



2020, Volumen 5, Número 1: 383-407

## Dossier

“El aporte de las colecciones museológicas a la arqueología en Argentina”

Editores invitados: María Emilia Iucci & Marina Sprovieri

## Recuperación de los sonidos de América Precolombina: nuevas y antiguas tecnologías aplicadas a la reconstrucción de instrumentos sonoros en las colecciones arqueológicas del Museo de La Plata

Alejandro Iglesias Rossi<sup>1</sup>, Susana Ferreres<sup>1</sup>, Lucas Mattioni<sup>1</sup>, María Emilia Sosa Cacace<sup>1</sup>,  
María Guillermina Couso<sup>2</sup> y Diego Gobbo<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Etnomusicología y Creación en Artes Tradicionales y de Vanguardia “IDECREA Dra. Isabel Aretz” - Universidad Nacional de Tres de Febrero, Argentina.  
airossi@untref.edu.ar; idecrea@untref.edu.ar; lmattioni@untref.edu.ar; mescacace@untref.edu.ar

<sup>2</sup> División de Arqueología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. mgcouso@hotmail.com; dgobbo@fcnym.unlp.edu.ar

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina



## **Recuperación de los sonidos de América Precolombina: nuevas y antiguas tecnologías aplicadas a la reconstrucción de instrumentos sonoros en las colecciones arqueológicas del Museo de La Plata**

**Alejandro Iglesias Rossi<sup>1</sup>, Susana Ferreres<sup>1</sup>, Lucas Mattioni<sup>1</sup>, María Emilia Sosa Cacace<sup>1</sup>, María Guillermina Couso<sup>2</sup> & Diego Gobbo<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Etnomusicología y Creación en Artes Tradicionales y de Vanguardia "IDECREA Dra. Isabel Aretz" - Universidad Nacional de Tres de Febrero, Argentina. [airossi@untref.edu.ar](mailto:airossi@untref.edu.ar); [idecrea@untref.edu.ar](mailto:idecrea@untref.edu.ar); [lmattioni@untref.edu.ar](mailto:lmattioni@untref.edu.ar); [mescacace@untref.edu.ar](mailto:mescacace@untref.edu.ar)

<sup>2</sup>División de Arqueología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. [mgcouso@hotmail.com](mailto:mgcouso@hotmail.com); [dgobbo@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:dgobbo@fcnym.unlp.edu.ar)

<sup>3</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

**RESUMEN.** Las culturas originarias de América plasmaron aspectos de su cosmovisión en la creación de instrumentos musicales técnicamente complejos, con características acústicas y rasgos estéticos notables, que constituyen un legado arqueológico único en su tipo. El presente trabajo tiene dos objetivos generales: el estudio del sonido producido por los instrumentos musicales pertenecientes a colecciones arqueológicas del Museo de La Plata, y su reconstrucción para la inclusión en el acervo musical contemporáneo. A través de la presentación de dos casos como ejemplos se detallan los procesos de estudio, análisis y reconstrucción combinando antiguas y nuevas tecnologías. La información obtenida se dará a conocer mediante diferentes formatos que incluyen la elaboración de un catálogo digital que podrá ser accesible online, la transmisión de resultados del proyecto en seminarios de grado y posgrado, conferencias y conciertos didácticos de la Orquesta de Instrumentos Autóctonos y Nuevas Tecnologías de la UNTREF.

**Palabras clave:** *Instrumentos musicales precolombinos, Revalorización patrimonial, Sonido, Arqueomusicología, Reconstrucción*

**ABSTRACT. Recovery of the Sounds of the Precolumbian Americas: new and old technologies applied to the reconstruction of musical instruments in archaeological collections of Museo de La Plata.** The native American cultures expressed their view of the world through the creation of technically complex musical instruments, with sound qualities and note worthy aesthetic features that are a unique archaeological legacy. This work has two general goals: the study of sounds produced by the musical instruments belonging to the archaeological collections of Museo de La Plata (Argentina), and their reconstruction in order to include them within the contemporary musical heritage. The process of study, analysis and reconstruction will be illustrated throughout two case studies, with a combination of ancient and new technologies. The information

obtained from the abovementioned study will be published using different formats that include the development of an online digital catalogue, the transmission of project results as part of graduate and post-graduate seminars, conferences and pedagogical concerts of the Orchestra of Indigenous Instruments and New Technologies of the Universidad Nacional de Tres de Febrero, Argentina.

**Key words:** *Pre-columbian musical instruments, Heritage revalorization, Sound, Archaeomusicology, Reconstruction*

**RESUMO. Recuperação dos sons da América pré-colombiana: novas e antigas tecnologias aplicadas à reconstrução de instrumentos sonoros nas coleções arqueológicas do Museo de La Plata.** As culturas nativas da América incorporaram aspectos de sua visão de mundo na criação de instrumentos musicais tecnicamente complexos, com características acústicas e traços estéticos notáveis que constituem um legado arqueológico único de seu tipo. O presente trabalho tem dois objetivos gerais: o estudo do som produzido pelos instrumentos musicais pertencentes às coleções arqueológicas do Museo de La Plata, e a reconstrução deles para inclusão no acervo musical contemporâneo. Através da apresentação de dois casos como exemplos, serão detalhados os processos de estudo, análise e reconstrução que combinam tecnologias antigas e novas. As informações obtidas serão divulgadas por meio de diferentes formatos, que incluem a elaboração de um catálogo digital com acesso on-line, a transmissão dos resultados do projeto em seminários de graduação e pós-graduação, conferências e concertos educacionais da Orquestra de Instrumentos Autóctones e Novas Tecnologias da UNTREF.

**Palavras-chave:** *Instrumentos musicais pré-colombianos, Valorização do patrimônio, Som, Arqueomusicologia, Reconstrução*

## Introducción

Al proponernos investigar y recuperar los sonidos de los instrumentos musicales de la América precolombina, en concordancia con la línea de investigación del Centro de Etnomusicología y Creación en Artes Tradicionales y de Vanguardia (IDECREA), es inevitable mencionar el aporte que ha hecho la compositora y etnomusicóloga Isabel Aretz, co-fundadora del Centro, quien dedicó su vida a registrar, compilar e integrar en la composición contemporánea los sonidos tradicionales del continente. En su trabajo menciona que “América, en tiempos de la conquista, tenía tantas naciones y tan adelantadas como en Europa, pero diferentes. Las realizaciones de estos pueblos, desde la llegada de los conquistadores, permanecieron soterradas, siendo poco a poco desenterradas. Esto permitió empezar a apreciar aspectos de la vida de las culturas originarias que se erigieron, por cientos de años, antes de su llegada. Arqueólogos, antropólogos, historiadores, han trabajado para desentrañar la vida de estas infinitas expresiones culturales, que se sucedieron en nuestra América; mientras que los organólogos y musicólogos no permanecemos ajenos a estos descubrimientos, sentando como nuestro objetivo “el desandar caminos y traer a la luz las realizaciones de muy anteriores generaciones para, a partir de ellas, acreditarlos como un continente culturalmente independiente” (Aretz 2003, p. 11).

Cuando estudiamos los instrumentos musicales precolombinos en contextos arqueológicos o de colecciones de museos, nos encontramos con una gran variedad de piezas que, en su mayoría, nunca habían sido identificadas como tales. Para poder llevar a cabo su reconocimiento, es fundamental considerar los aportes de la arqueomusicología en los trabajos de especialistas como Carlos Mansilla Vásquez, Anna Gruszczyńska-Ziolkowska, Américo Valencia Chacón, César Bolaños por mencionar algunos, así como el conocimiento instrumental organológico derivado de la praxis musical en sí misma, la musicología y la etnomusicología.

En tal sentido y siguiendo a Gudemos, estimamos que “La arqueomusicología o musicoarqueología o música arqueológica o música-arqueología, como unos y otros la denominan, es por definición un área de investigación interdisciplinaria aplicada al estudio de las manifestaciones musicales de antiguas culturas. El material arqueológico que se expone al análisis no incluye sólo instrumentos musicales, objetos y sistemas

sonoros y representaciones iconográficas de los mismos o de coreografías danzadas; sino todo aquello que brinde información acerca de tales manifestaciones. Por cierto, somos conscientes de las limitaciones operativas que en el área se presentan. En efecto, jamás tendremos la oportunidad de registrar el instante en el que las manifestaciones musicales tuvieron lugar, ni contamos con la información de quienes las produjeron, esos "colaboradores científicos y garantes de los procedimientos del investigador" (Pelinski 2000, p. 134), pero eso no significa que no tengamos acceso al conocimiento de aquellas realidades musicales" (Gudemos 2009, p. 120). Si bien es cierto que, como dice Gudemos, no podemos recrear el contexto ni registrar el instante de las manifestaciones musicales, dentro de la propuesta de la corriente de investigación, sí podemos volver a escuchar los sonidos, investigar las características acústicas y organológicas y explorar diferentes técnicas de interpretación para realizar las reconstrucciones. Es por ello que este trabajo se plantea, tal como lo propone, por ejemplo, Mansilla Vásquez (2018) desde un enfoque principalmente organológico, tomar a los instrumentos musicales arqueológicos como fuente primordial y confiable para la investigación y reconstrucción de las sonoridades antiguas. Este punto constituye un factor fundamental dentro del enfoque singular de la investigación, ya que el abordaje que proponemos requiere, en primera instancia, el conocimiento técnico que posibilite la producción sonido en cada uno de los mecanismos acústicos de las piezas y, en segunda instancia, la capacidad de establecer paralelos etnográficos que permitan recurrir a diversos elementos de las culturas vivas del presente que enriquezcan las competencias con las cuales nos aproximamos a las piezas (Mansilla Vásquez *s.f.*).

En consecuencia, nos propusimos realizar un trabajo interdisciplinario que articule arqueomusicología, acústica musical, construcción de instrumentos musicales y que, mediante el empleo de tecnologías actuales (tanto las diseñadas por la acústica y la electrónica musical como las propias del diseño y la fabricación digital tridimensional), así como las antiguas técnicas de generación de sonido, nos permitan obtener la información necesaria para replicar los instrumentos de manera precisa. El fin de la actividad es hacerlos asequibles a los compositores, músicos, artistas y a la comunidad, entre otros, permitiendo que se incluyan en la creación contemporánea y en la expresión cultural de la comunidad actual. Es esta búsqueda la que se desarrolla en el Centro de Etnomusicología y Creación en Artes Tradicionales y de Vanguardia de la UNTREF desde el año 2004 (Iglesias Rossi 2008).

### **Materiales y métodos**

En los últimos años se han incrementado los trabajos que abordan el análisis de distintos aspectos del universo de estudio de los instrumentos musicales precolombinos, tanto teóricos como metodológicos. Considerando este estado del conocimiento sobre el tema, proponemos una metodología capaz de aportar un vector de carácter práctico a la investigación arqueomusicológica. Es por ello que presentamos una propuesta que combina diversas técnicas de análisis que incluyen el registro documental y contextual del hallazgo de los instrumentos, su relevamiento mediante técnicas digitales, su estudio acústico, la virtualización e impresión en 3D de réplicas de los instrumentos arqueológicos, la elaboración de réplicas en cerámica a partir de los moldes de plástico 3D y la interpretación de estas réplicas en obras musicales contemporáneas en los conciertos de la Orquesta. Para ello se trabajó en los depósitos de la División Arqueología del Museo de La Plata donde se revisaron, pieza por pieza, los materiales cerámicos de seis colecciones arqueológicas (Moreno, Lafone Quevedo, Bruch, Muniz Barreto, Velazco y Martínez), analizando una total de 8000 objetos cerámicos, con el objetivo de identificar instrumentos musicales ([Video 1](#)). A partir de ellos se registraron y catalogaron 50 instrumentos musicales, de los cuales en este artículo sólo se hará foco en dos de ellos: una vasija silbadora de la Colección Martínez (MLP-Ar-14860) y una antara Nasca de tubo complejo de la colección Benjamín Muniz Barreto (MLP-Ar-781), evidenciando la metodología propuesta. Para su registro se empleó una ficha diseñada *ad hoc* en la que se incluyeron los datos obtenidos del Archivo Documental de la División –referencia de

