

# Arqueometalurgia: Una mirada al desarrollo de culturas prehispánicas mediante la fabricación, uso y distribución de piezas metálicas.

## Archeometallurgy: A look at the development of prehispanic cultures through the manufacture, use and distribution of metal pieces

Rodrigo Allende, Anmerie Silva  
Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile.  
[rodrigo.allende@usach.cl](mailto:rodrigo.allende@usach.cl)

### Resumen

---

El presente texto muestra una revisión de algunos trabajos realizados en la región altiplánica de Los Andes de Sur. Mediante aplicación de técnicas propias de la arqueometalurgia se intenta dar contexto a los hallazgos de piezas metálicas producidas por tecnología prehispánica. La mayor cantidad de los datos expuestos se podrían obtener con equipos y procedimientos que se estudian en las Ingenierías en metalurgia que se imparten en la Universidad de Santiago de Chile. Tras la exposición de tres casos que incluyen análisis de escorias, un disco ornamental (halladas en el noreste argentino) y hachas (desenterradas en el altiplano boliviano y San Pedro de Atacama). Se puede concluir un gran desarrollo e implementación de tecnología para extracción de metales, aleado y procesos de conformado, además de una red de comercio que abarcaba al menos 1.100 Km por Los Andes.

**Palabras Clave:** Arqueometalurgia; metalurgia prehispánica; extracción de metales; conformado.

### Abstract

---

This text shows a review of some work carried out in the Altiplano region of the Southern Andes. By applying archeometallurgical techniques, attempts are made to give context to the findings of metal pieces produced by pre-Hispanic technology. Most of the exposed data could be obtained with equipment and procedures that are studied in the Metallurgy Engineering that are taught at the Universidad de Santiago de Chile. After the exposition of three cases that include analysis of slags, an ornamental disk (found in northeastern Argentina) and axes (unearthed in the Bolivian altiplano and San Pedro de Atacama). A great development and implementation of technology for metal extraction, alloying and Forming processes, in addition to a trade network that covered at least 1,100 km through the Andes, has been observed.

**Keywords:** Archeometallurgy; pre-Hispanic metallurgy; metal extraction; metal forming.

## Introducción

La arqueometalurgia es una rama de la arqueología que trata sobre el estudio de todos los procesos derivados de la obtención de piezas metálicas en la antigüedad. La producción y uso de metales requiere de una serie de distintas actividades humanas, que están conectadas con los cambios físicos y químicos de las transformaciones que se observan durante los procesos que llevan a minerales hacia piezas terminadas, ya sean suntuarias (collares, brazaletes, etc.) o con afanes de mejorar la productividad en la extracción de algún recurso natural, por ejemplo, anzuelos metálicos para la pesca. Este camino de transformación se muestra en la Figura N° 1 y ha sido llamado “la cadena metalúrgica” (Hauptmann, 2007) en el libro “The Archaeometallurgy of Copper”.

Las actividades comienzan en el depósito de mineral con la minería siguiéndole procesos tecnológicos cómo la fusión, cuando por vía pirometalúrgica la separación entre escoria y los metales de interés ocurre. La reducción de óxidos cobre empleando carbón como combustible ha sido explicada por parte de este equipo, empleando los diagramas de Ellingham para ello (Allende y Schulz, 2019). Los procesos de fusión y refinamiento, por lo tanto, requieren de generación, aplicación y transmisión de acabados conocimientos que permiten mediante el análisis de evidencia arqueológica evaluar la complejidad y especialización de los distintos pueblos. El análisis de la evidencia de trabajo metálico permitirá:

1. Reconstruir los procesos tecnológicos y artesanía aplicada para producir metales (objetos);
2. Establecer cómo se distribuyeron los metales de una fuente, es decir, permitir la reconstrucción de antiguas redes comerciales. Generar estudios que determinen la procedencia de las materias primas con las que se fabricó un objeto metálico.

Están conectados con

3. La cronología de la minería y la metalurgia a lo largo de los milenios.

Les siguen temas arqueológicos como

4. La organización espacial y el patrón social de la minería y la producción de metales;
5. Impacto cultural y económico sobre una determinada región.

Las investigaciones botánicas y geoarqueológicas tratan

6. Suministro de combustible para la metalurgia, su impacto en entornos locales/regionales, es decir, deforestación y daño posterior a los suelos por erosión.

Todas las respuestas que se pueden obtener a las cuestiones detalladas anteriormente se basan en cómo se distribuyen elementos durante el proceso metalúrgico extractivo y adaptivo que le sucede. Algunos casos se presentarán en el presente documento. Antes de eso se explicará un caso particular en la que no hay distribución y que permite situar y relacionar geográficamente minerales y piezas terminadas. También se presentará el análisis de isótopos de plomo (Álvarez, 2016).

