Las Técnicas Analíticas Nucleares y el Patrimonio Cultural

SERIE ESTUDIOS

INPC
Instituto Nacional de Patrimonio Cultural
Ecuador

Las Técnicas Analíticas Nucleares y el Patrimonio Cultural

SERIE ESTUDIOS

INPC
Instituto Nacional de Patrimonio Cultural
Ecuador

Rafael Correa Delgado
Presidente Constitucional de la República del Ecuador

María Fernanda Espinosa Garcés
Ministra Coordinadora del Patrimonio

Erika Silva Charvet
Ministra de Cultura

Inés Pazmiño Gavilanes
Directora del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural

Directorio del INPC

Ivette Celi	Delegada de la Ministra de Cultura, Presidenta del Directorio del INPC
Carlos Paladines	Delegado de la Casa de la Cultura Ecuatoriana
Hernán Ortega	Delegado de la Conferencia Episcopal Ecuatoriana
Luis Buenaño	Delegado del Ministro del Interior
Gustavo Martínez	Delegado del Ministro de Defensa
Ernesto Álvarez	Delegado del CONESUP

Coordinación INPC: Juan Carlos Mafla, Director de Conservación INPC
Martha Romero Bastidas, Laboratorio de Química, Dirección de Conservación INPC

Coordinación Editorial: Elena Noboa Jiménez, Directora de Transferencia del Conocimiento

Cuidado de la edición: Wilma Guachamín Calderón

Producción: Dirección de Transferencia del Conocimiento
Instituto Nacional de Patrimonio Cultural

Diseño: Tribal

Impresión: Ediecuatorial

Fotografía portada: Fragmento de compotera con representación zoomorfa. Cultura Cuasmal (Tuza)
Carchi - Ecuador. Archivo INPC

Tiraje: 1000 ejemplares

Quito, 2010

ISBN: 978-9978-92- 968-1

Contenido

Presentación 9

Uso de Técnicas Nucleares y desarrollo de una base de datos para la caracterización y preservación del Patrimonio Cultural en Latinoamérica. *Román Padilla Álvarez* 11

Contribución de la química a la arqueología. *Casimiro S. Munita* 23

Definición de áreas de aprovisionamiento y circulación de cerámicas arqueológicas del norte de la Patagonia - Argentina. *Rita R. Plá, Mónica Moreno, Rodrigo Ivernizzi, Verónica Aldazabal* 34

Caracterización química de cerámicas del sitio Hatahara, Amazonia - Brasil. *Kelly P. Nunes, Casimiro S. Munita, Paulo M.S Oliveira, Eduardo G. Neves, Eduardo K. Tamanaha* 54

Análisis por Difracción de Rayos X de cerámicas de los sitios arqueológicos Rumipamba y La Florida, Quito - Ecuador. *Martha Romero Bastidas, María del Carmen Molestina* 73

Estudio de procedencia de obsidiana arqueológica de Cantona - Puebla. *Dolores Tenorio, Luis Carlos Longoria Gándara, Fabiola Monroy Guzmán* 87

Estudio sobre la autenticidad y la temperatura de cocción de fragmentos cerámicos de la cultura Nasca. *Javier Alcalde González, Jorge Bravo Cabrejos, Yeseña Huaypar, Luisa María Vetter Parodi, Susana Petrik, Alcides López Milla, Paula Olivera de Lescano, Julio César Santiago Contreras* 102

Siglas 120

Perfil de los autores 121

Presentación

El Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador participó entre los años 2007 y 2010 en el proyecto, Acuerdo Regional de Cooperación Técnica para América Latina y el Caribe ARCAL RLA/08/043, organizado y financiado parcialmente por el Organismo Internacional de Energía Atómica. Este proyecto se conformó a partir de las propuestas de ocho países de América Latina para fomentar la aplicación de técnicas analíticas nucleares en la caracterización y conservación de objetos del patrimonio cultural.

En esta iniciativa científica regional participaron Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, Cuba, Perú, México y Ecuador. La información recopilada, junto con datos de caracterización de los objetos estudiados, está contenida en una base de datos generada en el marco del proyecto, que sirve para la clasificación de nuevos hallazgos o piezas dudosas con el fin de avanzar en la solución de problemas de protección y salvaguarda de los bienes patrimoniales.

La implementación exitosa del proyecto resultó de mucha utilidad para el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador, puesto que permitió poner en funcionamiento un laboratorio con varias técnicas que anteriormente no se aplicaban en el país para el estudio de bienes culturales como: textiles, cerámicas, metales, entre otros. Actualmente, el INPC cuenta con infraestructura y personal capacitados para abordar diferentes tareas analíticas como parte de las investigaciones del patrimonio cultural.

Los primeros resultados del proceso se presentan en este libro, que ilustra cómo el conocimiento sobre las sociedades pasadas puede enriquecerse a partir de la caracterización de sus objetos. Además, muestra que los resultados obtenidos sirven como evidencia para sustentar o refutar hipótesis de estudios sobre procedencia, relaciones de intercambio, uso de materias primas, tipo de manufactura y uso social.

El reto científico regional trazado busca consolidar el uso de las técnicas analíticas, fomentar el intercambio de experiencias y conocimientos entre los países del Proyecto para contribuir en la salvaguarda del patrimonio cultural de América Latina y el Caribe.

Inés Pazmiño Gavilanes
Directora Nacional
Instituto de Patrimonio Cultural

Uso de Técnicas Nucleares y desarrollo de una base de datos para la caracterización y preservación del Patrimonio Cultural en Latinoamérica

Román Padilla Álvarez
Organismo Internacional de Energía Atómica

Resumen

Una de las misiones del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) es promover y apoyar la incorporación de técnicas nucleares en diferentes campos de la investigación aplicada en los países miembros del OIEA. Para este fin, el Organismo coordina y financia diferentes tipos de actividades de Cooperación Técnica entre los Estados miembros. El Proyecto RLA/08/043 (Uso de Técnicas Nucleares y desarrollo de una base de datos para la caracterización y preservación del Patrimonio Cultural en Latinoamérica) fue una de las actividades que se llevó a cabo entre los años 2007 y 2010 con el objetivo de contribuir al estudio, la conservación y la preservación del patrimonio cultural a partir de la caracterización y el enriquecimiento de la información contextual de diferentes objetos. Esta iniciativa contó con la participación de ocho países: Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, Cuba, Ecuador, México y Perú.

Como resultado de las actividades realizadas por los grupos de investigación participantes se analizaron alrededor de 1800 muestras del patrimonio cultural. La información que se obtuvo se guardó en una base de datos creada para este fin. Esta base está alojada en un servidor del Centro Atómico Ezeiza (Argentina) al que se tiene acceso en forma gratuita por Internet, previa solicitud a los moderadores de la misma.

Introducción

El patrimonio cultural de una nación es uno de sus recursos más valiosos. Las evidencias conservadas desde el pasado son parte inalienable del legado histórico de los pueblos y constituyen una evidencia de la formación de la identidad cultural. El estudio de este legado y su conservación para las generaciones futuras es una responsabilidad colectiva, ya que el patrimonio cultural está conformado por bienes que son propiedad de toda la sociedad.

La clasificación, preservación y restauración de estos valiosos objetos materiales requiere de la integración de diferentes fuentes de conocimiento especializado y del trabajo mancomunado de grupos interdisciplinarios para lograr una comprensión adecuada de los diferentes tipos de información que se pueden obtener en los estudios, así como para establecer un tratamiento eficaz de los objetos.

El análisis químico de conjunto con técnicas estadísticas avanzadas para la interpretación de los datos obtenidos ha sido utilizado con más frecuencia para complementar investigaciones orientadas a determinar el origen y procedencia de objetos arqueológicos o de obras de arte. La composición química de los objetos puede servir para definir los llamados perfiles de composición química (frecuentemente llamados "huellas dactilares") de un tipo dado de muestras, y ser una herramienta poderosa para resolver muchos de los problemas relacionados con la caracterización de estos objetos. La composición química constituye una información que complementa la descripción estilística y comparativa que habitualmente se hace de los objetos. Las técnicas analíticas que tienen suficiente sensibilidad instrumental, así como la capacidad de determinar más de un elemento en una sola medición (carácter multi-elemental), resultan ventajosas para el estudio de estos objetos puesto que no siempre se conoce a priori qué diferencias o similitudes en composición existen entre los objetos.

Una visión interdisciplinaria es útil a la hora de concebir las investigaciones, diseñar las estrategias de muestreo, así como para correlacionar las evidencias encontradas con la hipótesis asumida o con nuevas ideas, sobre todo al realizar estudios de bienes valiosos y en ocasiones únicos en su especie. Aunque esta visión resulta extremadamente lógica, no siempre la comprenden o adoptan muchos especialistas, ya sea por desconocimiento de las potencialidades de otras técnicas, por temor a incursionar en campos del conocimiento que resultan ajenos a la formación propia o por la falta de nexos institucionales o relaciones de colaboración que creen el marco adecuado para explotar al máximo las ventajas de tal integración.

El tratamiento estadístico de los resultados de conjuntos relativamente grandes de datos facilita la revelación y/o la comprensión de la existencia de correlaciones entre propiedades en los objetos estudiados y su ulterior clasificación. El análisis multivariado separa la varianza y la covarianza de los datos y revela ciertas estructuras o similitudes en los grupos de muestras analizados. La clasificación permite aportar evidencia para responder a diferentes interrogantes, tales como las relacionadas con el origen de las muestras, las interrelaciones entre comunidades, hipótesis sobre métodos y técnicas de elaboración de los objetos, entre otras.

Las técnicas analíticas nucleares han sido utilizadas con éxito para la caracterización de obras de arte. El análisis por Activación Neutrónica Instrumental (AANI), así como diferentes técnicas de Espectroscopía de Rayos X (ERX) además de tener un carácter multi-elemental y adecuada sensibilidad instrumental, gozan de una ventaja adicional: en muchas ocasiones solo se requiere realizar una invasión o alteración mínima de la muestra, lo cual constituye una ventaja en el caso de objetos valiosos. Los resultados obtenidos aplicando diferentes técnicas analíticas nucleares en el estudio de cerámica arqueológica, herramientas de piedra, objetos metálicos, obras pictóricas y otros tipos de obras de arte o hallazgos arqueológicos han sido publicados en numerosos artículos científicos durante las dos últimas décadas.

La cooperación regional constituye un mecanismo poderoso para fomentar el intercambio de experiencias en el uso de técnicas analíticas y de tratamiento estadístico de los resultados, así como para la transferencia de *know how* y el acceso a instalaciones en instituciones científicas de la región. Dos Programas Coordinados de Investigación (PCI, o *Coordinated Research Project* – CRP) del OIEA fueron llevados a cabo en años recientes: el CRP F.2.30.15 (1996-2000, *Nuclear Analytical Techniques in Archaeological Investigations*) promovió la introducción del AANI en las investigaciones arqueológicas en América Latina [2] y el CRP F.2.30.23 (2004-2009, *Application of NATs to the investigation of the authenticity of art objects*). Ambos Programas demostraron los efectos sinergéticos de la estrecha colaboración entre analistas y arqueólogos o investigadores del arte.

El Acuerdo Regional RLA8043 comenzó en el 2007 con la participación de equipos de investigadores de Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, Cuba, Ecuador, México y Perú, y contribuyó al estudio y la preservación del patrimonio cultural a partir de la obtención de información analítica para la caracterización y contextualización de objetos mediante el uso de instalaciones existentes en América Latina. Los resultados obtenidos durante la ejecución de este Proyecto, de conjunto con información contextual de los objetos, fueron almacenados en una base de datos desarrollada en los marcos del proyecto.

Esta base de datos tiene la intención de facilitar el trabajo de especialistas del área. La información contenida en la misma contribuye a la solución de diferentes problemas, tales como: validación de clasificaciones de objetos, aporte de datos para propósitos de restauración, lucha contra el tráfico ilegal de bienes, así como la contribución de evidencia para las investigaciones arqueológicas e históricas.

Como la información contenida solo puede ser usada en carácter comparativo, el valor de uso de la base es proporcional a la cantidad contenida de información. Se sugiere a los investigadores del área no solamente consultar la base, sino también enriquecerla brindando información sobre otros objetos estudiados.

Estado actual de la problemática en la región

Muchos museos en Latinoamérica atesoran colecciones que constituyen una fuente de conocimiento no explotada en su máxima potencialidad. La mayoría de los objetos han sido caracterizados usando denominadores descriptivos o comparativos, y el acceso a esta información está restringido por diferentes causas. No existen fuentes para consulta con información sistematizada y exhaustiva que sean accesibles libremente, y con frecuencia los especialistas en estos campos consideran el conocimiento como un recurso que debe ser compartido con discreción. Los estudios de los objetos en ocasiones son realizados con presupuestos muy limitados, o por instituciones académicas que no reciben recursos o beneficios materiales por la exposición de los bienes.

Antes de la implementación del proyecto RLA8043 no existían bases de datos nacionales o regionales que combinaran información descriptiva o contextual de los objetos con información de composición química de los mismos.

La región cuenta con varios laboratorios con cierta experiencia en el análisis de este tipo de objetos utilizando técnicas nucleares. Algunos de estos laboratorios (Argentina, Brasil, Chile, Cuba, México y Perú) participaron en varios de los proyectos organizados por el OIEA con anterioridad. Como resultado de estos proyectos cerca de 2000 muestras, fundamentalmente cerámica arqueológica, fueron analizadas y los resultados publicados en varias revistas científicas [3 – 18]. Durante la implementación del proyecto RLA8043 los investigadores de Argentina, Brasil, Chile, México y Perú utilizaron el AANI, mientras que Perú, Cuba y Costa Rica emplearon el análisis por Fluorescencia de Rayos X. Los investigadores de Ecuador aplicaron la Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA) y la Difracción de Rayos X (DRX). La siguiente Tabla resume información sobre los laboratorios participantes en este proyecto.