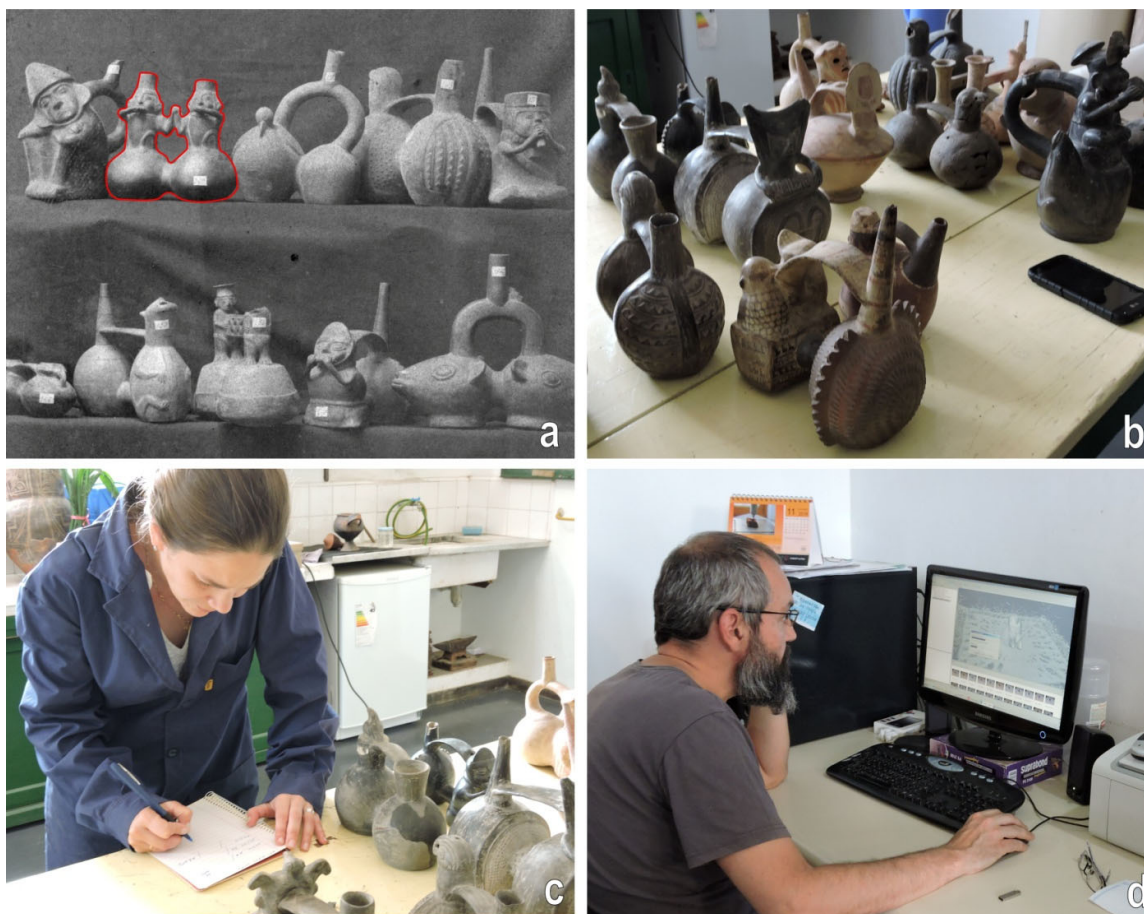
colección de pertenencia, nombre del colector, año, información del contexto de hallazgo, fotografías antiguas de las piezas-. En esta instancia de la investigación, y dado que la exacta asignación cronológica y/o cultural de las piezas no es relevante siendo indudable su filiación precolombina, la información de la ficha se consideró como válida, dejándose para momentos posteriores una identificación más detallada. A ello se sumó luego el análisis de laboratorio de una muestra representativa de dichos instrumentos arqueológicos que incluyó mediciones acústicas, escaneos 3D, fotogrametría y LiDAR (*Light Detection And Ranging*), como herramienta fundamental de obtención de datos para la posterior reconstrucción digital y física de los instrumentos.

La elección de la construcción de réplicas cerámicas de algunos de los instrumentos estuvo orientada a: a) instrumentos musicales arqueológicos que para su exploración acústica y producción de sonido requieren del agregado de líquidos, lo cual está imposibilitado con las piezas originales por una medida de conservación; b) instrumentos musicales que presentan faltantes en sus sistemas de generación de sonido, y c) instrumentos musicales que tienen su sistema de sonido en buen estado de conservación. Un aspecto a considerar fue la elección de la terminología para referirse tanto a las piezas como a su exploración acústica. Al relevar la bibliografía existente, se han encontrado términos heterogéneos, ya que existen autores que utilizan *objeto sonoro* (Gudemos 2009; Mansilla Vásquez 2005; Tello 1931), *objeto sonoro prehispánico* (Pérez de Arce 2015), *artefacto sonoro* (Mansilla Vásquez 2009), *instrumentos musicales arqueológicos* (Mansilla Vásquez 2005) e *instrumentos musicales precolombinos* (Gudemos 1998) para referirse a las piezas estudiadas. Con respecto a las técnicas e investigación en la producción de sonido realizadas en estos objetos, hemos encontrado términos como *tañir*, *sacar sonido*, *insuflar* (Gérard Ardenois 2004), *ejecutar*, *interpretar* (Gruszczynska-Ziółkowska 2008; Mansilla Vásquez *s.f.*), *técnicas* o *modos de ejecución* (Manga Chávez 2010) y *recursos interpretativos* (Civallero 2012), entre otros. Considerando lo anterior, y entendiendo los aportes metodológicos que esta investigación presenta a lo largo del artículo, se han utilizado los términos *instrumentos musicales arqueológicos* o *precolombinos* para referirse a los objetos sonoros o piezas de museo capaces de producir sonido, e *interpretación* o *técnicas interpretativas* para el abordaje que hemos realizado al momento de hacer sonar dichos instrumentos.

### **Registro, catalogación e investigación de archivo**

Para este primer momento se elaboró una ficha técnica donde se indica la sigla (MLP-Ar- número de pieza), número de inventario, otros números, colección, descripción general de la pieza (donde se incluye el tipo de material en el que fue elaborado), procedencia (país, provincia, departamento, localidad), sitio arqueológico, contexto de hallazgo y si tiene elementos asociados (por ejemplo si el objeto proviene de un sepulcro o lugar de habitación, qué piezas acompañan al instrumento musical), adscripción cultural mencionada, medidas (alto, ancho espesor, otras), descripción de la forma, de la decoración, del estado de conservación (si el objeto está entero, fragmentado, completo, incompleto, y todo otro dato de interés), y si la pieza fue restaurada, y con qué material, entendiendo que algunas de estas variables pueden variar la acústica original de la pieza y, por lo tanto, su sonido. Cada instrumento fue fotografiado desde múltiples ángulos para un primer registro digital.

Una vez realizado el registro de los instrumentos musicales pudimos notar algunas similitudes y diferencias entre los conjuntos. Por un lado, nos encontramos con silbatos de cerámica procedentes del Noroeste argentino (colecciones Moreno, Lafone Quevedo y Bruch), que en parte ya habían sido identificados en un informe técnico arqueomusicológico realizado por Gudemos en el año 2008. Por otro, hallamos un corpus de vasijas silbadoras, antaras y silbatos provenientes del Perú (colecciones Muniz Barreto, Velazco y Martínez), también realizado en cerámica, pero para los que no se dispone de antecedentes de un análisis previo (Fig. 1). Asimismo, luego de este primer acercamiento, se identificaron y clasificaron los instrumentos tomando como referencia la clasificación complementaria que Pérez de Arce & Gili (2013) realizaron a partir de la de von Hornbostel & Sachs (1914), que integra la organología americana considerando a los instrumentos musicales de comunidades vigentes tanto como aquellos de carácter arqueológico (Gérard Ardenois 2013).



**Figura 1.** Vasijas silbadoras provenientes de Perú. Cuatro momentos del proceso de identificación y registro. a) Identificación morfológica de piezas en fotografías históricas de la Colección Muniz Barreto. b) Análisis directo de piezas reconocidas como potenciales instrumentos musicales. c) Registro de las características formales de las piezas seleccionadas. d) Procesamiento digital de la información registrada en instancias anteriores.

### Revisión y exploración de los parámetros acústicos de las piezas

Una vez seleccionado el conjunto, se analizó en detalle y se realizó la revisión del estado de conservación de su morfología y sistemas de generación de sonido. Luego, se procedió a la exploración de su comportamiento acústico experimentando con diferentes técnicas de interpretación, a fin de realizar el registro y las mediciones acústicas ([Video 2](#)).

Como referimos anteriormente, utilizamos el término *interpretar* ya que nuestro abordaje hacia los instrumentos musicales no implica solamente el mero hecho de activar un mecanismo sonoro (ya sea soplar una embocadura o balancear una vasija silbadora con líquido en su interior), sino que también comprende una aproximación a las posibilidades acústicas haciendo uso de conocimientos y experiencias en técnicas de interpretación, tanto académicas como tradicionales de América, en sinergia con el conocimiento en construcción de instrumentos autóctonos. Durante este proceso hubo dos etapas de exploración e interpretación de las posibilidades sonoras de los instrumentos: en una primera instancia se experimentan todas las técnicas de producción de sonido, buscando diferentes intensidades, duraciones, alturas y timbres. Posteriormente, se interpretan frases y gestos musicales a fin de investigar las posibilidades expresivas que brindan los instrumentos. Esta búsqueda conduce al intérprete a discernir las técnicas de interpretación adecuadas, según la respuesta de cada instrumento, a fin de encontrar la singularidad de cada uno de los instrumentos musicales estudiados.

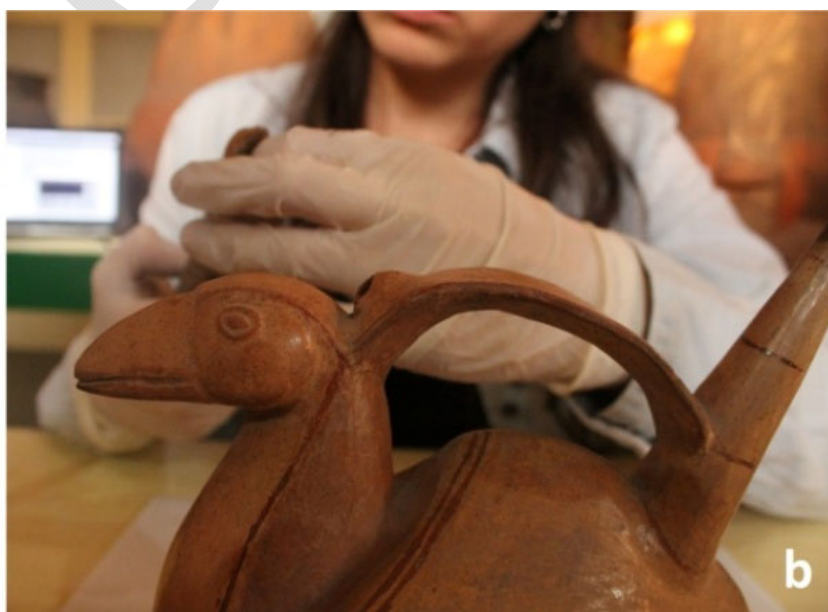
Las etapas previas de interpretación de los instrumentos posibilitaron encarar la captura de sonido conociendo en profundidad al instrumento, permitiendo realizar un análisis acústico completo de la altura (*pitch*), la sonoridad (*loudness*) y el timbre, parámetros fundamentales para la descripción de los sonidos. Fue posible medir el nivel de intensidad en decibeles (dB), frecuencias fundamentales, así como cantidad y amplitud de sus armónicos o sonidos parciales para determinar altura, describir su timbre y organización interválica, según el caso (Figs. 2 y 3), a partir de análisis de FFT (Transformada rápida de Fourier) (Fig. 4) y la utilización de diferentes gráficos de visualización como los sonogramas, gráficos espectrales y melódicos (Gérard Ardenois 2011). El concepto de *timbre* es utilizado, tanto en estudios musicales como acústicos y psicoacústicos, para designar la percepción de rasgos específicos que caracterizan los sonidos propios de uno u otro instrumento, permitiendo distinguirlos cuando los parámetros de altura, sonoridad y duración son iguales. Sin embargo, hay casos donde un mismo instrumento puede producir variaciones notorias en el timbre dependiendo la técnica con la que se lo interprete. Incorporamos de la acústica y psicoacústica herramientas para describir el timbre, midiendo tanto la presencia, ausencia o intensidad relativa de parciales o armónicos, así como parámetros como la rugosidad (*roughness*) y la agudeza (*sharpness*) (Howard & Angus 2009). Finalmente, la exploración y registro de la interpretación fue valiosa para evaluar la correspondencia entre los parámetros acústicos medidos en las piezas originales con las que tendrían luego sus réplicas, con el fin de realizar ajustes en la producción de estas últimas y alcanzar una comprensión más acabada del proceso de formación del sonido ([Video 1](#)).



**Video 1.** Presentación audiovisual de las diferentes etapas de trabajo.



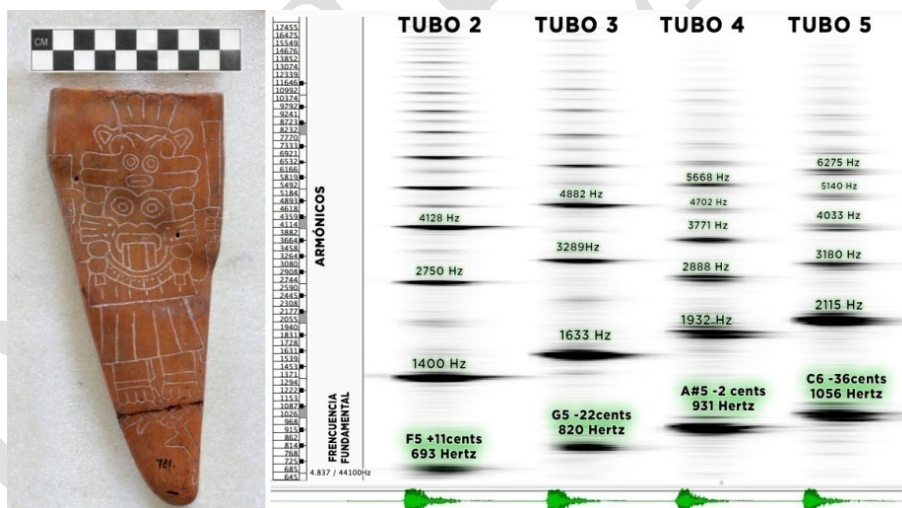
**Video 2.** Registro audiovisual del proceso de experimentación e interpretación de la pieza MLP-Ar-5c.



