

RESEARCH ARTICLE

**ESTRUCTURA ORGANOLÓGICA Y EFECTO SONORO DE UNA
BOTELLA ANTROPOMORFA DE TRIPLE ELIPSOIDE CON
DOBLE SILBATO DE LA CULTURA BAHÍA
DEL ECUADOR (600 A. C.-650 D. C.)**

*Organological Structure and Sound Effect of an Anthropomorphic Triple
Ellipsoid Bottle with Double Whistle from the Bahia Culture
of Ecuador (600 BC–650 AD)*

*Mónica A. Ayala Esparza,¹ Mónica M. H. Polanco De Luca,²
Tomás Espinosa,³ Arnaud Gérard A.,⁴ Bruna A. Regalado Díaz^{†,5}
Eduardo P. Estévez Ruiz,⁵ Patricio Jácome-Monar⁶*

¹ Universidad Central del Ecuador, Ecuador-Universitat Politècnica de València, España; ² Pontificia Universidad del Ecuador, Sede Ibarra, Ecuador-Universidad de Palermo, Argentina; ³ Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador; ⁴ Instituto de Investigaciones Físicas, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia; ⁵ Escuela de Ciencias Físicas y Nanotecnología, Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay, Ecuador; ⁶ Universidad Central del Ecuador, Ecuador; ✉ maayala@uce.edu.ec



Figura 1. Botella silbato antropomorfa de triple elipsoide comunicante con doble silbato de la cultura Bahía. Museo Antropológico y de Arte Contemporáneo (MAAC), Guayaquil, Ecuador, código GA-2-918-78. Fotografía: MAAC (2013).

Recibido: 28-5-2021. Modificado: 16-11-2021. Aceptado: 25-11-2021. Publicado: 12-12-2021.

Edited & Published by Pascual Izquierdo-Egea. Arqueol. Iberoam. Open Access Journal.
License CC BY 3.0 ES. <https://n2t.net/ark:/49934/256>. <http://purl.org/aia/4806>.

RESUMEN. *El objetivo de esta investigación es aproximar al lector al conocimiento de la cerámica, los materiales, la acústica y la simbología presentes en la botella antropomorfa de triple elipsoide comunicante con doble silbato de la cultura Bahía de la República del Ecuador mediante el estudio multidisciplinar del artefacto sonoro. En dicho estudio se planteó la aplicación de una metodología cualitativa y cuantitativa desarrollada a través de la investigación documental, complementada con técnicas de análisis de materiales en laboratorio, métricas acústicas, ensayos de posibilidades sonoras y producción de réplicas en arcilla. Estos aportes permiten definir la botella como un objeto acústico complejo en el cual confluyen múltiples conocimientos desarrollados durante más de mil años de evolución.*

PALABRAS CLAVE. *Botella silbato; cultura Bahía; acústica ancestral; Ecuador.*

ABSTRACT. *The purpose of this research is to bring the reader closer to the knowledge of ceramics, materials, acoustics and symbology present in the anthropomorphic bottle of triple communicating ellipsoid with double whistle of the Bahia culture of the Republic of Ecuador through the multidisciplinary study of the sonorous artifact. In this study, the application of a qualitative and quantitative methodology developed through documentary research, complemented with techniques of analysis of materials in the laboratory, acoustic metrics, tests of sound possibilities and production of clay replicas was proposed. These contributions allow us to define the bottle as a complex acoustic object in which multiple knowledge developed during more than a thousand years of evolution converge.*

KEYWORDS. *Whistle bottle; Bahia culture; ancestral acoustics; Ecuador.*

INTRODUCCIÓN

Investigaciones recientes relacionadas con este artefacto han sido publicadas en los artículos «The song of air and water: Acoustic experiments with an Ecuadorian Whistle Bottle (c. 900 BC–100 BC)» en la edición 52 de la revista virtual *Internet Archaeology* (Ayala *et al.* 2019), «Flautas arqueológicas del Ecuador» (Pérez de Arce 2015) y «Botellas silbato, sonidos ocultos en el tiempo» (Polanco *et al.* 2015). Además, hubo publicaciones anteriores como el artículo «Acciones de Achalai para la recuperación del patrimonio sonoro musical prehispánico» (Barrientos y Pérez de Arce 2013),¹ cuyo propósito se orientó hacia la recuperación del patrimonio inmaterial de tradiciones musicales. En este documento, la botella Bahía formó parte del corpus de objetos sonoros prehispánicos preseleccionados.

El estudio se basa en la investigación multidisciplinar, en el campo de la arqueomusicología, de la botella antropomorfa de triple elipsoide comunicante con doble silbato de la cultura Bahía (figura 1), perteneciente al periodo de Desarrollo Regional ecuatoriano. Este artefacto sonoro se encuentra en la reserva arqueológica del Museo Antropológico y de Arte Contemporáneo (MAAC) del Centro Cultural Libertador Simón Bolívar del Ministerio de Cultura del Ecuador, en la ciudad

de Guayaquil, codificado como GA-2-918-78. La botella cerámica forma parte de un conjunto de 2221 botellas, de las cuales 641 son botellas silbato y 115 de ellas pertenecen a la cultura Bahía.

Fue seleccionada por su sonido peculiar, determinándose que es un artefacto acústico en el que confluyen saberes, conocimientos, dominios técnicos cerámicos y prácticas culturales; razón por la cual, para ser analizada, demandó el aporte de varias disciplinas como la ceramología,² la mineralogía, la tecnología de materiales, la organología, la musicología, la física acústica y la arqueología (arqueomusicología). Este trabajo pretende contribuir a visibilizar las culturas ancestrales ecuatorianas y su manera holística de entender e interpretar el mundo.

En la cultura Bahía, el desarrollo de la cerámica, tanto técnico como de materiales, permitió la manufactura de este artefacto acústico de estructura organológica compleja, cuyos dispositivos sonoros son de forma cilíndrica (silbatos tipo flautas globulares que pertene-

² Ceramología: «Denominación que la hemos ideado en Condorhuasi para referirnos al conjunto de los conocimientos cerámicos de todo tipo (culturales y técnicos) globalmente considerados. La dividimos en tres grandes ramas o secciones: la ceramología científica (p. ej., análisis de arcillas y diagnóstico de materiales), la ceramología artística (confección de obras y su estética) y la ceramología cultural (estudio de la cerámica arqueológica, folklórica, etnográfica, etc.). Son tres grandes aspectos de la misma entidad. Los tres aspectos se complementan mutuamente» (Fernández 2007: 205).

¹ Investigadores de la Comisión Acústica Prehispánica de la Comunidad Achalai, perteneciente a la Red de Cooperación Latinoamericana de Redes Avanzadas (RedCLARA).

cen a la familia de las flautas con sonido de bisel). Ambos silbatos tienen alturas de sonido ligeramente diferentes, por lo que al sonar juntos provocan batimiento o pulsaciones que permiten inferir que se trata de un efecto absolutamente deseado y programado por los constructores.

Las posibilidades acústicas de esta botella permiten producir sonidos por insuflación, así como por movimiento basculante longitudinal y lateral del agua contenida en su interior. Este fenómeno físico acústico podría ser interpretado actualmente desde las leyes de la Física a través de los principios de la mecánica de fluidos y la hidrodinámica. El manejo de estos conocimientos empíricos, estudiados hoy en día por la ciencia, al parecer, eran aplicados de manera cotidiana ancestralmente.

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten interpretar que dicho objeto fue concebido, en un evidente proceso de desarrollo experimental sistemático, como instrumento musical y construido con dominio en el manejo de las arcillas y con técnicas de precisión ingenieril. Esto posibilita confirmar que los miembros de la cultura Bahía no solo poseían conocimientos relacionados con la cerámica y sus materiales, sino también con los instrumentos musicales y la fina tecnología de los sonidos de bisel. Eso les permitió dominar la precisión de sus características y lograr un sonido autónomo deseado.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló desde una perspectiva multidisciplinaria cualitativa y cuantitativa. Como método cualitativo se aplicó el análisis de contenido a través de la revisión documental y bibliográfica que permitió ubicar el contexto temporal-espacial, cultural y simbólico del objeto. En el trabajo de campo se utilizaron métodos con enfoque etnográfico: técnicas empíricas de observación participante moderada, historia oral, historia de vida y entrevistas semiestructuradas aplicadas a personas dedicadas al quehacer cerámico que construyen actualmente botellas silbato. También se aplicó el análisis descriptivo para caracterizar el artefacto desde la morfología y sus propiedades.

La investigación cuantitativa se orientó hacia la exploración de la estructura sonora; para lo cual, en el laboratorio de la Facultad de Artes de la Universidad Central del Ecuador, se realizaron cuatro réplicas en cerámica, lo que llevó a interpretar posibles métodos

de manufactura. Esta experimentación se inició con el estudio formal, métrico y de rayos X de la pieza original, previa autorización de los funcionarios de la reserva del MAAC. Se realizaron ensayos en las réplicas de cerámica para determinar las características organológicas del objeto en base a las etapas evolutivas de la botella silbato planteadas por Crespo (1966). Para conocer los materiales y grados de temperatura de cocción, se aplicó el análisis petrográfico de fragmentos cerámicos atribuidos a esa cultura. El estudio físico acústico de la botella original y de la réplica se realizó en *Acústica Studio Lab* de Potosí, Bolivia, donde se investigó la sonoridad de los objetos.

LA CERÁMICA EN EL PERIODO DE DESARROLLO REGIONAL

Para Estrada (1962), este periodo reflejó un gran adelanto de esas colectividades en lo social, económico y cultural. El autor comparó este importante y repentino cambio con las transformaciones culturales y sociales que produjo la Revolución Industrial en la segunda mitad del siglo XVIII. En cambio, Evans y Meggers (1965) consideran que:

En muchos aspectos, este período se lo puede comparar con el Floreciente del Perú o el Clásico Mesoamericano, porque en esos tiempos la cerámica llegó a su más alta expresión artística; artes y técnicas sobresalieron, y figurinas nos dan la evidencia indirecta de un desarrollo en los aspectos culturales menos tangibles, como en lo social y ceremonial. No obstante que las culturas regionales se difieren mucho entre sí en su complejidad, un aire de unidad se encuentra en todas ellas, en la decoración cerámica a base de blanco-sobre-rojo y pintura negativa, y en varias formas distintivas de las vasijas (p. 4).

Holm (1961) propone que en las culturas del Desarrollo Regional existió una verdadera industria de producción de figurillas de distintos tamaños, llegando a la elaboración masiva y seriada mediante la utilización de moldes y sellos. Esta práctica continuó desarrollándose hasta el contacto con la cultura occidental. Para el autor, el uso de los moldes en el Ecuador prehispánico se puede observar en la fabricación de figurillas y máscaras para las vasijas antropomorfas, pero no en la producción de vasijas enteras.

Ortiz (1981) plantea que estas transformaciones sociales permitieron el perfeccionamiento técnico y el

desarrollo creativo de la cerámica. Este hecho facilitó la diversificación de las representaciones plásticas en los diferentes objetos, como los aspectos de la vida cotidiana, la estratificación social, los sacerdotes, los guerreros, los gobernantes y el pueblo, las prácticas de culto religioso, los objetos ceremoniales y cotidianos o los instrumentos sonoros, entre otros. La mayor necesidad de recipientes para guardar alimentos fue satisfecha con la fabricación masiva de los mismos. Para el autor, posiblemente, existieron centros de producción alfarera dedicados también al trueque de productos.

Las técnicas cerámicas utilizadas en este periodo fueron abundantes y diversas. Según Ortiz (1981), entre las principales aplicadas a la elaboración de objetos, están el moldeado y el acordelado. En acabados cerámicos distingue el pastillaje, el alisado, el pulido, las impresiones, los engobes, el bruñido, las incisiones, las excisiones, el esgrafiado, la pintura de poscocción, la pintura negativa y los policromados, entre otras.

La técnica de manufactura cerámica del acordelado se utilizó posiblemente para modelar objetos contenedores, especialmente vasijas. Esta técnica consiste en enrollar cordeles de arcilla de manera sucesiva, según la forma deseada, para luego alisarlos con la ayuda de una herramienta. Otra técnica, a la que hace alusión Ortiz, es el «falso torno», que consiste en aplicar y presionar una placa de arcilla sobre o dentro de un objeto cerámico, orgánico o lítico, cóncavo o convexo, para copiar su forma. Este molde facilita el movimiento y permite construir objetos semiesféricos. Como resultado, se consigue un objeto contenedor moldeado en arcilla; cuando este está en estado semirrígido, se pueden añadir cordeles para seguir construyendo objetos de tamaños y formas diferentes, como vasijas, ponedos, tinajas, entre otros; de esta manera se viabiliza la producción masiva de ese tipo de objetos.

Gartelmann (2006) resalta que fue «probablemente en Manabí donde se produjo una transición directa de Valdivia a Chorrera y, más tarde, de Chorrera a Bahía» (p. 175). Descartando las divisiones técnicas aplicadas por los arqueólogos, considera que es notoria la continuidad a través de toda la prehistoria ecuatoriana, proceso evidente en la continuidad de la calidad y abundancia de los objetos cerámicos.

Para dicho autor, esta cultura adoptó las prácticas tradicionales del Formativo combinándolas con elementos nuevos. De Chorrera tomó la pintura iridiscente y las formas de ciertos objetos tales como tazas de borde invertido y botellas con vertedero sujeto a un asa; otros elementos, como el embellecimiento humano en los

hombros y decoraciones geométricas, provienen de Machalilla.

Según el autor, la cultura Bahía continuó, por motivos religiosos, con la producción a gran escala de figuras humanas. Esta masificación de la producción, al parecer, estuvo sostenida por una sociedad organizada que contaba con abundantes recursos económicos. Eso originó la clasificación de las piezas por las características más sobresalientes; entre ellas están las figuras del tipo La Plata sólido y La Plata hueco, las cuales fueron decoradas con diseños geométricos después del cocimiento. El autor hace referencia a algunos investigadores, quienes han sugerido que estas representaciones podrían tratarse de vestidos; otros las han interpretado como pintura corporal.

En cuanto a la técnica de elaboración de figuras huecas, resalta la posible utilización de una muñeca de trapo como soporte para el modelado, por cuanto se pueden observar huellas de tejidos en el interior de los objetos. Como distintivos de la cerámica Bahía, hace referencia a los bordes de los objetos que se hacían por medio de muescas, perforaciones o incisiones que, al parecer, se llenaban con pigmentos de diferentes colores después de la cocción (rojo, amarillo, negro y verde).

Menciona, como características de la cerámica de Bahía, la pintura negra y roja sobre un fondo natural o blanco y superficies de engobe pulido rojo. Plantea que los colores negro, rojo y amarillo fueron los más utilizados; dice que también hay evidencias de uso del blanco, el rosado y el verde. Gartelmann (2006), cuando cita a Estrada (1962), se refiere a la delicadeza o fragilidad de la pintura poscocción, lo cual podría indicar que dichos objetos eran de uso estrictamente ceremonial, argumento que no podría confirmar. Sin embargo, lo que le llama mucho la atención es la abundancia y variedad de objetos cerámicos relacionados claramente con el culto.

En relación al arte cerámico desarrollado en este periodo, Gartelmann argumenta que, contrariamente a lo difundido sobre el artista ancestral, este personaje fue generalmente un profesional. En este contexto resalta el arte visual, el cual estaba reservado para profesionales que producían bajo las directrices de un patrón exigente y con conocimientos (un cacique, una persona de alto rango o un representante de los sacerdotes), enmarcando su obra bajo criterios tradicionales.