País	Institución	Técnicas analíticas	Muestras analizadas	Elementos de Gestión Calidad
ARG	Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)	AANI	Cerámicas	ISO 17025 ©
BRA	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)	AANI	Cerámicas	Prácticas de Control Interno de Calidad
	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)	AANI	Cerámicas	Prácticas de Control Interno de Calidad
CHI	Comisión Chilena de Energía Nuclear (CChEN)	AANI	Cerámicas	ISO 17025 ©
COS	Centro de Investigación en Ciencias Atómicas Nucleares y Moleculares, Universidad de Costa Rica (CICANUM-UCR)	FRX	Obras de orfebrería	-
CUB	Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN)	FRX	Cerámicas, restos óseos, pigmentos	ISO 17025 ©
ECU	Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC)	DRX	Cerámicas	-
MEX	Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)	AANI	Cerámicas, objetos de obsidiana	Prácticas de Control Interno de Calidad
PER	Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)	AANI, FRX	Cerámicas, restos óseos, objetos metálicos	ISO 17025 ©

Resumen de facilidades analíticas existentes.
© Laboratorio acreditado por el Órgano de acreditación Nacional.

La validación de técnicas analíticas y la avanzada gestión de calidad alcanzados por varios laboratorios en la región han fortalecido la credibilidad en los resultados analíticos y en los laboratorios que operan sistemas de gestión de calidad. La mayor parte de los laboratorios manejan diferentes sistemas de gestión y/o aseguramiento de la calidad, y algunos (Argentina, Chile, Cuba y Perú) han alcanzado la acreditación de acuerdo a la norma ISO: IEC 17025. Aunque operen sistemas de gestión de calidad aún

no acreditados, otros laboratorios han implementado otras técnicas de análisis. El ININ (México) ha empleado el análisis por AANI y por Excitación de Rayos X utilizando partículas cargadas (PIXE); el IPEN (Brasil) el AANI, mientras que el IPEN de Perú ha empleado con éxito el AANI, la DRX, la FRX, la Espectroscopía Mössbauer y la técnica de fechado por Termo-luminiscencia (TLD) en diferentes estudios.

Resultados analíticos obtenidos en los marcos del RLA8043

Más de 1700 objetos y materiales fueron analizados por los grupos de investigación involucrados en el proyecto. A continuación se resume los tipos y cantidades de muestras analizadas. Los resultados alcanzados han sido publicados en diferentes textos [19 - 22].

		Tipos de muestras				
	Total por país	Líticos	Arcillas	Cerámicas	Pigmentos	Metálicos
ARG	535	44	147	340	4	-
BRA	370	-	40	330	-	-
CHI	178	-	-	178	-	-
COS	0	-	-	-	-	-
CUB	391	-	-	348	19	24
ECU	83	-	7	76	-	-
MEX	79	79	-	-	-	-
PER	151	-	-	88	55	8
TOTAL	**1787**	**123**	**194**	**1360**	**78**	**32**

Muestras y materiales analizados durante el desarrollo del Proyecto RLA8043.

La calidad de los datos analíticos fue controlada mediante la evaluación de la veracidad y precisión de los resultados alcanzados al analizar materiales certificados y muestras de referencia como parte de ejercicios de aptitud.

Todos los países participantes se beneficiaron de la capacitación en el uso de técnicas estadísticas avanzadas, en particular en el uso del programa GAUSS, desarrollado por el *Missouri University Research Reactor Center* (MURR) de los Estados Unidos de Norteamérica. La cooperación regional se fortaleció

por el establecimiento y/o consolidación de los vínculos entre los participantes. En particular, se convocó a extensos debates a las instituciones beneficiarias de los países participantes y se definieron en consenso los campos que integrarán la base de datos. El Proyecto instauró los cimientos para motivar futuras relaciones de cooperación bilateral o multilateral entre las instituciones participantes.

Descripción de la base de datos

La base de datos se desarrolló en castellano, por ser el idioma más extendido en la región y de relativa comprensión en los países no hispano-hablantes. El tipo de información que contiene la base se delimitó en reuniones de discusión con arqueólogos, curadores de museo, especialistas de arte e historia de los países participantes.

La base fue diseñada por especialistas de la CNEA (Buenos Aires, Argentina) utilizando software GPL de probadas consistencia y robustez (Linux, MySQL, PHP) y será hospedada en uno de los servidores de la CNEA como contribución de esta institución.

Cada registro combina la información comúnmente utilizada para la descripción de este tipo de objetos (diseño, estilo, fechado, contexto arqueológico / histórico / cultural, ver Recuadro 1) con información sobre el origen de la muestra (Recuadro 2) y una descripción del método empleado para obtener los resultados de análisis de composición (Recuadro 3). Los resultados del análisis químico se muestran en forma de tabla, incluyendo la incertidumbre de los resultados reportada por el analista (Recuadro 4). La base incluye también información técnica y manuales de usuario y administración.

Datos Generales

Nro de Identificación: APA-113
Nro de batch: OT361 / 2008
Enviado por: Fernanda Falabella
Tipo de Objeto: vasija
Estado:
Tipo de Pasta: C*N6
Clasificación Morfofuncional: olla
Función Potencial: culinaria
Dimensiones del Objeto:
En cm. Volumen: Largo X Alto X Ancho, Superficie: Lado X Lado o Diametro
Proyecto relacionado:

Haga click sobre la foto para verla ampliada en una nueva ventana

Ident del laboratorio: DB-73
Email: ffalabella@vtr.net
Materialidad: cerámica
Detalles Materialidad: : Tipo Pardo Alisado
Analisis con Lupa: Si
Clasificación Cronocultural: Aconcagua
Tipo de Decoración: no tiene
Dimensiones del Fragmento Analizado: 3x3 Aprox

Recuadro 1. **Información descriptiva.**

Area

País: Chile
Subregión geográfica: costa, cuenca del río Maipo
Período cultural: Intermedio Tardío
Fechas asociadas: 1000-1450 d.C.

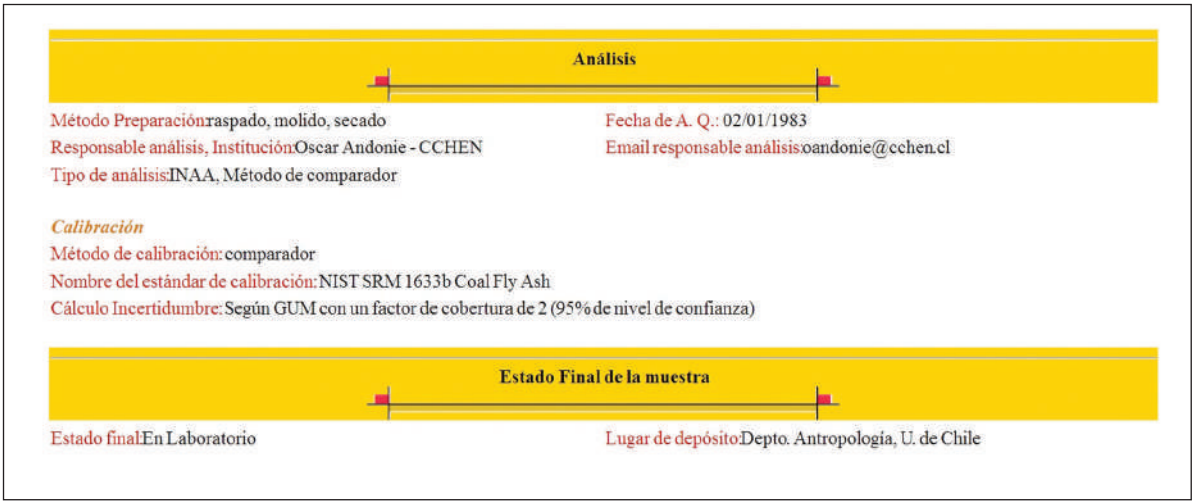
Provincia/Departamento: V Región
Area Cultural: Zona Central de Chile
Contexto cultural: cultura Aconcagua

Sitio Arqueológico

Sitio de procedencia: Tejas Verdes 1
Ubicación del sitio: 33° 37' / 71° 36'
Funcionalidad sitio: habitacional
Capa/Nivel: : 17
Fecha obtención: 02/01/1983

Código sitio de procedencia: TV1
Tipo de sitio: a cielo abierto
Unidad de excavación: cuadrícula H
Modo de obtención: excavación arqueológica

Recuadro 2. **Información sobre el origen del objeto.**



Análisis

Método Preparación: raspado, molido, secado
Fecha de A. Q.: 02/01/1983
Responsable análisis, Institución: Oscar Andonie - CCHEN
Email responsable análisis: oandonie@cchen.cl
Tipo de análisis: INAA, Método de comparador

Calibración

Método de calibración: comparador
Nombre del estándar de calibración: NIST SRM 1633b Coal Fly Ash
Cálculo Incertidumbre: Según GUM con un factor de cobertura de 2 (95% de nivel de confianza)

Estado Final de la muestra

Estado final: En Laboratorio
Lugar de depósito: Depto. Antropología, U. de Chile

Recuadro 3. Descripción del método analítico empleado.

ID	Elemento	Concentración	Incertidumbre	Unidad
APA-113	As	8.030	0.567	mg/kg
APA-113	Ba	515.172	86.900	mg/kg
APA-113	Ce	46.154	6.907	mg/kg
APA-113	Co	17.356	3.143	mg/kg
APA-113	Cr	76.706	3.446	mg/kg
APA-113	Cs	2.118	0.497	mg/kg
APA-113	Eu	1.249	0.329	mg/kg
APA-113	Fe	53900.000	3600.000	mg/kg
APA-113	Hf	10.020	2.449	mg/kg
APA-113	K	14700.000	3100.000	mg/kg
APA-113	La	22.355	3.700	mg/kg
APA-113	Lu	0.366	0.119	mg/kg
APA-113	Na	18150.000	690.000	mg/kg
APA-113	Rb	51.833	9.380	mg/kg
APA-113	Sb	0.775	0.142	mg/kg
APA-113	Sc	14.728	2.735	mg/kg
APA-113	Sm	4.698	0.974	mg/kg
APA-113	Ta	0.585	0.180	mg/kg
APA-113	Tb	0.564	0.179	mg/kg
APA-113	Th	6.146	0.379	mg/kg
APA-113	U	1.514	0.303	mg/kg
APA-113	Yb	1.912	0.488	mg/kg
APA-113	Zn	68.283	5.315	mg/kg
APA-113	Nd	23.113	17.857	mg/kg
APA-113	Sr	288.626	54.509	mg/kg

Recuadro 4. Resultados de análisis químico.

El acceso a la base es moderado y requiere de una solicitud a los administradores (Sra. Rita Pla, rpla@cae.cnea.gov.ar o Sr. Ricardo Bianchini, rbianchi@cae.cnea.gov.ar). La base permite realizar búsquedas y acceder a la información en diferentes modos:

Actualmente, la base contiene información sobre más de 1700 muestras. Este número puede duplicarse si se recupera y envía la información obtenida de estudios anteriores. Esta base de datos tiene la intención de facilitar el trabajo de los especialistas del área y su valor es proporcional a la cantidad contenida de información. Por lo tanto, se sugiere propiciar el manejo proactivo e implementación de la base a fin de enriquecerla.

Bibliografía

Álvarez, R.P., Van Espen, P.J.M., Plá, Rita, Rossi, E.M., Delgado, R.A., Godo Torres, P.P. and Gonzalez, M.C., "Compositional classification of archaeological pottery based on NAA and SEM-EDX", *Journal of Trace and Microprobe Techniques 21,* Nº 4, 2003, pp. 677-695.

Analytical Applications of Nuclear Techniques, STI/PUB/1181, IAEA, Vienna, December 2004.

Calligaro, T., Chiappero, P.J., Gendron, F., Gonthier, Meslay, O. Poupeau, G. and Tenorio D., "PIXE analysis of the obsidian support of two paintings from the Louvre by Murillo", *Revista Mexicana de Física* S53-3, 2007, pp. 43-48.

Cruz-Jiménez, R. L., Jiménez-Reyes, M., Tenorio D., "Análisis por Activación Neutrónica de obsidianas recolectadas en el sitio arqueológico de Morgadal, Veracruz México", *Revista de la Coordinación Nacional de Arqueología* (INAH), Nov-Dic, 2009, pp.15-20.

Delgado, Arrazcaeta, Hernández Oliva, Carlos A., Padilla Álvarez, Román, Bishop, Ronald L., Blackmann, Jim, Espen, Pierre Van y Schalm, Olivier, "Consideraciones adicionales a la clasificación de cerámica colonial en antrosoles habaneros", *Boletín Gabinete Arqueología No. 4*, año 4, 2005, pp. 14-28.

Delgado, M., Olivera, P., Montoya, E., Bustamante, A., "Building a Bridge to the past: Archaeometry at the IPEN Reactor". *Archaeometry Nº* 49, 2, 2007, pp. 403-412.

Felicissimo, M.P., Peixoto, J.L., Munita, Casimiro, *Elemental composition study of pre-colonial ceramics from pantanal of Mato-Grosso do sul by NAA*., Clio 22, 2007, pp. 203-213.

Juárez-Cossío, D., Terreros, E., Quiroz-Moreno, J., Romero-Sánchez, S., Calligaro, T.F., Tenorio, D., Jiménez-Reyes, M., De Los Rios M., *Archaeological obsidian from La Sierra Gorda Mexico*, by PIXE, Nuclear Instruments and Methods B., Vol 267, 2009, pp. 1149-1152.

López Milla, A., Olivera de Lescano, P., "Caracterización de pigmentos aplicados en Material arqueológico de la Cultura Chincha por Fluorescencia de Rayos X y Microscopía Electrónica de Transmisión", *Rev Soc Quím Perú 73, Nº 1*, 2007, pp. 3-17.

Munita, Casimiro, Paiva, R.P., Oliveira, Paulo, Momosea, E. F., Plá, Rita, Moreno, M., Andonie, O., Falabella, F., Muñoz, L. and Kohnenkamp, I., *Intercomparison Among Three Activation Analysis Laboratories in South America, J. Trace and Microprobe Tech, 19*(2), 2001, pp. 189-197.

Nuclear Analytic Techniques in Archaeological investigations, IAEA's Technical Report Series Nr. 416, STI/DOC/010/416, Vienna, August 2003.

Oliveira, P.M.S., Munita, Casimiro, Hazenfratz, R., *Comparative study between three methods of outlying detection on experimental results,* J. Radioanal Nucl. Chem. 283, 2010, pp. 433-437.

Padilla Álvarez, Román, Compositional classification of archaeological ceramics based in non-destructive EDXRF analysis, Thesis for the defense of Ph. D. Degree, University of Antwerp (UA), Belgium, 2005.