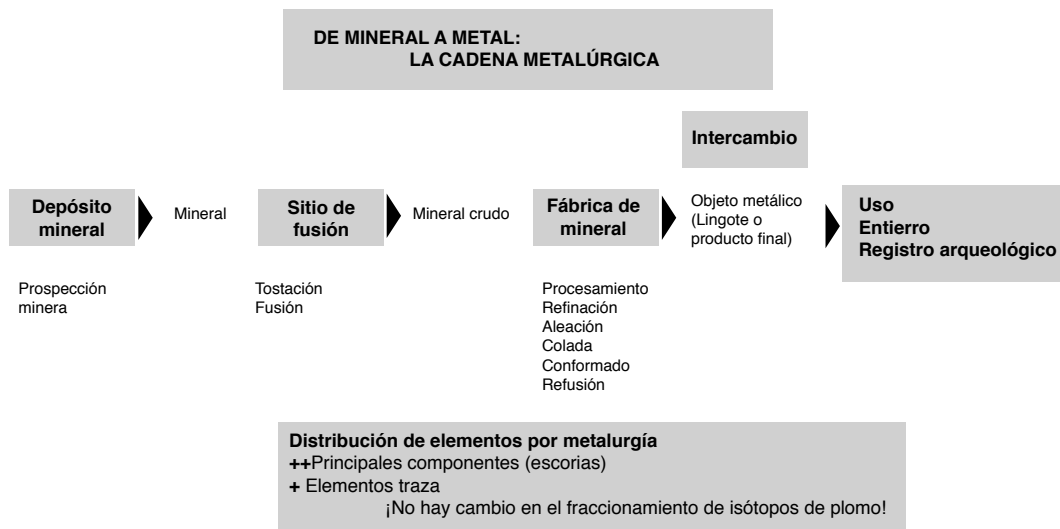


Figura N° 1. La cadena metalúrgica.

Tabla N° 1. Isótopos de Pb. Orígenes y abundancia isotópica.

Isótopo	Origen	Abundancia isotópica (%)
$^{204}\text{Pb}$	Natural	1,4
$^{206}\text{Pb}$	Decaimiento radiactivo de $^{238}\text{U}$	24,1
$^{207}\text{Pb}$	Decaimiento radiactivo de $^{235}\text{U}$	22,1
$^{208}\text{Pb}$	Decaimiento radiactivo de $^{232}\text{Th}$	52,4

**Análisis de isótopos de Plomo.**

El plomo es un elemento que posee 4 isótopos cuyos orígenes y abundancias isotópicas se presentan en la Tabla N° 1.

Debido al origen relacionado con el decaimiento radiactivo su distribución a lo largo de la corteza terrestre no es homogénea y dado su elevado peso atómico el fraccionamiento producto de cambio físicos y químicos es despreciable. Si consideramos el primer aspecto, se podrá determinar de manera precisa el origen geográfico tanto de minerales como piezas metálicas si se conoce, por ejemplo, la razón que existe entre distintos isóto-

pos en diferentes regiones geográficas. Para ilustrarlo de manera gráfica la Figura N° 2 presenta la relación entre los cocientes entre isótopos de plomo en los Andes centrales y su distribución geográfica (Lechtman y MacFarlane, 2005). Veamos el siguiente ejemplo; si una pieza metálica encontrada en la provincia de Jujuy en Argentina presenta una relación entre los cocientes  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  y  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  de 38,5 y 18,5 respectivamente, ha de haber sido fabricado con materias primas (minerales) que fueron extraídos de la región costera que va desde el sur de Perú (Tacna) hasta la Chañaral en la actual región de Atacama, demostrando intercambio de piezas metálicas entre los pueblos de ambas regiones.