Finalmente, mediante la observación de algunos productos cerámicos, se pudo determinar que, además de la técnica del cordel, se utilizaron técnicas como la del «falso torno» y la de placas de arcilla que facilitaron la

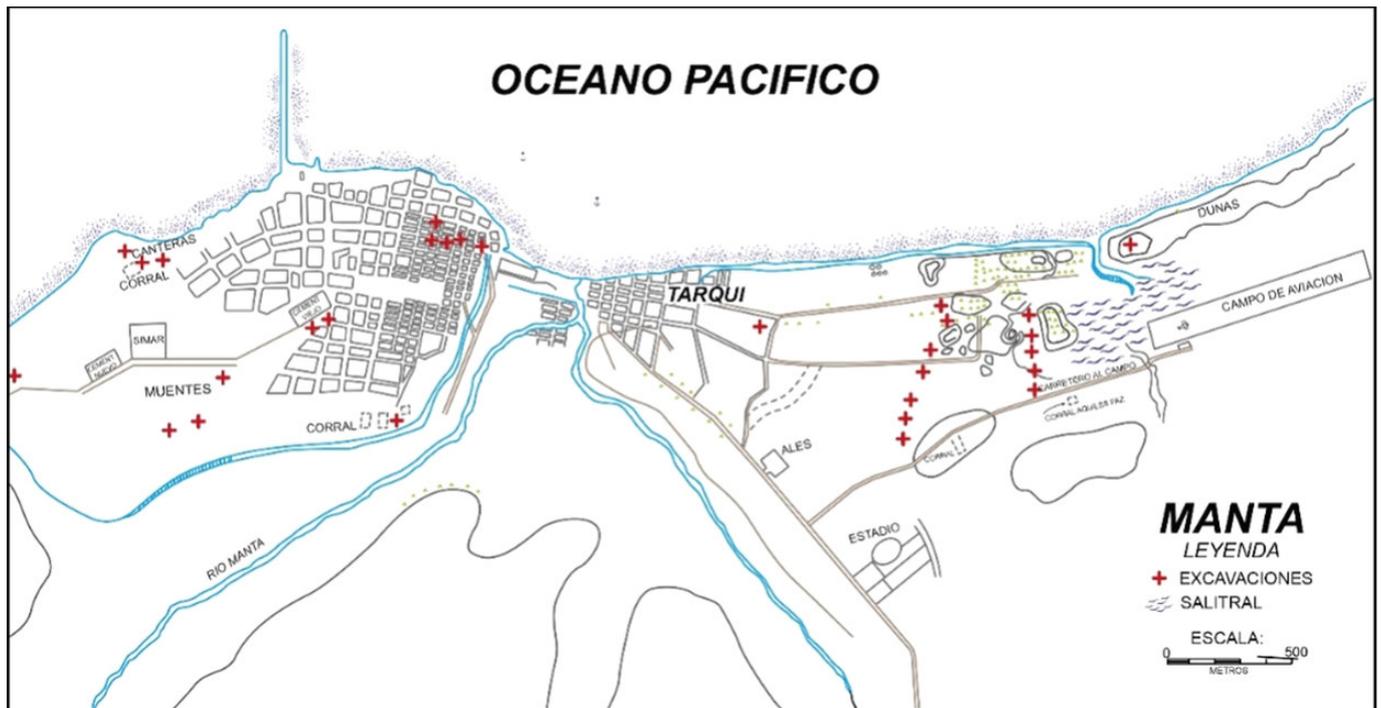


Figura 2. Plano de excavaciones realizadas en los sitios Manta, Tarqui y Los Esteros (Estrada 1962). Rediseñado por Raymi Gómez (2014).

masificación de la producción. Asimismo, aparecieron o se desarrollaron otras técnicas de manufactura o acabados estéticos que permitieron un mayor despliegue de formas en los objetos conforme a la función cultural que desempeñaban como artefactos ceremoniales, rituales, suntuarios, de uso doméstico, etc.

Al hacer referencia a los autores citados, se puede visibilizar el gran aporte cultural de Bahía a través de las distintas expresiones plástico-artísticas; resaltando la creatividad, el dominio técnico y la función social evidente en los objetos cerámicos encontrados. Son prácticas que destacan a Bahía como una de las más importantes culturas del periodo de Desarrollo Regional.

CULTURA BAHÍA: CONTEXTUALIZACIÓN TEMPORAL-ESPACIAL

Varias fueron las culturas que se manifestaron en la costa ecuatoriana durante el periodo de Desarrollo Regional. Meggers (1966) las describe de norte a sur como Tolita, Tiaone, Jama Coaque, Bahía, Guangala, Daule, Tejar y Jambelí. Blasco y Ramos (1976) comentan que el nombre «Bahía» tiene su origen en el escrito del profesor Huerta Rendón denominado «Una civilización precolombina en Bahía de Caráquez» (p. 43). La cultura Bahía se asentó en casi toda la provincia de

Manabí, delimitando al norte con Bahía de Caráquez, al sur con la provincia de Guayas, al este con las estribaciones de la cordillera occidental y al oeste con el océano Pacífico. En 1960 esta zona —específicamente en los sitios Manta, Tarqui y Los Esteros (figura 2)— fue arrasada para construir en su lugar una urbanización y, posteriormente, dar paso a lo que hoy constituye el puerto de Manta. Fue en el sector de Los Esteros donde la remoción de tierras permitió encontrar piezas de la cultura Bahía (Estrada 1962), entre ellas la botella del presente estudio.

También se debe considerar el espacio insular comprendido por la isla de La Plata, territorio no de asentamiento sino de ritualidad religiosa, que Meggers (1966) menciona como extensión de la zona y Carlucci (1966) lo ratifica, fortaleciendo la teoría sobre los desplazamientos marítimos de las culturas de la costa ecuatoriana y sus incursiones, entre ellas en la isla de La Plata. Para Marcos y Norton (1981) fue un centro ceremonial, probablemente relacionado con el culto de lo marítimo y/o lugar de peregrinaciones.

Las evidencias de objetos líticos recuperados como ofrendas, cuentas de piedras semipreciosas, anzuelos no utilizados, multitud de silbatos y flautas, así como personajes que se asemejan a sacerdotes (algunos de ellos con serpientes en brazos y manos) recuperados en la isla, junto a la ausencia de indicios de viviendas, per-

miten interpretar que esta zona no fue poblada por la cultura Bahía (Gutiérrez 2011). El autor destaca vestigios de la cultura Bahía encontrados en la isla de La Plata, Salango, Loma Alta, Tarqui, Los Esteros, Véliz, La Sequita (o Pepa de Huso). En todos estos sitios se evidencian estratificaciones de varias fases culturales, incluida la incásica.

En cuanto a la situación climatológica, Gutiérrez (1998) plantea que la zona de asentamiento de la cultura Bahía estaba limitada por una barrera climática y fitogeográfica, dependiente de la extensión más norteña de la corriente de Humboldt junto a la línea de la costa (actualmente Bahía de Caráquez), provocando bajas precipitaciones (250-500 mm) y dando lugar a una estación seca que actualmente se observa en su vegetación al recorrer el territorio (el bosque seco es una característica de la zona).



Figura 3. Mapa de los montículos de Esteros (Estrada 1962: 195). Adaptación: Mónica Polanco.

BOTELLA ANTROPOMORFA DE TRIPLE ELIPSOIDE COMUNICANTE CON DOBLE SILBATO DE LA CULTURA BAHÍA

La botella original objeto de este estudio (figura 1) consta en los registros de Estrada (1962) como rescatada de la remoción de tierras en Los Esteros en 1960, quien se refiere a ella como una de las más bellas piezas arqueológicas del país. En el mismo texto comenta que se realizó una última excavación estratigráfica (figura 3), pero no aclara si fue allí donde fue encontrada. En el inventario administrativo del Centro Cultural Simón Bolívar de Guayaquil, depositario de esta pieza, se la describe como compra. Al parecer, este objeto formó

parte de la colección que se adquirió a la familia de Emilio Estrada en el año 1978.

Gartelmann (2006) resalta la belleza de este objeto ceremonial y la describe como:

... una botella silbato de tres cuerpos. Los tres recipientes globulares se encuentran dispuestos en forma de un triángulo y están conectados entre sí por medio de asas-puentes y tubos que permiten el paso del líquido del recipiente de entrada a los dos restantes. Uno de los recipientes lleva el vertedero, mientras que los otros dos sirven de base para dos figuras de brujos o sacerdotes ricamente adornados que llevan en sus manos grandes serpientes. La decoración de esta pieza es espectacular: los recipientes tie-

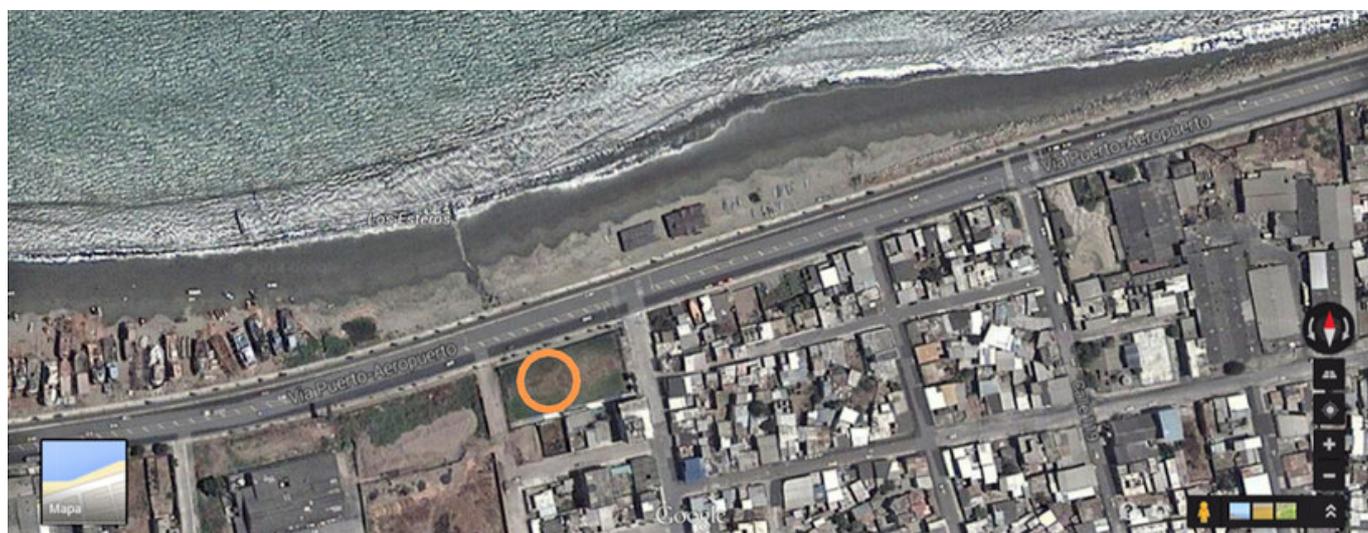


Figura 4. Detalle del sector señalado por Carrillo. Fuente: *Google Maps*. Elaboración: Mónica Polanco (2014).

Tabla 1. Funcionalismo y evolución de la botella silbato (tabla adaptada a partir de la propuesta de Crespo 1966). Elaboración: Mónica Ayala.

Funcionalismo y fases de evolución de la botella silbato						
1600-800 A.C. Cultura Machalilla			900-100 A.C. Cultura Chorrera			500 A.C.- 650 D.C Cultura Bahía
Botella simple	Botella con orificio	Botella con asa	Botella silbato	Botella silbato incorpora otros elementos plásticos	Polifonía	Vaso triple silbato
	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3 *	Etapas 4 *	Etapas 5 *	Etapas 6 * ²
						
Botella simple para transportar líquidos. Cumple la función de mantener la frescura del contenido, pero presenta dificultad al momento de vaciar el mismo.	Orificio pequeño, en la pared superior de la botella, que permite el vaciado continuo del líquido por la presión del aire que ejerce al interior.	Asa de medio arco que une el gollete o cuello con el cuerpo de la botella; facilita el transporte manual del recipiente. La presión del aire al salir produce pequeñas ráfagas de aire que fueron aprovechadas para, posteriormente, producir sonido.	Se incorpora al asa una "pequeña caja de resonancia" o silbato parecida a la que ya tenían los silbatos (otros instrumentos sonoros) y "la botella canta" (Crespo. 1966:9)	A más de la funcionalidad se ensayan formas plásticas zoomorfas y antropomorfas con diversos tipos de decoraciones. Se aplica una "doble caja de resonancia" y con gran maestría se imitan sonidos de aves, monos, ranas, etc.	Aparecen las botellas con doble vaso. El silbato es cubierto por una sordina que posee perforaciones las mismas que permiten modular el sonido.	Botella de tres cuerpos globulares, con doble silbato y con posibilidades polifónicas.

Adaptado a partir de la propuesta de Hernán Crespo (1966) sobre la evolución de la botella silbato.

* Etapas que fueron consideradas para la elaboración de los ensayos de laboratorio 3, 4, 5 y 6.

Fotografías: Mónica Polanco (etapas 3 y 4), Ayala *et al.* (2019, etapa 5) y MAAC (etapa 6).

nen un acabado de pintura iridiscente; las dos figuras, en cambio, fueron decoradas después de la cocción con la ya mencionada pintura fugitiva en seis diferentes colores: blanco, negro, rojo, amarillo, verde y rosado (p. 203).

En entrevista realizada a Carlos Carrillo (2014), pescador oriundo de la zona que confirmó el hallazgo del objeto, argumentó que varias figuras aparecieron en ese canchón, espacio que actualmente es un campo de fútbol (figura 4). Esto permite establecer, según los registros de Estrada, una posible ubicación de la zona de los yacimientos arqueológicos que fueron arrasados.

La coincidencia de los datos del hallazgo (1960) y el testimonio del señor Carrillo (2014) mencionando datos sobre el año y el lugar, sumado a los antecedentes que muestra Estrada en el corte estratigráfico del montículo «A», nos aproxima a la ubicación de este artefacto, mas no la confirma. Se sabe que existen tres objetos similares en la reserva del Museo del Banco del Pacífico, en la ciudad de Guayaquil, a la que no hemos teni-

do acceso, así como tres botellas en la reserva del Museo Nacional en Quito. Estas últimas fueron revisadas en una ocasión, notándose similitud con el objeto de estudio, principalmente en lo formal. Sin embargo, son de menor tamaño y una de ellas se encuentra fragmentada; en esta última se pudo corroborar la forma cilíndrica del silbato. Cabe recalcar que la botella analizada en esta investigación es la más interesante a nivel estético. Dentro de la estética sonora se han producido botellas silbato con una y dos representaciones antropomorfas; estas últimas producen sonidos *polifónicos* batientes o pulsantes. Ese tipo de sonidos «dobles» también se encuentra —en culturas como las de Perú, Bolivia y Chile— en otros objetos sonoros como flautas, silbatos y *antaras*, entre otros.

Para explicar, de manera secuencial y cronológica, la evolución de la botella silbato planteada por Crespo (1966), se cita y traduce del inglés al español la tabla publicada por Ayala *et al.* (2019). En ella se puede identificar la botella antropomorfa de triple elipsoide co-



Figura 5. Botella antropomorfa de triple elipsoide comunicante con doble silbato.
Fotografía: Reserva Arqueológica, Ministerio de Cultura, Guayaquil (2013).

municante con doble silbato de la cultura Bahía como el último eslabón del mencionado proceso evolutivo denominado etapa 6 (ver tabla 1).

Con la finalidad de conseguir un acercamiento al posible método de elaboración y producción de sonido de este objeto, en el Laboratorio de Cerámica de la Facultad de Artes de la Universidad Central del Ecuador, se realizaron réplicas de la botella antropomorfa de triple elipsoide con doble silbato de la cultura Bahía.

Estas réplicas se llevaron a cocción en un horno eléctrico a 1040°, consiguiéndose una cerámica dura que facilitó las pruebas sonoras con agua. Las técnicas que se usaron en el laboratorio, para los ensayos y la producción de estos objetos, fueron el acordelado y una adaptación del «falso torno» (placas de arcilla sobre moldes preestablecidos).

Características morfológicas

Se realizó un primer acercamiento al objeto de estudio mediante el análisis físico de la botella original (figura 5), en la cual no se observaron manifestaciones de

desgaste por manipulación. Se detectó una rotura y posterior restauración en el asa y en una de las ramificaciones del conducto que articula uno de los glóbulos pequeños. Se presume que esto pudo producirse en el momento de la extracción arqueológica por cuanto están todos los fragmentos perfectamente unidos. La rotura y posterior restauración no afecta al resultado sonoro, ya que la función que cumple el conducto es la de permitir la circulación del aire hacia los aeroductos para que se produzca el sonido al contacto con los silbatos. Existen unas pequeñas rayas en el cuerpo globular grande que afectan al bruñido, lo que permite decir que se produjeron con seguridad en un momento posterior a la cocción. El resto de la pieza aún conserva los colores (verde, blanco, amarillo ocre, rojo, rosado, negro y el color natural de la arcilla) que se aplicaron antes de la cocción.