Padilla, R., Espen P., Van, Godo, P.P., "The suitability of XRF analysis for the classification of archaeological ceramics: A comparison with a previous INAA study", *Analytica Chimica Acta*, Volume 558, Issues 1-2, 3 February 2006, pp. 283-289.

Padilla, R., Schalm, O., Van Espen, P., Janssens, K., Arrazcaeta R., "Micro analytical characterization of surface decoration in Majolica pottery", *Analytica Chimica Acta 535*, 2005, pp. 201-211.

Plá, Rita. and Ratto, N. R., "Archaeometry at the Argentine National AtomicEnergy Commission: Characterization of Argentine Northwestern Pottery", *Archaeometry Nº 49 – 2*, 2007, pp. 413-420.

Rivero-Torres, S., Calligaro, T., Tenorio, D.M., Jiménez-Reyes, "Characterization of archaeological obsidians from Lagartero", Chiapas Mexico, by PIXE, *Journal Archaeological Science Nº 35,* Chiapas, 2008, pp. 3168-3171.

Sanhueza, Lorena, Falabella, Fernanda, *Hacia una inferencia de las relaciones sociales del Complejo Llolleo durante el Período Afarero Temprano en Chile Central*, en Nielsen, Axel, Rivolta, C, Seldes, Verónica, Vásquez, M. y Mercolli, P, comp., *Procesos Sociales Prehispánicos en el Sur Andino: La Vivienda, la Comunidad y el Territorio,* Córdoba, Editorial Brujas, 2007, pp. 377-392.

Santos, Y. J.O., Munita, Casimiro, Valerio, M.E., Vergne, C., Oliveira, P.M.S., *Correlations between chemical composition and provenance of Justino site ceramics by INAA*, J. Radioanal Nucl. Chem. 278, 2008, pp. 185-190.

Santos, J.O., Munita, Casimiro, Toyota, R.G., Vergne, C., Silva, R.S. Oliveira, P.M.S. "The archaeometry study of the chemical and mineral composition of pottery from Brazil´s Northeast", *J. Radioanal Nucl. Chem. Nº 281,* 2009, pp. 189-192.

Toyota, R.G., Munita, Casimiro, Neves, E.G., Demartini, C.C., "Estudo do efeito do tempero na cerâmica Marajoara", *Canindé Nº 11*, 2008, pp. 55-64.

Vandenabeel, Peter, Ortega-Aviles, Mayahuel, Tenorio Castilleros, Dolores, Moensa Luc, "Raman spectroscopic analysis of Mexican natural artists' materials", Spectrochimica Acta, A 68, 2007, pp. 1085-1088.

Contribución de la química a la arqueología

Casimiro S. Munita
Instituto de Investigaciones Energéticas y Nucleares

Resumen

El trabajo presenta una breve reseña histórica de la contribución de la química a la arqueología. Los primeros estudios se remontan a los años 1700, cuyos autores tuvieron una importante participación en todas las áreas de la química, como Martin H. Klaproth, Humphry Davy, Karl Goebel, J. Berzelius, R. Fresenius, Michael Farady, Friedrich Kekulé, Jons Berzelius, Marcelin Berthelot, Louis Pasteur, entre otros. Estos destacados científicos incluyeron en su proceso de descubrimiento el estudio de objetos arqueológicos, porque visualizaban las potencialidades de la química para estudiar los objetos ancestrales.

Desde hace muchos años la química contribuye a la arqueología con trabajos destacados. Uno de los pioneros en realizar la caracterización química de objetos y materiales antiguos fue Martin Heinrich Klaproth (1743-1817) usando métodos gravimétricos de análisis. Entre sus primeros trabajos se destaca el análisis de seis monedas griegas y nueve romanas, en las cuales determinó cobre en la forma de precipitado insoluble. Los resultados de su trabajo al que llamó "Mémoire de Numismatique Docimastique" se presentaron el 9 de julio de 1795 en la "Royal Academy of Sciences and Belles-Letters" de Berlín y se publicaron tres años más tarde, en 1798[1]. Cabe destacar que Klaprothfue de los primeros en hacer análisis químico cuantitativo, contribuyendo en forma significativa a la química analítica y a la mineralogía. Fue descubridor de varios elementos químicos, entre los cuales se encuentran: uranio, zirconio y telurio (1789), cromo (1797), cerio (1803) y fue el segundo en descubrir el titanio (1795). En su época, fue considerado uno de los principales químicos alemanes. Sus esfuerzos se compensaron con el nombramiento como primer profesor de química en la recién fundada Universidad de Berlín.

1) E.R. Caley, "Klaproth as a Pioneer in the chemical investigation of antiquities", *J. of Chemical Education N° 26,* 1949, pp. 242-247; 268.

Sir Humphry Davy (1778-1829) fue conocido por su gran habilidad en investigación, intuición y rigor metodológico. Se destacó por descubrir dos importantes metales, sodio y potasio y separar bario, boro, calcio, estroncio y magnesio. Aportó a la arqueología con la publicación de un trabajo sobre el análisis de pigmentos antiguos de Roma y Pompeya en 1815[2].

Karl Christian Traugott Friedmann Goebel (1794 -1851), profesor de Química y Farmacia en la Universidad de Tartu, Estonia, analizó varios objetos antiguos. Los resultados se publicaron, en 1842, en un boletín, de apenas 38 páginas, que es considerado como uno de los trabajos clásicos de la química en arqueología[3]. En la época, él no solamente analizó una mayor cantidad de objetos arqueológicos que sus contemporáneos, sino que también se interesó en la interpretación de los datos obtenidos desde el punto de vista arqueológico e histórico. Fue el primer investigador en sugerir, explícitamente, que el análisis químico de los artefactos antiguos podría ser de gran utilidad a la arqueología.

Otros destacados científicos fueron Michael Faraday (1791-1867), que hizo importantes descubrimientos, como la inducción electromagnética y la construcción del primer generador de electricidad; Wilhelm Conrad Roentgen (1845 -1923), descubridor de los rayos X, razón por la que obtuvo el Premio Nóbel de Física en 1901. Cabe señalar que Roentgen convencido de que la ciencia debe estar al servicio de la humanidad y no del lucro, no aceptó patentar su descubrimiento y donó la recompensa del premio a la Universidad de Munich. El mismo año que descubrió los rayos X, en 1895, intentó realizar la primera radiografía en una pintura. Ya en esa época, Roentgen sugirió que esta nueva técnica ayudaría a la arqueología a identificar los falsos objetos de arte.

Por otro lado, el químico Friedrich Augus Kekulé von Stradonitz (1829-1896), aportó a la industria petroquímica y de plásticos con el hallazgo de la molécula de benzeno (1865). Jons Jackob Berzelius (1779-1848), fue uno de los fundadores de la química moderna ya que estableció las bases de la estequiometría. Marcelin Pierre Eugene Berthelot (1827-1907), contribuyó a la química con la síntesis de varios compuestos orgánicos. Louis Pasteur (1822-1895), fue conocido por descubrir la acción transmisora y el campo de acción de microorganismos. En 1864 fue invitado por la Academia de Bellas Artes de Paris para ministrar un curso sobre química y física aplicada al arte.

Con distintos grados de transcendencia, los científicos nombrados cooperaron con sus investigaciones al conocimiento de los objetos antiguos por medio del análisis de su composición química.

2) E.R. Caley, "The early history of chemistry in the service of archaeology", *J. of Chemical Education Nº 28,* 1951, pp. 64-66.
3) G. Harbottle, "Chemical characterization in archaeology", J.E. Ericson, and T.K. Earle, editores, *Contexts for prehistoric exchange,* Academic Press, New York, 1982, pp. 13-51.

Es importante resaltar que todos ellos incluyeron el análisis químico en objetos arqueológicos como parte de su proceso de descubrimiento.

A partir del siglo XX surge el interés de abordar en forma interdisciplinaria el estudio de los objetos arqueológicos, para lo cual se involucran historiadores del arte, curadores, físicos y químicos. Uno de los grandes incentivadores de esta propuesta fue Edward W. Forbes (1873-1969), quien creó en 1928 el *Department for Conservation and Technical Research en el Fogg Art Museum* en la Universidad de Harvard, que a partir de 1994 toma el nombre de *Straus Center for Conservation and Technical Studies*. Los trabajos realizados en dicha institución son pioneros en la aplicación de sofisticados métodos de análisis en diferentes tipos de objetos de arte e históricos; estudiando cuestiones relacionadas a la procedencia de las producciones artísticas. Sobre la base de esta iniciativa se editó en 1932, la revista *Technical Studies in the Field of Fine Arts*[4].

Fue a partir de 1958, con el surgimiento del periódico científico, *Archaeometry* en la Universidad de Oxford, que se inicia el gran salto de la interdisciplinaridad entre química, física, matemática y estadística y arqueología. A partir de ahí surge la palabra arqueometría. La revista *Archaeometry* nace como un boletín del *Research Laboratory for Archaeology and the History of Art – RLAHA,* de la Universidad de Oxford, Londres, cuyos fundadores fueron Christopher Hawkes y lord Cherwell, bajo la supervisión de E.T. Hall. De inicio, el periódico no planteó la posibilidad de transformarse en un medio de gran circulación. Su finalidad era ofrecer medios rápidos para circular los resultados de las investigaciones concluidas, difundir los proyectos, parcialmente bien desarrollados que, normalmente, no se publicaban en otras revistas. Además de presentar los informes parciales de algunos de los trabajos en curso. Este periódico se edita hasta los días actuales.

El primer fascículo de *Archaeometry* tenía cinco artículos: dos sobre el análisis químico de monedas griegas; uno describía la aplicación del método de análisis por activación con neutrones en piezas y monedas antiguas de la isla de Samos. Otro sugería el uso de medidas direccionadas utilizando el campo magnético de la tierra como una técnica de datación para artefactos chinos de Yueh (Yue), y otro sobre el uso de la prospección magnética como una técnica de localización de hornos Romano Británicos en el villorrio de Water Newton[5].

---

4) F. Bewer, "Early history of conservation and technical Studies at the Fogg Art Museum", http://cool.conservation-us.org/byform/mailing-lists/cdl/1998/1145.html, 05 abril 2010.

5) A.M. Pollard, "Archaeometry 50th anniversary issue editorial". *Archaeometry Nº 50*(2), 2008, pp. 191-198, DOI 10.1111/j.1475-4754.2008.00395.

A pesar de las metas relativamente modestas del boletín, ese pequeño volumen tenía dos artículos, particularmente significativos para la arqueología: la presentación de los resultados del primer examen geomagnético arqueológico de la Tierra – la prospección magnética con el magnetómetro de protones[6] y el segundo trabajo sobre análisis de material arqueológico por medio del método de análisis por activación con neutrones[7].

De esta forma, el término Arqueometría es usado como indicativo de una nueva rama científica, surge con la sistematización de una área interdisciplinar de estudios que une las ciencias exactas a la conservación, restauración y estudio del patrimonio cultural de la humanidad.

Desde la década de los años 50, uno de los principales focos de la Arqueometría ha sido el estudio de cerámicas que, por ser uno de los materiales más producidos por los grupos antiguos, desde el período Neolítico, y por la resistencia a las variaciones climáticas, son encontradas en cantidades significativas en la mayoría de los sitios estudiados, por eso se tornaron el foco principal de estudio de esas comunidades. El principal propósito de caracterizar cerámicas es reconstruir su ciclo de vida, desde su producción (identificando los centros de fabricación, las fuentes de materias primas, el tratamiento superficial, el proceso de cocción, entre otros) hasta el uso final. Los análisis permiten, por lo tanto, correlacionar el ciclo de vida al comportamiento de los grupos involucrados en el proceso, a fin de intentar reconstruir su comportamiento dentro del contexto arqueológico en el que las cerámicas fueron producidas, distribuidas y utilizadas[8].

Durante la segunda mitad del siglo XX, se observa el esfuerzo de algunos científicos para que los estudios arqueométricos se evidencien como soporte a los análisis arqueológicos. Sin embargo, ese hecho no se asimiló ya que hasta la década de los años 70, la aplicación de esa metodología interdisciplinar no se difundió plenamente entre las instituciones universitarias y los museos.

La última fase de gran relevancia en estudios arqueométricos se da en la segunda mitad de la década del 70 y se relaciona con el desarrollo de mejores instrumentos analíticos que presentan mayor sensibilidad, precisión y exactitud, además de la posibilidad del uso de datos procesados en computador[9]. Esos aspectos, actualmente, son indispensables en estudios científicos.

---

6) M.J. Aitken, "Magnetic prospecting. I-The water Newton survey", *Archaeometry Nº 1,* 1958, pp. 24-26.
7) V.M. Emeleus, "The technique of neutron activation analysis as applied to trace element determination in pottery and coins", *Archaeometry Nº 1,* 1958, pp. 6-15.
8) E. Gliozzo, I.M. Turbanti, "Black gloss pottery: production sites and technology in Northern Etruria, Part I: provenance studies", *Archaeometry Nº 46*(2), 2004, pp. 201-225.
9) G. Harbottle, "Chemical characterization in archaeology"

Como se puede verificar, la aplicación de métodos científicos como herramientas analíticas para el estudio de los artefactos arqueológicos se intensificó, a partir del siglo XIX, y se extendió en los siglos XX y XXI, constituyéndose como un nuevo tipo de evaluación de los artefactos arqueológicos que toma en consideración métodos interdisciplinares que envuelven el empleo de las ciencias exactas y humanas. Este abordaje favorece inmensamente los estudios en las áreas de arqueometría e historia del arte[10]. Como resultado de esta interdisciplinaridad, actualmente, es intenso el uso de técnicas de caracterización físico-química en estudios de vestigios arqueológicos.

El estudio de artefactos arqueológicos, como fragmentos cerámicos, es extremamente importante en arqueología porque determina el proceso de reconstrucción de la prehistoria humana, especialmente para el establecimiento de las relaciones sociales y culturales entre las comunidades[11]. Por ser durables, consecuentemente, resistentes a las variaciones climáticas, esos objetos son los más encontrados y estudiados[12].

