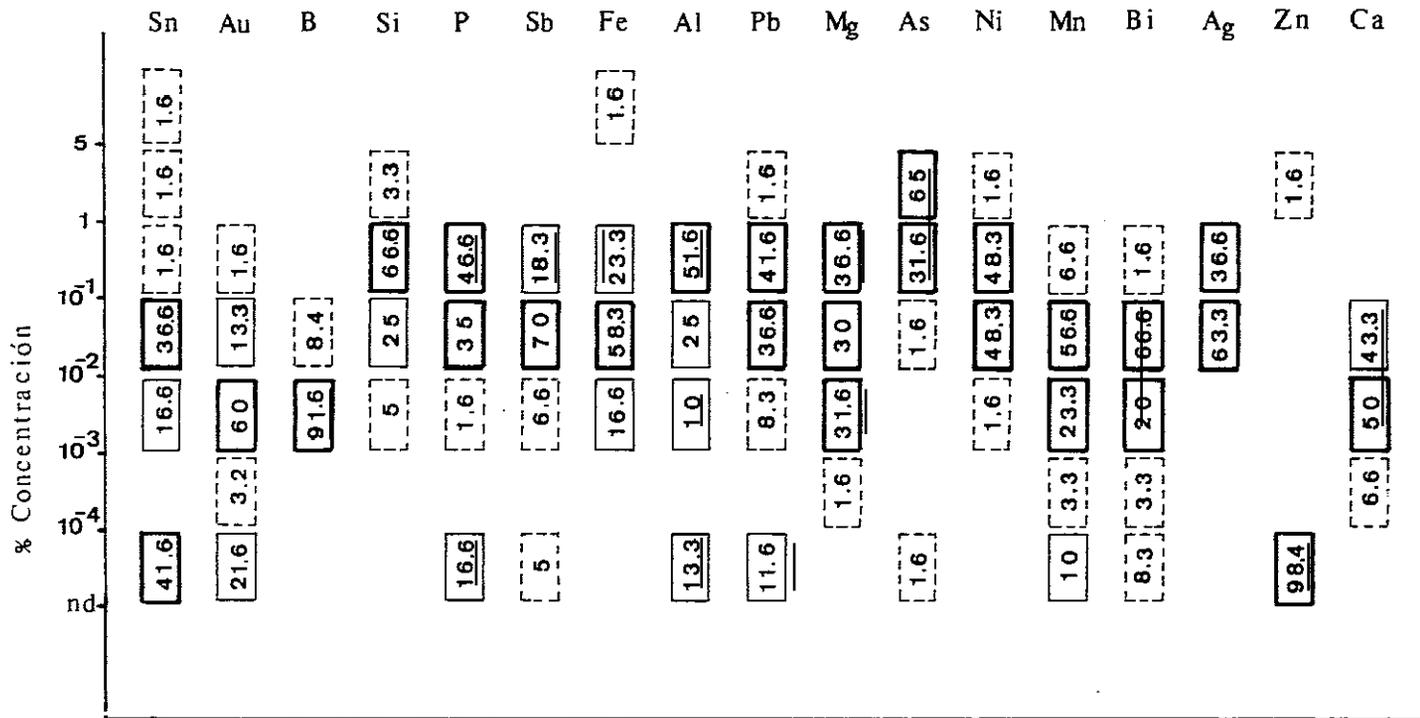
El conjunto de los objetos estudiados ha sido dividido en tres grupos: aros, agujas y tupos, y adornos, que a continuación veremos por separado.

## A R O S

Se han analizado un total de 33 aros, cuyos resultados se exponen en la tabla número 1. En el cuadro número 4 están representados los elementos menores y trazas en porcentaje con respecto a la concentración.

Sólo un aro (LC-M-7) procede de un enterramiento del sector de «La Condamine», mientras que los 32 restantes se recogieron en la Tumba 1 de «Pilaloma». El tamaño de estos aros varía desde un diámetro de 2 cm. el más pequeño a 12,5 cm. el más grande. El grosor del aro aumenta con el tamaño; así, entre 2 y 6 cm. de diámetro hay 17 aros con un grosor entre 0,3 y 0,4 cm., los otros 16 tienen un diámetro de 8 a 12,5 cm., con un grosor de 0,5 a 0,8 cm.

En la tabla número 1 están puestos en orden decreciente de tamaño. El cobre oscila entre 95 por 100 y 99 por 100 de concentración, formando un grupo homogéneo. En el cuadro número 4 se ve la distribución de los elementos según la concentración, apreciándose algunas diferencias. El estaño en el 30,3 por 100 de los objetos no se ha detectado, mientras que para el 48,5 por 100 de las piezas da una concentración de 0,1 por 100 a 0,01 por 100; sin embargo, esta variación en el contenido del estaño no parece ser significativa, ya que no está en relación con objetos determinados, ni con otros elementos; además,



Distribución en tanto por ciento de los elementos menores y trazas de los metales de Ingapirca.

Cuadro 3

hay que tener en cuenta que las concentraciones encontradas de este elemento son realmente poco importantes.

El estudio de los datos obtenidos nos lleva a dividir este grupo en dos series, según el tamaño de los aros; en el primero se incluyen aquellos con un diámetro de 8 a 12 cm., y en el segundo, los que miden de 2 a 6 cm. Comprobamos así que las diferencias en las concentraciones se distribuyen según el tamaño de las piezas. En la segunda de las series se han detectado todos los elementos en los 17 aros, correspondiéndoles a la vez los porcentajes más altos; por el contrario, en los aros de la primera serie varios elementos no se han detectado en muchos casos, como sucede con el hierro, aluminio, magnesio, fósforo y manganeso, y los elementos presentes se encuentran en concentraciones más bajas que los de la otra serie.

A pesar de las diferencias de composición de estos objetos, podemos decir, sin embargo, que hay gran similitud entre todos ellos, lo que nos lleva a deducir que el metal con que fueron hechos tiene en todos los casos la misma procedencia, y las variaciones señaladas pueden deberse al proceso de fabricación.

Debido a la homogeneidad de composición del grupo de los aros, que es a la vez el que cuenta con mayor número de piezas, tomaremos los porcentajes medios determinados para cada uno de los elementos detectados, como los valores medios normales, a efectos de comparación con el resto de los objetos.