**Figura 2.** Exploración de los parámetros acústicos de los instrumentos musicales, a) a partir de su interpretación y b) del registro de sus características morfológicas.



**Figura 3.** Mediciones acústicas de los originales. a) y b) Dos momentos del trabajo de filmación, registro y medición del sonido de las piezas originales. c) y d) Formas de onda y sonogramas obtenidas de la pieza (MLP-Ar-781).



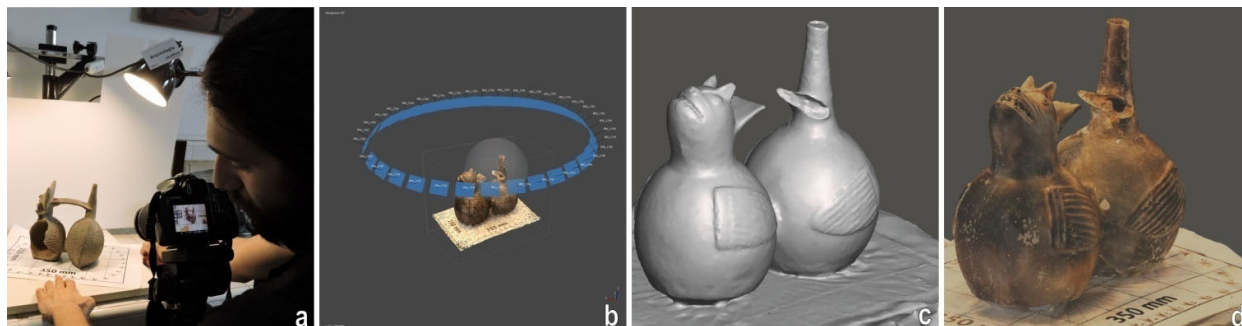
**Figura 4.** Sonograma de la antara de la Colección B.M. Barreto (MLP-Ar-781), a partir del registro de la interpretación de la antara en *staccato*.

### Registro mediante técnicas de fotogrametría, escaneo y LiDAR

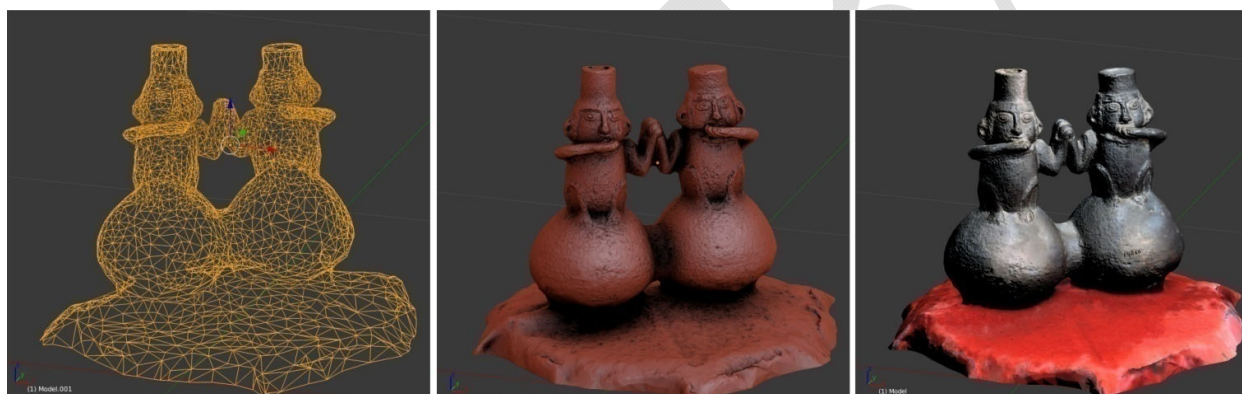
Una vez seleccionadas las piezas que serían registradas digitalmente, se realizó su fotogrametría mediante el empleo de una cámara digital Canon T3i con lente Canon 18-55; se eligieron entonces los instrumentos correspondientes a la denominación MLP-Ar-781, MLP-Ar-14860, MLP-Ar-14870, MLP-Ar-16031y MLP-Ar-13964. Esta tarea consistió en la toma de cientos de fotogramas de los objetos con diferentes formas de captarlo, haciendo girar el objeto sobre una base giratoria para su toma, girando la cámara alrededor del objeto, variando el ángulo de toma, entre otros, para generar un registro acabado de la pieza (Fig. 5). Para el tratamiento de la imagen de cada pieza se experimentó con diferentes softwares fotogramétricos. La metodología que proporcionó



el mejor resultado fue la utilizada por Costa Moraes (2018), en la cual usa de apoyo una plantilla impresa con referencias cada 10 grados, la cual ayuda al fotógrafo en la rotación del objeto. El resultado fue objetos en 3D, mallados y con textura, que luego fueron retocados y modificados en diversos *softwares* de modelado para adecuarlos al formato que utiliza la impresora 3D (Fig. 6).

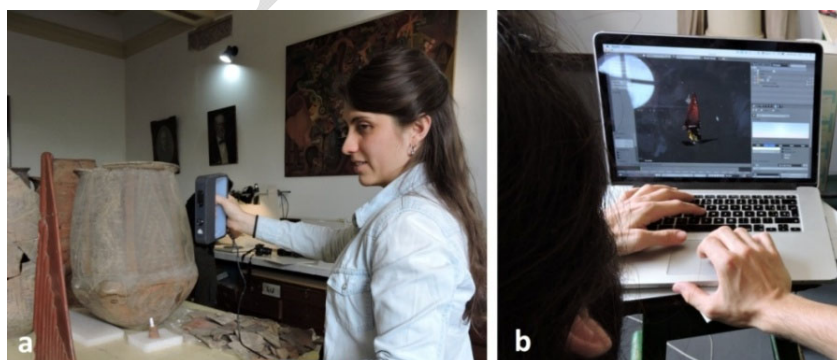


**Figura 5.** a) Primera instancia del registro fotogramétrico de la pieza (MLP-Ar-14870). b) Ejemplo del procesamiento realizado por el software fotogramétrico (MLP-Ar-16031). c) y d) Modelados del objeto en 3D con y sin textura.



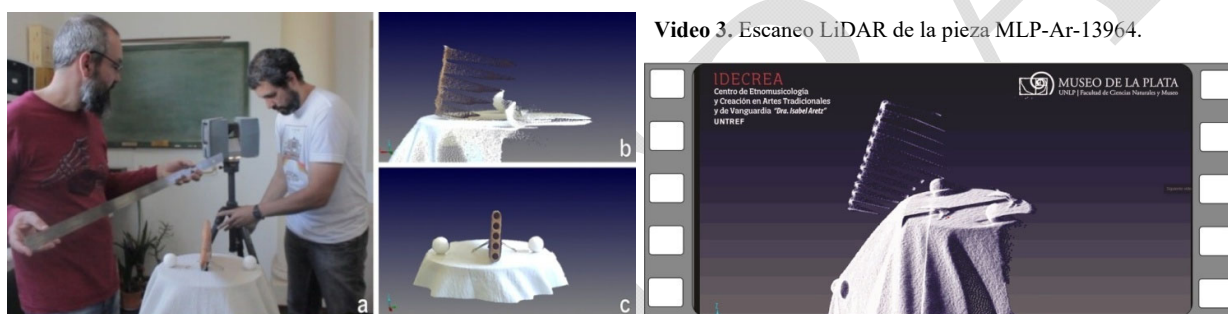
**Figura 6.** Ejemplo de vista de malla, de sólido y con la textura obtenida mediante fotogrametría de la pieza MLP-Ar-14860

Luego se procedió al escaneo de las piezas seleccionadas por medio de un escáner de mano, obteniéndose la representación de los objetos en 3D, con mallado, a escala real y con una textura y resolución media. Mediante el empleo del escáner se creó una nube de puntos a partir de muestras geométricas en la superficie del objeto, utilizadas luego para reconstruir su forma. El modelo obtenido por el escáner 3D describe la posición en el espacio tridimensional de cada punto analizado; cada punto analizado se asocia con una coordenada y con una distancia. Estas coordenadas esféricas describen completamente la posición tridimensional de cada punto en el modelo, en un sistema de coordenadas local del escáner. Se realizaron múltiples tomas para obtener la información más detallada de cada uno de los objetos, aunque ciertos detalles no pudieron ser capturados (Fig. 7).



**Figura 7.** a) Escaneo de la pieza MLP-Ar-13964 ubicada a la izquierda de la imagen, empleando el escáner de mano Sense 3D. b) Un momento en el procesamiento digital de los datos obtenidos de dicho escaneo.

Por último, en algunas piezas en las cuales el escaneo no había sido del todo efectivo para obtener datos sobre la estructura interna del instrumento se realizó un escaneo LiDAR, gracias a la colaboración del Departamento de Astronomía de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP). Se trata de un sistema que consta de un sensor robótico montado sobre una base nivelante y un trípode. Este sensor emite cerca de un millón de haces o pulsos láser por segundo y permite medir los objetos y estructuras con precisión milimétrica, es decir, la separación de puntos vecinos es submilimétrica. El método consiste en hacer las mediciones del objeto en estaciones contiguas a su alrededor, con la incorporación de esferas fijas que ayudan al sistema a unir los escaneos sucesivos (Fig. 8, [Video 3](#)). La aplicación de este método permite relevar submilimétricamente estructuras internas de instrumentos que no pueden ser registradas por los métodos de análisis externos como el escaneo y la fotogrametría mencionados, por lo que su aplicación hizo posible, por ejemplo, obtener un registro de los tubos internos de la antara. El uso de LiDAR en los otros instrumentos de la muestra no fue viable dado que su morfología no ofrece las condiciones necesarias para el ingreso de pulsos en su interior y el registro de resultados.



**Figura 8.** a) Escaneo de la antara (MLP-Ar-781) mediante el empleo de LiDAR fijo, b) y c) nube de puntos resultante.

**Video 3.** Escaneo LiDAR de la pieza MLP-Ar-13964.

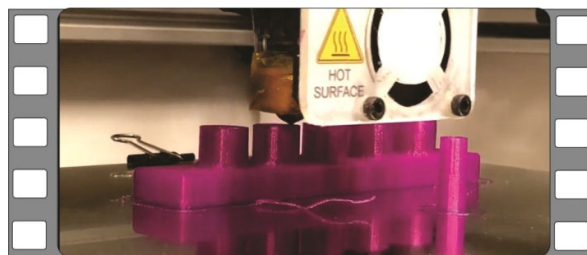
En el caso de la antara (MLP-Ar-781) el resultado fue alentador, pues los haces rebotaron en el interior de los tubos, permitiendo la medición precisa de la primer sección de cada uno de los tubos, aunque no hemos logrado un detalle preciso en el extremo distal los mismos. Estimamos que realizando más cantidad de estaciones y a diferentes ángulos, se podrá captar la forma de los mismos en su totalidad. Por otro lado, la imposibilidad de aplicar un antirreflejante (como el polvo en spray) para evitar el alto reflejo de la superficie externa de la antara, produjo gran cantidad de ruido digital en el escaneo LiDAR, lo que redujo su calidad.

### Reconstrucción de los instrumentos

Para la realización de esta etapa, se realizó la limpieza de las mallas 3D obtenidas en las instancias anteriores, la re-topología de la malla que compone el modelo 3D, la reorientación de las caras, revisión de *loops* y su reconstrucción mediante diseño 3D. Una vez logrado dicho modelo optimizado, se crearon volúmenes “en negativo”, extrayendo de una forma sólida el volumen del instrumento (mediante la operación booleana de resta), generando así un modelo en negativo tanto del diseño como de la reconstrucción de volúmenes internos de cada instrumento. Para completar el proceso, se realizó su impresión en 3D por deposición de filamento de materiales termoplásticos de las piezas tanto en positivo como en negativo, y de volúmenes internos, obteniendo una réplica de las piezas en plástico ([Video 4](#)).