Las cerámicas, desde el punto de vista geológico, se forman a partir de rocas sedimentares, cuyo principal componente es la arcilla, es decir, aluminio silicatos de composición indefinida. Los principales componentes de la arcilla son Al_2O_3 e SiO_2, que se encuentran presentes en cantidades mayores al 10%. Impurezas menores, tales como los óxidos de Na, Mg, K, Ca, Ti e Fe se encuentran en concentraciones que varían de 0,1 a 5%. Entretanto, los elementos traza (menores que 0,1%) en la arcilla es "accidental", y son los que, normalmente, proporcionan la mejor información en estudios arqueométricos. Esta característica torna, estadísticamente, improbable que la concentración de varios elementos traza en la arcilla de una determinada localidad coincida, cuantitativamente, con la de arcilla de otras localidades[13]. Siendo así, las propiedades microscópicas de la cerámica, como la composición química y mineralógica, son capaces de revelar informaciones seguras al respecto de las comunidades antiguas. Este es uno de los principales motivos por los cuales los investigadores hacen uso de técnicas sofisticadas para caracterizar cerámicas[14].

10) M.W. Ainsworth, "From connoisseurship to technical art history – the evolution of the interdisciplinary study of art", *The Getty Conservation Institute Newsletter,* 20(1), 2005, pp. 4-10.

11) E. Gliozzo, P. Vivacqua, I.T. Memmi, "Integrating archaeology, archaeometry and geology: local production technology and imports at Paola (Cosenza, Southern Italy)", *J. of Archaeological Science Nº 35*(4), 2008, pp. 1074-1089.

12) Casimiro Munita, R.P. Paiva, M.A. Alves, Paulo M.S. Oliveira, E.F. Momose, "Contribution of neutron activation analysis to archaeological studies", *J. of Trace and Microprobe Techniques, Nº 18*(3), 2000, pp. 381-387.

13) Michael D. Glascock, "Characterization of ceramics at MURR by INAA and multivariate statistics", Chemical characterization of ceramic paste in archaeology, *Monographs in World Archaeology, H.Neff* editor, Prehistory Press, Section 1, 1992, pp. 11-26.

14) T.J. Scarlett, R.J, Speakman, Michel D. Glascock, "Pottery in the mormon economy: an historical, archaeological and archaeometric study", *Historical Archaeology Nº 41,* 2007, pp. 72-97.

En las últimas décadas, hubo un aumento significativo de los estudios con cerámicas lo que permitió comprender factores como: tecnología y producción cerámica,[15] uso de los artefactos manufacturados,[16] así como, su intercambio cultural y/o comercial, entre otros fenómenos sociales. Una de las maneras de identificar y clasificar esas cerámicas es por medio del análisis de los perfiles estratigráficos y de técnicas tipológicas (estudios de decoración, color, forma, textura, etc.). Entretanto, estas variables, asociadas a los resultados de las técnicas arqueométricas, presentan un conjunto mayor de informaciones para los estudios de procedencia; así como, para la investigación sobre la producción de estos artefactos cerámicos[17]. De modo general, los principales aspectos estudiados en arqueometría son: composición química, técnicas de producción y cronologías de los vestigios rescatados. Lo que confirma que la interdisciplinariedad entre las ciencias exactas y humanas favorece la obtención de resultados efectivos.

Para los estudios de proveniencia, el análisis de la composición química del material cerámico es un parámetro analítico de extrema importancia, ya que las pequeñas diferencias en las concentraciones de los elementos en las muestras, distinguen las cerámicas. Entre las diversas técnicas para la determinación de elementos traza, el método de análisis por activación con neutrones asociado con la espectrometría de rayos gama de alta resolución, se usa preferentemente para determinar la composición química en las muestras porque presenta varias ventajas, como alta sensibilidad, precisión y exactitud[18]. Además de usar en el análisis una masa muy pequeña de muestra, lo que es extremamente conveniente tratándose de material arqueológico.

Como consecuencia de la gran cantidad de muestras que necesitan ser analizadas y al número de variables determinadas (elementos), el análisis estadístico multivariado se torna indispensable para la interpretación de los resultados. La aplicación de métodos estadísticos en resultados experimentales

15) Cfr. D.E. Arnold, "Does the standardization of ceramic pastes really mean specialization?", *J. of Archaeological Method and Theory Nº 7*(4), 2000, pp. 333-375 y M. He Hegmon, "Advances in ceramic ethnoarchaeology", *J. of Archaeological Methods and Theory Nº 7*(3), 2000, pp. 129-137.

16) Cfr. I.C. Druc. "Ceramic production in San Marcos Actoplan, Puebla, México", *Ancient Mesoamerica,* 11, 2000, pp. 77-89 y Michael D. Glascock, H. Neff, "Neutron activation analysis and provenance research in archaeology", Measurement Science & Technology Nº 14(9), 2003, pp. 1516-1526.

17) Y. Lei, S.L. Feng, Q. Feng, Z.F. Chai, "A provenance study of Tang Sancai from Chinese tombs and relics by INAA", *Archaeometry Nº 49*(3), 2007, pp. 483-494.

18) Cfr. J.O. Santos, Casimiro. Munita, R.G. Toyota, "The archaeometry study of the chemical and mineral composition of pottery from Brazil´s Northeast", *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Nº 281,* 2009, pp.189-192 y R.L. Bishop, M.J. Blackman, "Instrumental neutron activation analysis of archaeological ceramics: scale and interpretation", *Accounts of Chemical Research Nº 35,* 2002, pp. 603-610.

permite la clasificación y la ordenación de los objetos relacionados entre sí en función de su composición química. Para ese fin, se han usado diversos métodos de análisis, tales como: de agrupamiento, discriminante, de componentes principales, por medio de redes neurales, entre otros[19].

Elementos químicos

Con el propósito de conocer el origen o la fuente de la materia prima que se usó en la fabricación de una cerámica, es necesario entender algunos conceptos de química y geología. La química es importante porque es una herramienta que ayuda a entender e interpretar las propiedades de la cerámica que no aparecen a simple vista. Es una herramienta que ofrece muchas informaciones al arqueólogo. Existen dos aspectos a ser considerados en este tipo de estudios: la identificación cualitativa y cuantitativa de los elementos y las especies químicas en la muestra y el agrupamiento de las especies o elementos químicos encontrados. Esa relación puede ser explicada en el contexto de la geología como se debate a continuación[20].

La formación de los elementos químicos es considerada desde el punto de vista de que toda la materia que conocemos en la Tierra y en otras estrellas, tuvo su origen en las galaxias.

Las evidencias indican que el hidrógeno y el helio se formaron durante la fase inicial de la evolución del universo, en cuanto que los elementos más pesados fueron sintetizados por medio de reacciones termonucleares ocurridas en las estrellas.

De acuerdo con las teorías cosmológicas, es decir, del estudio del origen y de la estructura del universo, los elementos químicos se originaron por medio de reacciones termonucleares en el interior de las estrellas. Siendo dos elementos los que predominaron inicialmente: el hidrógeno y el helio. En una estrella como el Sol, a cada segundo 655 millones de toneladas de hidrógeno son transformadas en 650 millones de toneladas de helio y 5 millones de toneladas de energía por medio de la fusión termonuclear. A partir de ese proceso son producidos los elementos más pesados. Los procesos de núcleo síntesis necesitan temperaturas de muchos millones de grados y solamente ocurren durante la evolución estelar. Sin embargo, cuando una estrella maciza consume su combustible nuclear, ésta puede explotar como una supernova, esparciendo en el espacio los elementos producidos en su evolución.

19) R.G. Toyota, Casimiro Munita, E.G. Neves, C.C. Demartini, "Estudo preliminar do efeito do tempero na cerâmica Marajoara", *Canindé Nº 11*, 2008, pp. 55-64.

20) C.B. Mason, C.B. Moore, *Principles of geochemistry*, 4th edition, New York, John Wiley and Sons, 1982, pp. 344.

El origen de los elementos nos lleva a pensar al respecto de la abundancia cósmica de los elementos. Fue V.M. Goldschmidt, en 1937, que por la primera vez hizo estimaciones de la abundancia cósmica, basándose en los datos de espectro solar y estelar y en la composición de los meteoritos.

En general, los elementos más livianos son más abundantes porque dependen de la estabilidad nuclear de cada uno de ellos. Por otro lado, los elementos de números atómicos pares son más abundantes que los de números impares vecinos. Los números atómicos pares resultan de números pares de protones y neutrones teniendo como consecuencia una mayor estabilidad. Por otra parte, la abundancia de los elementos disminuye con la creciente complejidad de los núcleos. Eso explica la ausencia en la Tierra de los elementos con números atómicos 43 (Tc), 61 (Pm), 85 (At), e 87 (Fr) que se caracterizan por la casi completa inestabilidad de cualquier estructura nuclear.

Un 99% de la corteza terrestre consta de ocho elementos: oxígeno 45,6%, silicio 27,3%, aluminio 8,36%, hierro 6,2%, calcio 4,6%, sodio 2,27%, potasio 1,84% y magnesio 2,7%. Por lo tanto, la corteza está formada por compuestos de oxígeno, silicio y aluminio que forman parte de los minerales más comunes, que se encuentran en la forma de óxidos como SiO_2, Fe_3O4, $KAlSi_3O_8$, $NaAlSi_3O_8$, $CaAl_2Si_2O_8$, $MgSiO_3$, Mg_2SiO_4, Fe_2SiO_4, $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$, $KAl_3Si_3AlO_{10}(OH)_2$, $KMg_3Si_3AlO_{10}(OH)_2$.

La composición media de la corteza es, esencialmente, igual a las rocas ígneas (rocas formadas a elevadas temperaturas) porque son las que predominan en un 65% en la corteza, rocas sedimentares (derivadas de sedimentos) y metamórficas.

Las rocas y los minerales tienen composición química que no cambia, pero la proporción de los compuestos o los elementos químicos en las rocas puede cambiar. Por ejemplo, si por análisis químico se determinan las cantidades exactas de Mg y Fe que están presentes en la proporción de $(Mg_{0,3}\ Fe_{0,7})_2SiO_4$, en este caso, 30% de los lugares del catión en la estructura cristalina están siendo ocupados por Mg y 70% por Fe. Por lo tanto, los elementos mayores dan una idea del tipo de mineral del cual fue hecha la cerámica. Si existe más aluminio que silicio, la cerámica fue fabricada a partir de un mineral que presenta una concentración mayor en ese elemento. Dos a 4% de K (en la forma de óxido) indica la presencia de minerales de mica en gran abundancia. Entonces, existe una forma que puede ser usada para los elementos mayores y ellos expresan el mineral que fue usado en la fabricación de la cerámica.

Los elementos menores indicarán la variación que ocurre de una fuente de materia prima a otra. Por ejemplo, en una cerámica de una misma región, si la concentración de Fe es dos veces mayor que la otra, la fuente de la materia prima (arcilla, agentes colorantes, aditivos) o el método de producción son diferentes. La concentración de los elementos menores puede dar información sobre diferencia

entre grupos. Con frecuencia, los elementos menores son diferentes conforme la fuente geológica.

Los elementos traza son mucho más difíciles de interpretar. Si el elemento traza está presente en una concentración mayor que en los minerales de los cuales fue producida la cerámica, ese elemento traza puede ser usado para determinar la proveniencia del mineral en la pasta o distinguir diferentes grupos cerámicos.

En algunos casos los elementos traza forman parte de la roca, entretanto, en la mayoría de las veces, sustituyen los elementos mayores en el retículo cristalino. La importancia de los elementos traza radica en el hecho que son capaces de discriminar entre procesos petrológicos. Por lo tanto, el estudio de los elementos traza es fundamental en investigaciones de petrología porque son capaces de diferenciar esos procesos.

Las reglas que rigen la sustitución en el retículo cristalino son:

1. Si dos iones tienen el mismo tamaño (radio iónico) y la misma carga, ellos entrarán en el retículo cristalino con igual facilidad;
2. si dos iones tienen radios iónicos similares y la misma carga, el ion menor entrará más fácilmente en el retículo cristalino que el ion con radio iónico mayor. Es lo que ocurre, por ejemplo, en los minerales ferro-magnesianos en relación al Mg^{2+} (radio iónico de 0,66 Aº) y al Fe^{2+} (radio iónico de 0,74 Aº);
3. si dos iones tienen radios iónicos similares y cargas diferentes, el ion con carga mayor entrará con mayor facilidad en el retículo cristalino. Por ejemplo, Ca^{2+} (radio iónico de 0,99 Aº) e Na^{+} (radio iónico de 0,97 Aº) en los plagioclasas.

Esas reglas se basan en el supuesto de que los enlaces entre los elementos son iónicos, entretanto, en la mayoría de los minerales no son exclusivamente iónicos, pueden ser covalentes. La electronegatividad de un elemento también influye en la sustitución de un elemento de radio iónico menor por otro con radio iónico parecido. Cuando esa sustitución ocurre, el elemento de menor electronegatividad tendrá preferencia porque forman enlaces iónicos más fuertes. El potencial iónico que es la razón entre la carga del ion y el radio iónico es una medida de la electronegatividad, porque tanto menor es el radio de un ion con carga positiva y tanto mayor su carga, tanto más ácido es su óxido. Por otra parte, cuanto mayor es el radio y tanto más baja la carga, tanto más básico es el óxido. Por lo tanto, el comportamiento de los cationes depende del radio iónico, del estado de oxidación (valencia) y del tipo de enlace.

El potencial iónico determina el comportamiento de los iones en su interacción con el medio. Los elementos con bajas razones son solubles y permanecen en solución durante el proceso de intemperismo y transporte. Los elementos con potencial iónico intermedio son precipitados por hidrólisis, en cuanto que los de potencial iónico alto forman complejos solubles. Por ejemplo, Mn^{2+} con potencial iónico de 2,5 es estable en solución, entretanto Mn^{4+} con potencial iónico 6,7 es precipitado en forma hidratada. El hierro en la forma de ion ferroso (Fe^{2+}) con potencial iónico 2,7 es estable en solución y en la forma de ion férrico (Fe^{3+}) con potencial de ionización 4,7 es precipitado en forma hidratada. Por tanto, el potencial iónico de un elemento muestra su movilidad en el medio, lo que va a influir en la concentración en la arcilla y por consiguiente en la cerámica. Los elementos con potencial iónico menor que 2 como Cs, Sr, K, Rb, y Ba son aquellos que se desplazan en los minerales.