Hay huellas de pigmentos, especialmente en los dos cuerpos globulares y en los personajes, que manifiestan desprendimiento, lo que ha hecho suponer a algunos autores que fueron coloraciones de poscocción. Desde nuestra perspectiva argumentamos que podría

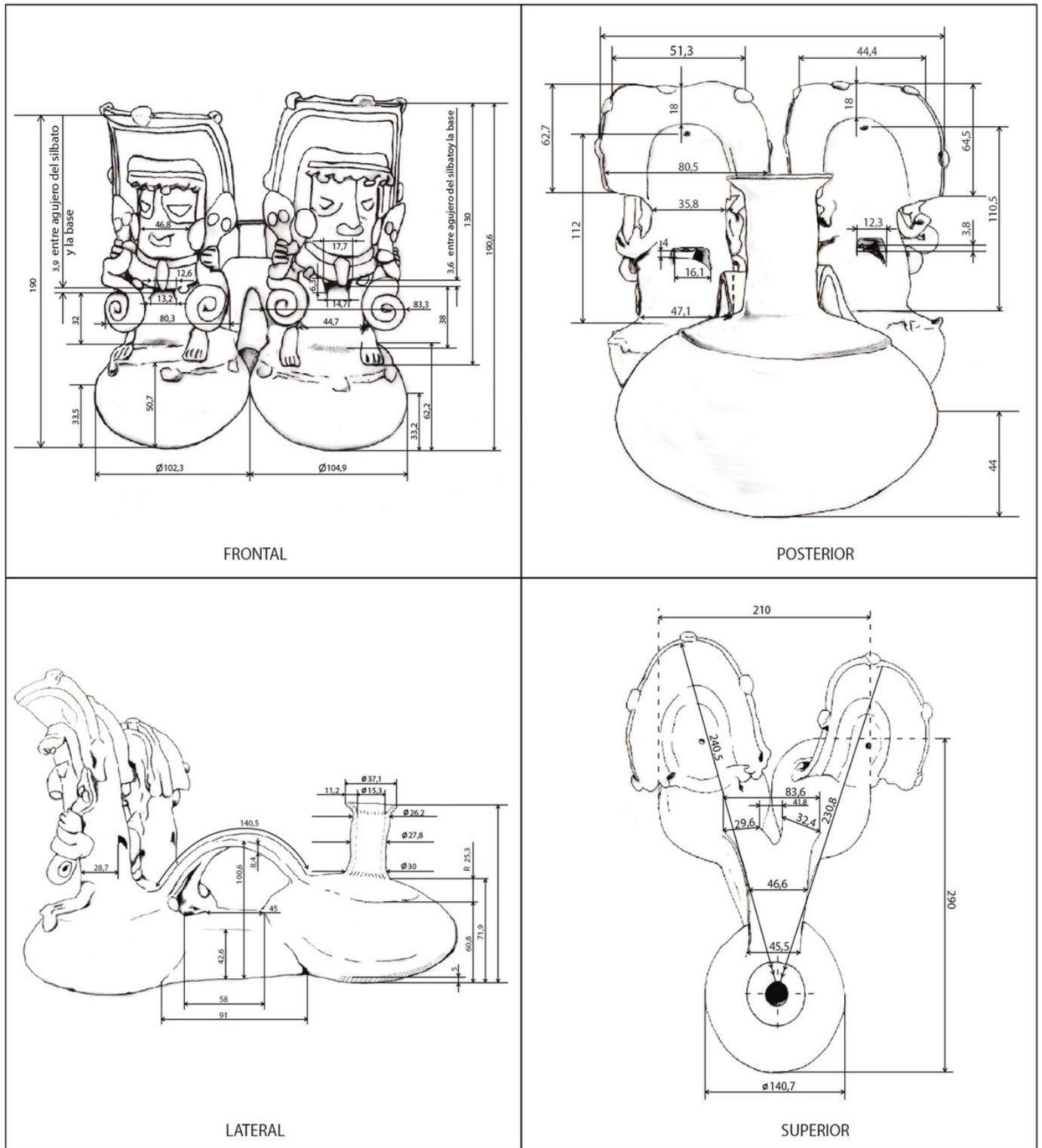


Figura 6. Detalle métrico de la botella antropomorfa de triple elipsoide comunicante con doble silbato (mm). Largo total: 295 mm; altura máxima: 196 mm (base del recipiente pequeño al borde superior del personaje más alto); ancho mayor: 190 mm (borde externo de los penachos). Dibujos: Luis Zabala (2018).

ser un engobe aplicado en *estado de cuero* (antes de la cocción) y que los craquelados presentados se deben a la diferencia de contracción que tiene el engobe en relación a la arcilla del objeto, en este caso arcilla terracota con arcilla blanca, lo que ocasiona dichos desprendi-

mientos. En esta botella se pueden identificar los siguientes componentes: tres cuerpos elipsoidales, uno grande y dos pequeños; un gollete de mediana altura de forma cilíndrica que termina en un borde diagonal abierto que emerge del centro del glóbulo mayor; un

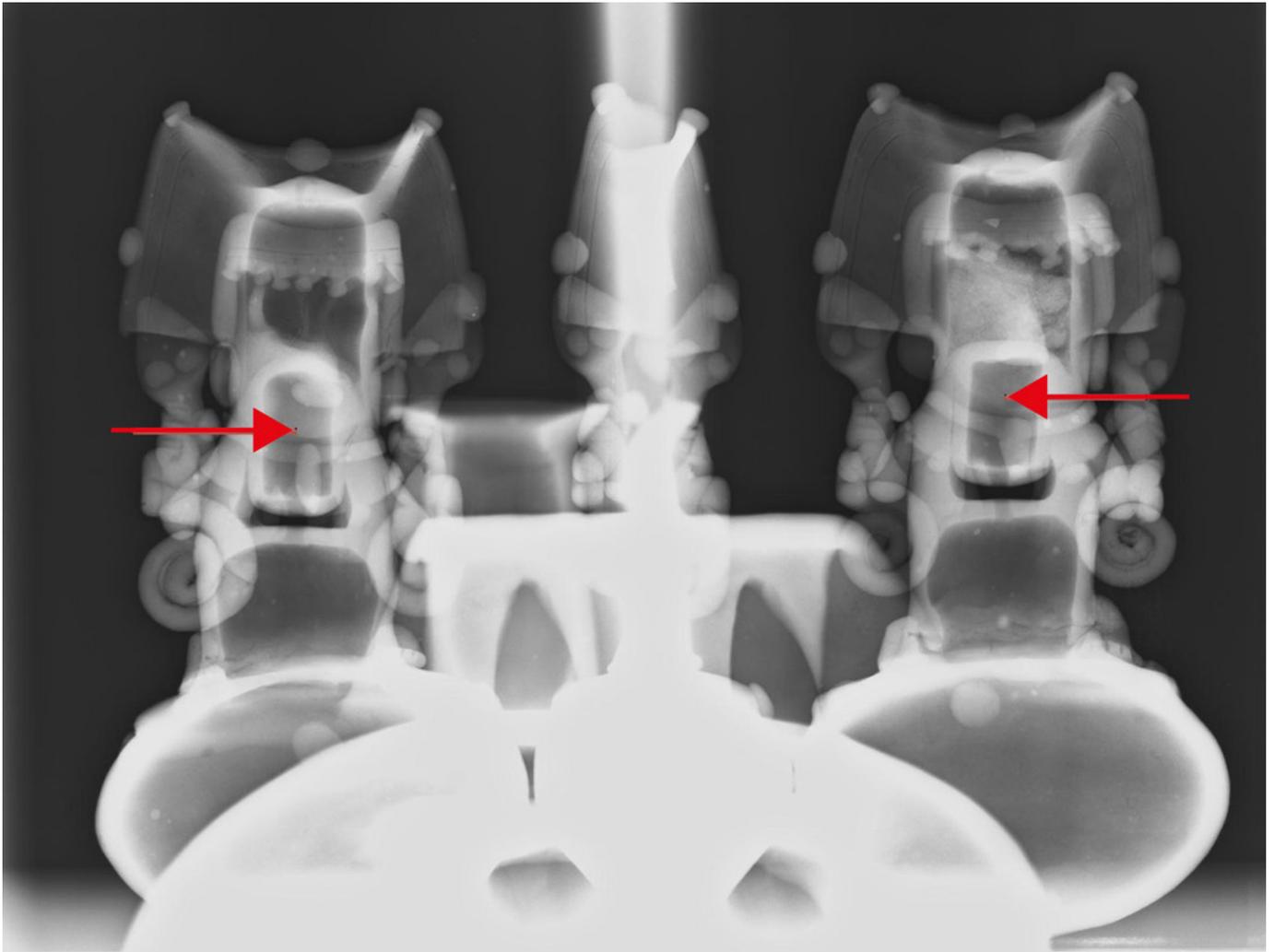


Figura 7. Rayos X. Vista posterior con énfasis en los personajes derecho e izquierdo. Aquí se observa la forma cilíndrica de los silbatos. Imagen cortesía de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra (2013).

asa puente curvada, de estructura plana y en forma de Y, que sale del elipsoide mayor hacia los dos glóbulos pequeños; un conducto principal, también en forma de Y, de estructura cuadrangular volumétrica que, de igual forma, une los tres cuerpos elipsoidales. Sobre cada uno de los recipientes más pequeños descansa un personaje adornado con tocado, orejeras, nariguera, collar con pendiente en forma de colmillo y con una serpiente en cada mano. Tiene una postura sentada con los pies reposando sobre los recipientes elipsoidales más pequeños (figura 6).

Esquema métrico

Crespo (1966) se refiere a esta como un vaso «triple silbato». Sin embargo, después de haber realizado el estudio de las imágenes de rayos X, se determinó que esta botella de triple elipsoide contiene únicamente dos silbatos (figura 7).

En las imágenes se puede observar que los dos silbatos se encuentran ocultos en la parte de la cabeza y el cuello de los dos personajes. Estos resonadores son de forma cilíndrica con diferencias mínimas de tamaño entre sí y permiten la circulación del aire que produce el sonido, de tal manera que su forma es considerada como una contribución importante de esta cultura a la estructura morfoacústica de las botellas silbato; a diferencia de la forma esférica del silbato estudiado en el artículo de Ayala *et al.* (2019) y de otras botellas mencionadas en las investigaciones realizadas por Pérez de Arce (2004, 2015).

Detalles estético-simbólicos

Arroyo (1995) afirma que «en Bahía aparecen y proliferan los símbolos asociados a la serpiente y el felino con un sentido mágico religioso fuertemente marcado». Mackenzie (2002), cuando cita a Brinton, hace men-

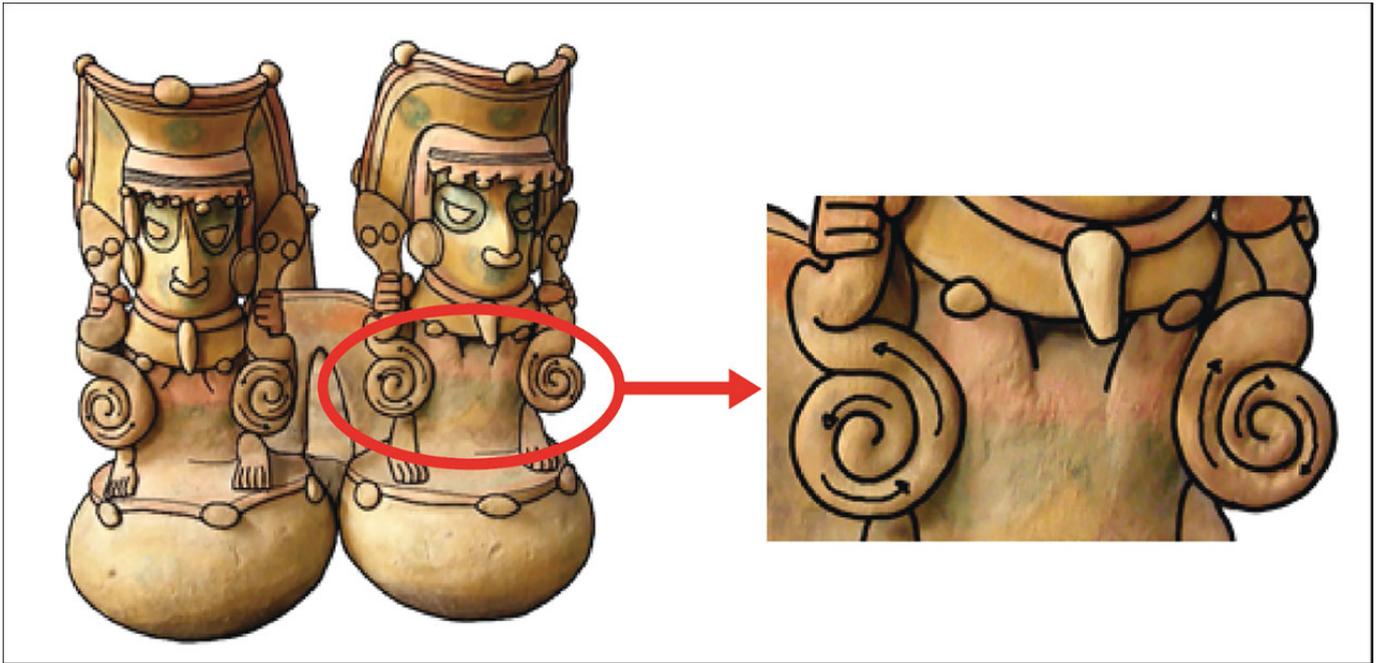


Figura 8. Detalle del movimiento de las serpientes. Fotografía: Mónica Polanco. Adaptación: Raymi Gómez (2014).

ción al valor simbólico de una vasija como objeto contenedor de agua y conservador de la vida. Hace alusión a que, en el Perú, las vasijas son símbolos de lluvia. Además, resalta la presencia de la serpiente en las mitologías precolombinas. Brinton compara la morfología serpenteante del relámpago con la forma sinuosa del recorrido de los ríos y considera que ese podría ser el argumento para determinar el simbolismo de la serpiente como dios del agua o del río, interpretación practicada en el viejo y nuevo mundo (p. 58). En la botella analizada, sobre los cuerpos globulares pequeños, se observa la disposición de las serpientes en manos de los personajes a manera de bastón de mando. El enrollamiento de los ofidios llama la atención, pues tres de ellos giran en sentido inverso a las agujas del reloj y el último lo hace en sentido contrario (figura 8).

A criterio de Ileana Almeida (2015), ambos personajes representados podrían ser chamanes entablando un diálogo presente en los sonidos, que simbolizaría el mito universal dualista de los gemelos. Los estudios llevados a cabo por Toporov *et al.* (2002) señalan que, en la organización social de las tribus más arcaicas, la estructura del mundo se describe mediante parejas de símbolos o rasgos opuestos entre sí. En este caso, los gemelos no son idénticos. Almeida refiere que existe en la dualidad una relación de jerarquía (los personajes difieren en tamaño, así como en el sentido de las colas de las serpientes-bastones de mando). Desde la postura de la cosmovisión andina, Milla (1991) comparte y

refuerza este enunciado: la complementariedad pertenece a un orden integrador, es el equilibrio entre los polos de la unidad.

Diagnóstico de materiales

Para tener un acercamiento más concreto al objeto como resultado del conocimiento técnico y de los materiales cerámicos que tenían los antiguos pobladores de la cultura Bahía, se realizaron diferentes análisis en los laboratorios de la Facultad de Geología de la Universidad Central del Ecuador y en el de la Escuela Politécnica Nacional.

Desde un estudio mineralógico, se considera que las posibles técnicas analíticas usadas para productos cerámicos, en la mayoría de los casos, deben ser seleccionadas en función de los objetivos. Por lo tanto, en esta investigación se aplicó la microscopía mediante luz polarizada en secciones delgadas. Esto permitió diagnosticar la porosidad y los materiales utilizados con sus porcentajes.

Las reacciones fisicoquímicas detectadas en las muestras, como consecuencia de la temperatura, posibilitaron caracterizar a las mismas. Para este estudio se utilizaron fragmentos de cerámica precolombina calificados por los expertos como pertenecientes a la cultura Bahía, además del fragmento de una réplica de botella silbato creada en el laboratorio de cerámica de la Universidad Central del Ecuador.