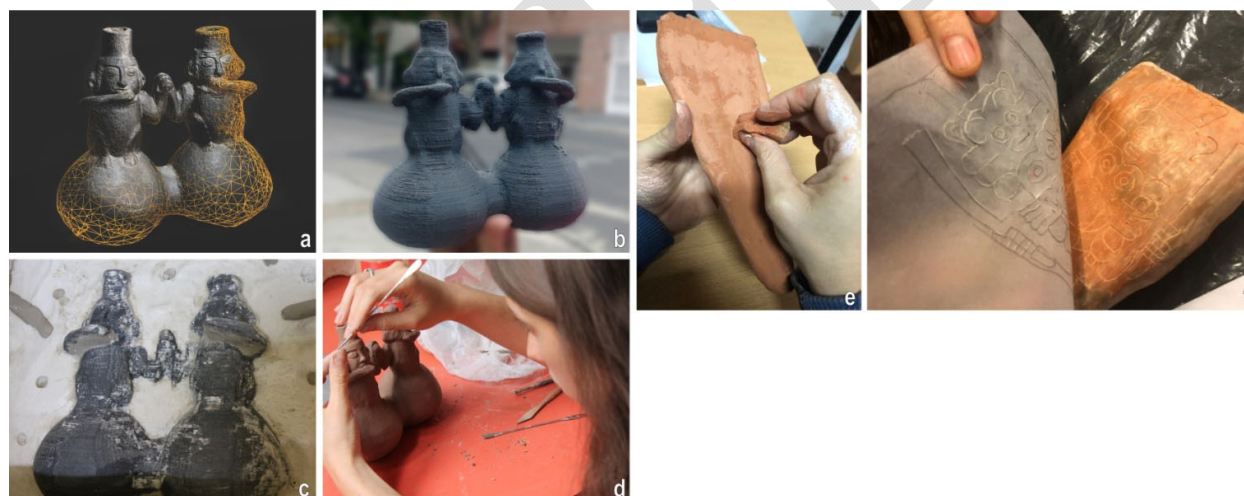
Asimismo, partiendo de la impresión de los positivos en plástico obtenidos mediante la reconstrucción 3D, se procedió a realizar moldes en yeso, material que resulta efectivo para el copiado en arcilla, tanto en su estado de cuero como en estado barbotina (consistencia barrosa o casi líquida), ya que absorbe la humedad y permite que la arcilla una vez que copie la forma que le imprime el molde, tome consistencia y se compacte pudiendo desprenderse del molde utilizado. Se realizaron copias en dos pastas de arcilla dependiendo del tipo de

instrumento que se quiso replicar, utilizando dos métodos de copiado: técnica de prensado con arcilla rosa compuesta con arena y talco; y técnica de colada con barbotina blanca. Asimismo, se modelaron todos aquellos detalles morfológicos que no puedan ser impresos por el molde y, fundamentalmente, se construyeron los mecanismos sonoros internos de cada pieza según las características relevadas.



**Video 4.** Impresión en 3D en materiales termoplásticos en negativo de la pieza MLP-Ar-781.

Una vez terminada su construcción en arcilla, procedimos a la pintura de cada réplica con engobe con la intención de replicar las características observadas en las piezas originales, definidas en función de criterios macroscópicos de análisis de cerámicas arqueológicas. Luego, se realizó la cocción de la réplica de la antara MLP-Ar-781 en atmósfera oxidante y de la de la vasija silbadora MLP-Ar-14860 en atmósfera reductora, con el objetivo de replicar las condiciones de cocción de las piezas originales inferidas a partir de sus características macroscópicas (Fig. 9).



Una vez finalizado el objeto replicado, se realizaron mediciones acústicas en estado de pre y post cocción, para obtener un registro de los parámetros acústicos de cada una antes de su paso por el horno y después, para saber cuánto modifica este último su sonido. Cabe recordar que la arcilla atraviesa un proceso de reducción considerable en sus volúmenes externos e internos durante su cocción, y que dicho proceso condiciona sus sistemas sonoros, por lo que el proceso de reducción atañe directamente el resultado de la altura o nota musical. Por ello se realizó un registro de las transformaciones que atraviesa en todo el proceso haciendo un detalle de medidas volumétricas, como también una medición acústica de la pieza en los estadios pre y post cocción. El realizar mediciones acústicas tanto en piezas originales como en sus réplicas posibilitó realizar ajustes en su producción, y alcanzar una mejor comprensión sobre el proceso de generación del sonido.

A continuación, detallaremos la metodología propuesta para los dos casos que, como mencionamos anteriormente, tomamos de ejemplo: la vasija silbadora de la Colección Martínez (MLP-Ar-14860) y la antara Nasca de tubo complejo de la colección Benjamín Muniz Barreto (MLP-Ar-781).

## Estudios de caso

### Vasija silbadora (MLP-Ar-14860), Colección Martínez

Las vasijas silbadoras han sido encontradas en contextos arqueológicos en Ecuador (culturas Chorrera, Bahía y Jama-Coaque), Perú (culturas Vicús, Moche, Recuay, Paraca-Nasca, Chimú, Lambayeque, Chancay e Inca), en Colombia (cultura Quimbaya y Calima) y en México (en las culturas Zapoteca, Teotihuacán, Mixteca y Nayarit). Se han utilizado diferentes nombres para designar tipológicamente a estos instrumentos: *whistling bottles* y *musical jars* (Bennett 1946; Izikowitz 1935; Mead 1924; Wilson 1898), *botella silbato* (Crespo 1966; Lathrap 1977; Zeller 1963-64), *vaso silbante* (Hernández de Alva 1938), *vasija silbato* (Vedova 1969-70) y *botella silbadora* (Amaro 1994; Bolaños 1997), entre otros, todas ellas refiriendo al "silbido" típico de estos objetos.

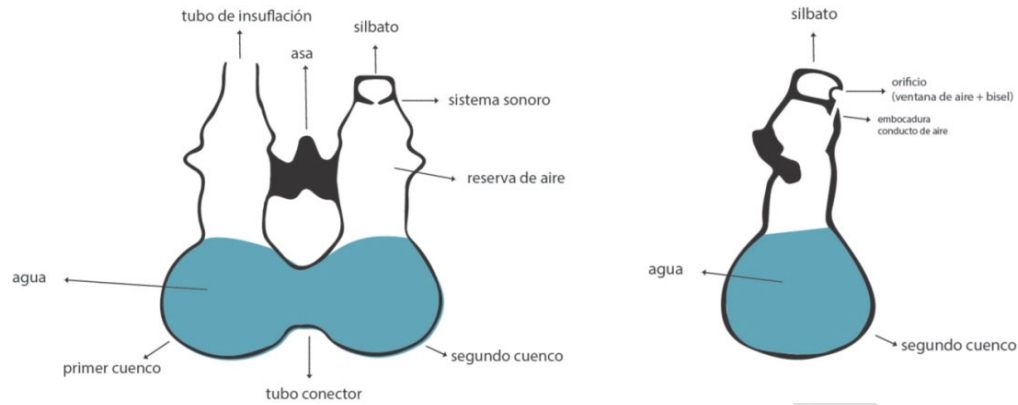
#### Descripción organológica y morfológica

Desde una visión organológica, las vasijas silbadoras se componen de uno, dos o más cuencos que, unidos por tubos conectores y asas, conforman una estructura. Asimismo, poseen una entrada de aire (tubo de insuflación) por donde también ingresa el líquido, y un silbato ubicado al extremo opuesto del tubo de insuflación. Dicho silbato es activado por las perturbaciones del flujo del aire, generadas por la presión que ejerce el líquido sobre el aire en el interior de la vasija, al recorrer sus estructuras internas y dirigir el aire hacia el silbato. El sonido del silbato puede proyectarse directamente al exterior o a través de una cámara de resonancia.

Históricamente estas piezas han sido analizadas desde varios aspectos a partir de su funcionalidad y uso (Amaro 1994), desde un análisis histórico (Bolaños 1997), y desde el estudio del sonido y sus particularidades organológicas (Garrett & Statnekov 1977; Pérez de Arce 2004; Velo 1985). La pieza MLP-Ar-14860 de la colección Martínez del Museo de La Plata es una vasija compuesta por dos cuencos comunicados en su parte inferior por un tubo conector. Sobre los cuencos se posan dos personajes antropomorfos tomados de las manos, cuyos brazos cumplen la función de asa maciza que mantiene unidos a los personajes. El extremo de la cabeza de uno de los personajes presenta un orificio (por donde se insufla e ingresa el líquido a la pieza) mientras que la cabeza del otro personaje está cerrada, con una pequeña perforación a la altura de la coronilla (donde se ubica el silbato). Se trata de un silbato cuyo sonido se proyecta directamente al exterior sin pasar por una cámara de resonancia y forma parte del motivo escultórico que está sobre la cabeza del personaje del segundo cuenco (Figs. 10 y 11). Según la adaptación del sistema de clasificación organológica Sachs-Hornbostel (Pérez de Arce & Gili 2013) la vasija puede clasificarse como: 42.221.42 *ocarina de soplo indirecto. Vasija Silbadora*.



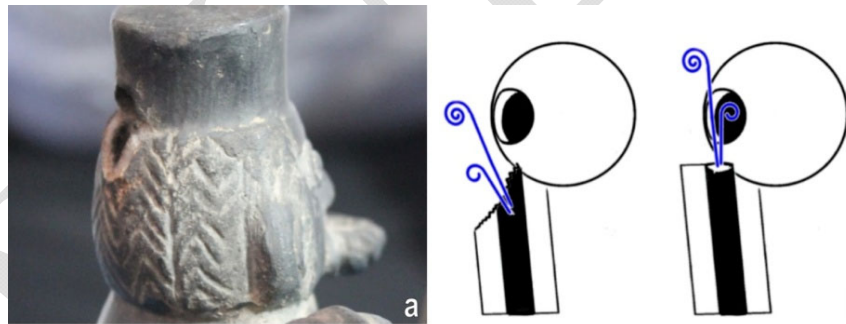
Figura 10. Vasija silbadora MLP-Ar-14860, colección Martínez del Museo de La Plata.



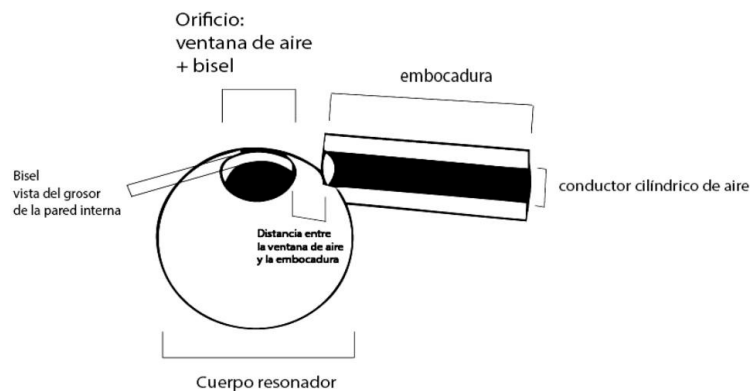
**Figura 11.** Detalle de las partes que componen la vasija silbadora.

### Exploración del comportamiento acústico de las piezas y mediciones acústicas

El estudio de esta vasija implicó su registro, catalogación, investigación de archivo y su registro fotográfico como primera aproximación al objeto y la identificación de sus partes. Luego se realizó una prospección acústica que permitió constatar que el mecanismo sonoro de la pieza se encontraba roto, de manera que sólo producía un sonido con componentes de ruido aéreo con mayor amplitud alrededor de los 1500 Hz. Si bien casi la totalidad de los elementos del instrumento se encontraban bien conservados (cuencos, tubos y silbato), un elemento clave como lo es la embocadura presentaba roturas y partes faltantes. Conociendo en profundidad los principios de funcionamiento de los sistemas sonoros de instrumentos de viento precolombinos (embocadura y bisel) pudimos ver que se trataba de una rotura en el final de la embocadura, la cual direcciona el aire que se encuentra dentro de la vasija hacia el orificio-bisel del silbato (Figs. 12 y 13).



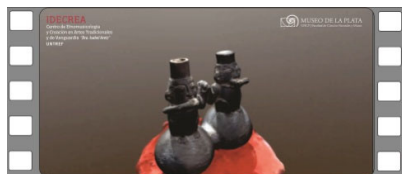
**Figura 12.** a) Imagen en la que se ve la embocadura rota de la vasija silbadora MLP-Ar-14860. b) esquema del mecanismo sonoro indicando cómo se direcciona el aire con la embocadura rota y cómo se direcciona si estuviese bien conservada.



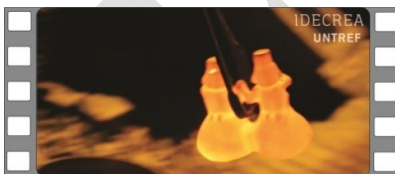
**Figura 13.** Detalle del silbato de la vasija MLP-Ar-14860 (silbato-flauta globular pequeña).