Por otra parte, los elementos con potencial iónico mayor que 2 como las tierras raras, también llamadas de elementos lantánidos, que corresponden a los elementos con número atómico que va desde el 51 al 71 (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu), además de Y, Sc, Th, U, Pb, Zr, Hf, Ti, Nb, Ta, U, Co, Ni, V y Cr son elementos inmóviles. Por lo tanto, son los elementos que necesitan ser determinados en las muestras de cerámicas y arcilla porque pueden dar información de la materia prima usada en la fabricación de las piezas así como de la composición química de los minerales.

El comportamiento químico de los elementos traza en la cerámicas son estudiados en grupos y los elementos que tienen comportamiento diferente dentro del grupo, son usados como indicador de procesos petrológicos. Los elementos traza también son clasificados de acuerdo a su posición en la Tabla periódica.

Por último, se puede concluir, como ya vislumbraban científicos que hicieron grandes contribuciones a la ciencia y a la humanidad, que la participación de la química es primordial para la arqueología y tiene aplicación directa tanto en la caracterización de los objetos, como también en la conservación y restauración. Muchos de los problemas asociados a los métodos de fabricación y preservación se basan en los resultados analíticos. Los resultados analíticos facilitan el estudio de la historia de las diferentes regiones e infieren el nivel socio-cultural y tecnológico de esas comunidades. Esta información analítica requiere de una interpretación en conjunto con el arqueólogo.

Bibliografía

Ainsworth, M.W., "From connoisseurship to technical art history – the evolution of the interdisciplinary study of art", *The Getty Conservation Institute Newsletter Nº 20*(1), 2005, pp. 4-10.

Aitken, M.J., "Magnetic prospecting. I- The water Newton survey", *Archaeometry Nº 1*, 1958, pp. 24-26.

Arnold, D.E., "Does the standardization of ceramic pastes really mean specialization?", *J. of Archaeological Method and Theory Nº 7*(4), 2000, pp. 333-375

Bewer, F., "Early history of conservation and technical Studies at the Fogg Art Museum", http://cool.conservation-us.org/byform/mailing-lists/cdl/1998/1145.html.

Bishop, R.L., Blackman, M.J., "Instrumental neutron activation analysis of archaeological ceramics: scale and interpretation", *Accounts of Chemical Research Nº 35*, 2002, pp. 603-610.

Caley, E.R., "Klaproth as a Pioneer in the chemical investigation of antiquities", *J. of Chemical Education Nº 26*, 1949, pp. 242-247; 268.

Caley, E.R., "The early history of chemistry in the service of archaeology", *J. of Chemical Education Nº 28*, 1951, pp. 64-66.

Druc. I.C., "Ceramic production in San Marcos Actoplan, Puebla, México", *Ancient Mesoamerica Nº 11*, 2000, pp. 77-89 y M.D. Glascock, H. Neff, "Neutron activation analysis and provenance research in archaeology", *Measurement Science & Technology Nº 14*(9), 2003, pp. 1516-1526.

Emeleus, V.M., "The technique of neutron activation analysis as applied to trace element determination in pottery and coins", *Archaeometry Nº 1*, 1958, pp. 6-15.

Glascock, Michael D. "Characterization of ceramics at MURR by INAA and multivariate statistics", Chemical characterization of ceramic paste in archaeology, *Monographs in World Archaeology, H.Neff* editor, Prehistory Press, Section 1, 1992, pp. 11-26.

Glascock, Michael D., Neff, H., "Neutron activation analysis and provenance research in archaeology", *Measurement Science & Technology Nº 14*(9), 2003, pp. 1516-1526.

Gliozzo, E., Turbanti, I.M., "Black gloss pottery: production sites and technology in Northern Etruria, Part I: provenance studies", *Archaeometry Nº 46*(2), 2004, pp. 201-225.

Gliozzo, E., Vivacqua, P., Memmi, I.T., "Integrating archaeology, archaeometry and geology: local production technology and imports at Paola (Cosenza, Southern Italy)", *J. of Archaeological Science Nº 35*(4), 2008, pp. 1074-1089.

Harbottle, G., "Chemical characterization in archaeology", J.E. Ericson, and K. Earle, editores, *Contexts for prehistoric exchange,* Academic Press, New York, 1982, pp. 13-51.

He Hegmon, M., "Advances in ceramic ethnoarchaeology", *J. of Archaeological Methods and Theory Nº 7*(3), 2000, pp. 129-137.

Lei, Y., Feng, S.L., Feng Q., Chai, Z.F., "A provenance study of Tang Sancai from Chinese tombs and relics by INAA", *Archaeometry Nº 49*(3), 2007, pp. 483-494.

Mason, C.B., Moore, C.B., *Principles of geochemistry*, 4th edition, New York, John Wiley and Sons, 1982, pp. 344.

Munita, Casimiro, Paiva, R.P., Alves, M.A., Oliveira, Paulo M.S., Momose, E.F., "Contribution of neutron activation analysis to archaeological studies", *J. of Trace and Microprobe Techniques Nº 18*(3), 2000, pp. 381-387.

Pollard, A.M., "Archaeometry 50th anniversary issue editorial". *Archaeometry, 50(2)*, 2008, pp. 191-198, DOI 10.1111/j.1475-4754.2008.00395.

M.J. Aitken, "Magnetic prospecting. I-The water Newton survey", *Archaeometry Nº 1*, 1958, pp. 24-26.

Santos, J.O., Munita, Casimiro. Toyota, R.G., "The archaeometry study of the chemical and mineral composition of pottery from Brazil´s Northeast", *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Nº 281*, 2009, pp.189-192.

Scarlett, T.J., Speakman, R.J., Glascock, Michael D., "Pottery in the mormon economy: an historical, archaeological and archaeometric study", *Historical Archaeology Nº 41*, 2007, pp. 72-97.

Toyota, R.G., Munita, Casimiro, Neves, E.G., Demartini, C.C., "Estudo preliminar do efeito do tempero na cerâmica Marajoara", *Canindé Nº 11*, 2008, pp. 55-64

Definición de áreas de aprovisionamiento y circulación de cerámicas arqueológicas del norte de la Patagonia - Argentina

Rita R. Plá
Mónica Moreno
Rodrigo Ivernizzi
Grupo Técnicas Analíticas Nucleares
Comisión Nacional de Energía Atómica

Verónica Aldazabal
Departamento de Investigaciones Prehistóricas y Arqueológicas-IMHICIHU-CONICET

Resumen

La caracterización química de la cerámica arqueológica es de gran ayuda en la determinación de procedencia y tecnologías de producción y por lo tanto, es útil en el estudio de interacciones entre pueblos prehistóricos. El presente trabajo revela los resultados de un estudio comparativo de conjuntos cerámicos provenientes de cuatro sitios arqueológicos de la Patagonia norte argentina (Las Mellizas, La Rivère, Los Cipreses and Rincón Chico 2). Las muestras presentaban dos tipos de pasta, castaña y gris blanca lo que sugería el uso de diferentes fuentes de materia prima. Se analizaron 50 muestras cerámicas mediante la técnica de activación neutrónica instrumental, determinando 20 elementos químicos. Mediante la aplicación de análisis de conglomerados, factores y discriminantes se identificaron tres grupos de muestras, indicando diferentes fuentes de aprovisionamiento y de elaboración de la cerámica.

Sobre la base de esta caracterización, se sugiere que los artefactos cerámicos fueron hechos con arcillas de diferentes fuentes, distinguiéndose un conjunto de piezas definido como pasta gris blanca, cuya distribución en el espacio analizado no es homogénea, y sugiere una fuente de aprovisionamiento específica. Los perfiles multielementales de las piezas con pintura roja monocroma que fueran adscriptas al estilo Pitrén, no permiten sustentar la hipótesis de un origen en la vertiente occidental de la cordillera. Resta trabajar en la identificación de las posibles fuentes de aprovisionamiento de materias primas para aportar mayor información sobre áreas de aprovisionamiento y circulación en la Patagonia norte argentina.

Introducción

La aplicación de técnicas analíticas físico-químicas a la caracterización de materiales actualmente es un elemento fundamental en investigaciones arqueológicas porque amplía la información tradicionalmente obtenida a partir de su descripción macroscópico-morfológica. La caracterización química de la cerámica es una herramienta de probada utilidad en cuestiones de interés arqueológico, tales como la determinación de procedencia y de rutas de distribución/intercambio y el estudio de tecnologías de producción, que aportan información para el estudio de interacciones entre pueblos prehistóricos[1]. Las materias primas cerámicas pueden exhibir perfiles composicionales con marcadas diferencias regionales, facilitando el agrupamiento de piezas químicamente similares y la identificación de lugares de aprovisionamiento, bajo la generalización de que la variabilidad intra-fuente es menor que aquella entre fuentes de materia prima.

El análisis por activación neutrónica es una de las técnicas analíticas más empleadas para la caracterización química de muestras arqueológicas. Se basa en las transformaciones que ocurren en el núcleo de los átomos por interacción con neutrones y que dan origen a productos emisores de radiación gamma. A través de la identificación y cuantificación de estas emisiones y teniendo en cuenta otras características del proceso, pueden calcularse las concentraciones de los elementos de interés presentes en la muestra. Esta técnica multielemental, de gran sensibilidad, exactitud y precisión, alcanza límites de detección inferiores al orden de µg/g, siendo especialmente adecuada para la determinación de elementos a niveles de trazas y ultratrazas. La aplicación de herramientas estadísticas a los resultados del análisis, contiene información decisiva para probar hipótesis de trabajo establecidas por los arqueólogos y muestra conexiones inesperadas que generan nuevas hipótesis[2]. Esta información, sumada a datos de composición mineralógica y a la descripción tradicional de las muestras cerámicas, conduce a una mejor comprensión de los procesos de producción, distribución y consumo.

La presencia de cerámica arqueológica en la Patagonia argentina, aunque registrada para la mayor parte de la región, es muy discontinua y variable. Las características de esta distribución han llevado a plantear un origen extra local de la misma, postulando rutas de ingreso desde el norte,

1) R.L. Bishop, et al., "Ceramic compositional analysis in archaeological perspective", *Advances in Archaeological Method and theory,* Vol. 5 (Schiffer, M., Ed.), Academic Press, New York, 1982, pp. 275-230.

2) G. Harbottle, *Chemical Characterization in Archaeology, Contexts for Prehistoric Exchange,* Chapter 2 Academic Press, Inc., 1982.

por el sector litoral, sustentado en las similitudes del material recuperado respecto a la cerámica pampeana[3]. También se sugiere una posible procedencia desde Chile Central, por derivación de la cerámica araucana[4] . A favor de este planteamiento se considera que, los fechados más antiguos fueron obtenidos en sitios cercanos a la cordillera, como la cueva Haichol al norte de la provincia de Neuquén, Argentina[5] , La Marcelina en la cuenca superior del río Limay[6] o Los Cipreses al norte del lago Traful, también en la provincia de Neuquén[7]. Los atributos técnico-estilísticos de estos conjuntos, como presencia de cuarzo y mica en la composición de sus pastas, terminación de las superficies mediante alisados o pulidos, con una baja frecuencia de decoración incisa simple, de líneas paralelas o punteados, y escasa representación de pintura, fueron asignados por la mayoría de los autores a una tradición araucana o neoaraucana[8].

Con el objetivo de avanzar en el esclarecimiento de estos planteos y comprobar las hipótesis acerca de las áreas de producción cerámica, intercambio de vasijas y circulación de poblaciones, se encaró el estudio de tiestos procedentes de cuatro sitios arqueológicos localizados en el norte de la región patagónica, caracterizándolos químicamente mediante análisis por activación neutrónica.

Un estudio previo de la muestra, motivo de este trabajo,[9] diferenció las características técnico estilísticas de los fragmentos a partir de la observación de cortes frescos a 20 aumentos. Sobre esta base

3) Cfr. C. Bellelli, "La decoración de la Cerámica Gris Incisa de la Patagonia (República Argentina)", *Revista do Museu Paulista,* Nova Serie, Volume XXVII, São Paulo, 1980, pp. 199-225, B. Moldes de Entraigas, Estudio de la decoración en la cerámica arqueológica de San Antonio Este, costa atlántica (Provincia de Río Negro, Argentina). Actas y Memorias del IV Congreso Nacional de Arqueología Argentina, 2°parte, San Rafael, Mendoza, 1977, pp.15-26 y A. Sanguinetti de Bórmida, "La neolitización de las áreas marginales de América del sur", *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología, 5,* Nº 1, 1963, pp. 9-23.

4) O.F.A. Menghin, *Fundamentos cronológicos de la Patagonia,* Runa V, 1952, pp. 23-43.

5) J.C. Fernández, "La cueva de Haichol. Arqueología de los pinares cordilleranos del Neuquén". *Anales de Arqueología y Etnología,* 43/45, Volumen I y III, 1988, pp. 90.

6) A.C. Sanguinetti de Bórmida, A. Chauvin, D. Curzio, E.A. Crivelli Montero,M. Lezcano, Arqueología de rescate en el alero La Marcelina 1, Provincia de Río Negro, en III Congreso Argentino de Americanistas, Sociedad Argentina de Americanistas, Buenos Aires, 2000, pp. 351-372.

7) M. Silveira, Investigaciones en el área boscosa del lago Traful, provincia del Neuquén, Comunicaciones, Primera Jornada de Arqueología de Patagonia, Chubut, 1984, pp. 295-303.

8) Cfr. R. Goñi, *Arqueología de sitios tardíos en el valle de Malleo. Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, NS XVII (1), 1992, pp. 37-67, A. Hajduk, E. M. Cúneo, *Rescate arqueológico en San Martín de los Andes (Departamento Lácar, provincia del Neuquén) y algunas reflexiones acerca de la cerámica con decoración valdiviana.* Relaciones XXII-XXIII, 1997-1998, pp. 101-124, J. Inostroza Saavedra, "Estudio de formas cerámicas de la colección Repocura Cholchol", *Boletín del Museo de la Araucania N° 1*, Temuco, 1984, pp. 59-69 y M. Silveira, Investigaciones en el área boscosa del lago Traful, pp. 295-303.