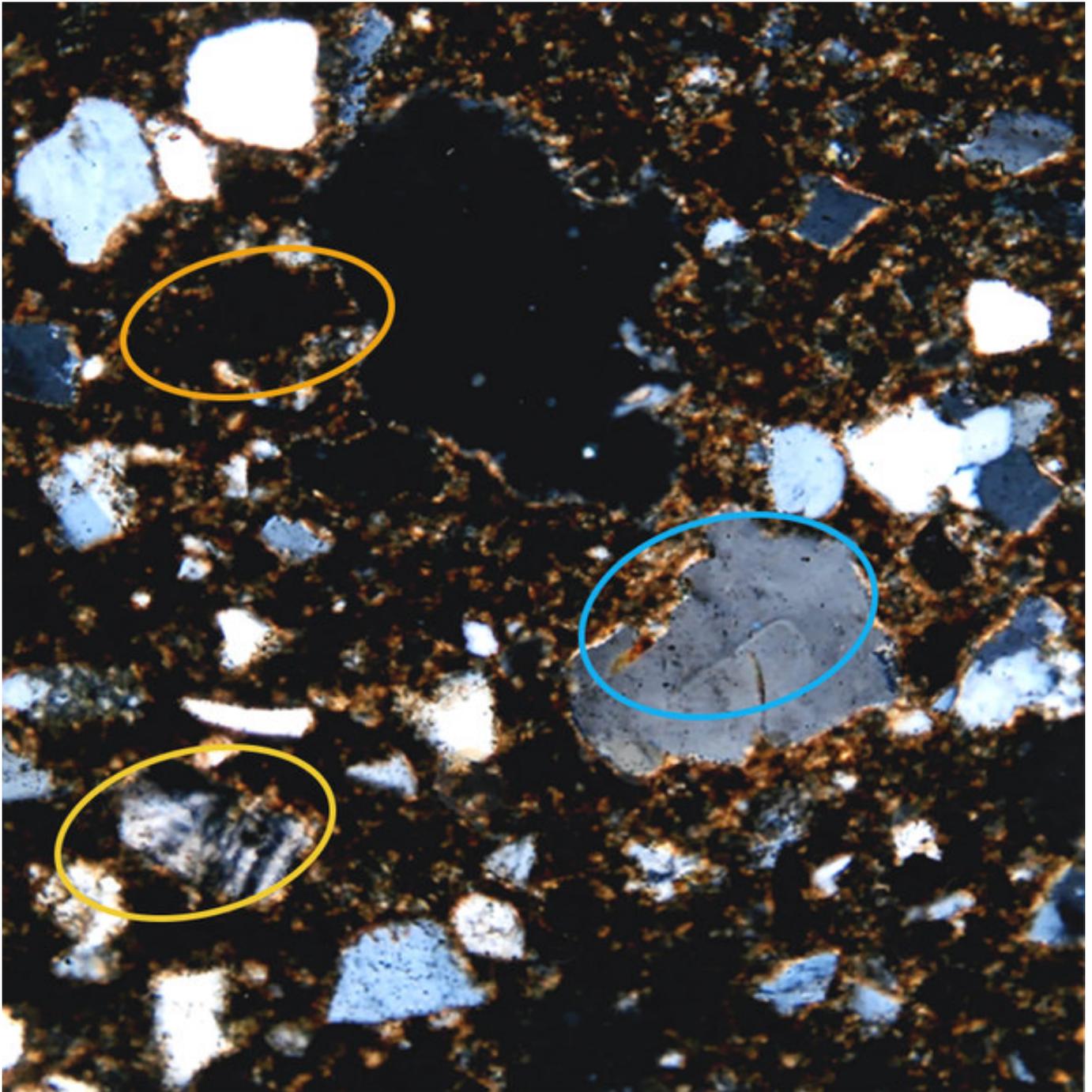


Figura 9. En sección delgada, se observa la presencia de detritos de minerales, vidrio, material de reacción y poros variables en tamaño y forma: cuarzo (resaltado en azul), bordes curvos y angulares propios en su estilo de fractura; plagioclasa maclada (resaltado en amarillo), bordes rectos propios en su estilo de *clivaje*; vidrio (resaltado en naranja), en negro por extinción propia de material amorfo y ubicado junto a poro, también negro, propio de la luz en condición de nicols cruzados; mullita, material de reacción, policristalino, de dominio a manera de corona en granos en general e interior de poros. Área: 0,7 × 0,5 mm. Técnica utilizada: microscopía petrográfica, nicols cruzados. Autor: Tomás Espinosa.

En el estudio petrográfico de los fragmentos de cerámica precolombina seleccionados, en base al análisis visual, se observaron paredes de color café claro y superficies con acabado suave al tacto y de espesores homogéneos comprendidos entre 4 y 6 mm. En la superficie de fractura se distinguieron granos finos, aunque

en bajo porcentaje, reconocibles por presentarse en color blanco, los cuales son definidos en el estudio microscópico como plagioclasas. Sin dificultad, a raíz de su brillo, translucidez y fractura, se reconoce la presencia de cuarzo. La microporosidad se manifiesta con preferencia en forma elongada; la matriz es de difícil carac-

terización. El análisis microscópico (figura 9) ratifica las observaciones visuales ya descritas. La imagen fotográfica captada con nicoles cruzados permite, en base a las propiedades ópticas, distinguir fases cristalinas (minerales), fase amorfa (vidrio) y poros: 1) cuarzo, que se presenta con buena distribución espacial y de color gris en varias intensidades, derivado de la posición de sus ejes ópticos en el momento de realizar la fotografía; 2) plagioclasas (feldespatos), de grano muy fino, que se detectan con ayuda de sus maclas, un ejemplo de ello es el grano ubicado hacia el vértice inferior izquierdo (grano de bandas blancas y negras); 3) poros, uno en posición central que se extiende hacia la izquierda en la fotografía, caracterizado en base a su color negro debido a la extinción de la luz en posición de nicoles cruzados y su perímetro se define en forma de corona de microcristales que arrojan una respuesta óptica reconocible por su birrefringencia, producida por la recristalización de la arcilla en mullita; 4) mullita, que puede ser observada y reconocida en el contorno de todos los granos, de la manera antes descrita, correspondientes al material policristalino conforme a la observación en nicoles cruzados; 5) vidrio y/o poros en nicoles cruzados que se reconocen como espacios de color negro.

La mullita es el resultado de la recristalización de la arcilla como consecuencia de la temperatura a que estuvo sometida (sinterización) que, para una mejor aceptación en la cerámica, vale decir proceso de «mullitización». El vidrio es la vitrificación de la arcilla por efecto de la temperatura. En base a las observaciones realizadas, se considera que la sinterización en los fragmentos analizados llegó posiblemente a temperaturas comprendidas entre 400 y 800 °C. Se debe asumir que la formación de las nuevas fases (mullita y vidrio, ver figura 9) es favorecida por el uso de fundentes y un proceso de quema prolongada, sostenida en el tiempo. Los dos

factores aquí propuestos aún son conocidos y aplicados en técnicas modernas y por ello no pueden ser descartados. Por tanto, pudieron ser de uso y manejo de las culturas precolombinas.

Metodología aplicada en la producción de la réplica en laboratorio de la botella antropomorfa de triple elipsoide comunicante con doble silbato de la cultura Bahía

Las investigaciones realizadas en torno al objeto estudiado, detalladas anteriormente, permitieron acercarse a las posibles etapas de su evolución, a su interpretación simbólica, al grado de experiencia con la que se trabajaron estos artefactos sonoros, a los procedimientos y avances técnicos en su manufactura, al manejo de materiales y al planteamiento de la probable temperatura a la que pudieron quemarse los objetos.

Los primeros ensayos formales para la elaboración de la réplica se realizaron *in situ* en la reserva arqueológica del Ministerio de Cultura en la ciudad de Guayaquil. En ellos se dio prioridad al análisis morfológico externo del objeto: estructura, tamaño y posición de los distintos componentes (recipientes elipsoidales, personajes, asa, cuello, conducto). Se puso énfasis en las formas antropomorfas contenedoras de los silbatos y se aplicó, como técnica de producción de esta primera réplica, el modelado en macizo.

La indagación externa y de acercamiento al objeto se realizó mediante la percepción táctil o háptica y la *kinestésica*, con el objetivo de sentir las diferentes texturas producidas por los detalles decorativos aplicados a los personajes y a los cuerpos elipsoidales pequeños, en contraste con la pared lisa del asa y el cuerpo elipsoidal mayor.



Figura 10. A) construcción de la botella; B) montaje de silbatos cilíndricos; C) pruebas de sonido en botella en estado crudo. Fotografías: Luis Zabala y Mónica Ayala (2013).

Además de la indagación y reconocimiento sensorial de esta botella, se realizó un registro fotográfico y métrico del objeto mediante dibujos a mano alzada (figura 6). Este acercamiento y los resultados planteados por otros autores nos permitieron imaginar que los silbatos o cajas de resonancia, visibles en una pequeña proporción en el centro de los personajes, eran esféricos.

En la primera réplica, realizada en el laboratorio de la Universidad Central del Ecuador, se ensayó la técnica cerámica de placas que, según Ortiz (1981), fue difundida durante el periodo de Desarrollo Regional al cual pertenece este objeto de estudio.

Para la elaboración de los silbatos, se construyeron manualmente dos pequeñas esferas vacías en el interior, tratando de mantener la similitud del tamaño visible en la botella original mediante las reducciones correspondientes de la arcilla en su proceso de secamiento. Estas pequeñas esferas fueron colocadas dentro de los personajes, resultando difícil el montaje de los mismos sobre los recipientes elipsoidales pequeños, por cuanto había que ensayar el sonido mientras la arcilla se encontraba con la humedad suficiente, es decir, en estado moldeable.

Cuando la arcilla entró en un *estado de cuero*, se procedió al ensamble de los personajes y a colocar los respectivos detalles. Esto se volvió complejo por cuanto el proceso de contracción de la arcilla generaba cambios en el sonido, dificultando el conseguir una similitud con el sonido de la botella original.

Esta dificultad nos llevó a cuestionarnos sobre la estructura morfoacústica de este artefacto y a plantearnos la posibilidad de investigar el objeto a través de

equipos tecnológicos que nos permitiesen tener una idea más cercana de lo que estaba ocurriendo en el interior de los personajes. De esta manera, se gestionaron los permisos correspondientes para acceder a la reserva arqueológica con un equipo de rayos X. Estos resultados posibilitaron observar que los silbatos de esta botella eran de forma «cilíndrica» y presentaban una leve diferencia de tamaño entre uno y otro.

Con esta importante información, se dio paso a la elaboración de otra réplica en laboratorio. Para ello, se mantuvo la aplicación de la técnica de placas que facilitó la creación de paredes delgadas y conservar la simetría y el tamaño de los cuerpos elipsoidales al utilizar otros objetos como soportes para el modelado («falso torno»). En cuanto a la elaboración de la estructura organológica, se determinó que el tamaño de los silbatos y de los orificios son factores fundamentales para la producción de un sonido determinado. Es por ello que se hicieron varias pruebas con silbatos cilíndricos hasta conseguir el sonido «batiente» característico de esta botella.

El montaje de los silbatos demandó mucha paciencia para ubicarlos adecuadamente sobre las dos paredes semicirculares que emergen de cada una de las plataformas ovoideas, ubicadas sobre los dos recipientes elipsoidales pequeños.

Estas paredes dejan espacios en la parte frontal y posterior, denominados «ventanas». El proceso implicó mucha precisión por cuanto las diferencias mínimas en el tamaño, la postura y el desplazamiento de los cilindros, en referencia al orificio de salida del aire o «aeroducto», modifican el sonido.



Figura 11. A) botella quemada a 1035 °C; B) pruebas de sonido en el laboratorio acústico. Fotografía: Mónica Ayala (2013).



Figura 12. Detalle de la producción de sonido por insuflación directa. Ilustración: Santiago Ortiz (2020).

Antes de pegar definitivamente los silbatos en el lugar correspondiente, se realizaron varias pruebas hasta lograr una mayor aproximación a la acústica requerida (figura 10A, 10B y 10C). Además, fue importante, durante todo el proceso de ensamblaje, mantener la humedad de la arcilla para evitar el secamiento de toda la estructura acústica, lo que podría producir otras modificaciones sonoras.

Una vez fijados los silbatos, se realizaron los detalles de los personajes. Terminada la botella, se aplicaron engobes de diferentes colores en base al referente original y, posteriormente, el objeto entró en un proceso técnico de secado en dos etapas: a) homogeneización de humedad y b) secado al aire libre. Este proceso duró siete días aproximadamente.

La cocción de esta botella se realizó en un horno eléctrico de laboratorio. La quema fue de aumento térmico lento y en tiempo prolongado de 12 h hasta alcanzar la temperatura de 1035 °C.

Como resultado de dicho proceso, se obtuvo una botella silbato con paredes de dureza homogénea. Finalmente, el objeto fue llevado al laboratorio de sonido

para hacer el registro acústico. Allí se aplicó la técnica de insuflación directa y, como aporte importante de la réplica, la producción sonora por método hidráulico (figura 11A y 11B).

Maneras de manipular la botella antropomorfa de triple elipsoide comunicante con doble silbato para la producción acústica

En la réplica de la botella de triple elipsoide con doble silbato, por su particular forma, se han experimentado las siguientes maneras de producir el sonido: insuflación directa y producción hidráulica de sonido.

Insuflación directa

Se produce cuando el ejecutante sopla por el gollete o cuello de la botella (figura 12). Esa acción genera el sonido batiente característico de este objeto. Es decir, los dos silbatos suenan al unísono con una diferencia mínima en el tiempo de ejecución.

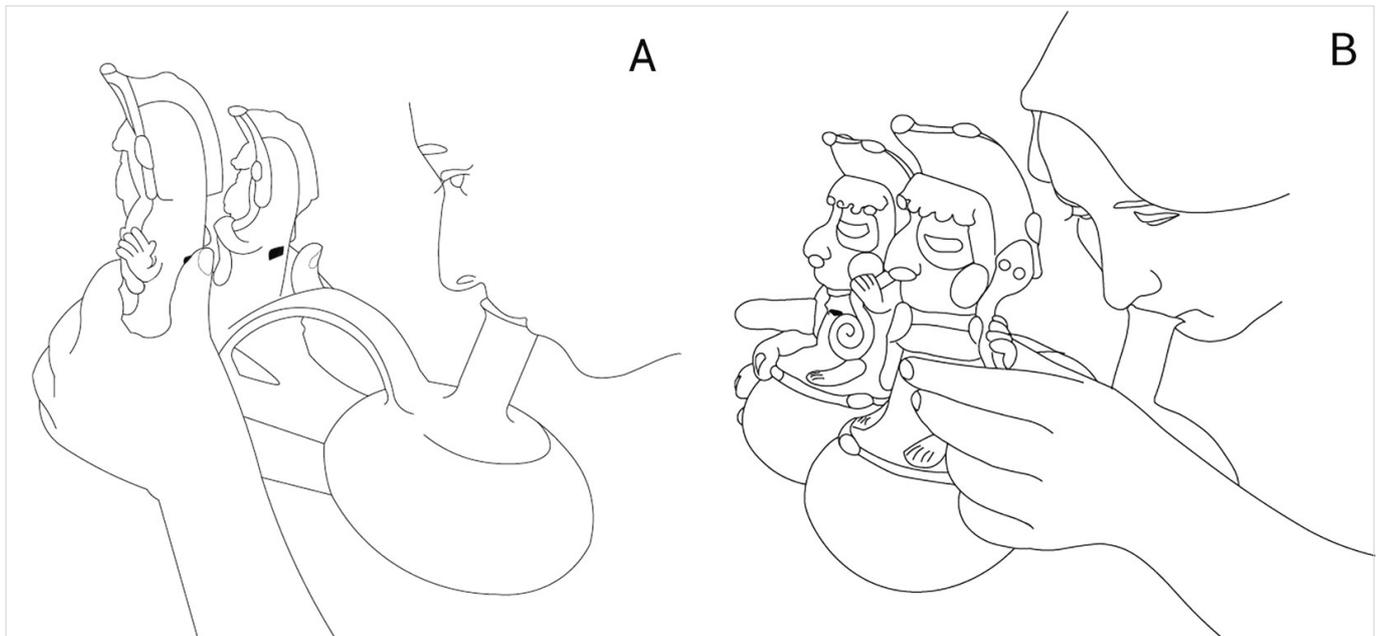


Figura 13. Modificación de sonido por obstrucción de ventanas (soplo directo): A) obstrucción de ventanas posteriores; B) obstrucción de ventanas frontales. Ilustración: Santiago Ortiz (2020).

Modificación acústica por efecto de obstrucción de ventanas con insuflación directa

Son las variantes que se producen en el momento de obstruir con los dedos las ventanas que se encuentran cubriendo los silbatos, bajo las cabezas de los personajes. Cada uno de ellos contiene dos ventanas: una ubicada en la parte frontal y otra en la parte posterior, respectivamente.