La imposibilidad de producir sonido y de experimentar con agua en el interior de la vasija dio más relevancia a las réplicas para conocer el funcionamiento sonoro. Para la creación de su réplica se procedió al registro y análisis de la pieza original, se escaneó en 3D con un escáner de mano ([Video 5](#)) y se realizó su impresión en 3D. A partir de ello se realizó un molde en negativo de yeso; se eligió este material por las características que presenta el trabajo con arcilla, que requiere que en el momento de realizar una copia sobre la superficie del molde, este pueda absorber parte de la humedad de la arcilla, permitiendo con ello desprenderse sin dificultad, evitando que se deforme o dañe al desmoldarla por haber adquirido mayor dureza. Luego se procedió a preparar la pasta de la arcilla para copiar el molde de yeso con la técnica del prensado, es decir, presionando minuciosamente la arcilla sobre el molde para asegurarse que hasta los detalles mínimos sean copiados en los dos taceles. Luego se construyó e instaló el silbato interno y se realizó una costura entre los taceles, cerrando el molde por medio de agregado de barbotina con adhesivo y presión.

Se terminó esta etapa con trabajo escultórico en sus detalles, rasgos de los ojos, esgrafiados, etc. (Fig. 14). A continuación, se le dio un acabado tradicional a la pieza utilizando en el horneado la técnica de reducción, con el objetivo de proporcionar a la réplica el mismo acabado color negro brillante que caracteriza al original ([Video 6](#)). Por último, se realizaron las mediciones acústicas a la réplica en su estado de pre y post cocción, como parámetro para la articulación y el perfeccionamiento de las nuevas copias en proceso. El hecho de replicar la pieza original permitió la exploración y estudio de las diversas técnicas de interpretación, contando con la posibilidad de introducirle agua en su interior. Es posible sintetizar dichas técnicas de interpretación en la tabla 1 ([Video 7](#)).



**Video 5.** Reconstrucción digital por Fotogrametría de la pieza MLP-Ar-781.



**Video 6.** Técnica tradicional de reducción de la pieza MLP-Ar-781.



**Video 7.** Técnicas de interpretación de la Vasija silbadora Chimú MLP-AR-14860.



**Figura 14.** Silbato de la vasija MLP-Ar-14860, en original y réplica.

**Tabla 1.** Técnicas de interpretación de la Vasija silbadora Chimú MLP-AR-14860.

Técnica	Exploración sonora del instrumento musical arqueológico <u>con</u> agua	Exploración sonora del instrumento musical arqueológico <u>sin</u> agua
Técnica de vaivén	El agua se desplaza y empuja el aire hacia la embocadura o conducto de aire del silbato. El tamaño y la proporción entre el tamaño de los cuencos y el tubo (así como la cantidad de agua utilizada) repercuten directamente sobre la duración del sonido, y sobre la velocidad del flujo del aire dirigido hacia el bisel, generando variaciones en la nota producida.	No es posible realizar esta técnica sin utilizar agua en el interior de la vasija.
Soplando por el tubo de insuflación	Según la inclinación de la vasija, la distribución del agua en cada uno de los cuencos determina un abanico de matices, entre gorgojeo (sonido iterado), notas sostenidas, y un estado intermedio /aleatorio entre ambas. En todos los casos, la variación de la presión del aire al insuflar genera variaciones en la altura producida, pudiendo generar glissandos.	El aire insuflado por el intérprete es conducido directamente al silbato. Las variaciones sólo se logran por la manera y la intensidad del soplo, ya que al no contener líquido en su interior, no existe otro factor que determine el comportamiento del sonido.
Gorgojeo - Técnica de vaivén obstruyendo entrada de aire del tubo de insuflación	Al obstruir la entrada de aire del tubo de insuflación, la única abertura de la vasija es el pequeño orificio de la ventana de aire del silbato. Al restringir la cantidad de aire que ingresa en la vasija, el movimiento irregular del agua genera un gorgojeo constante en el silbato (sonido iterado).	No es posible realizar esta técnica sin utilizar agua en el interior de la vasija.
Burbujeo - Técnica de vaivén obstruyendo salida de aire del silbato	Al obstruir la ventana de aire del silbato (abertura que activa su mecanismo sonoro), es posible oír únicamente el sonido burbujeante que realiza el agua al recorrer las estructuras internas de los cuencos. Este burbujeo presenta diferentes colores y registros, como también cambios de velocidad producto del estrechamiento del tubo conector en el pasaje de los cuencos.	No es posible realizar esta técnica sin utilizar agua en el interior de la vasija
Soplando tubo de insuflación a modo de tubo cerrado (siku)	La inclinación de la vasija y la cantidad de agua que lleva en su interior, permite un determinado registro dentro del cual es posible interpretar notas individuales, y glissandos entre notas. Dichos glissandos son logrados mediante el soplo en simultaneidad al balanceo de la vasija, lo que genera un cambio en el espacio interno del cuerpo resonante (mayor espacio = grave; menor espacio = agudo). El ámbito es el resultado del balanceo de la vasija entre su mayor y menor inclinación. El registro lo establece la cantidad de agua que se introduce a la vasija.	Este tipo de soplido direccionado hacia abajo, hace vibrar el cuerpo interno de la vasija y sus dos cuencos a modo de un tubo cerrado en un extremo, lo que produce un sonido grave. Según la presión del aire se puede conseguir que el silbato suene simultáneamente con el sonido grave.
Soplando el tubo de insuflación como bisel de quena	Aumenta el volumen de los parciales superiores, y el desplazamiento del agua dentro de los cuencos varía el sonido producido, generando aleatoriedad tanto rítmica como en el cambio de alturas producido. La presión de aire es mucho mayor a la del siku y genera también un movimiento del agua, lo cual hace sonar en simultáneo el silbato.	Se puede hacer resonar los armónicos superiores, pero al no contener agua sus posibilidades armónicas son más acotadas.

### Antara Nasca de tubo complejo (MLP-Ar-781), Colección Benjamín Muniz Barreto

El término "antara" ha sido utilizado en diversas investigaciones arqueológicas de Perú, Bolivia y Chile como un genérico para denominar todas las flautas de pan de contexto arqueológico (Sánchez Huaranga 2015), a diferencia de aquellas flautas de pan vigentes en contextos actuales o etnográficos, como el *ayarachi*, *siku* o la *siringa*. Cabe destacar que la antara o flauta de pan andina es un instrumento que está presente desde las antiguas culturas precolombinas y aún hoy sigue vigente en diferentes comunidades y sociedades de América, tal como afirma Sánchez Huaranga (2015). Como asevera Gruszczyńska-Ziółkowska (2008), la antara era el principal instrumento melódico de los nascas, y la describe como una flauta de pan en forma de balsa escalonada, con tubos cerrados. Dicho escalonamiento se produce al unir tubos de longitudes crecientes, en la mayoría de los casos de menor a mayor longitud. Gruszczyńska-Ziółkowska afirma que las antaras nasca son principalmente de cerámica, aunque también existen de otros materiales, y que procede sin duda de la tradición paracas, pero los constructores nasquenses modificaron los elementos básicos de su construcción de manera esencial creando un instrumento completamente original (Gruszczyńska-Ziółkowska, 2008).

Las antaras nasca pueden diferenciarse en dos categorías: a) de tubo simple (tubo de un sólo diámetro que en algunos casos se angosta en su extremo proximal porque posee un trabajo de embocadura); o b) de tubo complejo (tubos compuestos por un empalme longitudinal de dos o tres segmentos de diámetros diferentes) (Gérard Ardenois 2010). Mansilla Vásquez (2005) facilita la comprensión de estas dos categorías a través de radiografías: en la imagen podemos ver que la antara de tubos complejos tiene 3 segmentos con diferentes diámetros, mientras que la antara de tubos simples mantiene su diámetro, exceptuando la zona de la embocadura, que presenta una leve disminución (Fig. 15).

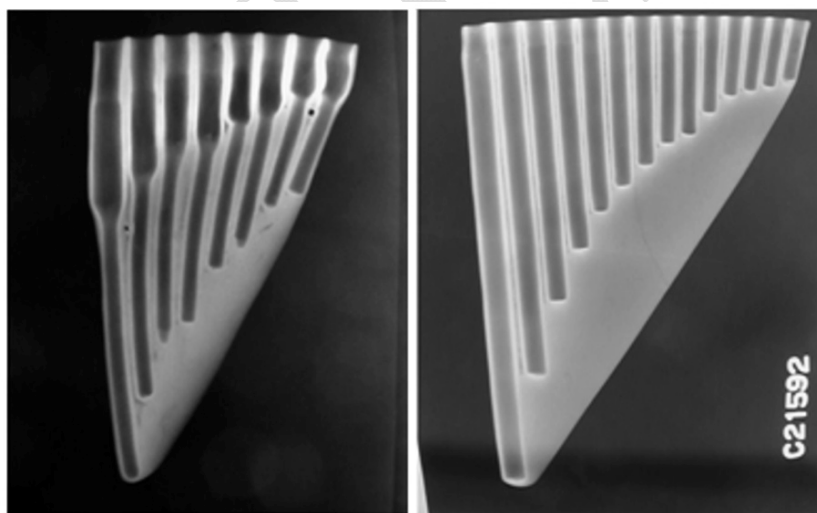


Ilustración 1 - Antara Nasca de 3 diámetros  
Código: C-21588

Ilustración 2 - Antara Nasca de 2 diámetros  
Código: C-21592

Figura 15. Dos radiografías de antaras nazcas (imagen tomada de Mansilla Vásquez 2005).

#### Descripción organológica y morfológica

El relevamiento de esta pieza se inició con la medición manual de su cuerpo externo y la medición de sus tubos internos (20 cm. de largo, por 8 cm. de ancho máximo y 2 cm. de espesor máximo). Su estado de conservación a primera vista parecía completo, sin embargo, demostraba una restauración de una quebradura, un rasgo común en gran cantidad de flautas arqueológicas, siendo restaurada por medio de mastic (técnica histórica de restauración). En este caso de estudio fue posible detectar la presencia de tubos complejos a través de su análisis visual y sonoro. Por un lado, es posible comprobar visualmente la variación del tamaño y dirección de los tubos, y por el otro, es posible percibir una relación armónica particular de este tipo de estructuras



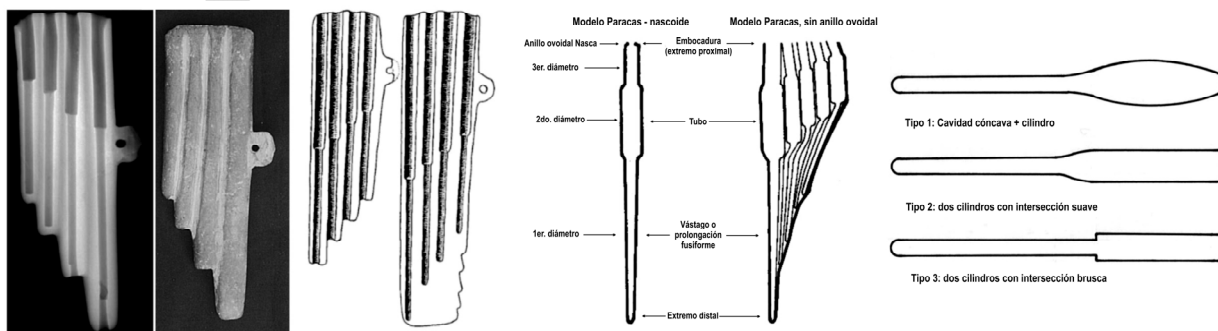
organológicas, las cuales se caracterizan por relaciones armónicas complejas, que presenta multifónicos y batimentos al momento de hacer sonar cada uno de los tubos, tema que trataremos posteriormente. Asimismo, luego de este primer acercamiento, la antara fue clasificada en base a la adaptación del sistema de clasificación organológica Sachs-Hornbostel de Pérez de Arce & Gili (2013): 421.112.211.12 1 (Flauta de pan cerrada, de una hilera en escalera, solista, de tubo complejo) o *antara*. Son capaces de dar el llamado *sonido rajado*.

El tamaño de la antara, de acuerdo a su clasificación organológica, color y esgrafiado, resulta bastante particular, y existen pocos originales en museos con un acabado similar. Encontramos otra antara con técnica de esgrafiado e iconografía similar en una imagen tomada de la recopilación de Patrick H. Carmichael (2016) (Fig. 16). Dentro de la colección de 135 antaras que registró el proyecto *Waylla Quepa*, que nos facilitó C. Mansilla Vásquez, no encontramos una antara con esgrafiado, sin embargo, existen algunas de tamaño similar pintadas con iconografías afines.



**Figura 16.** Tres antaras con características comunes estudiadas por: a) Patrick H. Carmichael (2016), b) Proyecto Waylla Quepa, c) Antara MLP-Ar-781 estudiada en este artículo

Analizando las fotografías, las radiografías y los esquemas de las estructuras internas, podemos observar que las diversas antaras de tubo complejo tienen en común características estructurales, sin embargo, cada una de ellas presenta diferencias constructivas, inclusive aquellas pertenecientes a una misma cultura o realizadas con el mismo material. Encontramos diferencias entre embocaduras, longitudes de los tubos, ángulo de corte e intersección entre los cilindros de diferentes diámetros que conforman cada tubo, razón que potencia la necesidad de estudiar la acústica de la antara (Fig. 17).