9) Cfr. V. Aldazabal, A. Micaelli, "La cerámica en el sector norte del lago Traful", *RUNA*, 27, Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires, 2007, pp. 85-97 y V. Aldazabal, M. Silveira, A. Micaeli, "La cerámica del sitio arqueológico Las Mellizas", Presentado a la revista *Anales de Arqueología y Etnología* de la Universidad Nacional de Cuyo, 2010 en prensa.

se definieron dos tipos de pasta, denominados castaña (oscuro y claro), que se subdividió, a su vez en con y sin mica, fundamentalmente biotita y muscovita; y pasta blanca, proponiendo la utilización de diferentes materias primas. Por otra parte, en la mayoría de los sitios arqueológicos del área cordillerana norpatagónica, aparecieron tiestos con pintura roja, o roja y negra[10] , asociados a ciertas formas y siempre en muy baja frecuencia que fueron asignadas a la tradición Pitrén, originaria del actual territorio chileno. Esta escasez, unida a que muchos de los hallazgos se han realizado en contextos funerarios y con cronologías algo más tardías que en la vertiente chilena, sustentaron la hipótesis de que su presencia fue resultado de intercambios[11] y que su conservación podría deberse a una valoración particular, como bien de prestigio o diferenciación[12].

En consecuencia, en este trabajo se planteó contrastar la hipótesis de un origen transcordillerano de los fragmentos Pitrén y definir la posible explotación de fuentes comunes de materia prima por los grupos asentados en los sitios bajo estudio mediante la caracterización multielemental de las pastas, asumiendo que su manufactura es mayoritariamente de origen local, dada la profundidad temporal y distribución geográfica[13].

Materiales y métodos

Sitios de muestreo

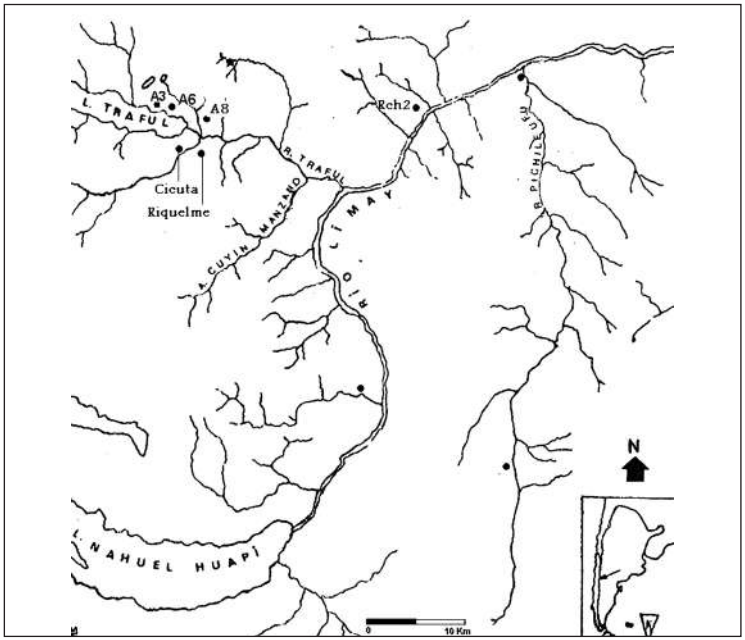
Los fragmentos cerámicos analizados en este trabajo proceden de cuatro sitios arqueológicos localizados en la provincia de Neuquén (Argentina), tres de ellos (aleros Las Mellizas, La Rivère y Los Cipreses) dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi, en áreas boscosas sobre la margen norte del lago Traful y distantes entre sí entre 3 y 10 km; el restante, Rincón Chico 2, se ubica en la zona de estepa, sobre el río Limay.

10) J.C. Fernández, "La cueva de Haichol", p. 90.

11) Cfr. A. Adán, M. Alvarado P, Análisis de colecciones alfareras pertenecientes al complejo Pitrén: una aproximación desde la arqueología y la estética, Soplando en el Viento, Actas de las Terceras Jornadas de Arqueología de la Patagonia, Neuquén - Buenos Aires: INAPL - Universidad Nacional del Comahue, 1999, pp. 245-268, A. Hajduk, E. M. Cúneo, "*Rescate arqueológico en San Martín de los Andes*",1997-1998, Inostroza Saavedra, "Estudio de formas cerámicas", 1984 y D. Mazzanti, Arqueología de un asentamiento araucanizado postconquista en las serranías orientales de Tandilia, provincia de Buenos Aires. Soplando en el viento, Actas de las 3º Jornadas de Arqueología de Patagonia, Rawson, 1999, pp. 451-460.

12) Cfr. V. Aldazabal, E. Eugenio, *Entre el fuego y el juego. La cerámica del sitio Rincón Chico 2. Arqueología de rescate en Rincón Chico, provincia del Neuquén,* E. Crivelli, M. Fernández y M. Ramos, comp., Dunken, Buenos Aires, 2007, pp. 162-186 y V. Aldazabal, M. Silveira, A. Micaeli, "La cerámica del sitio arqueológico Las Mellizas", 2010.

13) Cfr. V. Aldazabal, E. Eugenio, "Entre el fuego y el juego", 2007, V. Aldazabal, M. Silveira, A. Micaeli, "La cerámica del sitio arqueológico Las Mellizas", 2010 y J.C. Fernández, "La cueva de Haichol", p. 90, y M. Silveira, "Investigaciones en el área boscosa del lago Traful", 1984.



Localización de los sitios de muestreo: Las Mellizas (A3), Los Cipreses (A6), La Rivère (A8) y Rincón Chico (Rch2).

Las Mellizas (A3): este alero, localizado en un paraje algo dentro de un bosque de coihues (Nothofagus dombey), fue definido como sitio de veranada. Los restos corresponden a una sola unidad cultural, fechada en 590 ± 90 años AP[14] y a partir de la observación de cortes frescos de los tiestos recuperados, se distinguieron dos grandes grupos definidos como pasta clara y pasta castaña, con fragmentos con y sin mica dentro de cada grupo. El conjunto de piezas con pasta de color castaño evidenció gran variedad de tamaños y morfología y superficies con diferentes terminaciones y diseños decorativos. El conjunto de pasta clara comprendió tiestos de paredes más gruesas, terminaciones lisas y pulidas, con escasa decoración (punteado), formas globulares y asas de sección circular. Algunas piezas definidas como Pitrén no mostraron diferencias en las características morfológicas y de pasta respecto a las descriptas para sitios chilenos, lo que apoyaría las hipótesis referidas a su origen del otro lado de la cordillera.

14) M. Silveira, "Investigaciones en el área boscosa del lago Traful", 1984.

Los Cipreses (A6): es un alero abierto hacia el NE, a 850 msnm, al pie de un gran farallón de toba en cuyos alrededores crece un denso bosque de cipreses. De acuerdo con las dataciones obtenidas fue ocupado durante 3500 años, lapso durante el cual hubo varias ocupaciones, que fueron divididas en un componente acerámico y dos componentes cerámicos (Cipreses I y II final). El componente I, datado entre 1510 ± 90 y 840 ± 90 AP, evidencia contactos transcordilleranos tempranos (cerámica Pitrén ubicada en los siglos X y XI). El componente II final fue datado entre el siglo XVI y 1891 por la existencia de elementos de contacto (caballo, objetos de plata, cuentas de vidrio). La cerámica presenta características similares al nivel anterior. También para este período se postulan contactos fluidos con Chile[15]. Algunos tiestos del total de fragmentos recuperados presentaron superficies decoradas mediante técnicas de incisión lineal, punteado y acanalado. La pintura se presentó en dos variantes: roja monocroma y negra en franjas. La observación de cortes frescos de los fragmentos en lupa binocular no mostró diferencias cualitativas en las características mineralógicas de los tiestos de ambos componentes[16]. Esta homogeneidad en las pastas fue interpretada como producto del aprovisionamiento en un área común, sea de la materia prima o de las vasijas a lo largo de todo el período de ocupación del alero y evidencia diferencias respecto a lo observado en sitios cercanos, como el alero Las Mellizas donde se observó una coexistencia de tiestos de dos tipos de pasta diferente, castaño oscura y pasta clara, de superficie gris pulida.

La Rivère (A8): este alero está ubicado en las nacientes del arroyo Córdoba, al pie de un farallón de toba, a 1300 msnm, cubierto por un bosque de coihues. Fue ocupado en forma recurrente desde 2760 ± 80 AP hasta el momento del contacto europeo. Los niveles cerámicos fechados en 780 ± 50 años AP, se asignan a un horizonte patagoniense septentrional, con puntas pedunculadas, placas grabadas e instrumentos óseos. Sólo una muy pequeña proporción de los fragmentos cerámicos recuperados presentó decoración en la superficie externa. Un 1% de los fragmentos mostró aplicación de pintura y uno, engobe de tonos rojizos. Su posición topográfica, sobre la ladera alta septentrional, en un paraje sólo habitable en verano, hace suponer que el conjunto recuperado es resultado de ocupaciones estacionales de verano, de grupos procedentes de otras áreas del mismo bosque o del ecotono de estepa[17].

Rincón Chico 2 (Rch2): se encuentra a unos 20 km de la ciudad de Piedra del Águila. Está asociado a

15) M. Silveira, *Alero Los Cipreses (provincia del Neuquén) Arqueología, sólo Patagonia*, 1996, pp. 107-118.
16) V. Aldazabal, A. Micaelli, "La cerámica en el sector norte del lago Traful", 2007, pp. 85-97.
17) M. Silveira, Alero Cicuta (Departamento Los Lagos, Neuquén, Argentina), Soplando en el viento, Actas de las 3ras. Jornadas de Arqueología de la Patagonia, Rawson, 1999, pp. 561-575.

uno de los diques volcánicos, transversal al valle del río Limay y a unos 300 m aguas, cruza el arroyo Zanjón Rincón Chico. Es un sitio a cielo abierto funcionalmente definido como de vivienda, en el que se cumplieron variadas actividades relacionadas con la vida cotidiana como preparación y cocción de alimentos) y trabajo del cuero. Los hallazgos cerámicos comprendieron un conjunto homogéneo con decoración incisa lineal combinada con punteado acanalado y en algunos fragmentos con pintura roja. Los dos fechados obtenidos para los niveles cerámicos dieron como resultado 680 ± 65 AP y 710 ± 60 AP.

Análisis de muestras

Del conjunto de material recolectado se seleccionaron 50 muestras para su caracterización empleando análisis por activación neutrónica. La preparación previa al análisis comprendió la limpieza superficial de los tiestos y de cortes frescos por raspado con lápiz de widia, seguida de molienda en molino de ágata y secado en estufa a 105ºC durante 24 hs. El material resultante fue envasado en ampollas de cuarzo para su irradiación en el reactor RA-3 (8,5 Mw, flujo neutrónico 3.10^{13} $cm^{-2}.s^{-1}$) de la Comisión Nacional de Energía Atómica, junto con patrones y materiales para control de calidad. Como patrón de cuantificación se usó el material de referencia certificado NIST-SRM 1633b Coal Fly Ash y como material control se utilizó el material de referencia GBW07405 (Suelo). Las muestras irradiadas fueron medidas empleando detectores Ortec de Ge HP (30% de eficiencia y resolución 1.8 keV para el pico de 1332.5 keV del Co-60), acoplados a un módulo buffer multicanal Ortec 919 y el programa GammaVision para la adquisición de los espectros gamma[18]. Se determinaron 20 elementos: arsénico (As), bario (Ba), cerio (Ce), cobalto (Co), cromo (Cr), cesio (Cs), europio (Eu), hierro (Fe), hafnio (Hf), lantano (La), lutecio (Lu), rubidio (Rb), antimonio (Sb), escandio (Sc), samario (Sm), tantalio (Ta), terbio (Tb), torio (Th), uranio (U) e iterbio (Yb). Los radioisótopos, período de semidesintegración y energía gamma utilizados figuran en la Tabla 1.

18) Cfr. R.R. Plá, N. Ratto, *Provenance archaeological studies of ceramic raw materials and artefacts using instrumental neutron activation analysis: the cases of Chaschuil and Bolsón de Fiambalá* (Catamarca, Argentina). IAEA Technical Report Series No. 416 Nuclear Analytical Techniques in Archaeological Investigation, IAEA, Vienna, 2003, pp. 45-69, "Archaeometry at the Argentine National Atomic Energy Commission: characterization of Argentine Northwestern pottery", *Archaeometry 49*, Part 2, 2007, pp. 413-420 y El rol del análisis por activación neutrónica en estudios Arqueométricos, Actas del 2º Congreso Argenino y 1ro. Latinoamericano de Arqueometría, Vol 1, Buenos Aires, 2007, pp. 47-52

Elemento	Radioisótopo	T 1/2	Eγ (keV)
As	^{76}As	1,1 d	559,1
Ba	^{131}Ba	12,0 d	496,3
Ce	^{141}Ce	32,5 d	145,5
Co	^{60}Co	5,26 a	1173,2
Cr	^{51}Cr	27,8 d	320,1
Cs	^{134}Cs	2,05 a	795,8
Eu	^{152}Eu	12,7 a	1408,1
Fe	^{59}Fe	45,6 d	1099,3
Hf	^{181}Hf	42,5 d	482,2
La	^{140}La	1,68 d	1596,6
Lu	^{177}Lu	6,74 d	208,3
Rb	^{86}Rb	18,7 d	1076,8
Sb	^{122}Sb	2,68 d	564,1
Sc	^{46}Sc	83,9 d	889,3
Sm	^{153}Sm	1,95 d	103,2
Ta	^{182}Ta	115,0 d	1221,3
Tb	^{160}Tb	72,1 d	879,3
Th	^{233}Pa	27,0 d	311,9
U	^{239}Np	2,35 d	277,9
Yb	^{175}Yb	4,21d	396,1

Tabla 1. Características nucleares de los radioisótopos empleados en la determinación de los elementos químicos.

T ½: período de semidesintegración expresado en d (días), a (años)

Eγ: energía gamma seleccionada

Resultados y discusión

Los resultados de media, desviación estándar y valores máximos y mínimos de los elementos determinados, así como el número de muestras en que los mismos fueron establecidos, figuran en la Tabla 2. Para control de calidad de los datos obtenidos, se analizó el material de referencia certificado GBW07405 (Suelo) del Instituto de Exploración Geofísica y Geoquímica de China. La comparación de los valores hallados experimentalmente con los de referencia (Tabla 3) resultó satisfactoria.