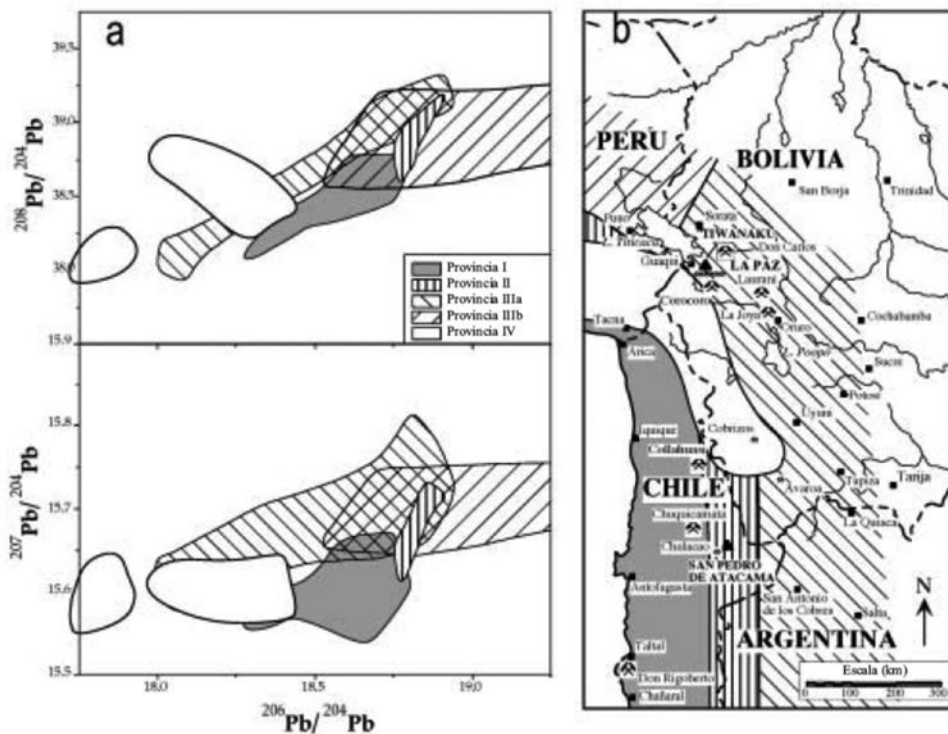


Figura N° 2. Análisis de isótopos de plomo en los Andes Centrales. a) Rangos de cocientes de isótopos de plomo medidos en menas de los Andes Centrales; b) Provincias geográficas correspondientes a las composiciones de isótopo de plomo en a).

En lo que sigue, se presentarán 3 casos en los que se pretende mostrar cómo la aplicación de técnicas de caracterización propias de la Ciencia e Ingeniería de los materiales permiten comprender y revalorizar los avances tecnológicos de los pueblos originarios previo al contacto europeo. Los casos a presentar son: 1) Reducción de galena argentífera en el noroeste Argentino (Becerra *et al.*, 2014) con la que se muestra que no se han observado diferencias en cuanto a la eficiencia de los hornos antes y después del contacto europeo, que denota un acabado conocimiento prehispánico para la obtención de metales. 2) Estudio de un disco ornamental (González y Vargas, 1999) con el que se pretende ilustrar conocimiento de métodos de fabricación por colada y soldadura y finalmente, 3) Mediante la distribución geográfica de piezas de bronce en Los Andes surcentrales (Lechtman y MacFarlane, 2005), se puede comprender la extensión del comercio de minerales y piezas terminadas en los pueblos que habitaron la región antes del periodo colonial.

## Análisis de casos

### Metalurgia extractiva en la época prehispánica y colonial. Puna de Jujuy.

La región de la Puna de Jujuy en el noroeste argentino es una zona altiplánica situada a 3.600 metros

sobre el nivel del mar (msnm). En ella se observan al menos 5 sitios arqueológicos en los que se ha encontrado evidencia de actividad metalúrgica. Entre los hallazgos se encuentran fragmentos de hornos prehispánicos conocidos como huayrachina (del quechua, *mujer de viento*) para la reducción de minerales de bajo punto de fusión (plomo y plata particularmente). Estos eran una suerte de chimenea de 1,4 a 0,5 m de alto y de 0,5 a 1,5 m<sup>2</sup> de diámetro con huecos en sus paredes direccionados según el viento predominante en la zona (Figura N° 3 a). Se empleaban con el afán de aprovechar los altos flujos de aire predominantes en la región altiplánica (pobre en oxígeno) para elevar la temperatura. Incluso podían ser portables como el esquema presentado en la Figura N° 3, para lo cual disminuían su tamaño a prácticamente a la mitad.