Estas resonancias pueden tener variantes según la intervención digital que realice el ejecutante cuando este tape o destape con sus dedos las ventanas que se encuentran entre el cuerpo y bajo el detalle, similar a una bufanda, que tiene en la parte frontal y posterior de cada uno de los personajes (figura 13).

Producción hidráulica de sonido

Movimiento basculante longitudinal

La otra posibilidad es el sonido producido por el movimiento del agua que se encuentra en el interior de la botella (mecanismo hidráulico), para lo cual se hacen movimientos basculantes longitudinales (figura 14). Son sonidos a los que Crespo (1966) denominó *polifonales*. La duración de estos sonidos dependerá de la cantidad, la intensidad y la presión con que se movilice el aire en el interior de la botella. Esta manera de producir sonidos es similar a la detallada en el artículo *The*

song of air and water: Acoustic experiments with an Ecuadorian Whistle Bottle (c. 900 BC–100 BC) cuando se hace referencia a una botella de dos recipientes elipsoidales.

Movimiento basculante lateral o transversal

La botella Bahía, objeto de este estudio, tiene tres recipientes elipsoidales, uno grande y dos pequeños, lo que permite producir sonidos independientes según los movimientos basculantes hidráulicos laterales que se ejecuten. Es decir, cuando el agua se desplaza de un recipiente pequeño a otro, a través del conducto en forma de Y, se escuchan los sonidos de cada silbato de manera individual (figura 15).

Si cabe una interpretación sonora, se podría decir que, cuando el agua va de manera lateral de un recipiente a otro, el primer personaje habla y el otro escucha. Luego, cuando el agua se dirige hacia el otro recipiente, este personaje toma la palabra y el otro escucha. Esta intermitencia de sonidos se puede interpretar como un diálogo entre los dos personajes. Cuando uno habla, el otro hace un gesto de aspiración de aire y escucha. Cuando el agua va hacia el otro personaje, se genera el efecto acústico contrario, produciéndose así el diálogo. Por el contrario, cuando el agua se desplaza de manera longitudinal hacia los dos recipientes pequeños, los dos silbatos producen sonidos al mismo tiempo, es decir, los dos personajes cantan a una sola voz.

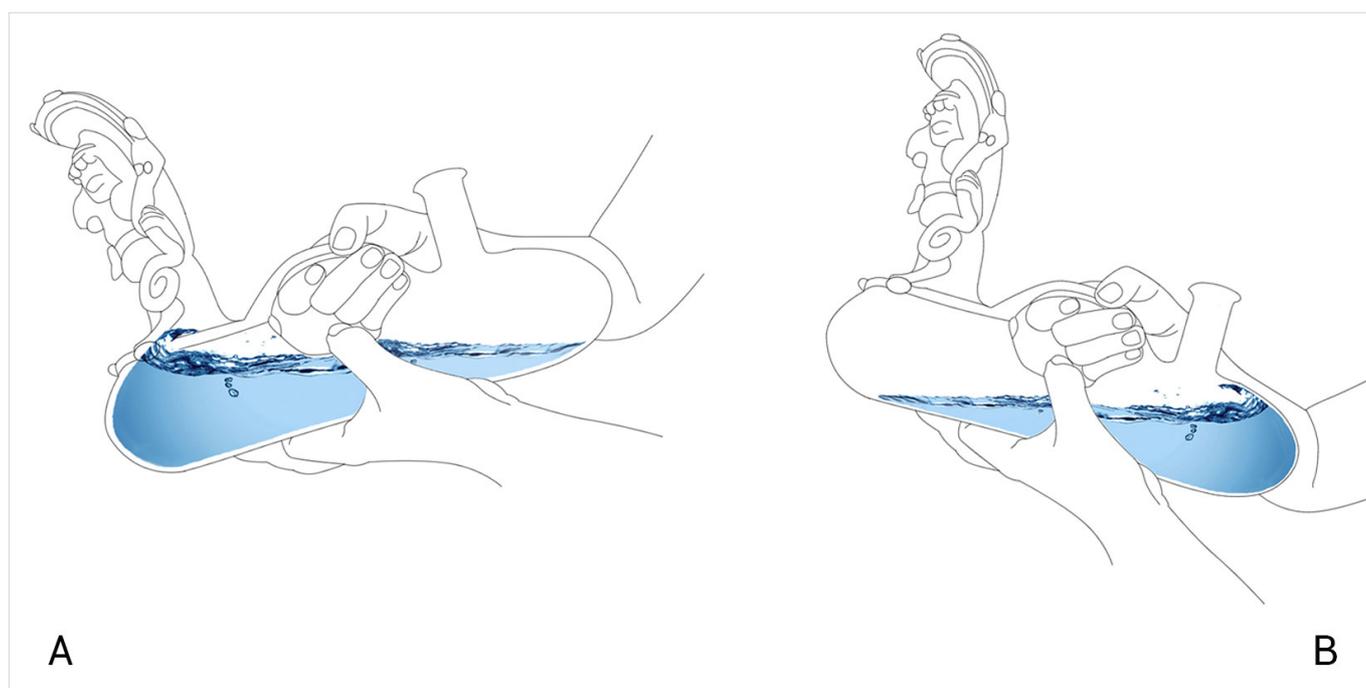


Figura 14. Detalle interior de cuerpos globulares para la producción de sonido por movimiento basculante longitudinal. A) En el movimiento de la botella hacia delante suenan los dos silbatos. B) Movimiento hacia atrás. Ilustración: Santiago Ortiz (2020).

Análisis acústico³

Consideraciones generales

La botella o vasija silbadora acá analizada consta de dos partes principales: una compuesta por el sistema hidráulico generador del chorro de aire (anteriormente descrito), formado por las tres vasijas globulares unidas por conductos, y otra que viene a ser la fuente (doble) generadora de sonido, que consta de un par de silbatos cilíndricos tipo flauta globular con aeroducto u ocarina (figura 16A). En este acápite solo se analizará la fuente sonora.

De manera general, las flautas son aerófonos con sonido de bisel. Esto significa que un chorro de aire (*jet*) es dirigido hacia un borde filoso o biselado y, por efecto aerodinámico, se pone a oscilar alrededor del mismo, tal como se puede observar en esta magnífica foto (figura 16B) del Laboratorio de Dinámica de Fluidos de la Universidad Técnica de Eindhoven en los Países Bajos (Hirschberg *et al.* 1990; Verge 1995) y cuyo funcionamiento queda precisamente explicado por Benoît Fabre (2005). La parte donde se origina la oscilación del aire (sonido de bisel) se llama «sistema excitatriz», a

³ El estudio acústico fue realizado por Arnaud Gérard A., investigador asociado del Instituto de Investigaciones Físicas (IIF) de la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, en el *Acústica Studio Lab*.

la cual se asocia un «resonador» que consta de una cavidad con su propia geometría y propiedad acústica que tiene por objeto amplificar el sonido y condicionar la altura de la nota emitida (frecuencia).

Realmente resulta complicado definir la botella silbadora. En la famosa clasificación de instrumentos musicales de Hornbostel y Sachs (1914, 1985) no se encuentra este instrumento.

No obstante, Pérez de Arce y Gili (2013) proponen la siguiente definición: «421.222.42 (ocarinas en juego de soplo indirecto) o ‘botella silbadora múltiple’. Descripción similar a 421.221.412, ‘botella silbadora de varios silbatos prehispanicos’ (Ecuador, Perú)» (Pérez de Arce y Gili 2013: apéndice 19).

A continuación, se procede a realizar una descripción de las flautas y del sonido que emiten.

El sonido de la botella silbato original

En la radiografía de la figura 7 se puede divisar, por transparencia, la estructura original de los silbatos, que se vuelve a mostrar de manera esquematizada en la figura 17. A partir de estas vistas, se intentará explicar el sistema acústico.

La figura 17 presenta un corte esquemático en la parte «frontal» de uno de los silbatos/ocarinas, que es el sistema generador de sonido. Abajo se observa la vasija «delantera» (1) que sirve para regular la presión del aire,

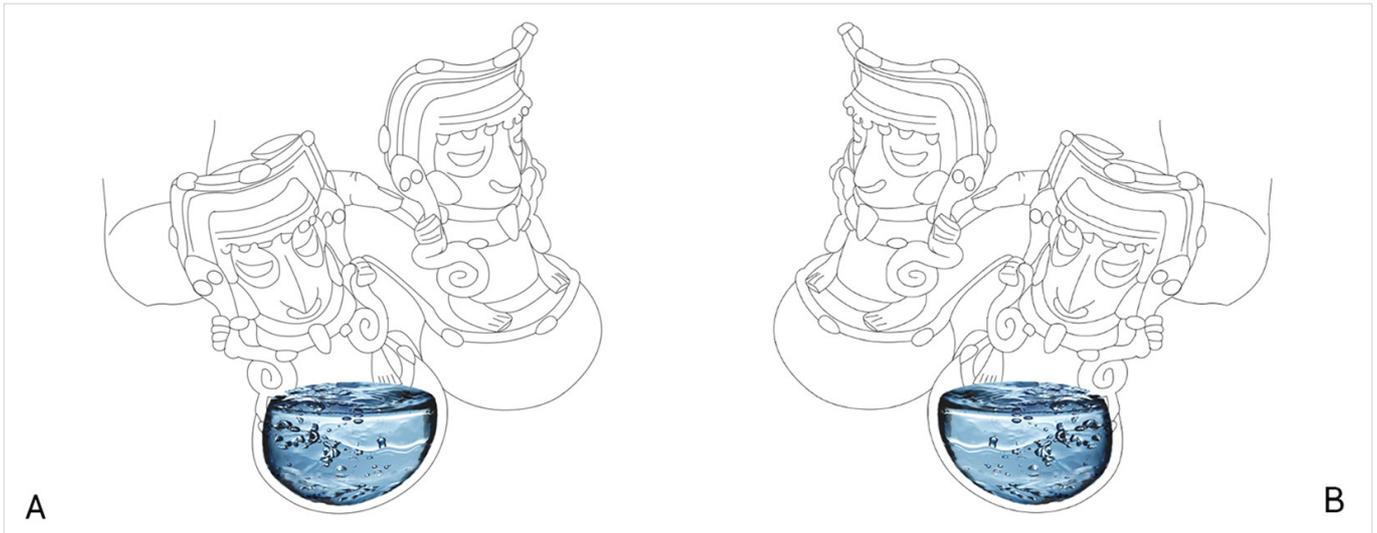


Figura 15. Detalle interior de cuerpos globulares para la producción de sonido por movimiento basculante lateral. A) Suena el silbato del personaje de la izquierda. B) Suena el silbato del personaje de la derecha. Ilustración: Santiago Ortiz (2020).

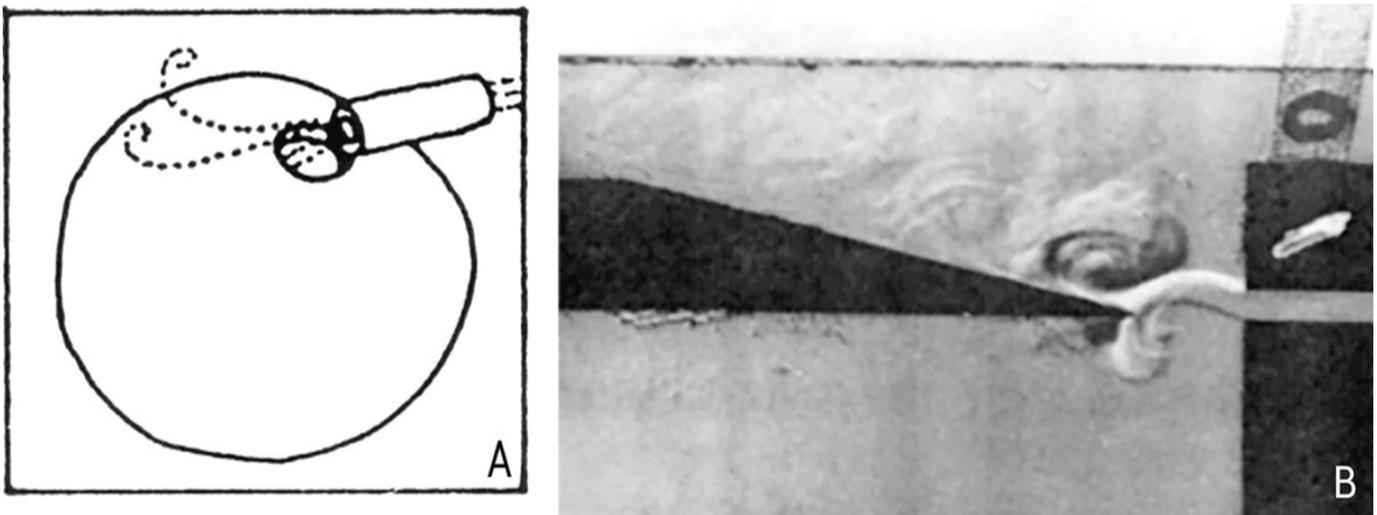


Figura 16. A) La imagen de la izquierda es un dibujo de José Pérez de Arce (1982: 26) con el esquema de una flauta globular con aeroducto; se trata de una cavidad con orificio de insuflación y un ducto que dirige el flujo de aire hacia su borde, en el que se produce la oscilación. B) La imagen de la derecha es una foto tomada por el Laboratorio de Dinámica de Fluidos de la Universidad Técnica de Eindhoven, Países Bajos (Hirschberg *et al.* 1990: figura 2) que muestra la oscilación del chorro de aire alrededor del bisel; el chorro de aire sale del ducto (derecha), luego aparecen turbulencias (vórtices) sobre el bisel (centro), haciendo que el aire entre y salga bruscamente de manera periódica.

con un aeroducto de salida en la parte superior (3), el mismo que conduce el aire hacia la entrada biselada⁴ (5) de la cavidad cilíndrica cerrada⁵ (6), que funciona como resonador. Estos cilindros son la parte principal del silbato/ocarina y están contenidos dentro de la parte interna hueca de cada uno de los personajes (figura 8). Las cavidades en que se encuentran no cumplen nin-

⁴ Es un cono invertido que sirve de bisel.

⁵ En realidad, el resonador cilíndrico (6) está cerrado en la parte superior, hecho que no es visible en el dibujo, ya que se representa «en corte».

⁶ En el caso presente, ni entra en resonancia ni es una sordina.

gún papel acústico.⁶ La vasija inferior y el resonador contienen un pequeño canal de 3 mm de alto (aeroducto y orificio de insuflación, respectivamente) con las aberturas dirigidas hacia el centro (3 y 5). Cabe remarcar que, en esta figura 17 (esquemática), el orificio de salida del aeroducto de insuflación (3) proveniente del sistema aerodinámico y el orificio biselado de entrada (5) del resonador cilíndrico que hace oficio de «boquilla» se encuentran alineados, frente a frente; lo cual no es totalmente cierto en la realidad, puesto que los experimentos realizados sobre réplicas, tanto en Ecuador (Luis Zabala) como en Bolivia (Arnaud Gérard/*Acústica Stu-*

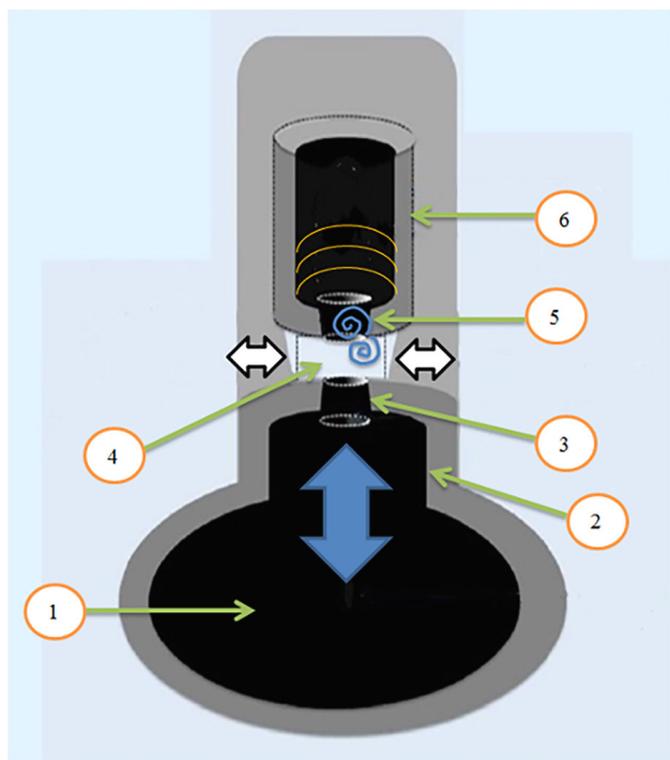


Figura 17. Esquema que muestra una de las vasijas globulares delanteras con el silbato (flauta globular): 1) vasija globular delantera; 2) «cuello» de la vasija, aproximadamente cilíndrico que conduce el aire hacia la flauta; 3) aeroducto y salida del flujo de aire por la abertura; 4) canal horizontal abierto hacia el exterior mediante orificios laterales o ventanas; 5) orificio de insuflación de la flauta globular de forma cónica que sirve de bisel (sistema excitatriz); 6) cavidad cilíndrica cerrada que hace oficio de resonador, la misma que está contenida dentro de la parte interna hueca de uno de los personajes (una a cada lado).

dio Lab) muestran, por un lado, que el canal de insuflación no debe estar exactamente en el eje del orificio biselado de entrada (boquilla) sino algo descentrado (del orden de 1,5 mm) o bien, por otro lado, que debe estar un poco inclinado relativamente hacia el plano del orificio de entrada del cilindro resonador (boquilla).