Elemento	Media	Desviación estándar	Máximo	Mínimo	N
As	7,7	4,7	25,2	3,0	23
Ba	550	150	900	230	50
Ce	53	16	104	29	50
Co	15,8	6,7	28,8	3,8	50
Cr	31	20	97	4,3	50
Cs	5,6	7,4	33,9	0,77	50
Eu	1,33	0,33	2,05	0,66	50
Fe	43000	13000	64000	17000	50
Hf	5,3	1,1	8,0	3,4	50
La	25,5	8,2	53,3	13,6	50
Lu	0,40	0,10	0,71	0,23	50
Rb	61	22	127	27	50
Sb	0,64	0,45	2,16	0,15	40
Sc	15,9	6,2	26,9	4,1	50
Sm	5,0	1,3	9,8	3,1	50
Ta	1,08	0,62	3,40	0,28	50
Tb	0,71	0,22	1,40	0,37	46
Th	7,8	2,5	20,9	3,2	50
U	2,01	0,76	4,44	1,04	36
Yb	2,44	0,69	4,94	1,34	50

Tabla 2. Media, desviación estándar y valores máximos y mínimos para los elementos determinados.
N: número de muestras en las que el elemento fue determinado
Todos los valores de concentraciones en µg/g

Elemento	Certificado	Experimental
As	412±24	407±12
Ba	296±40	316±100
Ce	91±15	97,9±4,5
Co	12±2	12,40±0,39
Cr	118±10	117,1±6,4
Cs	15±2	15,01±0,80
Eu	0,82±0,06	0,86±0,16
Fe	90000±2000	86100±1100
Hf	8,1±1,7	7,71±0,98
La	36±6	37,37±0,47
Lu	0,42±0,07	0,423±0,047
Rb	117±9	121,2±9,0
Sb	35±7	34,74±0,42
Sc	17±2	17,41±0,12
Sm	4,0±0,6	4,54±0,22
Ta	1,8±0,3	2,03±0,0,45
Tb	0,7±0,2	0,755±0,071
Th	23±2	23,38±0,62
U	6,5±1,1	7,07±0,97
Yb	2,8±0,5	2,60±0,55

Tabla 3. Concentraciones certificadas y experimentales (en $\mu g.g^{-1}$) para los elementos determinados en el material de referencia certificado CRM GBW 07405 Soil (NRCCRM, China), empleado para control de calidad.

De los 20 elementos determinados en los tiestos, sólo 15 (Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Lu, Rb, Sc, Sm, Ta, Th, Yb) fueron considerados para evaluación estadística. Los criterios utilizados para la selección de los elementos a conservar fueron: que el valor de la incertidumbre analítica de los resultados sea inferior al 15% y que presentaran un porcentaje de datos faltantes o por debajo del límite de detección inferior al 10%. Previo a la evaluación de los resultados analíticos y para disminuir el posible sesgo introducido por las grandes diferencias de magnitud entre los elementos mayoritarios y traza, se

aplicó una transformación logarítmica en base 10 a todos los valores de concentraciones.

Como primer paso en la evaluación de los datos y con el objetivo de encontrar patrones comunes de agrupamiento basados en la similitud del perfil químico elemental y detectar posibles muestras anómalas o "ouliers", se llevó a cabo un análisis de conglomerados empleando, para cuantificar la similitud entre muestras, el método de Ward y la distancia Euclideana cuadrática, mediante el programa estadístico SPSS 15.0. El grado de similitud entre las muestras se representó con un dendograma que es un diagrama arborescente donde cada eje horizontal representa una muestra y las uniones de los mismos, mediante ejes verticales, expresan, en relación con la escala, el valor de similitud entre las muestras o conjuntos de muestras. El dendograma obtenido (Figura 1) mostró tres grupos de muestras con perfil químico similar, sin que se destacara ninguna muestra anómala ni se observaran agrupamientos relacionados con el sitio de procedencia. El grupo conformado por las muestras provenientes de los sitios Las Mellizas (A3 35, A3 37, A3 39 y A3 43), Los Cipreses (A6 23, A6 29, A6 30 y A6 32) y La Rivère (A8 13) aparece claramente separado de los otros dos grupos. Estos contienen muestras de los tres sitios mencionados y las provenientes de Rincón Chico 2 que se agrupan mayoritariamente en el segundo. Uno de ellos comprende las muestras A3 33, A3 34, A3 38, A3 41, A3 44, A3 45, A3 46, A3 47, A3 48, A3 49 (Las Mellizas), A6 19, A6 20, A6 21, A6 22, A6 25, A6 26, A6 28 (Los Cipreses), A8 10, A8 15, A8 18 (La Rivère) y Rch2 8 (Rincón Chico 2) y el restante, los tiestos de Las Mellizas A3 36, A3 40, A3 42, A3 50, de Los Cipreses A6 24, A6 27, A6 31, de La Rivère A8 11, A8 12, A8 14, A8 16, A8 17 y de Rincón Chico 2 Rch2 1, Rch2 2, Rch2 3, Rch2 4, Rch2 5, Rch2 6, Rch2 7, Rch2 9. Los fragmentos con pintura roja, que sugerían otra manufactura, no se distinguen del resto del conjunto.

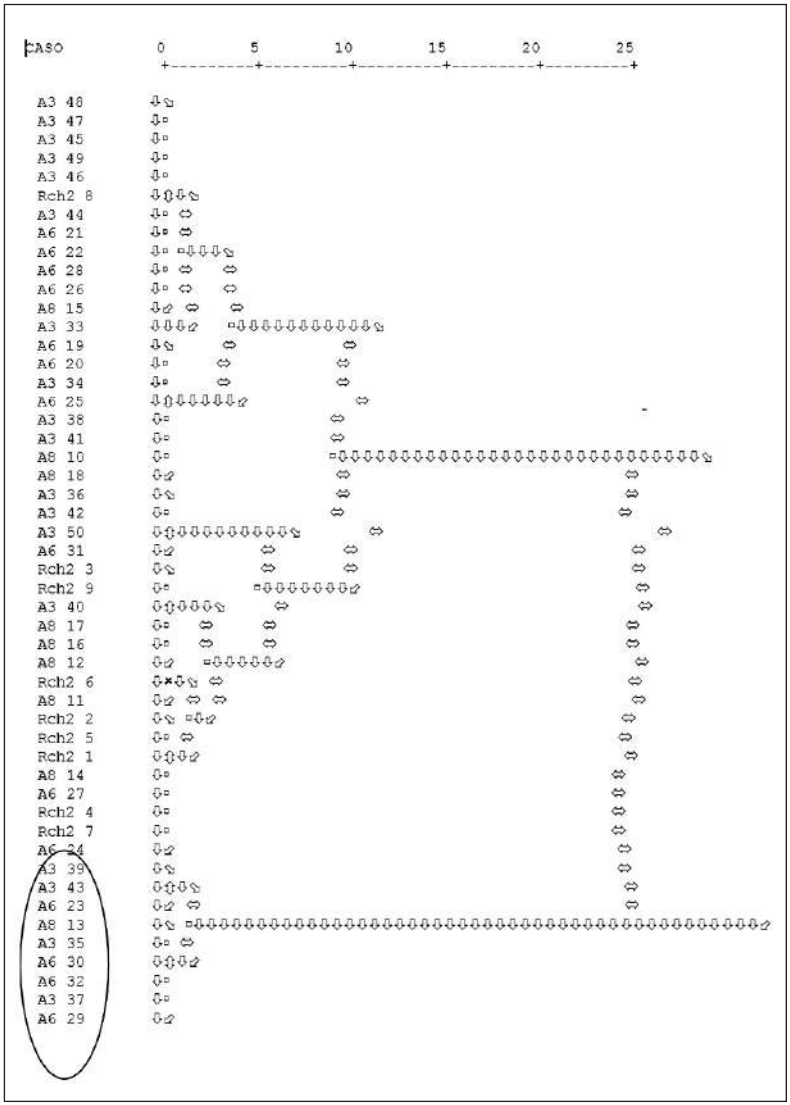


Figura 1. **Dendograma.**

Con el propósito de reducir el número de variables que describen el problema sin perder la información original y representar las muestras y sus relaciones en función de los elementos determinados, se realizó un análisis de factores sobre la misma matriz de resultados. El análisis de factores es un método de ordenación por el que se obtiene un nuevo conjunto de coordenadas, los factores, en cuyo espacio están ubicadas las muestras. Las relaciones entre las muestras se reflejan por la posición en que se disponen en este espacio; siendo más estrecha la relación cuanto más cercanas están. Se empleó el programa SPSS 15.0, utilizando el método de componentes principales seguido de rotación VARIMAX; se obtuvieron tres factores que explican 83% de la varianza total de los datos.

La Tabla 4 muestra los aportes de los distintos elementos a los factores obtenidos. La tabla solamente indica aquellos valores superiores a 0,1 en valor absoluto y se consideran de importancia aquellos elementos cuya contribución al factor es superior a 0,5. Los dos primeros factores tienen altas contribuciones de tierras raras: Eu, Lu, Sm e Yb en el primer factor y Ce, La, Hf y Ta en el segundo. Si se toma en cuenta que las tierras raras tienden a concentrarse en sedimentos resultantes de procesos de hidrólisis, como son las arcillas, su presencia en los dos primeros componentes indicaría que la diferencia en las pastas estaría vinculada al uso de arcillas de diferentes fuentes de aprovisionamiento. El primer factor también muestra elevada contribución de los elementos metálicos Fe, Co, Cr y Sc, lo que revelaría su presencia en la fracción arcilla. Algo similar ocurre con el Th en el segundo factor. Cromo y torio tienen un comportamiento opuesto durante la cristalización y diferenciación del magma; la concentración de Cr es mayor en arcillas procedentes de rocas ultrabásicas, mientras que el Th se presenta en mayores concentraciones en rocas ácidas. El tercer factor presenta aportes de dos elementos alcalinos, Rb y Cs que estarían asociados al antiplástico incorporado a la arcilla. La representación de los factores obtenidos (Figuras 2 y 3) muestra la separación de un grupo conformado por las muestras de los aleros Las Mellizas, Los Cipreses y La Rivère A3 35, A3 37, A3, 39, A3 43, A6 23, A6 29, A6 30, A6 32 y A8 13 dada por el primer factor. Este grupo coincide con el observado en el dendograma y tampoco se observan tendencias a la formación de agrupamientos relacionados con el sitio de origen de las muestras. Las muestras restantes no presentan agrupamientos definidos aunque la muestra A3 33 se presenta algo separada del resto en ambas Figuras 2 y 3 y el tercer factor separa las muestras A3 36, A3 42, A3 50 y A6 31, (Figura 3). En el dendograma, la muestra A3 33 aparece incorporada al primer grupo y los tiestos A3 36, A3 42, A3 50 y A6 31 al segundo grupo, aunque fuertemente vinculadas entre sí.

	Factores		
	1	2	3
Fe	**0,908**	-0,223	0,265
Sc	**0,880**	-0,330	0,305
Lu	**0,877**	0,209	
Yb	**0,873**	0,186	
Cr	**0,838**	-0,124	0,206
Sm	**0,804**	0,484	0,112
Co	**0,768**		0,123
Eu	**0,735**	0,471	-0,301
La		**0,955**	-0,134
Ce	0,176	**0,930**	
Ta		**0,824**	-0,100
Th	-0,133	**0,727**	0,616
Hf	0,250	**0,720**	-0,228
Rb	0,257	-0,134	**0,872**
Cs	0,345	-0,276	**0,781**

Tabla 4. Análisis de factores: contribución de los elementos.
Sólo figuran las contribuciones mayores que 0,1 en valor absoluto.
En negrita figuran los aportes de importancia para cada factor.

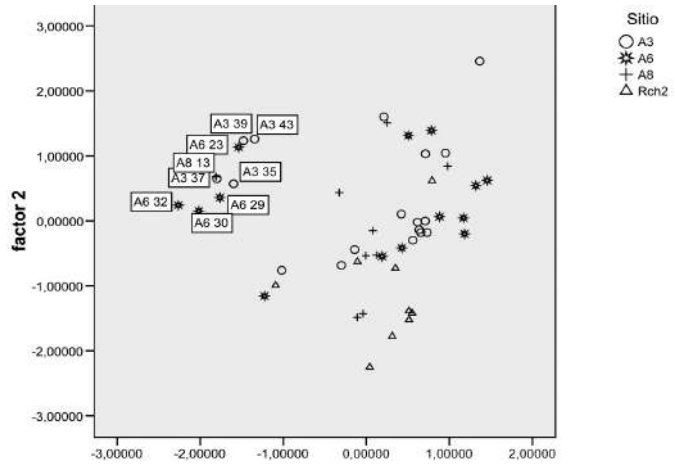


Figura 2. **Análisis de factores: representación de los dos primeros factores.**

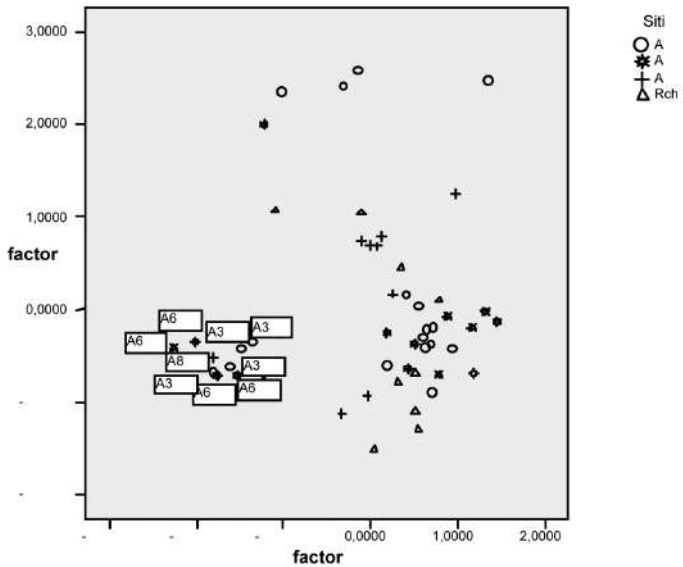


Figura 3. **Análisis de factores: representación de los factores 1 y 3.**

La aplicación de análisis de discriminantes canónico considerando como variables los factores obtenidos y empleando el programa estadístico Gauss, desarrollado en el *Reactor Research Center* de la Universidad de Missouri, permitió una visualización más clara de los agrupamientos entre muestras. La Figura 4 destaca la representación de las dos funciones discriminantes con tres grupos definidos por elipses de confianza al 95%. Se destaca un grupo claramente separado, conformado por muestras provenientes de los sitios Las Mellizas (A3 35, A3 37, A3 39 y A3 43), Los Cipreses (A6 23, A6 29, A6 30 y A6 32) y La Rivère (A8 13), que concuerda con lo obtenido en la aplicación de análisis de conglomerados (Figura 1) y de factores (Figuras 2 y 3). Todas las muestras de este grupo presentan pasta gris blanca, mientras que el resto de las muestras corresponde a fragmentos de pasta castaña. Esto estaría de acuerdo con el planteo de distintas fuentes de aprovisionamiento de arcillas señalado por los aportes de los distintos elementos a los dos primeros factores (Tabla 4). Las diferencias menores entre los otros agrupamientos podrían ser explicadas por variaciones en las formas de preparación de las pastas. De los otros dos grupos observados, el más pequeño está formado por las muestras A3 36, A3 42, A3-50 y A6 31, con pastas castaño rojizas o naranja que no presentaron una característica de diferenciación específica en el análisis con lupa binocular. Este grupo concuerda con el pequeño agrupamiento separado por el factor 3 en la representación de los factores 1 vs. 3 (Figura 3). El tercer grupo identificado en el análisis de discriminantes comprende la mayoría de los fragmentos y tiene representación de todos los sitios arqueológicos analizados.