La Figura N° 3a hacia la derecha presenta una huayrachina estandarizada empleada en un estudio realizado en 2014 para comprender el funcionamiento de esta tecnología (Livenais, 2018), que permitió entre otras cosas obtener datos relativos al consumo de combustible y tiempo que debía estar encendido para la reducción de una determinada cantidad de mineral. Por ejemplo, para la reducción de 2 Kg de minerales de plomo ricos en plata (galena argentífera), se requería 6 Kg de carbón vegetal (poco más de 2 sacos para una parrilla) y un tiempo de 1 hora y media, sin necesidad de algún

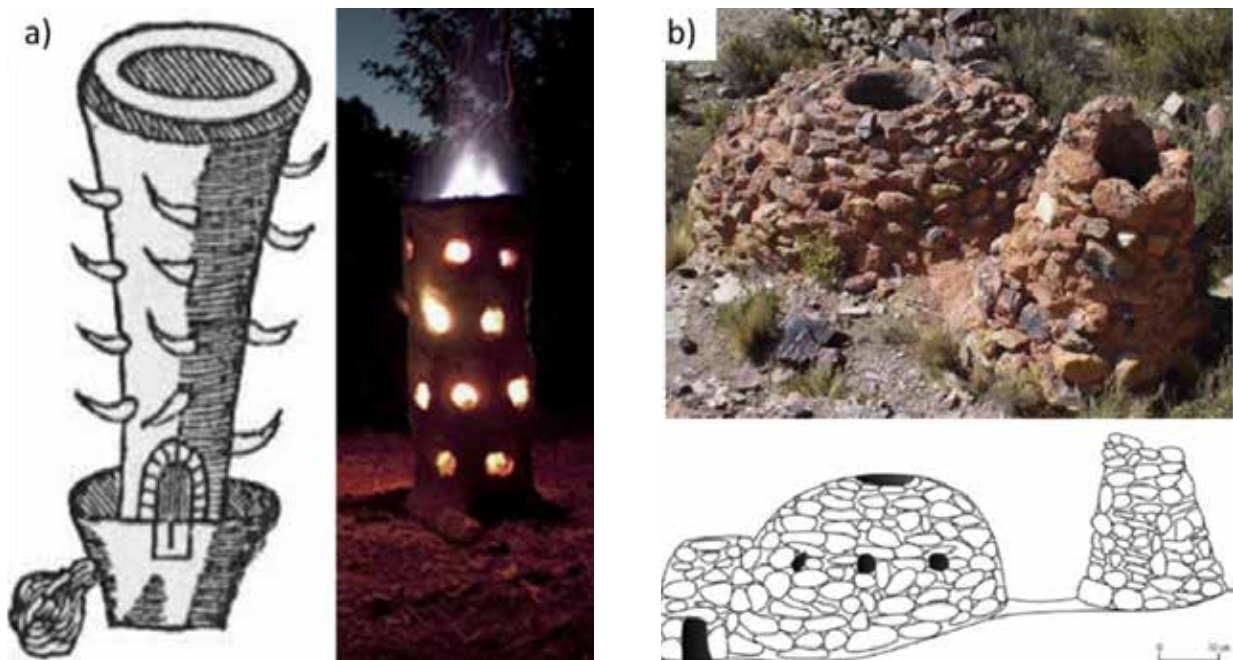


Figura N° 3. Tecnologías pirometalúrgicas para reducción de minerales. a) Huayrachina (prehispánica) (Rehren, 2011; Livenais, 2018), b) Horno de reverbero (hispanico) ( Angiorama y Becerra, 2010).

fuelle (si, sin fuelle a 3.600 msnm). Mientras que para los hornos reverberos este tiempo era más del doble, sin contar el consumo de combustible. Esta tecnología fue reemplazada por los hornos reverberos que permitían el tratamiento de una mayor cantidad de mineral cuando la productividad en la extracción de los recursos naturales de Los Andes del sur se vio forzada por la acción europea con el afán de aumentar sus arcas, sin la necesidad de las actualmente tan requeridas evaluaciones de impacto ambiental. Finalmente, ambos hornos fueron reemplazados por el llamado azogue (amalgamado con Hg) (Bargalló, 1969).

El proceso partía con la carga de mineral chancado en marayes (una suerte de morteros de gran tamaño), para la obtención de una aleación plúmbica con contenido de plata con muy bajo contenido de azufre, lo que es indicio de una alta eficiencia al liberar el S a la atmósfera como  $\text{SO}_2$ . Tras separar de la escoria (óxidos principalmente), se podría separar el metal de interés (plata) del plomo ya en forma de óxido de plomo o litargirio, en otro tipo de estructura de combustión. No se ha encontrado evidencia de esta última tecnología en la región estudiada, por lo que se supone que el proceso desarrollado en las huayrachina se realizaba con el afán de facilitar el transporte de la aleación rica

en plomo y plata para ser refinada en otro lugar, lo que habla de la especialización de los pueblos en determinadas funciones de la cadena metalúrgica (Livenais, 2018).