Lamentablemente, en la radiografía X de la figura 7 este detalle no aparece claramente visible debido a la superposición de los planos del personaje, principalmente por el dije que cuelga del cuello de la representación antropomorfa y se superpone parcialmente a la visión de estos canales. No resultó una radiografía X en el sentido longitudinal del objeto y tampoco existe posibilidad alguna de poder observar esta parte por su posición interna e inaccesible en el objeto de estudio. En relación a esta última observación, Mónica Gudemos estudió muchos silbatos arqueológicos del Ecuador (2009, 2020) que tienen sistemas excitatrices similares al actual. Ella insiste en la precisión que debe tener el

ángulo o la inclinación del aeroducto de insuflación con respecto al filo de la arista biselada en la entrada del resonador, incluso realiza un estudio pormenorizado de un caso (Gudemos y Catalano 2009: 203, 218) con un resonador esférico. En estos trabajos, Gudemos (*op. cit.*) enfatiza el dominio de las técnicas de producción que requería la existencia de talleres especializados con la participación de artesanos peritos provenientes de una notable tradición regional.

Estos objetos (vasija y resonador) están separados por un canal horizontal abierto hacia el exterior mediante orificios laterales o ventanas (4) cuya función es dejar expandir la onda sonora hacia el exterior, pero también restablecer las presiones del aire en los procesos de admisión y expulsión. Exteriormente, las ventanas se ubican en la mitad de los cuerpos de los personajes, una delante y otra atrás (cf. figuras 1 y 6).

Experimentalmente, el sonido puede generarse de dos maneras diferentes, ya sea soplando por el gollete o colocando agua e inclinando luego la botella (Pérez de Arce 2004). No obstante, lo más probable es que las botellas silbadoras fueran concebidas para funcionar con agua, pues ¿para qué serviría construir máquinas hidráulicas tan complicadas si no fuese para ese fin? Por tanto, en su uso supuestamente normal, el sonido se produce por un movimiento longitudinal de vaivén de la botella con cierto contenido de agua. Al inclinar la botella hacia atrás, esta aspira aire (admisión) que entra por las aperturas laterales o ventanas del canal horizontal abierto (figura 17, 4); luego, al inclinar el objeto hacia delante, el agua empuja el aire comprimido (expulsión) hacia el aeroducto final⁷ (figura 17, 3), que es proyectado en forma de chorro delgado hacia el diminuto orificio cónico de entrada de la cavidad cilíndrica (figura 17, 5). Tal como se acaba de explicar, el aire, al chocar con el filo del borde del orificio de entrada, empieza a oscilar (fuente excitatriz), amplificado por esa cavidad cilíndrica cerrada (figura 17, 6), la cual sirve a la vez de campo acústico que impone la altura de sonido condicionada por su geometría (resonador).

En este trabajo se analizarán sucintamente las dos modalidades, es decir, por insuflación directa y luego por efecto hidráulico.

En general, los instrumentos musicales emiten sonidos complejos, o sea, que están compuestos por un «paquete» o un conjunto de sonidos simultáneos distintos acompañados de ciertos ruidos que evolucionan en el

⁷ Aeroducto: es un ducto de sección transversal delgada (del orden de los milímetros) que conduce el flujo de aire; acá es cilíndrico, con un diámetro próximo a los 4 mm.

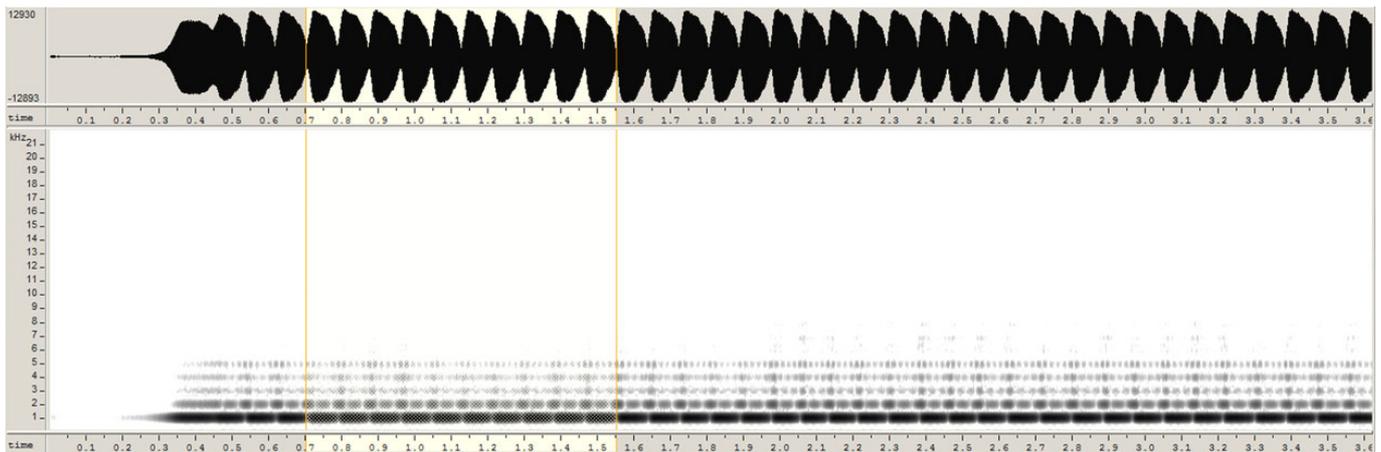


Figura 18. En la parte superior se muestra la forma de la onda (amplitud vs. tiempo), en la que se observan claramente las pulsaciones (ondulaciones de la envolvente). En la parte inferior figura el sonograma (tiempo vs. frecuencia), en el que se notan los 5 primeros armónicos con pulsaciones (líneas interrumpidas de los componentes). La parte seleccionada (entre ejes) encierra 10 oscilaciones con una duración de 0.841373 s, por lo que la frecuencia de batimiento es de 12,17 Hz (pulsos por segundo) (análisis: *Acústica Studio Lab*, IIF, UMSA).

tiempo. Cada instrumento tiene un «paquete» diferente, lo que permite reconocerlo de otro; eso es lo que se denomina timbre en música. El timbre puede estudiarse acústicamente gracias al análisis de Fourier (FFT)⁸ que se hace visible en diagramas llamados *sonogramas*⁹ y *espectros*.¹⁰ En las figuras 18 y 19 se muestran los análisis acústicos que corresponden a un sonido generado por insuflación directa por el gollete.¹¹

El sonograma describe el timbre de un sonido tradicional de silbato: una serie armónica pobre (hasta 9 armónicos visibles en el espectro) de amplitudes suavemente decrecientes.¹² Sin embargo, se presentan interrupciones periódicas en las líneas de los componentes armónicos y ondulaciones o modulaciones en la envolvente de la forma de onda (figura 18 superior) que indican un marcado fenómeno de batimiento o pulsaciones;¹³ tanto en el espectro total (figura 19A) como en la ampliación del primer armónico o fundamental

(figura 19B), donde se observa una serie doble de picos próximos entre sí que corresponden a la superposición de los sonidos de las dos flautas. Los dos picos, que pertenecen cada uno a un silbato, tienen frecuencias respectivas de 969 y 981 Hz y corresponden a las notas si_5-34 cents y si_5-12 cents,¹⁴ que es casi la misma nota levemente desigualada, lo que explica ese batimiento. Cada una de estas notas es producida por uno de los silbatos. Auditivamente, se trata del timbre agudo de ocarinas con marcada pulsación que suena *wwwuuu-wwuu...* Este detalle es muy importante y ¡en absoluto no es casual!, ya que la mayoría de los silbatos dobles arqueológicos del lado occidental de América del Sur, es decir, parte de los Andes y zonas subandinas contiguas, tienen casi sistemáticamente ese efecto (Gérard 2009, 2015). La frecuencia de pulsación del batimiento (figura 18) es de 12 pulsos/segundo (Hz) aproximadamente. Esa diferencia de altura de sonido o de frecuencia entre ambos silbatos se debería probablemente a una ligera variación geométrica en los mismos, realidad parcialmente detectable en la radiografía (figura 7).

Luego se efectuaron otras pruebas con sonidos que resultan al tapan alguna ventana¹⁵ (aberturas) del canal abierto (4 en la figura 17 y figura 1). Puede apreciarse este proceso en la figura 13. Idrovo (1987) ya propuso

⁸ Análisis FFT (*Fast Fourier Transform*): se trata de un algoritmo de cálculo llamado transformadas de Fourier rápidas.

⁹ El sonograma, también llamado espectrograma (Leipp 1984; Gérard 2011; Castellengo 2015), es un diagrama (frecuencia como función del tiempo) que muestra la evolución temporal del timbre del sonido.

¹⁰ El espectro es un diagrama de nivel sonoro (dB), función de la frecuencia (Hz), que muestra los diferentes componentes de un sonido complejo.

¹¹ Todos los sonidos fueron emitidos y grabados por los investigadores del presente trabajo en Ecuador.

¹² Garrett y Stat (1977: 3) observan algo similar.

¹³ El batimiento es un fenómeno acústico conocido que se produce por interferencia durante la emisión simultánea de 2 notas de alturas levemente desiguales, en la que el sonido resultante pulsa periódicamente.

¹⁴ 100 cents corresponden a 1 semitono temperado; la anotación de octava «5» en subíndice utiliza la nomenclatura norteamericana en la que la octava 4 es la octava central que empieza con do (262 Hz).

¹⁵ Existen 4 ventanas (aberturas): 2 delanteras y 2 traseras, es decir, dos para cada personaje/silbato, de tal manera que el sonido irradie tanto hacia delante como hacia atrás (figuras 1 y 6).

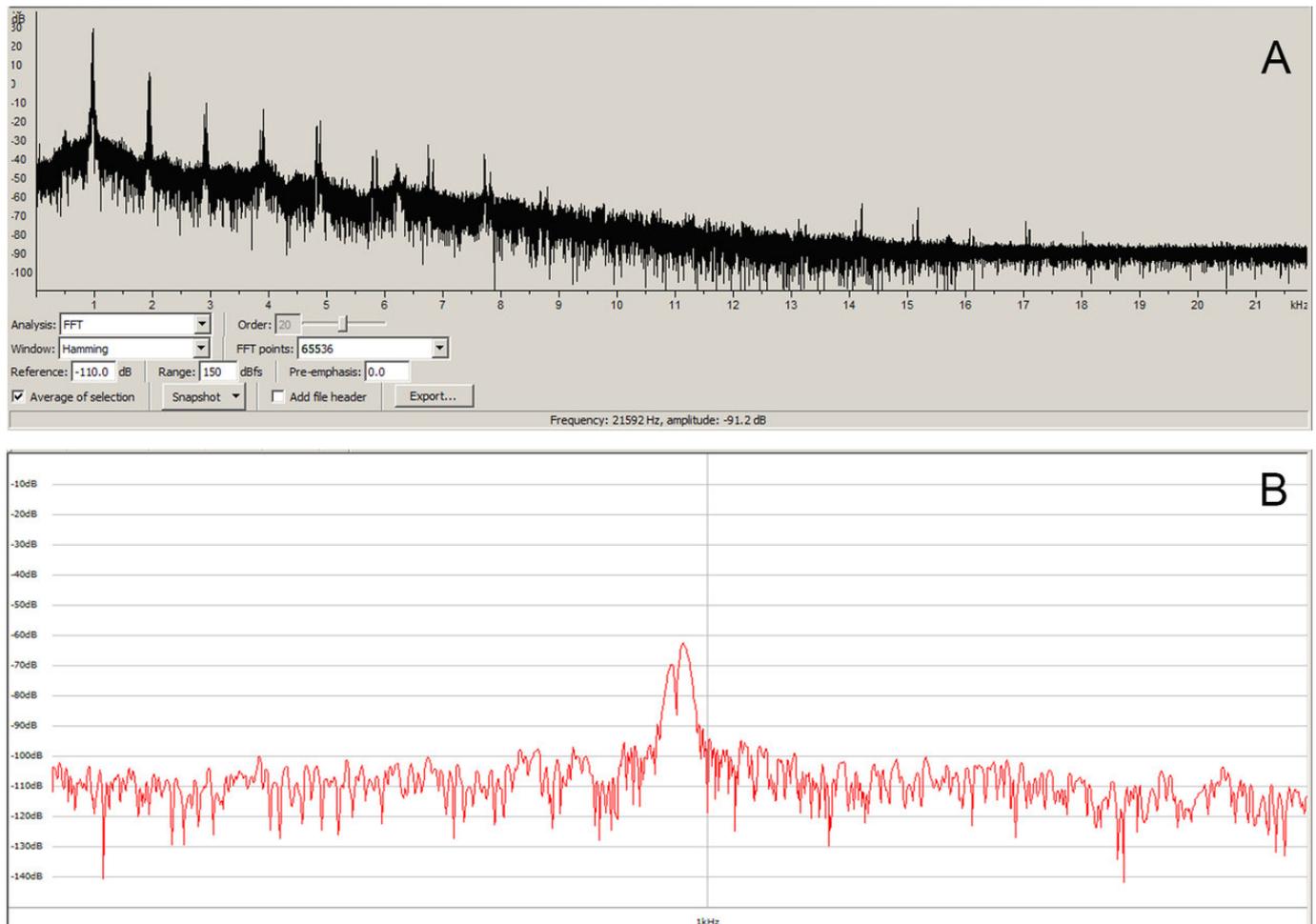


Figura 19. A) Arriba: espectro del sonido en todo el dominio audible, donde se advierten los picos dobles en toda la serie de armónicos que corresponden a los dos silbatos. B) Abajo: ampliación del primer armónico; se observa también un pico doble que pertenece a ambos silbatos con frecuencias o alturas de sonido muy próximas; la interferencia de las mismas es responsable del batimiento (análisis: *Acústica Studio Lab*, IFF, UMSA).

este manejo de la botella con anterioridad. Sin embargo, «no parece tan acertada esta digitación porque ergonómicamente y musicalmente son muy ineficientes», retomando las palabras de José Pérez de Arce (en una comunicación personal), con las cuales el autor concuerda absolutamente. Si se tapan las dos ventanas de un lado, se enmudece el silbato de ese lado y se obtiene el único sonido del silbato del lado opuesto y, en tal caso, desaparece el batimiento; así que se obtiene un sonido con timbre parecido pero llano y estable. En contrapartida, si se tapa una sola ventana de un lado, la altura de sonido (o la frecuencia) de ese silbato baja levemente. Con estos experimentos se nota que las alturas (frecuencias) de los silbatos pueden modificarse un poco obteniendo los siguientes campos de libertad de frecuencias¹⁶ (variaciones de alturas):

— Silbato izquierdo: varía de 906 Hz (Sib₅-50 cents) a 969 Hz (Si₅-34 cents).

— Silbato derecho: varía de 920 Hz (Sib₅-22 cents) a 982 Hz (Si₅-11 cents).

Variaciones que pueden alterar la frecuencia del batimiento también.

En cuanto al sonido de la botella original, generado por movimiento de balanceo longitudinal con agua, la muestra fue proporcionada muy gentilmente por Esteban Valdivia.¹⁷ Como se advirtió anteriormente, es bastante probable que este fuera el mecanismo usual de funcionamiento del instrumento.