**Figura 17.** Morfología de estructuras internas de antara de tubo complejo; a) Antara lítica de dos diámetros, Museo Antropológico de Chuquisaca, Sucre (tomado de Gerard 2004). b) Antaras líticas Aconcagua (tomado de Pérez de Arce 2012). c) Antara modelo paracas-nascoide (tomado de Bolaños 1988). d) Tipos de tubos complejos de antaras bolivianas (Gerard Ardenois 2013).

### Exploración del comportamiento acústico de la pieza

Al momento de interpretar la antara detectamos que dos de los tubos tenían pérdida de aire debido a una rotura; el proceso de restauración había resuelto la rotura, pero había dejado pérdida de aire. Por lo tanto, para conocer exactamente el sonido de esos tubos, al momento de experimentar con ellos procedimos a tapar con nuestros dedos las pérdidas de aire. Aun así, no fue posible hacer sonar el tubo de mayor longitud del cual desconocemos su sonoridad y su altura fundamental, y del cual sólo tenemos un registro aproximado de su altura, ya que en su ficha de registro figura la nota Re (D), pero ninguna precisión sobre los cents, ni la manera en la que fue soplado para obtener tal altura.

Se exploró la respuesta de alturas y cambios en el timbre al variar la intensidad de soplido, el ángulo de inclinación de la antara con respecto al intérprete, así como al utilizar diversas técnicas de interpretación de vientos como el staccato, frullato y glissando. Asimismo, pudimos constatar que, a partir de un tipo especial de insuflación, el instrumento era capaz de producir el *sonido rajado*, como lo llama Pérez de Arce (1998), o *tara*, como lo llama Gérard Ardenois (2013), al describir este sonido particular que producen los instrumentos de tubo complejo. Ambos autores coinciden en mencionar el carácter disonante y complejo de este sonido y con pulsaciones o modulaciones de amplitud periódicas.

Es importante destacar que las alturas y timbres producidos en estos instrumentos de viento dependen del ángulo y la presión de aire dirigida hacia al interior del tubo. Utilizando estos recursos las alturas pueden variarse aproximadamente hasta un semitono de diferencia, y la variación de la intensidad del soplo genera cambios significativos en la intensidad de los parciales superiores. Es por esta razón que al realizar la medición y exploración de la escala de la antara, nos inclinamos por una técnica interpretativa que logra producir el sonido rajado, manteniendo una presión de insuflación suficiente para hacer funcionar al tubo en dos modos de resonancia simultáneamente (Gérard Ardenois 2013).

### Análisis acústicos

El análisis acústico del sonido producido por la antara MLP-Ar-781 se centró en dos aspectos: la determinación de sus frecuencias fundamentales y análisis de su timbre a través de parámetros relacionados al espectro de frecuencias, la rugosidad, la agudeza y fenómenos como la interferencia de armónicos y parciales. Como se ha mencionado, la destreza técnica con la que se interprete el instrumento puede revelar comportamientos acústicos singulares.

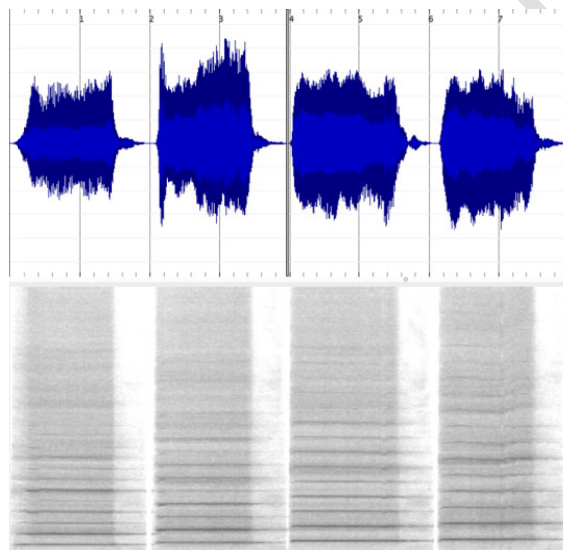
Desde la década del 70' hasta la actualidad se han realizado numerosos estudios sobre antaras nascas pertenecientes a colecciones de museos alrededor del mundo, incluyendo mediciones acústicas y análisis de esa información, pero cada instrumento presenta particularidades, dado que no se evidencia un régimen de afinación estandarizado y cada constructor adoptaba su propia medida en la construcción de las antaras (Bolaños 1988). Si bien existen avances en la elaboración de una teoría general del sistema musical de las antaras nascas (Gruszczyńska-Ziółkowska 2009; Mansilla Vásquez 2018), es de todos modos necesario realizar las mediciones y análisis para comprender esta pieza en particular. Los registros sonoros fueron realizados en los depósitos del Museo (por cuestiones de preservación de la pieza) utilizando un micrófono de medición marca Audix modelo TR40A, una interfaz de sonido Presonus Firebox y un ordenador Macbook Pro.

El material sometido al análisis acústico está compuesto de las grabaciones de los 5 tubos de la antara, interpretados a distintas intensidades y empleando diversas técnicas de soplido, en la búsqueda de obtener un banco de sonidos suficientes para obtener un panorama completo de la respuesta acústica del instrumento. Las mediciones acústicas realizadas buscaron describir su timbre mediante la identificación del espectro sonoro y la relación de parciales con respecto a una frecuencia fundamental. De manera general, lo que percibimos psicoacústicamente como la nota producida por un instrumento está asociado a una frecuencia fundamental, expresada en Hertz. Sin embargo, ese espectro sonoro consta de más frecuencias sonando simultáneamente, denominadas parciales: si su frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental, estos parciales son llamados armónicos. La frecuencia más baja se llama fundamental, o primer armónico, y los armónicos de

frecuencia más alta se etiquetan de acuerdo con su frecuencia múltiple en relación con el fundamental. Así, el segundo armónico es dos veces la frecuencia del fundamental y así sucesivamente. Los parciales, por otro lado, no están relacionados armónicamente con la fundamental.

De la totalidad de las grabaciones realizadas, se seleccionaron 4 muestras, una por cada tubo del 2 al 5, ya que el tubo nro. 1 no produce sonido por estar roto (como fue explicado anteriormente), priorizando la mayor riqueza espectral y la aparición del sonido *rajado* o *tara*, característico de las antaras nascas, así como de los aerófonos andinos de tubo complejo (Mansilla Vásquez 2013). A partir del análisis de espectro FFT que se muestra en la tabla de la Figura 18, es posible determinar la frecuencia fundamental de cada tubo, así como sus parciales, los cuales no llegan a tener proporciones armónicas, detalladas en la Tabla 2.

Si bien durante la interpretación puede haber variaciones microtonales en la afinación respecto del temperamento igual, las notas fundamentales de los 4 tubos sonoros son F5 +20c, G#5 -16c, A#5 +2c, C6 -48c. Asimismo puede observarse en los análisis de espectros obtenidos con el procesador VST Spectrum Analyzer SIR Audio tools una homogeneidad en el diseño tímbrico de los tubos, ya que la serie armónica puede verse claramente (Fig. 19). Aquí es importante notar que dicha antara de tubo complejo presenta los armónicos pares e impares de la serie, diferenciándose de las antaras de tubo cerrado y simple (diámetro constante), en las que los armónicos obtenidos son los impares, similar a lo que ocurre en tubos cilíndricos abiertos y cónicos cerrados. Puede resultar significativo el aporte de Gérard Ardenois sobre el tema: “Desde hace poco se están realizando investigaciones metódicas sobre la acústica de los tubos complejos. Estos tubos no reaccionan como los tubos cilíndricos y la aproximación de la ley de Bernoulli para tubos no funciona en estos casos. En 2008 Gómez, Repetto, Stia & Welti proponen ya una solución satisfactoria para la evaluación de las impedancias y los coeficientes de transmisión de tubos modulados (en los que entran los tubos complejos) mediante el método de band-gap acústico.” (Gérard Ardenois 2013, p. 44).



**Figura 18.** Dos representaciones diferentes del registro de los tubos 2 a 5 de la antara MLP-Ar-781. Arriba la forma de onda, debajo el sonograma.

**Tabla 2.** Detalle de los parciales de la antara nasca MLP-Ar-781 (Fig. 20).

	TUBO 2	TUBO 3	TUBO 4	TUBO 5
Nota	F5 +20 cents	G#5 -16 cents	A#5 +2 cents	C6 -48 cents
F1	707 Hz	822 Hz	933 Hz	1020 Hz
F2	1370 Hz (F2/F1: 1,93)	1650 Hz (F2/F1: 2,007)	1870 Hz (F2/F1: 2,004)	2030 Hz (F2/F1: 1,99)
F3	2070 Hz (F3/F1: 2,92)	2470 Hz (F3/F1: 3,004)	2800 Hz (F3/F1: 3,001)	3060 Hz (F3/F1: 3)
F4	2730 Hz (F4/F1: 3,86)	3290 Hz (F4/F1: 4,002)	3730 Hz (F4/F1: 3,99)	4070 Hz (F4/F1: 3,99)
F5	4100 Hz (F5/F1: 5,79)	4120 Hz (F5/F1: 5,01)	4670 Hz (F5/F1: 4,68)	5030 Hz (F5/F1: 4,93)
F6	4810 Hz (F6/F1: 6,80)	4880 Hz (F6/F1: 5,93)	5600 Hz (F6/F1: 6,002)	6040 Hz (F6/F1: 5,92)
F7	6220 Hz (F7/F1: 8,78)	5750 Hz (F7/F1: 6,99)	6530 Hz (F7/F1: 6,99)	7060 Hz (F7/F1: 6,92)

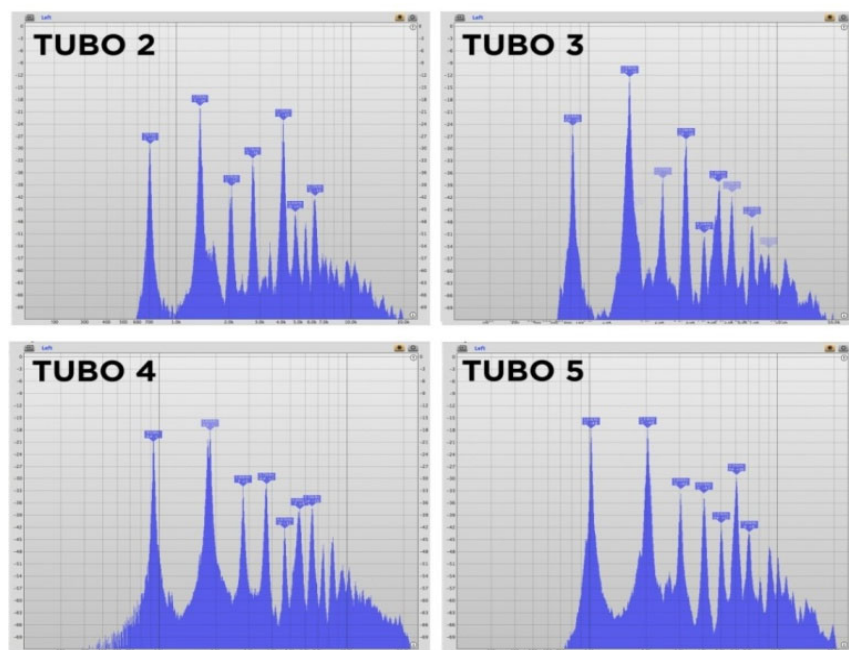
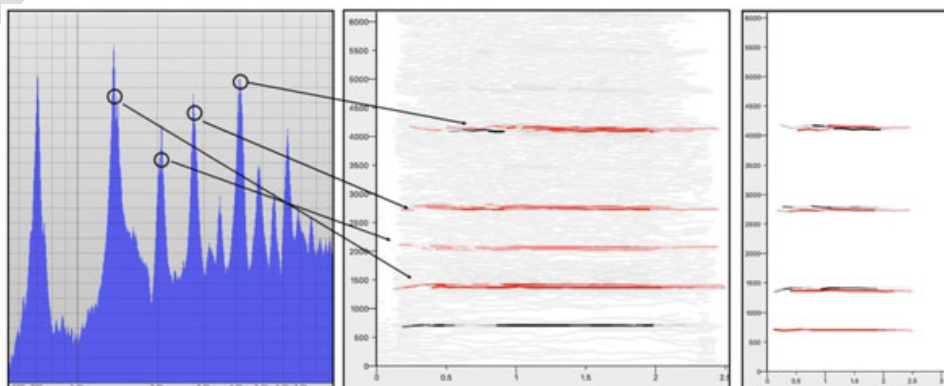


Figura 19. Análisis espectral de los 4 tubos sonoros realizado Spectrum Analyzer SIR Audio Tools.

Durante la etapa de análisis e interpretación de las grabaciones, se emplearon distintas visualizaciones en función del parámetro al que se debía hacer foco. Ejemplo de ello es el plano melódico que ofrece el software SPEAR (Klingbeil, 2005), el cual mediante una variación de la técnica McAulay-Quatieri de interpolación de picos espectrales, descompone en sinusoides los sonidos complejos, permitiendo un análisis detallado y una manipulación del espectro para aislar los diferentes componentes del mismo. Con esta herramienta fue posible estudiar el sonido *tara* o *rajado*, identificando el batimento producido por componentes con frecuencias cercanas a los armónicos 2, 3, 4 y 5 a amplitudes cercanas, y observar su desarrollo en función del tiempo y el campo de las alturas.