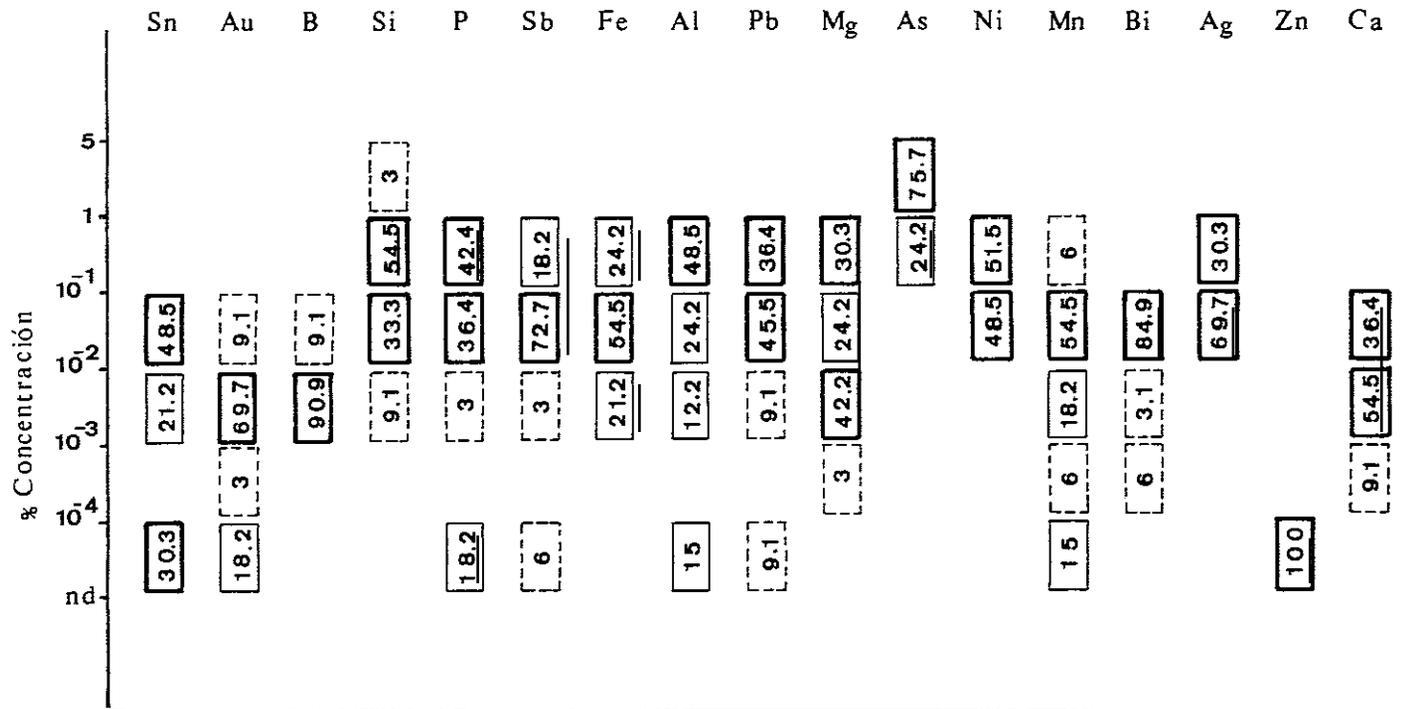
Se ha hecho un pulido metalográfico a una muestra del aro P-M-44. La fotomicrografía nos muestra una pátina con corrosión intercristalina profunda con abundante porosidad en la masa del metal que prueba un tratamiento metalúrgico poco eficaz. Atacada la probeta con reactivos metalográficos, ha dado una estructura dendrítica; en la fotomicrografía número 1 (LÁMINA 1 A) vemos que es una estructura de colada o fundición, observándose, sin embargo, que las dentritas están deformadas, lo que indica que tuvo que ser sometida a un proceso posterior de forja.

En la fotomicrografía a 700 aumentos, se pone de manifiesto una estructura cristalina del cobre, en fase  $\alpha$ , con los cristales rodeados de óxido cuproso, por falta de desoxigenación durante la colada.

En el diagrama de constitución de las aleaciones cobre-arsénico, tomando el porcentaje de arsénico e interpolándolo en el diagrama, se obtiene una temperatura de fusión de 950° C aproximadamente (Graves, 1966).

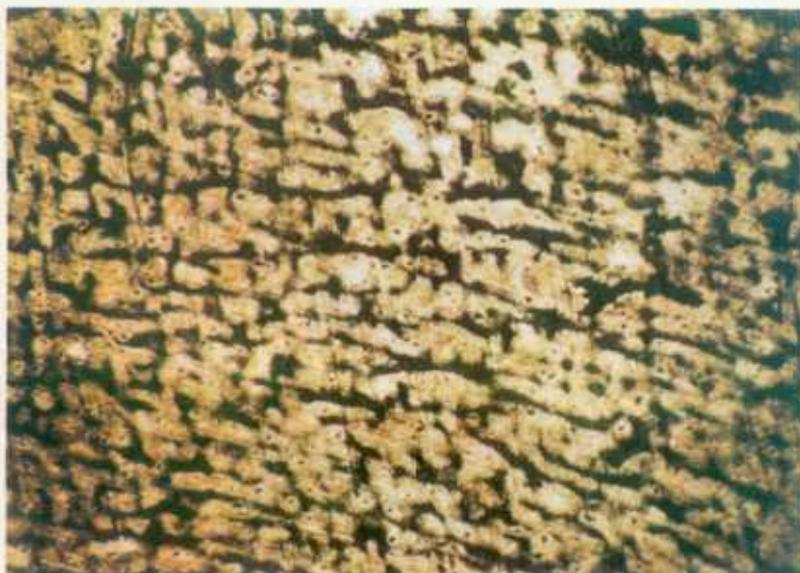
#### ADORNOS

En este grupo tenemos 13 piezas de diversa naturaleza: cascabeles, arandelas, una placa, etc., hallados en su mayoría en la Tumba 1 de



Distribución de los elementos menores y trazas, en tanto por ciento, de los aros.

Cuadro 4



*Lámina 1 A*



*Lámina 1 B*

*Lámina 2 A**Lámina 2 B*

«Pilaloma», sólo tres de ellos proceden de zonas de excavación de «La Condamine» (tabla número 2).

En general, su estado de conservación es malo, aunque todas conservan núcleo metálico. De este grupo se ha eliminado una nariguera de cobre con una lámina de plata en superficie; los resultados del análisis de esta pieza se incluyen en el cuadro número 3, pero, debido a su gran contenido en plata, se ha descartado del conjunto para, en su momento, estudiarla y conocer su técnica de fabricación.