El sonograma de la figura 20 muestra dos sonidos: a la izquierda, la admisión de aire con ruido del agua y aire (que se estudiará luego) y, a la derecha, el sonido

¹⁶ *Champ de liberté des fréquences* escribe Castellengo (1976: cap. 2, 20).

¹⁷ Esteban Valdivia, *Sonidos de América*. Investigación: *Sonidos Navegantes*. Grabación: Ramiro Carrera y Carolina Segre. URL: <https://www.youtube.com/user/sonidosdeamerica>.

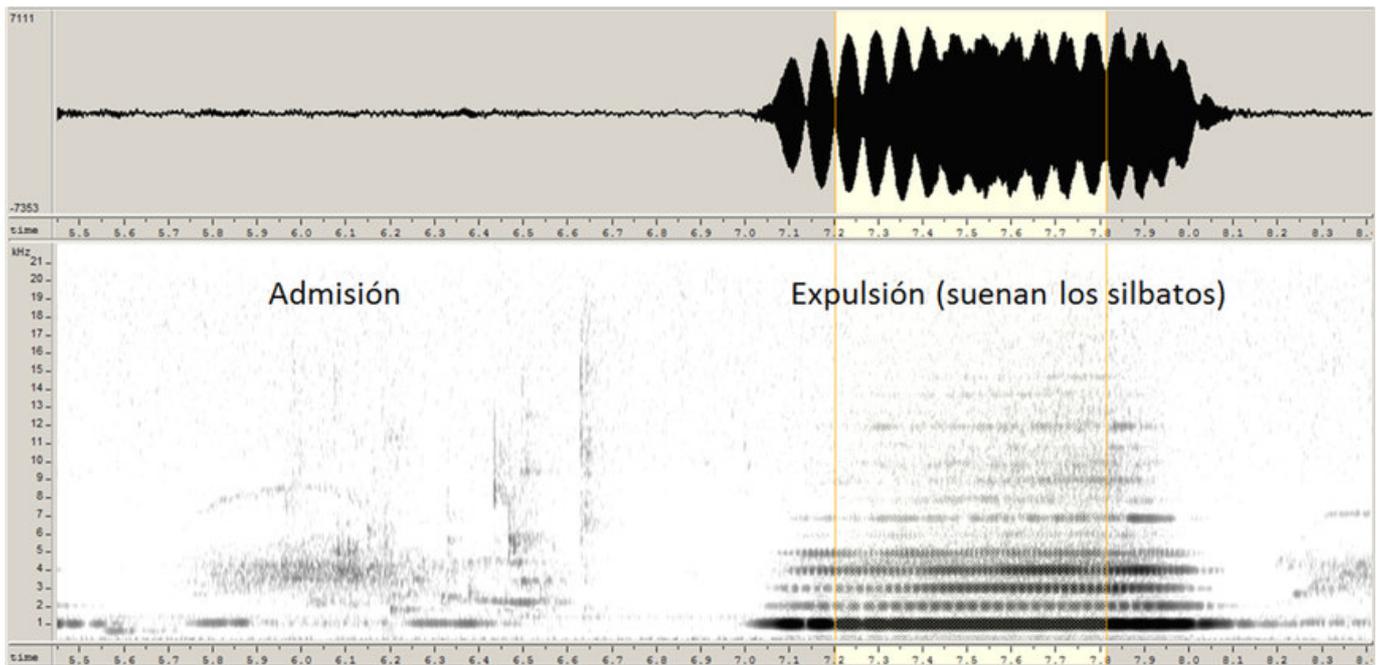


Figura 20. Forma de onda (arriba) y sonograma (abajo) del sonido de la botella silbadora original. En el presente diagrama se observa, a la izquierda, la admisión de aire con el ruido del agua y, a la derecha, la expulsión con el sonido de ambos silbatos, similar al que se analizó en el caso anterior, que también presenta batimiento. La selección entre ejes es de 10 pulsaciones (análisis: *Acústica Studio Lab*, IIF, UMSA).

simultáneo de ambos silbatos con batimiento (expulsión) muy similar al que se analizó en la insuflación directa (figura 18). En este caso, las frecuencias y alturas de sonido de ambos silbatos son de 973 y 990 Hz, es decir, $si_5 - 26$ cents y $si_5 + 4$ cents (por efecto hidráulico), en vez de $si_5 - 35$ cents y $si_5 - 11$ cents que fueron observadas con soplido directo por el gollete. Es decir, que las alturas de sonido (frecuencias) son mayores en este caso, lo que significa que la acción hidráulica genera mayor presión del aire (que provoca una frecuencia mayor en el sonido). ¡Incluso las frecuencias sobrepasan muy levemente los límites superiores de los campos de variación que se habían observado con insuflación directa! Asimismo, la frecuencia de pulsación del batimiento calculada es de 17 Hz, por lo que también es superior a la que se observó con soplido directo (12 a 14 Hz). Por

otro lado, en el sonograma de la figura 20 se nota que el sonido de los silbatos generados por efecto hidráulico resulta de menor duración (hasta 1,3 s) que los sonidos producidos por soplido directo por el gollete, pues la cantidad de aire contenida en la vasija (delantera) es mucho menor que la de los pulmones humanos.

En el manejo con agua es necesario hacer una importante aclaración: si en vez de aplicar un balanceo longitudinal —que produce sonidos en los dos silbatos— se efectúa un balanceo lateral o transversal (figura 15A y 15B), se obtiene el sonido de un solo silbato a la vez (por la circulación del agua que va de un glóbulo pequeño a otro) y por supuesto, en tal caso, no se produce batimiento, y eso ¡respetando absolutamente el aspecto ergonómico sin la necesidad de tener que tapar algunas de las ventanas laterales!

Tabla 2. Comparación de las frecuencias, alturas de sonido y frecuencia de pulsación de batimiento en los 4 experimentos con la botella original y la réplica. Los casos señalados (*) fueron con insuflación por el gollete. Tabla: Arnaud Gérard.

Fuente	Frecuencia silbato 1 en Hz	Frecuencia silbato 2 en Hz	Altura sonido Silbato 1	Altura sonido Silbato 2	Batimiento Hz (Pulsos/s)
Botella original	969	981	$si_5 - 34$ cents	$si_5 - 11$ cents	12
Original con agua	973	990	$si_5 - 26$ cents	$si_5 + 4$ cents	17
Réplica seca*	782	797	$sol_5 - 4$ cents	$sol_5 + 28$ cents	14,5
Réplica cocida*	792	805	$sol_5 + 18$ cents	$sol_5 + 45$ cents	13
Réplica con agua	810	825	$lab_5 - 44$ cents	$lab_5 - 12$ cents	15

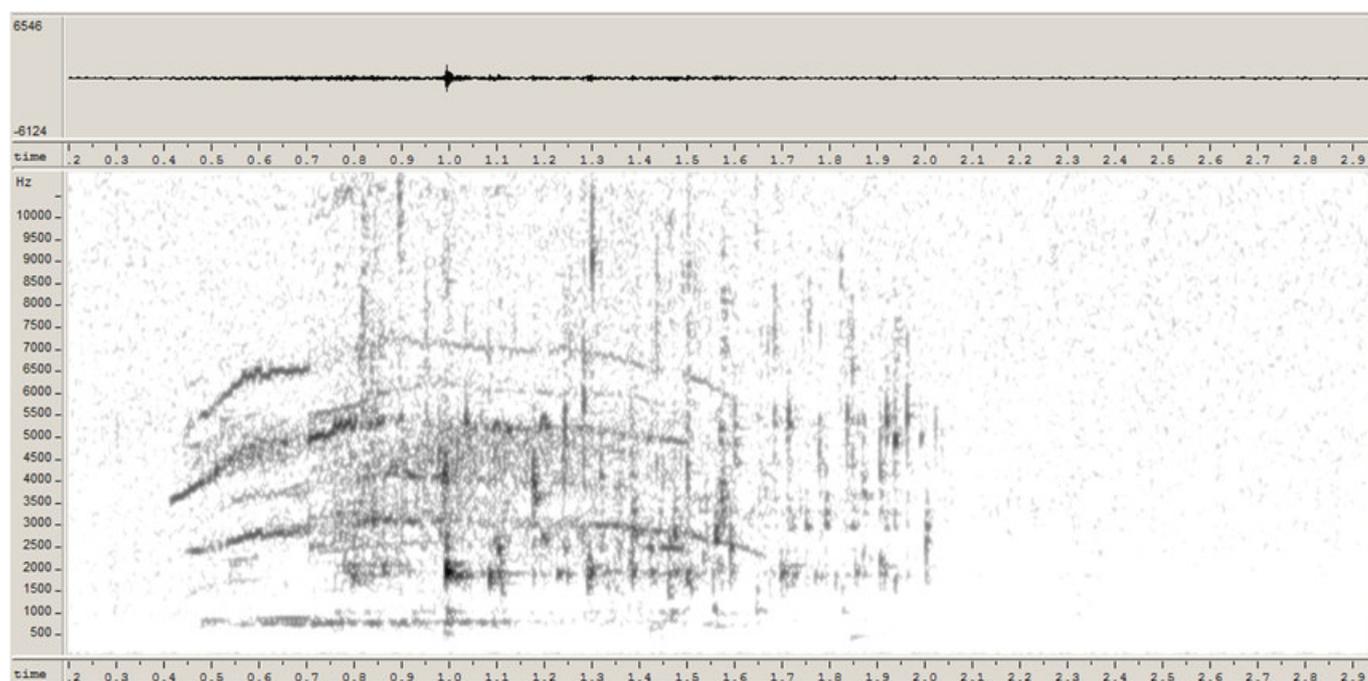


Figura 21. Se muestra el sonograma que corresponde al proceso de admisión de aire. Las líneas casi horizontales y paralelas pertenecen a los componentes (parciales) del sonido del aire entrante (por el orificio del aeroducto) y las verticales corresponden a los chasquidos (olas) del agua en movimiento (análisis: *Acústica Studio Lab*, IIF, UMSA).

Finalmente, por efecto del movimiento hidráulico, aparecen ruidos de escurrimiento aéreo, silbidos y chasquidos que se van a analizar a continuación.

El sonido de la réplica analizada en el laboratorio acústico

Los análisis espectrales FFT del sonido, con ambos silbatos sonando simultáneamente bajo la acción hidráulica, indican que las frecuencias fundamentales calculadas de los dos silbatos son 810 Hz (lab_5-44 cents) y 825 Hz (lab_5-12 cents) (redondeando), así que las alturas de sonido comparando la botella original (si_5) con la réplica cocida (lab_5) discrepan un poco ya que la réplica suena un tono y medio por debajo de la botella original. En relación al batimiento, se observan pulsaciones a razón de 13 a 15 Hz (pulsos/s), de tal manera que tanto el timbre (tipología de sonido), el efecto del batimiento y las alturas de sonido entre réplica y original son comparables.

En el laboratorio se efectuaron varias pruebas, ya sea midiendo los sonidos de la réplica en sus diferentes estados de elaboración, ya sea mediante una insuflación directa por el gollete de la parte trasera. Por un lado, desde el estado crudo-húmedo hasta el estado cocido (bizcocho) pasando por el estado seco, se advierte un crecimiento de las frecuencias y alturas de sonido debi-

do al encogimiento previsible de la pasta cerámica que provoca una disminución de los volúmenes de los resonadores cilíndricos de los silbatos. Estos resultados se muestran parcialmente en la tabla 2. En ese cuadro queda claro que las frecuencias y las alturas de sonido, debidas al movimiento hidráulico, ¡son mayores que por insuflación directa!

En cuanto a los sonidos de admisión por manejo hidráulico de las botellas, original y réplica, estos son idénticos. Auditivamente, al mover la botella con agua hacia atrás (admisión), se escucha un silbido agudo debido al ingreso del aire seguido del ruido del agua y, al inclinar hacia delante, en seguida suenan los silbatos. En la figura 21 se exhibe el sonograma de los ruidos¹⁸ generados durante el proceso de admisión de aire. En dicha figura se observan primeramente 8 líneas en sentido horizontal que evolucionan casi paralelamente. Estas líneas corresponden al silbido agudo del aire ingresando¹⁹ por la abertura del aeroducto de la vasija delantera. Es un sonido de bisel o sonido «de boca»²⁰

¹⁸ En este caso se usó un sonido de la réplica grabado por el equipo de investigación autor del presente artículo por tener una mejor resolución.

¹⁹ Hablando con propiedad, este aire ingresa por las ventanas y el canal horizontal (figura 17).

²⁰ Es decir, que es un sonido de bisel solamente, con muy poca resonancia (sistema excitatriz únicamente).

(Castellengo 1969: 11; Bouasse 1986: 281). Estas líneas suben, luego se quedan casi horizontales y finalmente bajan; significa eso que la altura (frecuencia) del silbido sube, se estabiliza y luego baja. Es de notar que el primer armónico que corresponde a una leve resonancia del silbato cilíndrico (759 Hz) es horizontal (ni sube ni baja).

Después de haberse iniciado este silbido aparecen líneas verticales hasta el final, las mismas que corresponden a los chasquidos muy notorios del agua en movimiento (olas). En la parte central del sonido observable en el sonograma se divisa una zona gris, formada por una nube de puntitos entre 2,5 y 5 KHz, que corresponde al ruido de escurrimiento (viento) provocado por el aire que entra en la botella.

Es evidente que el sonido del movimiento hidráulico del agua y del aire entrante forma parte de los sonidos de la botella y no puede obviarse y, tal vez, tenía una trascendente importancia ritual relacionada con los ritos del agua o los rituales para atraer la lluvia.

Por tanto, acústicamente hablando, la réplica puede considerarse como exitosa ya que, si bien no se logró exactamente la misma altura de sonido (con una diferencia de un tono y medio por debajo), sí se aproximaron tanto la cualidad del sonido (timbre) como la frecuencia de pulsación en el batimiento. Asimismo, la réplica permitió realizar mayores pruebas con agua (lo que no era posible con la botella original) que evidencian un delicado sonido hidráulico formando parte indivisible de la estética sonora y los análisis acústicos acá realizados con una metodología propia,²¹ que confirman y respaldan muchas de las observaciones efectuadas por Pérez de Arce (2004, 2006, 2015) en sus estudios sobre botellas silbadoras.

CONCLUSIONES

Por lo mencionado, la cultura Bahía representa un importante aporte para entender el periodo de Desarrollo Regional y conocer los avances que contribuyeron a una verdadera revolución social, económica y cultural. En ese contexto, las botellas silbato de Bahía, como objetos sonoros, evidencian el tramo final de ese cambio producido durante más de mil años. A lo largo de este tiempo pasó de ser un objeto funcional a ser un objeto sonoro con una variedad de representaciones

plásticas hasta llegar a constituirse en un gran aporte acústico con las botellas *polifonales*; sin descartar los avances en la técnica de manufactura y decoración cerámica, con valor simbólico, producidos en esta cultura.

La revisión histórica de las técnicas de elaboración de objetos circulares y los diferentes ensayos formales y sonoros realizados en el laboratorio permitieron demostrar que la técnica denominada «falso torno», desplegada en la época de Desarrollo Regional, también se utilizó en la producción de esta botella. Esto se puede interpretar en el objeto estudiado por la similitud que existe entre los elipsoides pequeños (forma y tamaño), con apenas una variación de 2 mm de diferencia, dimensión incipiente si consideramos que los objetos son elaborados a mano. La simetría entre los dos glóbulos permite concluir que se utilizó un mismo molde o soporte para realizar los dos cuerpos.

Otro argumento que demuestra el uso de la técnica de placas sobre soportes es la ausencia de huellas sinuosas en el interior de los objetos que, de existir, serían visibles a través de las imágenes de rayos X. Estas protuberancias se manifiestan cuando los cuerpos esféricos son construidos con cordeles, huellas que en este objeto sí se pueden comprobar en el gollete. La pulcritud de las paredes internas de los cuerpos globulares, vista en las mencionadas imágenes, evidencia la continuidad y la perfección de los planos circulares, corroborando lo anteriormente dicho.

La experimentación en laboratorio permitió interpretar que, para la manufactura completa de esta botella, se utilizaron varias técnicas: placas, cordel y modelado; así como técnicas de decoración como el pastillaje y la incisión. Los ceramistas responsables de la elaboración supieron seleccionar la materia prima para la producción de estos objetos. Además, tuvieron un excelente manejo de la temperatura a través de la utilización de arcillas con materiales fundentes.