En la figura 20 se ven dos tipos de gráfico diferentes: a la izquierda un gráfico de espectro el cual muestra un instante de la grabación, representando amplitud en el eje vertical y frecuencia en el eje horizontal. En el gráfico del centro se ve la interfaz del software SPEAR donde el eje horizontal es tiempo, el vertical es frecuencia, cada línea es una sinusoide y la intensidad de color de cada trazo representa su amplitud. En el tercer gráfico puede apreciarse el proceso de aislamiento de los sonidos fundamentales y parciales de la antara, quitando toda parte del espectro, a fin de poder oír con detalle el batimento. Las flechas unen la presencia de los pares de frecuencias que generan el batimento, mostrando la relación entre ambos modos de visualizar las grabaciones.

Figura 20. Paralelismo entre dos tipos de análisis del sonido tara con el uso de métodos y softwares diferentes (Spectrum Analyzer SIR Audio Tools a la izquierda, SPEAR al centro y derecha). En el tercer recorte se puede ver en color rojo los parciales que realizan interferencia, generando el sonido tara o sonido rajado.



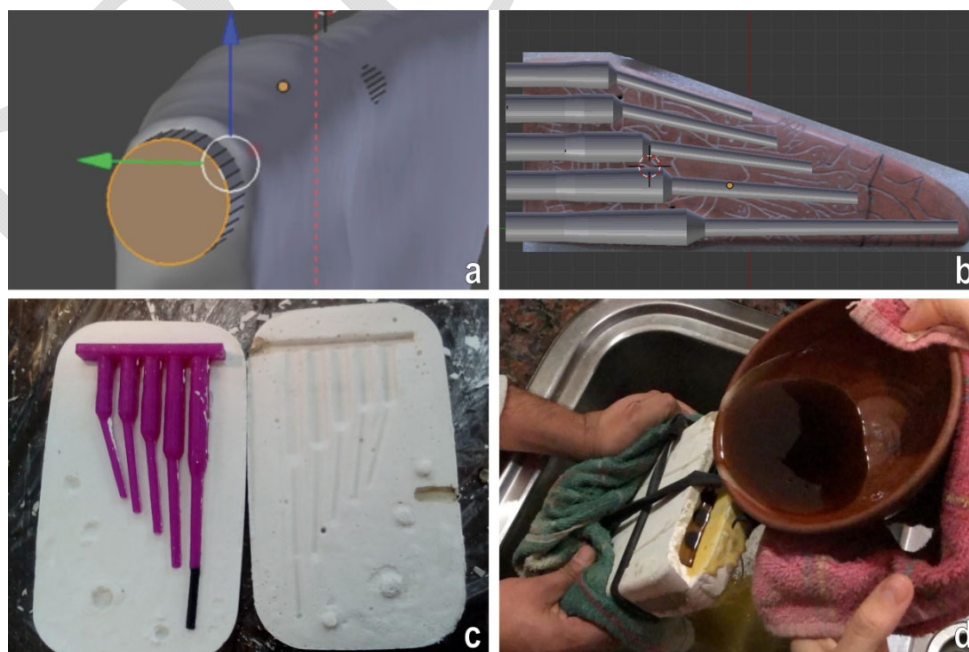
En concordancia por los trabajos citados por Gérard Ardenois (2013) sobre el comportamiento acústico de los tubos complejos, el análisis de las grabaciones y mediciones deja entrever la posibilidad de que la morfología del tubo complejo de la antara implique un cambio en la impedancia acústica, haciendo funcionar simultáneamente dos tubos: uno considerando toda la longitud y otro de longitud menor considerando el primer tramo, hasta el cambio de sección. De ser así, dicho cambio afectaría a la facilidad con la que pueden ser excitadas las distintas frecuencias dentro del tubo, haciendo que parte de la energía se refleje, quedando en el tubo corto y otra parte pase a la siguiente sección, completando o conformando el tubo completo. Esperamos, en instancias posteriores, realizar las mediciones y simulaciones correspondientes para estudiar en profundidad este fenómeno y contrastar dicha hipótesis midiendo y analizando otras antaras, pifilcas arqueológicas u otros instrumentos de tubo complejo.

### Obtención del modelo 3D

Para la obtención del modelo 3D de la antara, se emplearon técnicas específicas tanto para su parte exterior como para su estructura interna. Para obtener la morfología y la iconografía externa se utilizó la técnica de fotogrametría, mientras que la reconstrucción de la estructura interna de los tubos fue el principal desafío que encontramos a fin de estudiar el timbre característico de las antaras. Para realizar dicho objetivo se emplearon 2 técnicas diferentes:

-Diseño 3D a partir de las mediciones manuales y los resultados de fotogrametría. Esto demandó un trabajo de precisión en la creación del objeto en 3d en positivo, que refleje las medidas y la forma de la estructura hueca de los tubos sonoros (Fig. 21).

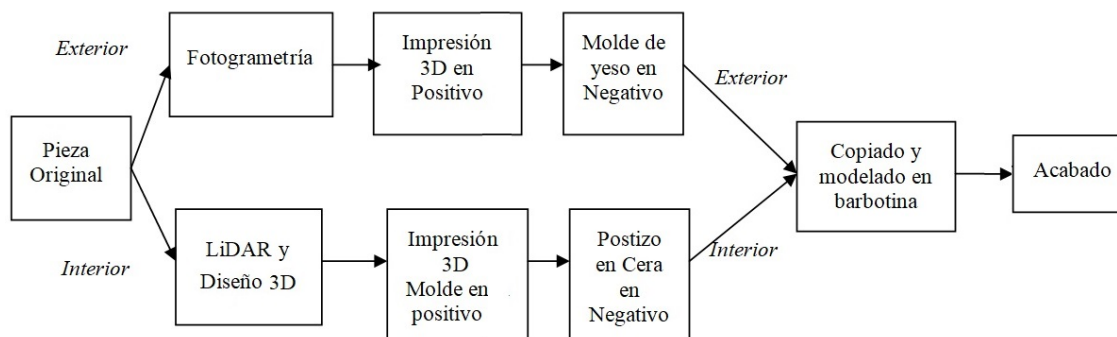
-Por otro lado, se contrastó el trabajo anterior incorporando la técnica del LiDAR, la cual nos brindó información parcial de la estructura interna de los tubos complejos. Dado que el equipo técnico que calibró y operó el dispositivo no suele ser utilizarlo en objetos y estructuras de esta dimensión, pudimos constatar que los ciclos de las estaciones no fueron suficientes, por lo que pudimos obtener medidas únicamente de los primeros segmentos de los tubos, aquellos cercanos al extremo proximal y de mayor diámetro. Aunque los datos no estuvieran completos fueron útiles para constatar los diámetros, que debido a su estructura fusiforme eran muy difíciles de medir con precisión.



**Figura 21.** a) Detalle digital de la boca de uno de los tubos de la pieza MLP-Ar-781. b) Modelo digital de la antara en el que se observa la reconstrucción de los tubos internos a partir de datos de LIDAR, y que se usó luego para la hechura de moldes. c) y d) Dos momentos en la realización de los moldes internos y externos para la confección de la réplica de la antara.

### Creación de moldes, proceso de replicado

La etapa de diseño y elaboración de la moltería requirió los datos obtenidos de todas las etapas previas, a fin de lograr que las reconstrucciones pudieran reflejar la totalidad de los aspectos de la pieza, siendo un punto de unión entre el estudio acústico, el estudio morfológico, el diseño 3D y la reconstrucción virtual. Esta tarea, de gran dificultad, requirió el uso de materiales diversos, y la adaptación y variación de las técnicas utilizadas generalmente (Fig. 22).



**Figura 22.** Etapas del proceso de moltería desarrollado para la Antara MLP-Ar-781

En una primera instancia se imprimieron en plástico PLA los modelos tridimensionales: por un lado, la forma externa de la antara en positivo, y por otro el negativo de la estructura interna de los tubos (Fig. 21). En segunda instancia se realizaron moldes de yeso a partir de las piezas de plástico. Como nuestra intención era realizar las réplicas en cerámica, era necesario un molde capaz de absorber la humedad de la arcilla o barbotina, por lo que el yeso era la mejor opción. Habiendo realizado una búsqueda de investigaciones previas sobre los procedimientos de construcción de las antaras nasca, destacamos ciertos aspectos que resultaron interesantes a la hora de plantear cómo llevar a cabo el trabajo de replicado. Diversos autores, como Mansilla Vásquez (2005), Bolaños (1988), Gruszczynska (2009) o Gérard Ardenois (2013), estiman que los nasca utilizaban moldes internos. Gérard Ardenois (2013) estima que se utilizaban mandriles rodeados de cera, dichos mandriles eran retirados antes de la cocción y la cera se derretía en el proceso de horneado. Gruszczynska (2009), por su parte, afirma que gracias a las antaras descubiertas en Cahuachi fue posible la reconstrucción de las etapas de construcción, la cual se basa “en la formación de una fila de tubos unidos entre sí, a todo lo largo, por un adhesivo hecho con barro de grano algo más grueso. Los extremos inferiores de los tubos están unidos por un ala hecho del mismo material que el adhesivo” (Gruszczynska 2009, p. 14).

Partiendo de dichas consideraciones, se ideó un proceso de confección de moldes y de replicado. Dicho trabajo no pretendió replicar el instrumento respetando el método de construcción de las antaras nasca de una manera historicista, sino que se inclinó a obtener los mismos resultados sonoros por sobre el método de construcción de los tubos, debido a que no existe un acuerdo unánime en la comunidad científica sobre este tema. Es por esta razón que en el corriente trabajo se incorporan nuevas tecnologías y técnicas a fin de replicar el sistema de generación de sonido para obtener los mismos resultados acústicos, al mismo tiempo que pretende preservar su morfología y acabado tradicional, ya que consideramos, es una parte inherente y sustancial al objeto sonoro. En lo que respecta al replicado de la antara, describiremos los procesos realizados que implicaron el uso de diferentes materiales:

1. Tubos de silicona introducidos en el molde externo de yeso, copiado en yeso de la pieza completa. Con esta combinación se logra un copiado veloz y exacto de la réplica, aunque sólo se obtienen las notas fundamentales con ausencia de los armónicos característicos del tubo complejo y con una mayor presencia de componentes no tónicas en el espectro sonoro, debido al tipo de material, la humedad y la porosidad.

2. Tubos de silicona introducidos en el molde externo de yeso, copiado en barbotina de la pieza completa. La silicona resultó poco efectiva en contacto con la barbotina, debido a su incapacidad de absorción de la humedad.

3. Molde de yeso de los tubos en 2 taceles, molde externo de yeso en 2 taceles, copiado en arcilla prensada en 2 partes para luego cocerlas. Demanda un importante trabajo artesanal, ya que al cocer las dos mitades se observan imperfecciones en las uniones internas de todos los tubos, sobre todo las partes con más dificultad de acceso. Asimismo, se anula la posibilidad de corregir las costuras internas de los tubos más agudos, los cuales presentan una inclinación a lo largo del tubo.

4. Tubos de cera virgen de abeja introducidos en el molde externo de yeso, copiado en barbotina de la pieza completa (Fig. 21). Funciona y brinda una buena terminación, no obstante, es menester derretir la cera antes del proceso de secado y consecuente contracción de la arcilla, lo cual implica un proceso complicado, pero factible.

5. Tubos de cera incorporando varillas de madera como eje, introducidos en el molde externo de yeso, copiado en barbotina de la pieza completa. Durante el proceso de secado se procede a retirar las varillas de madera permitiendo a la capa exterior de cera ceder a la contracción de la barbotina.

6. Tubos de barbotina introducidos en el molde externo de yeso, copiado en barbotina de la pieza completa. Implicó la generación de una nueva impresión 3D de los tubos con medidas proporcionalmente mayores, con el fin de permitir al copiado de barbotina un espesor de al menos 3mm, compensando las dimensiones y diámetros finales que alcanzaría la contracción.

De todos los procesos mencionados anteriormente, los mejores resultados fueron obtenidos por los procedimientos 5 y 6. Cabe destacar que durante la prueba de los distintos procedimientos se fueron ajustando diámetros e intersecciones de los segmentos a fin de equalizar los parámetros acústicos con los de la pieza original. Si bien podríamos haber llegado a un resultado óptimo en un lapso menor de tiempo –en el caso de haber trabajado la antara de forma artesanal–, no era nuestro propósito simplemente realizar una réplica única del instrumento, sino generar una tecnología de moldería eficiente y precisa, para experimentar en un futuro con diversos materiales y pastas, a fin de realizar una exploración meticulosa sobre comportamientos acústicos a partir de cambios estructurales en los moldes. Asimismo, fue posible comparar las mediciones de los originales con las réplicas, para realizar correcciones en los modelos 3D así como en la técnica de copiado, para poder obtener mejores resultados (Fig. 23).



Figura 23. Revisión del resultado sonoro de la réplica.