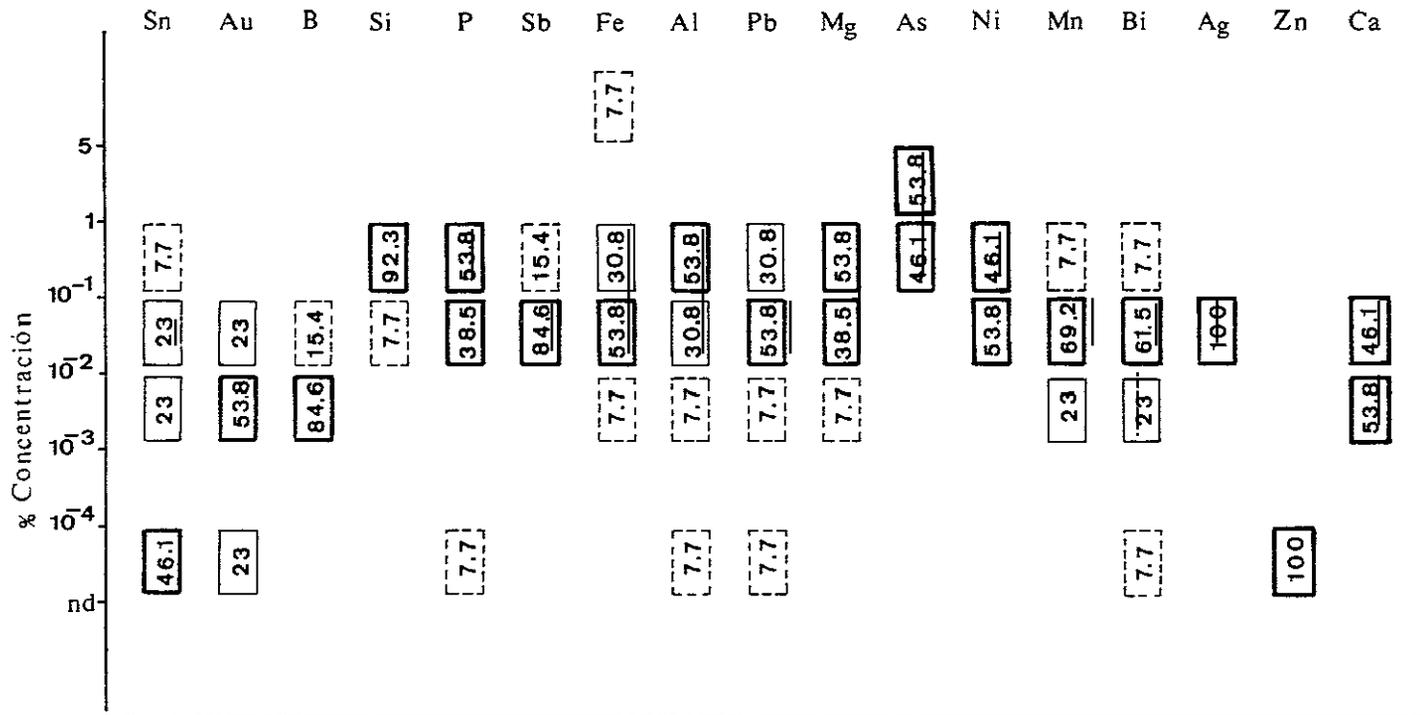
La composición de estos trece objetos no presenta grandes diferencias entre unos y otros. Como en el grupo anterior, el número de piezas en las que el estaño no se ha detectado se separa de aquellas otras en las que este elemento está en una concentración de 0,1 por 100 a 0,001 por 100, pero no parece tener relación con hechos concretos, ya que tocamos en muchos casos los límites de la detectabilidad. En el cuadro número 5, se observa una distribución del estaño, en el que un 46,1 por 100 de los objetos no contiene este elemento.

En los cascabeles el porcentaje de arsénico es inferior al resto de los otros objetos, en líneas generales, y con unas concentraciones en límites muy estrechos de 1 por 100 al 0,7 por 100; en los demás adornos este porcentaje es diferente, siendo algo más alto; puede suponerse que estas variaciones son consecuencia del proceso de manufactura.

Considerando el conjunto, el arsénico se encuentra en proporciones relativamente altas, al igual que sucede con los aros.

Destacan con notables diferencias los objetos hallados en «La Condamine», sobre todo el LC-M-6, que es un fragmento metálico, posiblemente un gancho, cuyo contenido en hierro, 18,45 por 100, lo distingue de la totalidad de las piezas estudiadas. Consecuentemente, habrá que separarlo del conjunto, ya que su fabricación y/o las materias primas con que fue hecho son diferentes. Parece ser que la cantidad de hierro es intencionada, ya que no es lógico pensar que un porcentaje en hierro tan elevado se deba a un hecho accidental en la manufactura. Por otro lado, las concentraciones de hierro encontradas en el resto de las piezas nos confirman la ausencia de este metal como impureza de las menas que se utilizaron. Los datos manejados demuestran la ausencia de la utilización de hierro en esta época, por lo que podemos inferir que este objeto tiene una procedencia distinta a las demás piezas.

Otro objeto procedente de «La Condamine» el LC-M-1, un colgante, se distingue por una baja concentración en arsénico, 0,4 por 100, y por no haberse detectado una serie de elementos, tales como estaño, oro, fósforo y bismuto; es la única pieza en la que este último elemento no se ha detectado.



Distribución en tanto por ciento de los elementos menores y trazas de los adornos

Cuadro 5

Podemos deducir que, mientras los objetos de «Pilaloma» guardan una cierta similitud de composición entre sí, manteniéndose dentro de los valores medios establecidos para cada elemento detectado, los resultados obtenidos de los objetos de «La Condamine» —sobre todo de los dos más arriba destacados— se salen de esos valores medios.

#### AGUJAS Y TUPOS

Este grupo está formado por trece piezas, que son agujas, o posibles fragmentos de éstas, tupos y otras de tipo similar. Estos objetos, en general, son los que se encuentran en mejor estado de conservación, pues, excepto algunos de los tipos de la Tumba 1 de «Pilaloma», están muy poco corroídos y presentan pátinas estables.

En cuanto a su composición, es en estos objetos donde se dan las diferencias más notables (cuadro núm. 6), tanto respecto al conjunto total de las piezas analizadas como entre ellos mismos, apreciándose que dichas variaciones dependen en cierto modo del lugar de aparición. Por esta razón, se ha dividido este grupo en tres series de objetos, según se hayan recogido en «Pilaloma», tumbas y lugares de habitación, o en «La Condamine» (tabla núm. 3).

De «Pilaloma», y procedentes de tumbas, tenemos cuatro tupos (P-M-54, P-M-33, P-M-45, P-M-55), cuyos elementos detectados están dentro de los valores medios encontrados para el conjunto; así, sus contenidos en cobre varían entre el 96,5 por 100 y el 98 por 100. No se ha detectado estaño ni plomo en los dos últimos.