### Fusión, soldadura y aleación entre los siglos X y XVIII. Disco ornamental.

En lo que sigue se analizará una pieza originaria del sur del valle de Yocavil en el noroeste argentino (González y Vargas, 1999), perteneciente a una colección del Museo Etnográfico Juan B. Ambrosetti de Buenos Aires, registrada con el número 19742 ingresada el año 1915. La pieza corresponde a los momentos tardíos de ocupación indígena (siglos X al XVIII). La Figura N° 4 muestra la pieza cuyas dimensiones son  $312,85 \pm 0,85$  mm de diámetro con un espesor de  $3,60 \pm 0,40$  mm y la composición química del disco es  $98,6\text{Cu}-1,3\text{Sn}$  con trazas de Al y Si.

El análisis de esta pieza se realizó con el afán de responder a interrogantes que genera en cuanto a la técnica de fabricación empleada, determinar si las orejas fueron soldadas posteriormente o eran parte del diseño en el molde, el porqué de la composición química y el uso al que estaba destinada la pieza. Para comenzar a dar respuesta a estas

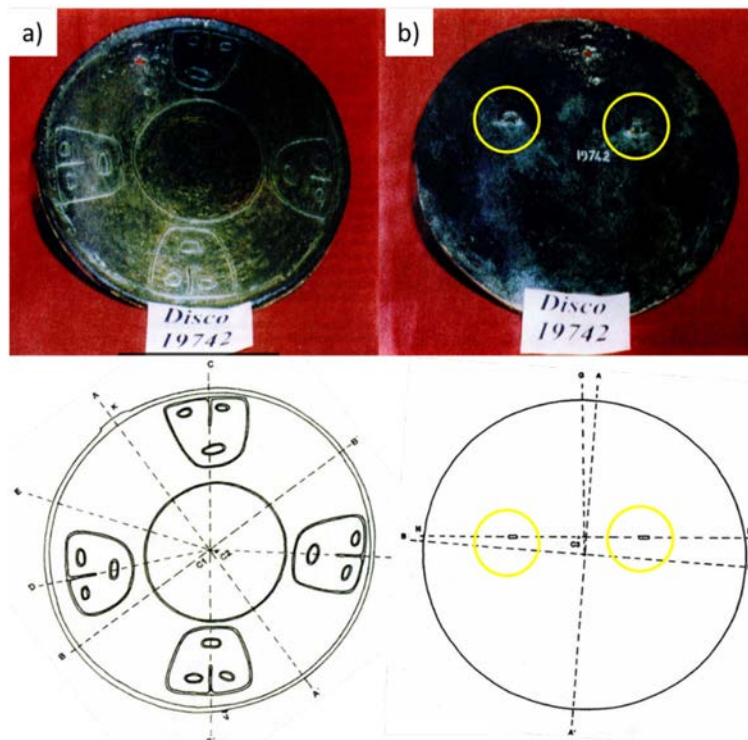


Figura N° 4. Imagen del disco mostrando: a) anverso y b) reverso del disco 19742 (González y Vargas, 1999).

preguntas es que se han realizado análisis metalográficos y mediciones de dureza Vickers según lo descrito en la Figura N° 5, en que se muestra una transición de una estructura dendrítica a una equiaxial con presencia de bandas de deslizamiento que hacen pensar que la oreja fue soldada por forja al disco fabricado mediante vaciado en un molde. Lo anterior es verificado al observar endurecimiento en la región de soldadura por mediciones de dureza, atribuible a martilleo (forja).

En un sector del borde fue detectado (mostrado como K en el esquema de la Figura N° 1) se aprecia un abultamiento de material de límites laterales rectos, que se intuye, correspondería al canal de colada. En la sección opuesta del diámetro se observa otro abultamiento de menor envergadura que puede relacionarse con un canal de ventilación del molde. Esta última observación denota experimentación previa e implementación de un procedimiento adicional durante la generación del molde que permite la evacuación de gases con el propósito de obtener piezas sanas (libre de defectos de colada). Adicionalmente, se ha observado un depósito superficial de color blanco que se ha medido rico en calcio mediante espectroscopía de energía dispersiva. Se ha que propuesto la utilización de una emulsión acuosa de huesos animales calcinados y

molidos que sería para obtener una pieza con una superficie lisa, evitando fallas por quemado y/o atrapamiento de arena. Se desconoce de piezas fabricadas con el mismo molde.