La réplica de la botella desarrollada en el interior de la Facultad de Artes de la Universidad Central del Ecuador fue de gran utilidad en esta investigación, tanto para interpretar las técnicas y materiales utilizados en la elaboración de los silbatos como para acercarse a la ubicación suspendida del mecanismo sonoro (resonador) y a sus efectos acústicos. Los ensayos sonoros y la estructura morfoacústica han permitido establecer distintas maneras de producir sonido como el sople directo, el sople directo con obstrucción de ventanas, el movimiento del agua basculante longitudinal y basculante lateral, o el sonido producido por la combinación de los anteriores.

²¹ Se refiere a la metodología de la acústica musical fenomenológica.

El análisis acústico muestra que la botella con los silbatos sonando juntos, por efecto del agua que actúa como pistón hidráulico, genera un silbido agudo con marcado batimiento (pulsaciones) acompañado del diáfano ruido de escurrimiento del agua en movimiento. Aquí cabe recalcar la extraordinaria y sorprendente precisión en la acomodación de las partes del sistema excitatriz de los silbatos (la desalineación del aeroducto con la boquilla biselada del resonador, las leves inclinaciones, el biselado del orificio de entrada del resonador, el posicionamiento del cilindro resonador, el alisado de las superficies internas) que requiere de una artesanía ultraespecializada en concordancia con las observaciones de Mónica Gudemos (2009, 2020) y José Pérez de Arce (2015).

Estos estudios permitieron determinar, desde una perspectiva actual, que este artefacto (botella silbato) es un «dispositivo de almacenamiento o memoria sonora». Es decir, su intencionada estructura morfoacústica genera un sonido determinado creado conforme a las necesidades del ejecutante o de la comunidad a la que pertenecía. La durabilidad del material cerámico con el que fue elaborada esta botella permite ahora, unos dos mil años después, hacerla funcionar y escuchar los

mismos sonidos para los que fue diseñada. Las melodías producidas no habrán de ser distintas a las fueron ejecutadas en su entorno cultural.

Es importante destacar las características físicas de esta botella compuesta por tres cuerpos elipsoidales: uno grande, que se encuentra en la parte posterior de los personajes, y dos pequeños ubicados bajo estas representaciones antropomorfas en las que se ocultan los silbatos. El contener dos silbatos es fundamental para la producción del llamado sonido batiente o *polifonal*, siendo un gran aporte de la cultura Bahía a la evolución morfoacústica de dicho artefacto sonoro.

Esta investigación ha motivado a los autores, en un futuro, a indagar sobre la posible diferencia de timbre entre resonadores esféricos y cilíndricos, así como a estudiar otras botellas similares de la cultura Bahía y de otras culturas: Chorrera, Jama Coaque, entre otras.

Finalmente, el caminar por las huellas de nuestros ancestros nos permitió acercarnos a los códigos plásticos, simbólicos y acústicos que los miembros de la cultura Bahía utilizaron. Los movimientos del agua siguen produciendo sonidos mágicos, vibraciones que nos conectan con el pasado y con los saberes ancestrales que hoy dialogan en este espacio académico-científico.

Agradecimientos

Agradecemos a las autoridades de las diferentes universidades que nos apoyaron en el desarrollo de esta investigación: Universidad Central del Ecuador, Pontificia Universidad Católica del Ecuador (sede Ibarra), Escuela Politécnica Nacional, Instituto de Investigaciones Físicas de la Universidad Mayor de San Andrés (La Paz), Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay y Escuela de Diseño Gráfico Industrial de la Universidad de las Américas (UDLA). A Jorge Saade Scaff, director del MAAC (2013); Carolina Jervis Rendón, custodia del fondo arqueológico Andrés Armijos Salazar, técnico informático; Mezones Quijije y Mario Sánchez Cruz, técnicos conservadores. Finalmente, a todas las personas que han colaborado desinteresadamente con esta investigación.

Asistente de investigación y colaboradores

Asistente de investigación: Luis Alberto Zabala Vaca (lui.zzz@hotmail.com), Facultad de Artes, Universidad Central del Ecuador. Colaboradores: Raymi Gómez, Santiago Ortiz, Pablo García y Sarahí García.

Sobre los autores

MÓNICA AMPARO AYALA ESPARZA (1970, Imbabura, Ecuador) (maayala@uce.edu.ec), Magister en Estudios del Arte por la Universidad Central del Ecuador (2015) y actual doctoranda por la Universitat Politècnica de València en España, es Profesora Titular en la Facultad de Artes de la Universidad Central del Ecuador (2003). Su práctica artística la ha desarrollado en el campo de la cerámica. Ha participado como integrante de la comisión acústica ecuatoriana en

proyectos de investigación interdisciplinar para la recuperación de instrumentos sonoros ancestrales (Red Achalai). Es coautora del artículo «Botellas silbato, sonidos ocultos en el tiempo» (*Axioma*, 2015) y autora del artículo «The song of air and water: Acoustic experiments with an Ecuadorian Whistle Bottle (c. 900 BC–100 BC)» (*Internet Archaeology*, 2019).

MÓNICA MARGARITA HERMINIA POLANCO DE LUCA (1954, Argentina) (mpolanco@pucesi.edu.ec), Doctora en Diseño por la Universidad de Palermo, Argentina (2019), es Profesora Investigadora Titular en la Pontificia Universidad del Ecuador (PUCE), sede Ibarra. Directora del Grupo de Investigación en Diseño Sustentable, recibió el galardón a la investigación SENESCYT 2017 (Tutora Primer Premio Arte y Patrimonio Cultural).

TOMÁS ESPINOSA (espinosa.tomas@yahoo.com), mineralogista, es Profesor Emérito en la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

ARNAUD GÉRARD A. (gerardarn@gmail.com) es físico, músico y constructor de instrumentos musicales. Trabajó como profesor de la Carrera de Física de la Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF) de Potosí, Bolivia (1986–2010), y fue fundador y responsable del laboratorio 'Acústica Sound Lab' de la Carrera de Física, donde realizó investigaciones en acústica musical, organología y etnomusicología, siendo autor de varios artículos sobre estas materias. Actualmente es miembro de la Sociedad Boliviana de Física (SOBOFI), investigador asociado del Instituto de Investigaciones Físicas de la Universidad Mayor de San Andrés (La Paz), investigador adscrito al Instituto de Investigación Antropológica y Arqueológica de la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca e ingeniero de sonido en 'Acústica Studio Lab' de Potosí.

BRUNA ASUNCIÓN REGALADO DÍAZ (1971–2016, Carabobo, Venezuela) fue docente de la Universidad de Venezuela, donde impartió clases de física y robótica mecatrónica, y en la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay, Urcuquí, Ecuador.

EDUARDO PATRICIO ESTÉVEZ RUIZ (1985, Imbabura, Ecuador) (eduardo45pr@gmail.com) es catedrático en la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay, Urcuquí, Ecuador. Forma parte de la línea de investigación de física, ciencia de materiales y nanotecnología. Catedrático de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte, fue vicerrector y rector de la Unidad Educativa Víctor Manuel Guzmán. Por otra parte, desarrolla investigaciones en energías renovables, modelación y simulación molecular.

EDGAR PATRICIO JÁCOME-MONAR (1970, Quito, Ecuador) (epjacomem@uce.edu.ec) es Ingeniero Mecánico (1996) y Magíster en Ingeniería Industrial (2005) por la Escuela Politécnica Nacional de Quito. Fue Profesor Titular Auxiliar de la Escuela de Diseño Gráfico Industrial de la Universidad de las Américas, Ecuador. Actualmente es docente de la Carrera de Ingeniería en Diseño Industrial de la Universidad Central del Ecuador, de la Escuela de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Internacional del Ecuador y de las Maestrías de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMEIDA VÉLEZ, I. 2014. *Mitos cosmogónicos de los pueblos indígenas del Ecuador*. Quito, Ecuador: Abya Yala.
- ALMEIDA VÉLEZ, I. 2015. *Interpretación simbólica de la botella antropomorfa comunicante de triple elipsoide con doble silbato* (P. M. Mónica, entrevistador).
- ARROYO, L. 1995. *Simbología de la serpiente y el jaguar*. Quito: PUCE.
- AYALA ESPARZA, M. A.; G. F. GALLARDO CARRILLO; M. MOLINA ALARCÓN. 2019. The song of air and water: Acoustic experiments with an Ecuadorian Whistle Bottle (c. 900 BC–100 BC). *Internet Archaeology* 52: 1–26.
- BARRIENTOS, L.; J. PÉREZ DE ARCE. 2013. Acciones de Achalai para la recuperación del patrimonio sonoro musical prehispánico. *Revista Musical Chilena* 67, 219: 81–89.
- BLASCO BOSQUED, M. C.; L. J. RAMOS. 1976. Figuras de la cultura Bahía (Ecuador) del Museo de América de Madrid. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid* 3: 41–60.
<https://doi.org/10.15366/cupauam1976.3.003>.
- BOUASSE, H. 1986. *Tuyaux et résonateurs*. Tomo 2. París: Albert Blanchard.
- CARLUCI, M. A. 1966. *Recientes investigaciones arqueológicas en la isla de La Plata (Ecuador)*. Quito: Editorial Universitaria.
- CARRILLO, C. 2014. *Entrevista personal* (M. Polanco, entrevistador).

- CASTELLENGO, M. 1969. *Paramètres sensibles d'un tuyau d'orgue à embouchure de flûte*. Bulletin du GAM 42.
- CASTELLENGO, M. 1976. *Contribution à l'étude expérimentale des tuyaux à bouche*. Tesis doctoral. París: Université Pierre et Marie Curie-Paris VI.
- CASTELLENGO, M. 2015. *Ecoute musicale et acoustique*. París: Eyrolles.
- CRESPO, H. 1966. Nacimiento y evolución de la botella silbato. *Humanitas* 6, 1: 66-87.
- ESTRADA, V. E. 1957. *Prehistoria de Manabí*. Guayaquil: Museo Víctor Emilio Estrada.
- ESTRADA, V. E. 1962. *Arqueología de Manabí central*. Guayaquil: Museo Víctor Emilio Estrada.
- FABRE, B. 2008. Instruments de la famille des flûtes. En *Acoustique des instruments de musique*, A. Chaigne y J. Kergomard, pp. 469-510. París: Belin.
- FERNÁNDEZ, J. 2007. *Diccionario de Cerámica*. Vol. 1. Buenos Aires: Condorhuasi.
- GARRETT, S.; D. K. STAT. 1977. Peruvian Whistling Bottles. *The Journal of the Acoustical Society of America* 62, 2: 449-453. <http://www.peruvianwhistles.com/jasa.html>.
- GARTELMANN, K. D. 2006. *Las huellas del jaguar: culturas antiguas en el Ecuador*. Quito: Trama.
- GÉRARD, A. 2009. Sonidos «ondulantes» en silbatos dobles arqueológicos: ¿una estética ancestral reiterativa? *Revista Española de Antropología Americana* 39, 1: 125-144.
- GÉRARD, A. 2011. El sonograma: una representación práctica de los sonidos. *Revista Boliviana de Física* 18: 37-49.
- GÉRARD, A. 2015. Tara: la estética del sonido pulsante. Una síntesis. En *Flower World: Music Archaeology of the Americas*, eds. M. Stöckli y M. Howell, vol. 4, pp. 43-64. Berlín: Ekho Verlag.
- GUDEMOS, M. 2020. *Arqueomusicología ecuatoriana. Conociendo a los músicos precolombinos a través de sus instrumentos*. Montevideo: Museo de Arte Precolombino e Indígena (MAPI) e Intendencia de Montevideo.
- GUDEMOS, M.; J. CATALANO. 2009. El cuerpo del sonido: flautas antropomorfas de tradición Bahía. *Revista Española de Antropología Americana* 39, 1: 195-218.
- GUTIÉRREZ USILLOS, A. 1998. *Interrelación hombre-fauna en el Ecuador prehispánico*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- GUTIÉRREZ USILLOS, A. 2011. *El eje del universo: chamanes, sacerdotes y religiosidad en la cultura Jama Coaque del Ecuador prehispánico*. Madrid: Museo de América, Ministerio de Cultura.
- HIRSCHBERG, A. ET ALII. 1990. Jet Drive and Edgetone in Flue Organ Pipes. Original presentado al *Coloquio sobre modelos físicos ACROE-INPG (Grenoble, Francia)*.
- HOLM, O. 1961. *La técnica alfarera de Jatumpamba (Ecuador)*. Cuadernos de Historia y Arqueología 27. Guayaquil: Casa de la Cultura.
- HOLM, O. 2001. *Lanzas silbadoras y otras contribuciones de Olaf Holm al estudio del pasado del Ecuador*. Tomos I y II. Editado por K. E. Stothert. Quito: Banco Central del Ecuador.
- HORNOSTEL, E. M. VON. 1985. *Ensayo de una clasificación sistemática de los instrumentos musicales*. Traducción de *Systematik der Musikinstrumente* por E. Bermúdez. *Revista Colombiana de Investigación Musical* 1, 1.
- HORNOSTEL, E. M. VON; C. SACHS. 1914. Systematik der Musikinstrumente. Ein Versuch. *Zeitschrift für Ethnologie* 46, 4-5: 553-590. Berlín.
- HUERTA R., F. 1940. Una civilización precolombina en Bahía de Caráquez. *Revista del Colegio Nacional Vicente Rocafuerte* 51: 85-96. Guayaquil.
- IDROVO U., J. 1987. *Instrumentos musicales prehispánicos del Ecuador*. Cuenca: Museo del Banco Central del Ecuador.
- JERVIS, C. 2011. *Ficha de categorización botella silbato Bahía*. Guayaquil: Museo de Arqueología y Antropología del Ministerio de Cultura del Ecuador.
- LEIPP, E. 1984. *Acoustique et musique*. París: Masson.
- LINARES GONZÁLEZ, J.; F. HUERTAS GARCÍA; J. CAPEL MARTÍNEZ. 1983. La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada* 8: 479-490.
- MACKENZIE, D. A. 2000. *América precolombina*. Madrid: Edimat Libros.
- MARCOS, J.; P. NORTON. 1981. Interpretación sobre la arqueología de la isla de La Plata. *Miscelánea Antropológica Ecuatoriana* 1: 136-154.
- MEGGERS, B. 1966. *Ecuador. Ancient Peoples and Places* 49. Londres: Thames and Hudson.
- MELÉNDEZ R., J. E. 2010. *Mecánica de fluidos*. Portuguesa, Venezuela: Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ), Cojedes.

- MILLA, Z. 1991. *Introducción a la semiótica del diseño andino precolombino*. Lima: Eximpress.
- ORTIZ, L. 1981. *Pasado antiguo del Ecuador: evolución social*. Quito: Consejo Provincial de Pichincha.
- PÉREZ DE ARCE, J. 1982. *La música en América precolombina*. Santiago: Museo Chileno de Arte Precolombino.
- 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: 9-33.
- PÉREZ DE ARCE, J. 2006. Whistling Bottles: Sound, Mind and Water. Music Archaeology of the Americas. Trabajo presentado al *4th Symposium of the International Study Group on Music Archaeology*.
- PÉREZ DE ARCE, J. 2015. Flautas arqueológicas del Ecuador. *Resonancias* 19, 37: 47-88. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- PÉREZ DE ARCE, J.; F. GILL. 2013. Clasificación Sachs-Hornbostel de instrumentos musicales: una revisión desde la perspectiva americana. *Revista Musical Chilena* 67, 219: 42-80. Santiago de Chile.
- POLANCO, M.; M. AYALA; T. ESPINOSA. 2015. Botellas silbato, sonidos ocultos en el tiempo. *Axioma* 14: 63-73.
- TOPOROV, V. ET ALII. 2002. *Árbol del Mundo*. La Habana: Criterios, Casa de las Américas.
- VALDIVIA, E. (S. F.). *Sonidos de América*. Investigación: *Sonidos Navegantes*. Grabación: R. Carrera y C. Segre.
- VÁZQUEZ VARELA, J. M. 2003. Aproximación etnoarqueológica a la temperatura de cocción de la cerámica. *Gallaecia* 22: 407-412.
- VERGE, M. P. 1995. *Aeroacoustics of Confined Jets with Applications to the Physical Modeling of Recorder-Like Instruments*. La Haya: CIP-Data Koninklijke Bibliotheek.
- ZABALA, L. 2013. *Hoja de práctica, ensayo*. Quito: Universidad Central del Ecuador.