Del sector de «La Condamine», hallado en superficie, tenemos un singular objeto cruciforme (LC-M-10), que tiene el 98,6 por 100 de cobre y destaca por su baja concentración en arsénico (0,5 por 100), no habiéndose detectado ni arsénico, ni antimonio. La metalografía realizada a este objeto nos descubre una estructura con corrosión intercrystalina profunda, lo cual demuestra que se trata de una pieza antigua. A gran aumento y atacada, dicha pieza presenta una estructura de forja con tratamiento térmico posterior, presentando «maclas» que denotan que el metal ha sido sometido a una deformación permanente (forjado mecánico) seguida de recocido.

De distintas tumbas de «La Condamine» se recogieron tres tupos, cuyos contenidos en cobre varían del 96,8 por 100 al 98,8 por 100. Los porcentajes obtenidos para todos los elementos de dos de estos tupos, LC-M-2 y LC-M-8, entran dentro de la media normal, mientras que el tercero, LC-M-9, presenta una particularidad notable: se aprecia en él una concentración de níquel de 1,2 por 100, que destaca claramente del resto. Es el objeto que más níquel tiene en su composición (véase el cuadro núm. 6, donde se exponen las concentraciones relativas de

níquel para el conjunto de los tupos y agujas). La metalografía a 70 aumentos muestra una zona del tupo totalmente mineralizada, con productos de corrosión a base de carbonatos básicos de cobre: azurita y malaquita.

Finalmente, una aguja incompleta (LC-M-4), también procedente de «La Condamine», muestra en sus porcentajes una variación con respecto a la media, mayor que las demás piezas halladas en este sector: el cobre está en una concentración del 94,5 por 100, el arsénico del 2,5 por 100 y el silicio del 2,1 por 100, el más alto de los determinados para este grupo, ya que el valor dominante del silicio está entre el 1 por 100 y el 0,1 por 100.

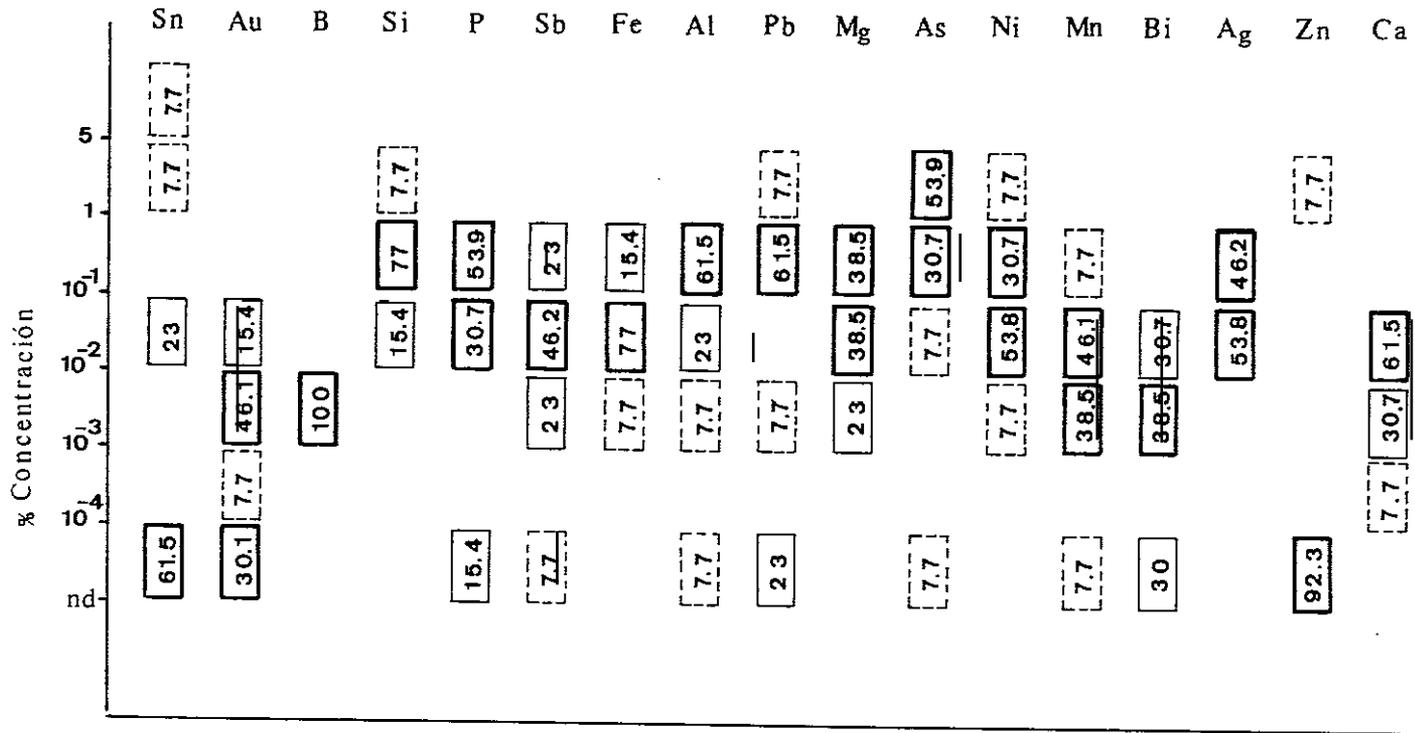
De «Pilaloma», de diferentes zonas excavadas, tenemos cuatro piezas en las que los resultados difieren grandemente. P-M-57, una aguja incompleta, es la pieza en que se han detectado menos elementos en forma de impurezas y trazas; sin embargo, su contenido en plomo es del 1 por 100 (tabla núm. 3), siendo éste el único elemento que, junto con el cobre, entra como mayor constituyente en la aleación. El contenido en arsénico es de 0,05 por 100, excesivamente bajo con relación a los objetos analizados. La metalografía realizada nos muestra en este objeto una corrosión intercrystalina profunda en la superficie del metal. En general, la composición de esta pieza difiere bastante de la mayoría de las piezas analizadas.

P-M-56 es otra aguja incompleta que tiene un contenido en cobre de 97,66 por 100. La concentración de arsénico es de 1,15 por 100; sin embargo, no se han detectado ni estaño, ni bismuto, ni antimonio, que tampoco aparecían en el caso de la aguja anterior. La metalografía de esta pieza nos da la imagen de una pátina corrosiva intercrystalina. La metalografía número 2 (LÁMINA 1 B), a 1.000 aumentos, nos presenta una estructura que muestra que la aleación ha sido sometida a un proceso de forja con posterior recocido; se observan los cristales marcados a consecuencia de dicho tratamiento térmico.