Es raro que las menas de cobre estén contaminadas con estaño, por lo que se propone que la adición de Sn no es accidental (Gonzalez y Vargas, 1999). Los posibles efectos sobre el endurecimiento por sustitución o baja en la temperatura de solidificación de la aleación sobre los porcentajes reportados son considerados marginales. En base a lo anterior somos partidarios de una incorporación con fines decorativos, dado que el estaño en las proporciones reportadas modifica el color rojizo del cobre a uno más bien dorado, lo que históricamente se ha relacionado socialmente con el estatus, el poder y desde el punto de vista religioso el dorado en Los Andes representa al Inti (Sol), los antepasados y lo masculino.

Para el proceso productivo del disco ornamental con un peso casi de 2.200 g, se ha calculado que fueron necesarios uno 10 kg de mineral enriquecido a una ley de 30% entre 4 y 5 kg de fundentes y de 20 a 30 kg de carbón de leña equivalentes a unos 150 a 200 Kg de madera. El metal por su parte pudo haber sido empleado en herramientas

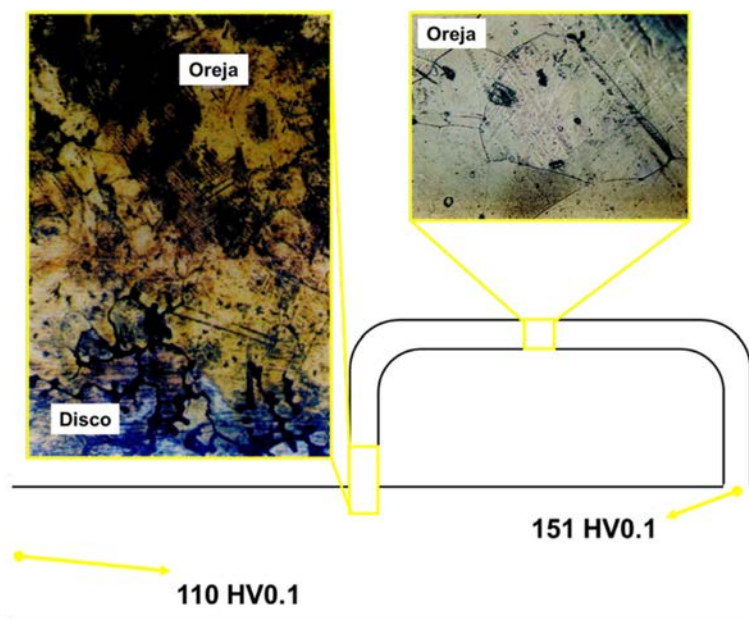


Figura N° 5. Esquema de la región de inserción de orejas. Análisis metalográfico y mediciones de dureza Vickers (González y Vargas, 1999).

de uso diario mediante refusión. De todo lo anterior se puede desprender que los objetos fabricados con tales técnicas sugieren un conocimiento del comportamiento de los metales, que no se condice con la elaboración ocasional de estas piezas. Toda la dedicación en cuanto al desarrollo de técnicas, recolección de materias primas, tiempo y elaboración en una pieza que no está destinada a ser usada como herramienta indican la importancia que poseen en la sociedad y organización social, indicando delegaciones de funciones de clases que gozaban de estatus y poder (González y Vargas, 1999).

### **Piezas terminadas de Cu-As-Ni. ¿Reflejo de una red de comercio?**

El desarrollo y uso del bronce fue un fenómeno del Horizonte Medio (s. V – IX) que estuvo asociado con el imperio incaico. Los bronce son aleaciones de cobre con otros metales, por un lado el “bronce clásico” es una aleación de cobre con estaño (no se encontraron objetos de este tipo de bronce antes del Imperio Incaico) pero existen otros tipos de bronce como lo es la aleación binaria cobre-arsénico llamada “bronce arsenical” ampliamente extendidas en Perú y Ecuador y muy raramente se han encontrado piezas fabricadas de una aleación

ternaria Su-As-Ni. No se han medido diferencias en las propiedades mecánicas entre estos 3 bronce, estos difieren principalmente en ductilidad y color. El caso que en lo sucesivo se presenta trata de piezas fabricadas en la última aleación descrita (Lechtman y Macfarlane, 2005).

Es de esperarse, al considerar la época en que se han datado las piezas estudiadas, que los lugares de producción de las piezas terminadas se encontrasen en regiones cercanas con acceso a materias primas como minerales, fundentes y combustible. No obstante, del bronce ternario se pueden comentar algunas curiosidades como el hecho de que se trata de una aleación extremadamente rara en cualquier parte del mundo antiguo, que las menas de níquel son casi inexistentes en los Andes Y que se han encontrado piezas terminadas de este tipo de aleación solo en 2 lugares: Tiwanaku (14 piezas) y en San Pedro de atacama (16 piezas). La Figura N° 6 presenta una muestra de piezas obtenidas desde excavaciones de sitios arqueológicos en Tiwanaku (Bolivia) y San Pedro de Atacama (Chile) (Lechtman y Macfarlane, 2005).