### Comentarios finales y transferencia

Consideramos que el estudio de instrumentos musicales pertenecientes a las colecciones arqueológicas del Museo de La Plata nos permitió obtener datos relevantes sobre su morfología y comportamiento acústico. En lo

que respecta al proceso de reconstrucción, se presentaron dos situaciones diferentes según el caso de estudio: a) un instrumento musical precolombino con faltantes en su sistema de sonido, b) un instrumento musical precolombino con su sistema de generación de sonido en funcionamiento. A partir de estas condiciones, propusimos un sistema de moldería que en ambos casos de estudio estableció un precedente confiable para la reconstrucción de este tipo de piezas, sustentado en el registro, medición y análisis de las piezas originales, que da cuenta tanto de su forma exterior como de su complejo sistema sonoro.

Asimismo, el trabajo desarrollado evidenció la importancia de articular técnicas digitales para generar un conocimiento más acabado acerca de los instrumentos. La utilización de dicha información en la construcción de réplicas permitió la comparación entre las posibilidades sonoras de las piezas originales y las réplicas, así como el buen desempeño de estas últimas, lo que las convierte en una herramienta de interés para el estudio acústico de los instrumentos musicales precolombinos.

Por otro lado, debido a que uno de los objetivos primordiales de la presente investigación reside en la transmisión del conocimiento adquirido relativo a los instrumentos musicales pertenecientes a las colecciones del Museo de La Plata, hemos llevado a cabo diversas actividades de transferencia. A través del Centro de Etnomusicología y Creación en Artes Tradicionales y de Vanguardia "Dra. Isabel Aretz", se realizaron ponencias en encuentros internacionales, *master classes*, seminarios intensivos y dictado de cursos en el programa de Extensión Universitaria de la UNTREF; de la misma forma, se transmitieron los resultados del proyecto dentro de la currícula de la Licenciatura en Música Autóctona, Clásica y Popular de América y la Maestría en Creación Musical, Nuevas Tecnologías y Artes Tradicionales. Otra vía de comunicación de los resultados ha sido la de los conciertos didácticos de la Orquesta de Instrumentos Autóctonos y Nuevas Tecnologías (UNTREF), donde se incluyeron las réplicas reconstruidas al instrumental de la Orquesta, re-insertando dichos instrumentos en un contexto artístico actual, llevando el conocimiento generado fuera de las fronteras del ámbito académico.

Actualmente, nos encontramos realizando un avance en el catálogo digital de los instrumentos pertenecientes a la División Arqueología del Museo de La Plata, contando con un banco de sonidos, modelo 3D, videos y fotografías, que estarán disponibles a través de una plataforma online, la cual será una herramienta muy valiosa de acceso a este patrimonio, que estaba preservado pero no formaba parte de los recursos pedagógicos y artísticos para la enseñanza, la creación, la investigación y la transferencia. Por último, consideramos que la realización del presente proyecto sienta las bases constituyendo un precedente para futuras investigaciones que profundicen en la recuperación de los sonidos de América Precolombina.

### Agradecimientos

A la Dra. Laura Miotti y al Dr. Marino Bonomo, jefes de la División Arqueología del Museo de La Plata, por su apoyo brindándonos el espacio de trabajo y recursos de la División a tal fin. También al personal que forma parte de la División por la atención brindada en los depósitos de arqueología. Al Centro de Etnomusicología y Creación en Artes Tradicionales y de Vanguardia (UNTREF), que nos ha asegurado el instrumental para el procesamiento digital y sonoro de los instrumentos musicales. Al Dr. Daniel del Cogliano, y a Lautaro Simontacchi de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata, por aportar e implementar el estudio LiDAR, equipo que nos fue fundamental a la hora de realizar el registro interno de los tubos de las antaras. Agradecemos también a la Mg. Anabella Enrique, el Mg. Juan Pablo Nicoletti y la Mg. Julieta Szewach, miembros del equipo de investigadores del IDECREA y solistas de la Orquesta de Instrumentos Autóctonos y Nuevas Tecnologías, al Ing. Joaquín García, Docente de Acústica y Psicoacústica en la Ingeniería de Sonido de la UNTREF, así como al Prof. Cristian Arce, junto con quien realizamos la técnica de reducción de la vasija silbadora en la Escuela de Cerámica del Municipio de Lomas de Zamora. A la Dra. Ana Igareta por la lectura crítica del artículo, a las Dras. Marina Sprovieri y Maria Emilia



Iucci por impulsar la publicación de este valioso Dossier de la Revista del Museo de La Plata, así como a los evaluadores por su contribución a la mejora del presente artículo.

### Bibliografía

- Amaro, I. (1994) "Reconstruyendo la identidad de un pueblo". En Makowski, K. (comp.), *Vicús*, pp. 23-81. Lima: Banco de Crédito del Perú.
- Aretz, I. (2003) "*Música prehispánica de las altas culturas andinas*". LUMEN.
- Bennett, W. (1946) "The Andean highlands: an introduction". En: Steward, J.H. (ed), *Handbook of South American Indians 2: The Andean Civilization*, pp. 1-147. Smithsonian Institution / Bureau of American Ethnology.
- Bolaños, C. (1988) "*Las antaras Nasca: historia y análisis*". Programa de Arqueomusicología del Instituto Andino de Estudios Arqueológicos, Lima.
- Bolaños, C. (1997) "Las flautas de Pan mochica y las botellas silbadoras norandinas", *Revista del Museo Nacional* 49, pp. 183-211.
- Carmichael, P.H. (2016) "Proto-Nasca art and antaras". *Ñawpa Pacha* 35(2), pp. 117-172.
- Civallero, E. (2012) "Flautas de Pan". *Revista Folklore fundación Joaquín Díaz*, Anuario 2012. <http://www.funjdiaz.net/folklore/anuarios/rf2012.pdf> (Acceso en diciembre 2019).
- Costa Moraes, C.A. (2018) "Documentação do Ortog On Blender". Disponible en [http://www.ciceromoraes.com.br/doc/pt\\_br/OrtogOnBlender/index.html](http://www.ciceromoraes.com.br/doc/pt_br/OrtogOnBlender/index.html). (Acceso Junio de 2019)
- Crespo, H. (1966) "Nacimiento y evolución de la botella silbato". *Humanitas* VI (1), pp. 66-87. Editorial Universitaria.
- Garrett, S. & Statnekov, D. (1977) "*Peruvian whistling bottles*". Disponible en: [www.peruvianwhistles.com/jasa.html](http://www.peruvianwhistles.com/jasa.html). (Acceso Junio de 2019).
- Gérard Ardenois, A. (2004) "Interpretación Acústica del Ayarachi Yura de los Museos Charcas". En: *Jornadas Arqueológicas - Primera Versión*, pp. 79-112. CIAR/Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca.
- Gérard Ardenois, A. (2010) "Diablos tentadores y pinkillus embriagadores en la fiesta de Anata/Phujllay" *Estudios de antropología musical del carnaval de los Andes de Bolivia*. Plural editores.
- Gérard Ardenois, A. (2011) "El sonograma: una representación práctica de los sonidos". *Revista Boliviana de Física* 18(18), pp. 37-49. UMSA.
- Gérard Ardenois, A. (2013) "Sonido tara en pifilas arqueológicas provenientes de Potosí". *Arqueoantropológicas* 3, pp. 27-58. Universidad Mayor de San Simón Instituto de Investigaciones Antropológicas y Museo Arqueológico.
- Gruszczynska-Ziółkowska, A. (2008) "Variedad sonora de las antaras nasca: ¿Un caos o el sistema?" *Revista Española de Antropología Americana* 39(1), pp. 145-168. Universidad Complutense de Madrid.
- Gruszczynska-Ziółkowska, A. (2009) "El cálculo perfecto. Tecnología y acústica del instrumento musical nasca". *Estudios Latinoamericanos* 29, pp. 293-308. Sociedad Polaca de Estudios Latinoamericanos, Polonia.
- Gudemos, M. (1998) *Antiguos sonidos. El Material arqueológico musical del museo Dr. Eduardo Casanova*. Instituto Interdisciplinario Tilcara.
- Gudemos, M. (1999) "La Arqueomusicología como disciplina de investigación". *Estafeta* 32. *Revista de Producción y Debate* 1, pp. 86-89. Córdoba.
- Gudemos, M. (2008) *Informe técnico Arqueomusicológico del Museo Nacional de Ciencias Naturales de La Plata*. La Plata, provincia de Buenos Aires.
- Gudemos, M. (2009) "Arqueomusicología andina". *Revista Española De Antropología Americana* 39(1), pp. 119-124.
- Hernández de Alva, G. (1938) "La Música indígena en Colombia". *Boletín Latino Americano de Música* IV. Bogotá.
- Howard, D. & Angus, J. (2009) *Acoustics and psychoacoustics*. Amsterdam London: Focal.
- Iglesias Rossi, A. (2008) "Geocultura, Investigación y Creación". En: *Teoría y Práxis en el Paradigma de la Universidad Nacional de Tres de Febrero*. Editorial Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja, Colombia.
- Klingbeil, M. (2005) "*Software for spectral analysis, editing, and synthesis*". International Computer Music Conference, ICMC.
- Lathrap, D. (1977) *El Ecuador antiguo. Cultura, cerámica y creatividad 3000-300 AC*. Chicago: Field Museum of the Natural History.
- Manga Chávez, D. (2010) "Proyecto Waylla Kepa: Organología prehispánica". *Arariwa* 5(9). Escuela Nacional Superior de Folklore José María Arguedas.
- Mansilla Vásquez, C. (2005) "Radiografiando instrumentos prehispánicos". *Arariwa* 2(4). Escuela Nacional Superior de Folklore José María Arguedas.
- Mansilla Vásquez, C.M. (2013) "El artefacto sonoro más antiguo del Perú: aclaración de un dato histórico". *Revista Española De Antropología Americana* 39(1), pp. 185 - 193.

- Mansilla Vásquez, C. (2018) "El Sistema Diatónico y Cromático en las Antaras Nasca: Las Trancas y Cahuachi". En: Sánchez Huaranga, C. (ed.). *Música y Sonidos en el Mundo Andino. Flautas De Pan, Zampoñas, Antaras, Sikus y Ayarachis*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Fondo Editorial.
- Mansilla Vásquez, C. (s.f.) *Patrimonio Sonoro Arqueológico. Su estudio y sistematización en el Perú*. Escuela Nacional Superior de Folklore José María Arguedas.
- Mead, Ch. (1924) *The musical instruments of the Incas*. American Museum press.
- Pelinski, R. (2000) *Invitación a la etnomusicología. Quince fragmentos y un tango*. Akal.
- Pérez de Arce, J. (1998) "Sonido Rajado: The Sacred Sound of Chilean Pifilea Flutes". *The Galpin Society Journal* 51, pp. 17-50.
- Pérez de Arce, J. (2004) "Análisis de las cualidades sonoras de las botellas silbadoras prehispánicas de los Andes". *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 9, pp. 9-33.
- Pérez de Arce, J. (2015) "Diaguita and Aconcagua Music". En: Eichmann, R., Jianjun, F. & Lars-Christian, K. (eds). *Studienzur Musikarchäologie IX Vorträge des 8. Symposiums der Internationalen Studienstudien Gruppe Musikarchäologie in Suzhou und Beijing, China, 20-25 Oktober 2012*, pp. 159-171. International Study Group on Music Archaeology, Leidorf.
- Pérez de Arce, J., & Gili, F. (2013) "Clasificación Sachs-Hornbostel de instrumentos musicales: una revisión y aplicación desde la perspectiva americana". *Revista Musical Chilena* 67(219), pp. 42-80.
- Sachs, C., & Moritz von Horbonstel, E. (1914) "Systematik der Musikinstrumente". *Berliner Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte* XLVI(4-5), pp. 553- 590.
- Sánchez Huaranga, C. (2015) "Los primeros instrumentos musicales precolombinos: la flauta de pan andina o antara". *Arqueología y Sociedad* 29, pp. 461-494.
- Tello, J. (1931) "Un modelo de escenografía plástica en el arte antiguo peruano". *WiraKocha. Revista peruana de estudios antropológicos* 1(1), pp.89-112.
- Vedova, A. (1969-70) *Culturas en la costa del Ecuador*. Guayaquil: Humboldt.
- Vega, C. (1946) *Los instrumentos musicales aborígenes y criollos de Argentina*. Buenos Aires: Centurión.
- Velo, Y. (1985) "Los vasos silbadores de la colección Dr. Emilio Azzarini". Manuscrito presentado en las *II Jornadas Argentinas de Musicología*. 2-5 de Octubre, Instituto Nacional de Musicología Carlos Vega. Buenos Aires.
- Wilson, Th. (1898) *Prehistoric Art; Or, The Origin of Art as Manifested in the Works of Prehistoric Man*, pp. 325-664. Report of the U.S. National Museum for 1896, Smithsonian Institution.
- Zeller, R. (1963-64) "Instrumentos y música de la cultura Guangala". *Publicaciones arqueológicas Huancavilca*, 3. Cromos y Segura.