Las dos piezas restantes de «Pilaloma» sobresalen por su contenido en estaño.

P-M-46 es una aguja fragmentada cuyo porcentaje en estaño es de 9,66 por 100, no detectándose ni arsénico, ni bismuto, ni antimonio. Es el único objeto de todo el conjunto que carece totalmente de arsénico, por lo que se destaca netamente. La fotomicrografía a 70 aumentos de la metalografía número 3 (LÁMINA 2 A), sin atacar, muestra una pátina corrosiva cuya acción ha ido dibujando la estructura dendrítica de la aleación. Una vez atacada la muestra de esta pieza, la metalografía nos presenta una imagen en la que la aleación no es homogénea, pues la distribución del estaño es desigual. Este objeto no parece haber sido sometido a tratamientos mecánicos o térmicos posteriores a su fundición.

Cuadro 6



Distribución en tanto por ciento de los elementos menores y trazas de las agujas y tupos.

P-M-58 es una especie de alfiler, con una cabeza redonda, estriada, que difiere en cuanto a su forma del resto, lo cual haría pensar en un origen más moderno. Esta pieza está fragmentada, pero completa y en buen estado de conservación. El contenido en cobre es de 91,6 por 100; destacan la proporción de estaño, 3,5 por 100, y particularmente la de zinc, 1,5 por 100, ya que es el único caso en que este elemento se ha detectado. La metalografía realizada muestra una pátina con corrosión intercrystalina y gran cantidad de oclusiones no metálicas, que confirma que no se trata de un objeto moderno, pues ha sufrido un proceso corrosivo durante un largo período de tiempo. Atacada la muestra, la metalografía número 4 (LÁMINA 2 B) nos presenta una estructura dendrítica de colada, sin tratamiento posterior.

### CONCLUSIONES

Después de haber examinado detenidamente los resultados de los análisis mediante los cuales hemos conocido la composición de los objetos de metal y la técnica con que fueron manufacturados, se ponen de manifiesto una serie de datos por cuyo señalado interés arqueológico esperamos que contribuyan al esclarecimiento de algunos de aquellos problemas culturales que se han planteado en el estudio de los materiales de Ingapirca; problemas a los que hicimos referencia en las primeras líneas de este trabajo.

Así, si consideramos la totalidad de los piezas analizadas, vemos que —salvo los casos ya citados en páginas anteriores, y de los que trataremos más adelante— existe una similitud en lo que se refiere a la composición de las piezas; de aquí podemos deducir con una cierta seguridad que el mineral utilizado en la fabricación de estos objetos procede todo él del mismo lugar. Sin embargo, es difícil establecer la fuente de esta materia prima —el cobre—, ya que no disponemos, por el momento, de datos totalmente fiables sobre la explotación del cobre durante la época prehistórica en Ecuador. Las noticias son escasas: algún autor, como Jijón y Caamaño (1951) señala la importancia del trabajo del cobre en la provincia de Cañar. Otros autores, como Rivet y Arsandaux (1946), consideran la región cañarí como uno de los centros de trabajo del oro, plata o cobre. Pero nada dicen de la procedencia de los metales; por tanto, a pesar de que estos autores citan la provincia de Cañar como una zona rica en objetos de metal —precioso o no—, el lugar de donde se extraía el cobre allí trabajado sigue siendo hipotético.

El mineral del que fueron hechas las piezas es un cobre bastante puro; sin embargo, la cantidad de impurezas presentes en éste —aunque en general en proporciones muy pequeñas— nos inclina a pensar

que no se trata de cobre nativo, sino de un mineral de cobre fundido. Aunque el uso del cobre nativo tuvo en principio una difusión bastante amplia, su utilización fue abandonada relativamente pronto, ya que presenta una serie de problemas técnicos: alto punto de fusión, solidificación muy rápida, poca dureza, etc. (Patterson, 1971: 308). La fundición del mineral de cobre, de las piezas estudiadas, no debió ser total, puesto que dicho proceso, si se realiza adecuadamente, elimina los elementos volátiles del mineral, tales como arsénico, sulfuro y antimonio, en forma de óxidos gaseosos y, contrariamente a esto, en nuestras muestras se ha detectado el arsénico en concentraciones bastante altas.

Las metalografías realizadas nos muestran que la masa metálica es poco homogénea, llena de inclusiones no metálicas y con óxidos de cobre; lo cual prueba una fundición del mineral poco oxigenada, que hace que el metal obtenido conserve gran parte de las impurezas de las mismas menas de las que procede.

La fundición se realizó en hornos sencillos, probablemente análogos a los que Cieza de León denomina «Guayra», el cual se utilizaba en Perú a la llegada de los españoles. Las temperaturas de fusión en este tipo de hornos debieron alcanzarse con dificultad (punto de fusión del cobre: 1.083° C), ya que la distribución de los distintos componentes del metal no es correcta.

Todas las piezas excepto las agujas están fabricadas mediante un proceso de enfriamiento en moldes con fase posterior de forjado, en la cual la maquinización no fue excesiva, modificándose muy poco la forma. Posteriormente las piezas se sometieron a recocido. El martilleado en frío aumenta la dureza del metal una vez que el objeto tiene la forma descada; por eso el metal es recocido, para devolverle ductilidad y así poder seguir trabajándolo. No obstante el tratamiento de la forja después del último recocido, no ha sido muy insistente. Esto nos hace suponer que dicho tratamiento se hizo para conseguir únicamente un acabado final tanto en superficie como en la forma, pero sin gran interés en obtener objetos duros o con propiedades mecánicas determinadas, lo que confirma nuestra idea inicial de que se trata de objetos de carácter ornamental.

Con respecto a las dos agujas de bronce, el proceso de fabricación seguido es el mismo para ambas, ya que estos objetos han sido obtenidos por molde, sin que posteriormente sufrieran otro tipo de tratamiento. Esto indica que los moldes utilizados consiguieron ya un acabado suficientemente bueno, y que la temperatura de la masa metálica fue lo bastante alta para permitir un vaciado aceptable.

En cuanto a la composición de los objetos analizados, podemos considerar casi todos los elementos detectados como impurezas del mismo mineral. Sólo parece evidente la adición intencionada de fós-

foro, probablemente en forma de cenizas de huesos, para conseguir un metal más fluido a la vez que se obtiene un punto de fusión más bajo. La causa de la presencia de otros elementos es más dudosa, como sucede con el níquel, cuya presencia es característica del cobre sudamericano (Bergsøe, 1938: 17); pero que en muchas ocasiones puede deberse a una contaminación de las cenizas de carbón vegetal usada en los hornos durante la fundición.