Las piezas desenterradas corresponden a cuchillos y clavos desde Tiwanaku y hachas en el caso de San Pedro de Atacama, cuyas formas difieren

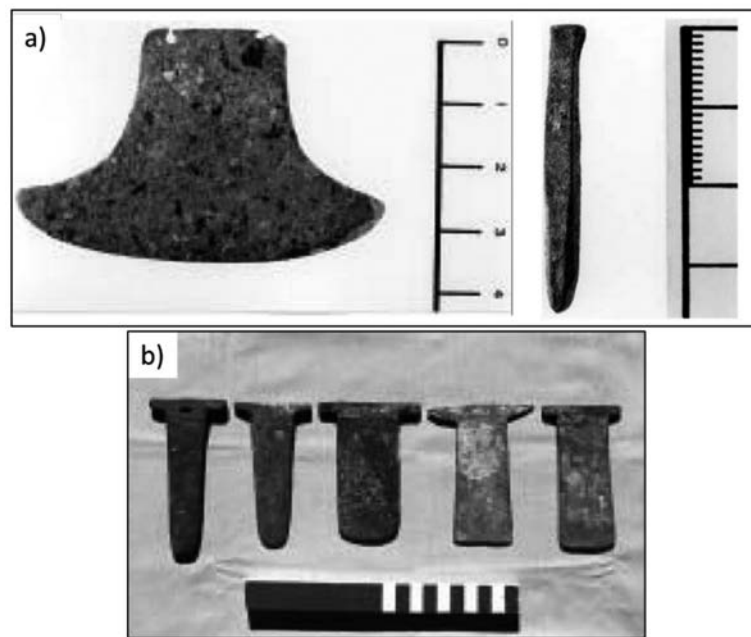


Figura N° 6. Piezas terminadas en aleación Cu-As-Ni obtenidas desde a) Tiwanaku y b) San Pedro de Atacama (Lechtman y Macfarlane, 2005).

entre un lugar geográfico por lo que surge la primera pregunta en relación a si los minerales de los que se obtuvieron los metales para fabricar estas piezas venían o no del mismo lugar. Para resolverla se han realizado estudios asociados a medición de isótopos de plomo asociados a estas dos regiones, lo que se presenta de manera gráfica en la Figura N° 7. Mediante la medición de las razones de isótopos de plomo se ha establecido que existen múltiples orígenes de los minerales que se emplearon como materia prima para la fabricación de las herramientas desenterradas.

Se ha establecido que 8 de las 14 piezas desenterradas en Tiwanaku tienen firmas de plomo concordantes con la región que se encuentra al norte del Lago Titicaca a 230 Km aproximadamente, mientras que el resto coincide con firmas coincidentes con yacimientos cercanos a la región de Tiwanaku. Caso contrario es el que se observa en las piezas desenterradas en San Pedro de Atacama. A ninguna de estas piezas fue posible atribuirle origen en yacimientos cercanos, viniendo mayormente de Tiwanaku, luego Chuquicamata, el

norte de Lago Titicaca y del noreste argentino. Si bien, se pueden obtener información mediante los análisis de isótopos de plomo de las regiones de las que provenían las menas que se utilizaron en la confección de estos artefactos, aún no está lo suficientemente claro de dónde proviene el níquel que se incorpora a este bronce ternario y cuál era su utilidad en este tipo de piezas (Lechtman y Macfarlane, 2005). Queda tarea pendiente.

En cualquier caso, las hachas fueron confeccionadas con menas provenientes del altiplano y pudieron ser adquiridas en forma de lingotes de bronce o recibir los artefactos ya terminados mediante comercio. La Figura N° 7 es el reflejo de una amplia red de comercio con una extensión mayor a los 1.100 Km en los Andes de Sur (caminando, esta travesía llevaría cerca de 1 mes), que permitían a los pueblos de la región la obtención de bienes y servicios desde lugares en que la tecnología disponible permitía la fabricación de estos, reforzando la especialización de los pueblos discutida en las secciones anteriores.

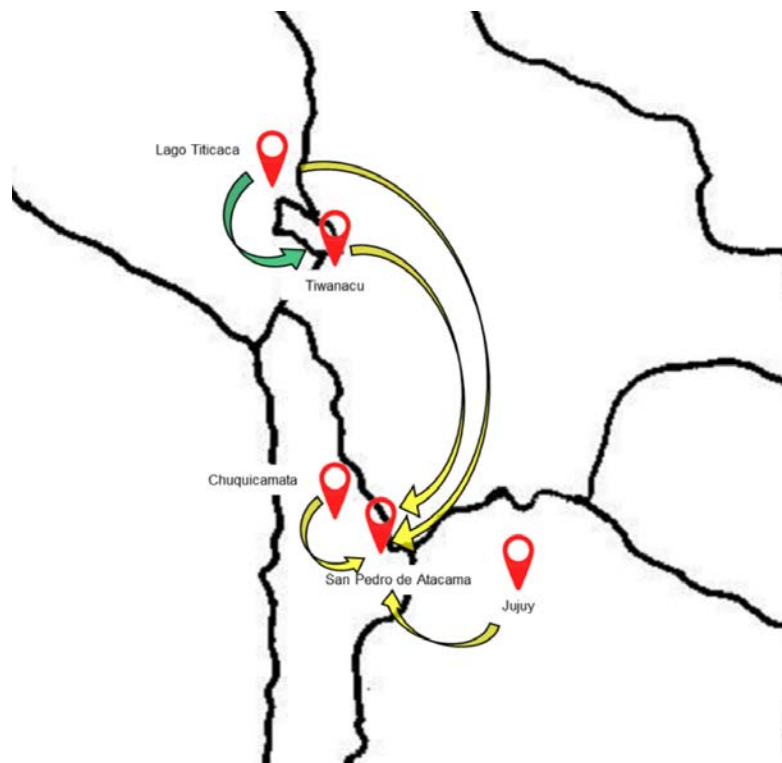


Figura N° 7. Orígenes de los minerales con que se fabricaron las piezas según análisis de isótopos de plomo.

## Comentarios finales

Mediante la exposición de tres casos, se concluye que la aplicación de técnicas experimentales que normalmente se asocian al ámbito de la Ciencia e Ingeniería de los materiales, han permitido aportar a la comprensión y revalorización de los avances tecnológicos de los pueblos originarios previo al contacto europeo.

Como científicos dedicados al área de la ciencia e ingeniería de los materiales tenemos herramientas, capacidades y tecnología que podremos poner a disposición de los esfuerzos por comprensión de

las culturas presentes previos al colonialismo, de esa manera favorecer la adquisición de conciencia respecto de nuestros orígenes y en base a eso sentar las bases para la forja de un mejor futuro con un presente comprometido a mejorar las condiciones y tecnologías en la construcción, transformación y constantes cambios que requiere la actualidad.

### Agradecimientos

Rodrigo Allende desea agradecer a Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, CONICYT-PFCHA/Doctorado Nacional/2017-21170167 por el financiamiento de sus estudios de postgrado.

## Referencias

Allende R, Schulz B. 2018. Henry Howe y la reducción selectiva de minerales oxidados de cobre a inicios del siglo XX en Chile. *Revista Remetallica* 34: 3-8.

Álvarez P. 2016. Medida de relaciones isotópicas de plomo en muestras arqueológicas mediante MC-ICP-MS. Tesis, Universidad de Oviedo. España.

Angiorama CI, Becerra MF. 2010. Antiguas evidencias de minería y metalurgia en Pozuelos, Santo Domingo y Coyahuaima (Puna de Jujuy, Argentina). *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 15: 81-104.

Bargalló M. 1969. La amalgamación de los minerales de plata en hispanoamérica colonial. *Compañía Fundadora de Fierro y Acero de Monterrey, México*.

Becerra MF, Nieva N, Angiorama CI. 2014. Hornos, minerales y escorias: una aproximación a la metalurgia extractiva en la Puna de Jujuy en época prehispánica y colonial. *Arqueología* 20: 13- 30.

González LR, Vargas AM. 1999. Tecnología metalúrgica y organización social en el Noroeste Argentino prehispánico. Estudio de un disco. *Chungará* 31: 5-27.

Hauptmann A. 2007. The archaeometallurgy of copper: evidence from Faynan, Jordan. *Springer Science & Business Media*.

Lechtman HN, Macfarlane AW. 2005. La metalurgia del bronce en los Andes sur centrales: Tiwanaku y San Pedro de Atacama. *Estudios atacameños* 30: 7-27.

Livenais P. 2018. Dinámicas de los sistemas agrarios en Chile árido: la región de Coquimbo. *IRD Éditions*.

Rehren T. 2011. The production of silver in South America. *Archaeology International* 13: 76-83.