La presencia de arsénico en todos los objetos, y en proporciones bastante altas, nos llevan a deducir la utilización de cobres arsenicales en la construcción de dichas piezas; no podemos asegurar que este elemento fuera añadido intencionalmente, pero, sin embargo, hay que tener presente que en muchas ocasiones el arsénico era añadido a la aleación como un elemento endurecedor (Patterson, 1971: 309).

Las dos piezas que contienen estaño como mayor constituyente (P-M-58 y P-M-46) destacan tanto en su composición como en la técnica de fabricación empleada. La alta concentración de estaño, aunque no es la misma en las dos piezas, evidencia que la presencia de este elemento es intencional.

Examinando ahora los resultados de los análisis desde un punto de vista arqueológico, podemos señalar que las variaciones en la composición de las piezas, en algunos casos confirmada con variaciones en la técnica de manufactura, están en función principalmente de los lugares donde se hallaron: tumbas o sitios habitacionales.

Todos los objetos recogidos en tumbas muestran una composición homogénea, así como una similar técnica de fabricación; técnica bastante simple, con fundido del mineral, martilleado, recocido, etc., sin que en ningún caso se haya constatado la presencia de soldadura. En el caso de los aros, hemos considerado las diferencias entre los resultados analíticos como un producto del proceso de fabricación, puesto que se utilizó un mineral proveniente de una fuente única. En efecto, si el mineral utilizado tuviera origen diverso, las variaciones encontradas serían mayores y seguramente no tendrían relación con el tamaño de las piezas, al contrario de lo que ocurre en este caso. Es decir, la elaboración de estos aros, de dimensiones tan diferentes, debió suponer un proceso más largo en el caso de los aros más grandes, con lo que se eliminaron una mayor cantidad de elementos en los sucesivos calentamientos que sufrió cada pieza. Asimismo, en los aros más pequeños, podemos pensar que el proceso fue más corto, lo que, unido a la posible reutilización de restos de metal o piezas fragmentadas para hacer nuevos objetos, ha dado lugar a que estas impurezas aparezcan en mayor proporción.

Entre las variaciones más significativas obtenidas de los análisis, tenemos las que se dan en aquellos objetos procedentes de lugares de

habitación. En la mayoría de éstos se aprecia algún cambio en la composición que nos lleva a pensar en la utilización de un metal de procedencia diversa. Respecto al contenido de estaño de todas estas piezas, su concentración no muestra cambios destacables, salvo en dos objetos, cuyo alto porcentaje nos permite hablar de bronces. Estas dos piezas se señalan, además, por ser las únicas hechas mediante fundición sin forja posterior. La procedencia de dichos objetos no es clara, si bien la utilización del estaño en Ecuador parece que no comenzó hasta la penetración del imperio inca (Rivet y Arsandaux, 1936), por lo que, aunque no podemos afirmar que correspondan a la ocupación incaica, sí es seguro que no se deben a la ocupación cañarí. Por otra parte, la presencia en uno de ellos, y como único caso, de zinc, marca una nueva diferencia, ya que parece que el zinc no es un elemento común en los antiguos objetos peruanos, aunque se haya detectado en algunas ocasiones. La otra pieza asimismo destaca por no haberse detectado arsénico, quizá suplido por la alta concentración de estaño, ya que ambos son agentes endurecedores.

De lo expuesto obtenemos una importante conclusión, y es la clara distribución de las piezas metálicas obtenidas en Ingapirca en dos grupos: las que proceden de enterramientos, ya sea de «Pilaloma», ya de «La Condamine», que se caracterizan por estar hechas con un mineral de origen único, y las halladas en lugares de habitación, también de ambos sitios, que, por el contrario, han sido hechas con minerales de origen diverso, excepto una (LC-M-5) procedente de «La Condamine», que en su composición se asemeja a las de las tumbas, correspondiendo quizá a la ocupación inca.

La ausencia o baja concentración de algunos elementos tan característicos como el arsénico en otros tres objetos procedentes de lugares de habitación nos llevan a considerarlos igualmente —aunque no han dado trazas de estaño— de procedencia distinta a los hallados en las tumbas.

En resumen, de los objetos metálicos hallados en Ingapirca, hay dos (P-M-58 y P-M-46) que con seguridad no pertenecen a la cultura cañarí (aunque dudamos si corresponden a la fase inca o colonial); otros tres objetos (P-M-64, P-M-56 y LC-M-1), probablemente tampoco pertenecen a esta cultura; más problemático resulta el LC-M-6, por su alto contenido en hierro; el resto de los objetos de metal se pueden asignar a la ocupación cañarí, que es a la que se han atribuido las tumbas (Fresco, Cobo, 1977, y Alcina, 1975). La falta o escasez de objetos metálicos de procedencia incaica estaría, pues, de acuerdo con la época cerámica de tipo incaico encontrada en Ingapirca (Alcina, 1978).

Las diferencias metalúrgicas y de composición constatadas en los análisis de los objetos de metal, y que nos ha llevado a asignarles

orígenes culturales posiblemente distintos, deberá corroborarse con el estudio de los restantes materiales, arquitectura, cerámica, lítica, et-cétera, que se encontraron asociados más o menos directamente con estos objetos.

## BIBLIOGRAFIA

ALCINA FRANCH, José:

- 1975 Excavaciones arqueológicas en Ingapirca (Ecuador). *Mundo Hispánico*, núm. 38 (pp. 46-52), Madrid.
- 1978 Las cabezas-clava de Ingapirca (Ecuador). Homenaje a Gerdt Kutcher. Berlín. (En prensa.)

BERSÖE-Paul:

- 1937 *The metallurgy and technology of gold and platinum among the Precolumbian Indians*. Ingeniørvidenskabelige Skrifter, N.º A 44, Copenhagen.
- 1938 *The gilding process and the metallurgy of copper and lead among the Precolumbian Indians*. Ingeniørvidenskabelige Skrifter, N.º A 46. Copenhagen.

FRESCO, A., y COBO, W.:

- 1977 Primeras consideraciones acerca de unas tumbas de Ingapirca (Ecuador). *I.º Congreso de Antropólogos Españoles. Barcelona*. (En prensa.)

GETTENS, R. G.:

- 1969 The freer chinese bronzes. *Technical Studies*, Vol. 2. Smithsonian Institution. Washington.

GRAVES, R. H., y WRIGHTON, H.:

- 1966 *Practical microscopical metallography*. Edición española, Urmo. Barcelona.

JIJÓN Y CAAMAÑO, J.:

- 1951 *Antropología prehispánica del Ecuador*. La Prensa Católica, Quito.

PATTERSON, Clair C.:

- 1971 Native copper, silver and gold accessible to early metallurgists. *American Antiquity*, Vol. 36, núm. 3 (pp. 286-321).

RIVET, Paul, y ARSANDAUX, H.:

- 1946 *La métallurgie en Amérique précolombienne*. Travaux et memoires de L'Institut d'Ethnologie, XXXIX. Paris.

ROOT, William C.:

- 1949 The metallurgy of the Southern coast of Perú. *American Antiquity*, Vol. 25, núm. 1 (pp. 10-37).
- 1961 Precolumbian metalwork of Colombia and its neighbors. *Essay 17 in Essays in pre-Columbian art and archaeology*, Edited by D. Z. Stone, G. F. Eckholm, J. B. Bird and G. R. Willey. Harvard Press. Cambridge.

SMITH, Cyrils S.:

1965 Materials and the development of civilization and science, *Science*, Vol. 148, (pp. 908-917).

ZEBALLOS, Carlos:

1965 Estudio regional de la orfebrería precolombina de Ecuador y su posible relación con áreas vecinas. *Revista del Museo Nacional*, Vol. 34, (pp. 68-81). Lima.

*Universidad Complutense de Madrid.*

	Cu	Sn	Au	H	Si	P	Sb	Fe	Al	Pb	Ng	As	Ni	Mn	Ri	Ag	Zn	Ca
P-M-14	96,84	nd	0,009	0,003	0,3	0,04	0,2	0,045	0,15	0,04	0,015	2,2	0,05	0,010	0,07	0,015	nd	0,005
P-M-1	96,5	nd	0,01	0,008	0,015	nd	0,3	0,005	nd	0,06	0,0015	2,9	0,1	0,01	0,065	>0,02	nd	0,001
P-M-6	98,8	0,008	0,002	0,0025	0,3	0,05	0,01	0,04	0,16	0,012	0,03	0,5	0,012	nd	0,02	0,015	nd	0,003
P-M-2	98,6	0,01	0,005	0,004	0,02	0,02	0,035	0,025	nd	0,03	0,005	1	0,1	0,005	0,06	>0,02	nd	0,004
P-M-5	97,85	nd	0,003	0,0025	0,03	nd	0,0025	0,004	0,001	nd	0,0015	2,05	0,02	0,005	0,006	0,02	nd	0,0006
P-M-9	94,95	0,004	0,002	0,004	2,7	0,1	0,025	0,07	0,55	0,15	0,2	1,15	0,018	0,01	0,04	0,02	nd	0,01
P-M-15	98,35	nd	0,0003	0,003	0,009	nd	nd	0,003	nd	nd	0,002	1,5	0,1	nd	0,015	0,015	nd	0,001
P-M-16	96,5	0,01	0,0025	0,015	0,07	0,01	0,1	0,009	0,025	0,45	0,007	2,6	0,25	0,0006	0,03	0,02	nd	0,003
P-M-3	96,8	0,04	0,0015	0,009	0,09	0,02	0,07	0,02	0,006	0,1	0,01	2,5	0,2	0,02	0,08	>0,02	nd	0,004
P-M-4	97,4	0,02	0,003	0,004	0,1	nd	0,045	0,005	0,003	0,06	0,0045	2	0,25	0,02	0,06	>0,02	nd	0,002
P-M-20	98,4	0,008	0,005	0,006	0,045	0,02	0,02	0,02	0,01	0,05	0,005	1,15	0,2	0,0006	0,025	0,02	nd	0,005
P-M-19	99,04	nd	0,002	0,005	0,07	0,01	0,01	0,02	0,006	0,01	0,003	0,7	0,1	nd	0,015	0,01	nd	0,002
P-M-7	98,28	0,02	0,0015	0,002	0,3	0,01	0,02	0,02	0,06	0,03	0,02	1,15	0,02	0,01	0,036	0,017	nd	0,004
P-M-10	98,3	nd	nd	0,0022	0,09	0,02	0,18	0,06	0,008	0,4	0,01	0,5	0,025	0,0055	nd	>0,02	nd	0,007
P-M-17	98,05	0,025	nd	0,0035	0,007	nd	0,05	0,004	nd	0,6	0,0005	1,15	0,07	nd	0,02	0,016	nd	0,0003
P-M-18	98,34	0,02	nd	0,0035	0,009	nd	0,045	0,002	nd	0,5	0,004	1	0,045	nd	0,015	0,015	nd	0,0006
P-M-44	96,96	nd	0,007	0,002	0,06	0,09	0,015	0,06	0,01	0,01	0,01	2,5	0,2	0,006	0,035	>0,02	nd	0,009
P-M-34	97,56	0,02	0,08	0,015	0,25	0,4	0,015	0,1	0,25	0,003	0,035	1	0,17	0,035	0,025	>0,02	nd	0,015
P-M-12	96,17	0,008	0,005	0,007	0,08	0,15	0,02	0,075	0,15	0,075	0,3	2,6	0,25	0,05	0,03	>0,02	nd	0,009
P-M-13	95,5	nd	0,005	0,005	0,45	0,3	0,02	0,1	0,25	0,06	0,3	2,6	0,25	0,07	0,03	0,02	nd	0,02
P-M-28	97,57	0,004	0,004	0,01	0,3	0,4	nd	0,15	0,25	0,006	0,3	0,9	0,025	0,02	0,03	0,02	nd	0,015
P-M-29	98,77	0,01	0,002	0,007	0,05	0,003	0,01	0,06	0,025	0,1	0,008	0,9	0,03	0,005	0,0055	0,015	nd	0,001
P-M-21	98,06	0,008	0,002	0,0065	0,3	0,1	0,03	0,075	0,1	0,1	0,009	1	0,15	0,0035	0,025	0,02	nd	0,0075
P-M-25	97,72	0,01	nd	0,007	0,3	0,45	0,35	0,1	0,15	0,3	0,1	0,35	0,1	0,035	0,0035	0,01	nd	0,013
P-M-22	96,85	0,02	0,01	0,005	0,3	0,4	0,02	0,1	0,2	0,009	0,03	1,7	0,2	0,04	0,04	>0,02	nd	0,02
P-M-8	97,67	nd	0,005	0,002	0,3	0,065	0,015	0,04	0,035	nd	0,025	1,75	0,018	0,01	0,03	>0,02	nd	0,01
P-M-30	96,3	0,03	0,006	0,005	0,3	0,25	0,035	0,1	0,6	0,012	0,36	1,9	0,03	0,01	0,02	>0,02	nd	0,015
P-M-26	97,55	0,004	0,007	0,004	0,3	0,4	0,15	0,1	0,15	0,025	0,001	1,15	0,025	0,1	0,0035	0,015	nd	0,013
P-M-32	98,07	nd	0,005	0,002	0,5	0,25	0,015	0,09	0,25	0,05	0,2	0,5	0,01	0,01	0,02	0,015	nd	0,01
P-M-23	97,01	0,09	nd	0,006	0,3	0,2	0,04	0,09	0,15	0,15	0,1	1,5	0,25	0,025	0,05	>0,02	nd	0,015
P-M-35	96,86	0,03	0,003	0,006	0,3	0,5	0,02	0,2	0,2	0,13	0,2	1,3	0,05	0,15	0,015	0,02	nd	0,015
P-M-31	98,41	nd	0,001	0,007	0,35	0,1	0,15	0,06	0,4	0,17	0,12	0,17	0,03	0,01	0,00055	0,017	nd	0,004
LG-M-7	98,42	0,03	nd	0,0035	0,08	0,03	0,03	0,025	0,015	0,3	0,009	0,85	0,2	0,002	0,01	0,017	nd	0,0065

Tabla 1

	Cu	Sn	Au	B	Si	P	Sb	Fe	Al	Pb	Mg	As	Ni	Mn	Bi	Ag	Zn	Ca
P-M-36	98,85	nd	0,002	0,005	0,15	0,15	0,01	0,075	0,15	0,01	0,00	0,7	0,005	0,0055	0,01	0,012	nd	0,06
P-M-37	96,6	nd	0,004	0,012	0,9	0,7	0,015	0,1	0,4	nd	0,25	0,9	0,05	0,02	0,005	>0,02	nd	0,025
P-M-40	97,3	0,1	nd	0,01	0,3	0,3	0,02	0,15	0,01	0,4	0,2	0,9	0,15	0,1	0,005	0,015	nd	0,01
P-M-42	98,06	0,04	0,002	0,004	0,3	0,25	0,04	0,1	0,15	0,08	0,2	0,7	0,024	0,01	0,01	0,015	nd	0,01
P-M-43	98,28	0,004	0,01	0,007	0,15	0,1	0,03	0,08	0,05	0,09	0,03	1	0,1	0,02	0,015	>0,02	nd	0,007
P-M-47	98,06	0,01	0,004	0,003	0,2	0,04	0,03	0,04	0,05	0,3	0,04	1,15	0,02	0,0055	0,02	0,015	nd	0,007
P-M-48	95,6	nd	0,008	0,002	0,5	0,1	0,15	0,085	0,2	0,01	0,25	3	0,03	0,015	0,025	0,02	nd	0,015
P-M-49	98,16	0,01	0,005	0,006	0,15	0,08	0,02	0,04	0,1	0,3	0,2	0,05	0,02	0,01	0,015	0,015	nd	0,007
P-M-50	97,18	nd	0,005	0,007	0,1	0,04	0,045	0,25	nd	0,006	0,3	1,9	0,1	0,01	0,03	0,02	nd	0,003
P-M-51	97,05	0,004	0,04	0,005	0,3	0,07	0,015	0,035	0,15	0,08	0,13	1,9	0,15	0,01	0,01	0,015	nd	0,01
LC-M-5	97,57	0,007	nd	0,002	0,12	0,07	0,3	0,05	0,05	0,045	0,01	1,6	0,2	0,0013	0,001	>0,02	nd	0,003
LC-M-6	78,57	0,015	0,015	0,015	0,15	0,35	0,015	18,45	0,35	0,01	0,015	2	0,2	0,045	0,6	>0,02	nd	0,018
LC-M-1	98,93	nd	nd	0,004	0,02	nd	0,05	0,006	0,004	0,45	0,003	0,4	0,1	0,01	nd	>0,02	nd	0,002

Tabla 2

	Cu	Sn	Au	B	Si	P	Sb	Fe	Al	Pb	Mg	As	Ni	Mn	Bi	Ag	Zn	Ca
P-M-54	98,03	0,025	0,0004	0,0035	0,03	0,1	0,008	0,065	nd	0,25	0,6	0,85	0,005	0,005	0,006	0,015	nd	0,01
P-M-33	97,6	0,08	nd	0,004	0,3	0,15	0,025	0,075	0,3	0,15	0,2	1	0,02	0,035	0,03	0,015	nd	0,015
P-M-45	96,62	nd	0,01	0,008	0,25	0,7	0,05	0,09	0,15	nd	0,75	0,85	0,02	0,45	0,02	0,01	nd	0,015
P-M-55	97,12	nd	0,002	0,004	0,2	0,14	0,1	0,06	0,3	nd	0,12	1,9	0,02	0,005	0,0055	0,017	nd	0,006
LC-M-8	98,81	nd	0,002	0,002	0,15	0,02	0,015	0,07	0,1	0,3	0,015	0,42	0,015	0,01	0,001	0,02	nd	0,045
LC-M-2	96,57	0,02	0,001	0,004	0,45	0,45	0,0025	0,1	0,25	0,1	0,36	1,6	0,025	0,022	0,01	0,015	nd	0,016
LC-M-9	96,87	nd	0,002	0,004	0,4	nd	0,045	0,06	0,2	0,35	0,07	1,15	1,2	0,01	0,009	0,02	nd	0,008
LC-M-4	94,5	nd	0,005	0,004	2,1	0,25	0,035	0,08	0,25	nd	0,02	2,5	0,2	0,01	0,003	0,02	nd	0,016
LC-M-10	98,69	nd	nd	0,0022	0,092	0,02	0,10	0,06	0,008	0,4	0,01	0,5	0,025	0,005	nd	0,02	nd	0,007
P-M-58	91,62	3,5	0,015	0,002	0,4	0,25	0,35	0,1	0,1	0,7	0,006	1	0,35	0,025	0,01	0,02	1,5	0,05
P-M-57	98,64	nd	nd	0,003	0,15	nd	0,005	0,002	0,01	1	0,005	0,045	0,12	nd	nd	0,02	nd	0,0008
P-M-56	97,56	nd	nd	0,002	0,15	0,06	0,03	0,03	0,03	0,75	0,009	1,15	0,2	0,002	nd	0,02	nd	0,0045
P-M-46	89,85	9,66	0,009	0,002	0,16	0,08	nd	0,045	0,08	0,006	0,015	nd	0,06	0,002	nd	0,02	nd	0,01

Tabla 3