Coincide con el gran agrupamiento mostrado en los gráficos de factores y con los dos grandes grupos identificados en el dendograma que se relacionan entre sí, antes de hacerlo con el conformado por las muestras de pasta gris clara. Las muestras de este tercer grupo identificado por análisis de discriminantes tienen elevados valores de Cs y Rb, lo que podría relacionarse con la abundancia de mica observada. Las muestras A6 19 y A6 20 del sitio Los Cipreses, definidas como Pitrén, así como aquellas con pintura roja en ambas caras (tiestos A3 44, A3 45, A3 46, A3 47, A3 48 y A3 49 del sitio Las Mellizas) se integran al conjunto general representado en este grupo, pudiendo interpretarse como de manufactura local. Las muestras Rch2 6 y A8 18 no se integran a ninguno de los tres grupos aunque se asocian a los de pasta castaña, especialmente la segunda.

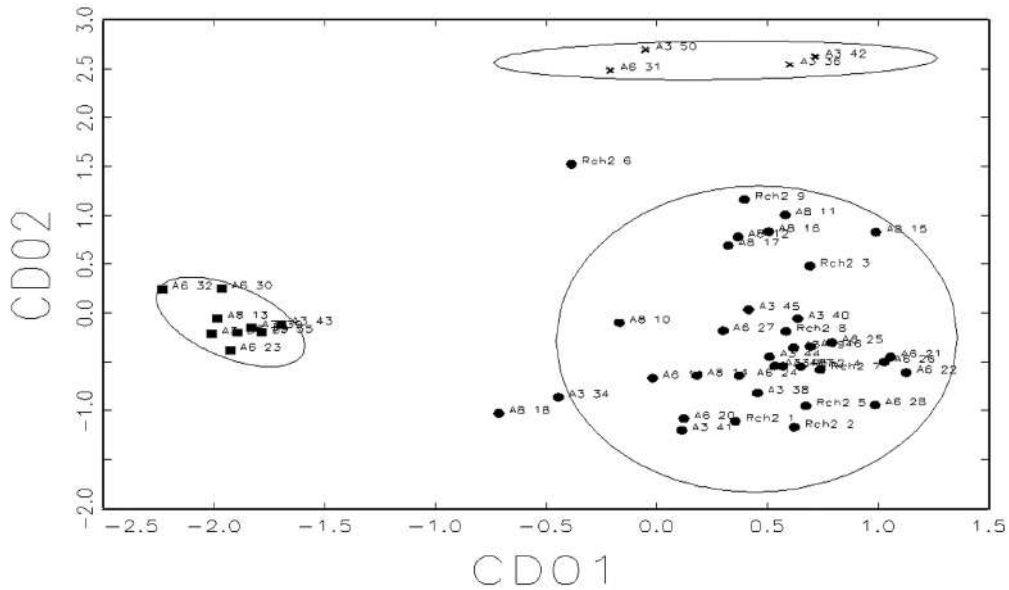


Figura 4. **Representación de las funciones discriminantes canónicas con elipses de confianza al 95 % definiendo tres grupos de muestras.**

Conclusiones

La determinación de elementos traza en las muestras de cerámica analizadas resultó en el establecimiento de tres grupos de fragmentos. Para los dos grupos principales conformados por muestras de pasta gris clara y de pasta castaña, puede aceptarse el planteo de utilización de fuentes de materia prima que difieren en su composición. Si el aprovisionamiento de la materia prima y la manufactura de los artefactos se llevan a cabo dentro del grupo, la composición reflejará escasa variación, resultado de un aprovisionamiento local según requerimientos de consumo local. Si hay intercambios regionales habrá conjuntos mezclados y diversidad en la composición. Los tiestos analizados comparten mayoritariamente un mismo perfil elemental, infiriéndose que las materias primas utilizadas proceden de sitios comunes.

Se distingue un conjunto de piezas con características composicionales diferentes, que se define como pasta gris blanca, cuya distribución en el espacio analizado no es homogénea, restringiéndose

a los sitios A6 y A3, con una sola muestra proveniente de A8 y que sugiere inferir una fuente de aprovisionamiento específica. Los análisis realizados sustentan en forma preliminar la hipótesis de un aprovisionamiento local restringido de arcillas blancas. Esta materia prima, según los datos geológicos disponibles, podría provenir de los yacimientos de la meseta de Bardas Negras[19].

Los perfiles multielementales resultantes del análisis de las piezas con pintura roja monocroma que fueron adscriptas al estilo Pitrén, no permiten sustentar la hipótesis de un origen en la vertiente occidental de la cordillera.

El conjunto mayoritario de las piezas no muestra, por el momento, una diferenciación que caracterice una fuente específica de abastecimiento. Sin embargo, los agrupamientos menores resultantes entre las muestras de pasta castaña señalados por el análisis de discriminantes sugieren diferentes modalidades de manufactura con agregados de antiplástico o mezclas de arcillas.

La caracterización química demostró ser una herramienta objetiva y consistente para el agrupamiento de tiestos, complementaria a la petrología y al análisis arqueológico tradicional.

19) J.C. Danieli, Recursos Minerales, en Geología y Recursos Minerales del Departamento Zapala, Escala 1:200.000, *Boletín Nº 2,* Secretaría de Estado de Producción y Turismo – Provincia de Neuquén, Zapala, 1995.

Bibliografía

Adán A., Alvarado P, M., Análisis de colecciones alfareras pertenecientes al complejo Pitrén: una aproximación desde la arqueología y la estética, Soplando en el Viento, Actas de las Terceras Jornadas de Arqueología de la Patagonia, Neuquén - Buenos Aires: INAPL - Universidad Nacional del Comahue, 1999, pp. 245-268.

Aldazabal,V., Eugenio E., *Entre el fuego y el juego. La cerámica del sitio Rincón Chico 2. Arqueología de rescate en Rincón Chico, provincia del Neuquén,* E. Crivelli, M. Fernández y M. Ramos, comp., Dunken, Buenos Aires, 2007, pp. 162-186.

Aldazabal, V., Micaelli A., "La cerámica en el sector norte del lago Traful", *RUNA*, 27, Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires, 2007, pp. 85-97.

Aldazabal, V., Silveira M., Micaeli A., "La cerámica del sitio arqueológico Las Mellizas", Presentado a la revista *Anales de Arqueología y Etnología* de la Universidad Nacional de Cuyo, 2010 en prensa.

Bellelli, C., "La decoración de la Cerámica Gris Incisa de la Patagonia (República Argentina)", *Revista do Museu Paulista*, Nova Serie, Volume XXVII, São Paulo, 1980, pp. 199-225.

Bishop, R.L. *et al*., "Ceramic compositional analysis in archaeological perspective", *Advances in Archaeological Method and theory*, Vol. 5 (Schiffer, M., Ed.), Academic Press, New York, 1982, pp. 275-230.

Danieli, J.C., Recursos Minerales, en Geología y Recursos Minerales del Departamento Zapala, Escala 1:200.000, *Boletín Nº 2*, Secretaría de Estado de Producción y Turismo – Provincia de Neuquén, Zapala, 1995.

Fernández, J.C., "La cueva de Haichol. Arqueología de los pinares cordilleranos del Neuquén". *Anales de Arqueología y Etnología*, 43/45, Volumen I y III, 1988, pp. 90.

Goñi, R., *Arqueología de sitios tardíos en el valle de Malleo. Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, NS XVII (1), 1992, pp. 37-67.

Hajduk, A., "Excepcionales cerámicos de la Provincia del Neuquén. Presencia de alfarería con decoración por pintura resistente en la provincia del Neuquén. Algunas consideraciones en torno a ella", *Revista del Museo Provincial*, 1, Neuquén, 1978, pp. 103 –121.

Hajduk, A., Cúneo E. M., *Rescate arqueológico en San Martín de los Andes (Departamento Lácar, provincia del Neuquén) y algunas reflexiones acerca de la cerámica con decoración valdiviana.* Relaciones XXII-XXIII, 1997-1998, pp. 101-124.

Harbottle, G., *Chemical Characterization in Archaeology, Contexts for Prehistoric Exchange*, Chapter 2 Academic Press, Inc., 1982.

Inostroza Saavedra, J., "Estudio de formas cerámicas de la colección Repocura Cholchol", *Boletín del Museo de la Araucania N° 1*, Temuco, 1984, pp. 59-69.

Mazzanti, D., Arqueología de un asentamiento araucanizado postconquista en las serranías orientales de Tandilia, provincia de Buenos Aires. Soplando en el viento, Actas de las 3º Jornadas de Arqueología de Patagonia, Rawson, 1999, pp. 451-460.

Menghin, O.F.A., *Fundamentos cronológicos de la Patagonia*, Runa V, 1952, pp. 23-43.

Moldes de Entraigas, B., Estudio de la decoración en la cerámica arqueológica de San Antonio Este, costa atlántica (Provincia de Río Negro, Argentina). Actas y Memorias del IV Congreso Nacional de Arqueología Argentina, 2°parte, San Rafael, Mendoza, 1977, pp.15-26.

Plá, R.R., El rol del análisis por activación neutrónica en estudios Arqueométricos, Actas del 2º Congreso Argenino y 1ro. Latinoamericano de Arqueometría, Vol 1, Buenos Aires, 2007, pp. 47-52.

Plá, R.R., Ratto N., *Provenance archaeological studies of ceramic raw materials and artefacts using instrumental neutron activation analysis: the cases of Chaschuil and Bolsón de Fiambalá* (Catamarca, Argentina). IAEA Technical Report Series No. 416 Nuclear Analytical Techniques in Archaeological Investigation, IAEA, Vienna, 2003, pp. 45-69.

Plá, R.R. and Ratto N., "Archaeometry at the Argentine National Atomic Energy Commission: characterization of Argentine Northwestern pottery", *Archaeometry 49*, Part 2, 2007, pp. 413-420.

Sanguinetti de Bórmida, A., "La neolitización de las áreas marginales de América del sur", *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, *5*, Nº 1, 1963, pp. 9-23.

Sanguinetti de Bórmida, A.C., Chauvin, A., Curzio, D., Crivelli Montero, E.A., Lezcano M., Arqueología de rescate en el alero La Marcelina 1, Provincia de Río Negro, en III Congreso Argentino de Americanistas, Sociedad Argentina de Americanistas, Buenos Aires, 2000, pp. 351-372.

Silveira, M., Investigaciones en el área boscosa del lago Traful, provincia del Neuquén, Comunicaciones, Primera Jornada de Arqueología de Patagonia, Chubut, 1984, pp. 295-303.

Silveira, M., Alero *Los Cipreses (provincia del Neuquén) Arqueología, sólo Patagonia*, 1996, pp. 107-118.

Silveira, M., Alero Cicuta (Departamento Los Lagos, Neuquén, Argentina), Soplando en el viento, Actas de las 3ras. Jornadas de Arqueología de la Patagonia, Rawson, 1999, pp. 561-575.

Caracterización química de cerámicas del sitio Hatahara, Amazonia - Brasil*

Kelly P. Nunes / Casimiro S. Munita / Paulo M.S Oliveira
Instituto de Investigaciones Energéticas y Nucleares

Eduardo G. Neves / Eduardo K. Tamanaha
Museu de Arqueologia e Etnologia
Universidad de São Paulo

Resumen

En este trabajo se determinaron las concentraciones de As, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Na, Nd, Sb, Sm, U e Yb, Rb, Sc, Ta, Tb, Th y Zn por medio del método de análisis por Activación Neutrónica Instrumental, AANI, en 127 muestras de cerámicas del sitio arqueológico Hatahara. El sitio se localiza en el municipio de Iranduba, estado del Amazonas, Brasil. Los resultados de las concentraciones elementales fueron interpretados por medio de análisis de agrupamiento y discriminante. Los estudios mostraron la existencia de tres grupos de cerámicas, que confirman las tres fases culturales distintas de ocupación, llamadas de Manacapuru, Paredón y Guarita.

Introducción

La caracterización físico-química de las cerámicas es de gran interés en estudios arqueológicos porque comprueba aspectos de la vida de grupos ancestrales, de modo que es posible inferir aspectos socio-culturales. La materia prima usada en la fabricación de las cerámicas es la arcilla, que se produce por la fragmentación de las rocas como consecuencia directa del intemperismo; por lo tanto, las arcillas guardan su historia geológica.

Durante varios años, las técnicas de caracterización química en los vestigios cerámicos han sido

* Nuestros agradecimientos a la Fundación de Amparo a la Investigación del Estado de São Paulo, FAPESP, Proyectos 2006/59237-6 y 2006/57343-3 por el apoyo financiero y a la Lic. Rita Plá por las sugerencias y correcciones.

intensamente utilizadas, en virtud de las diversas hipótesis demostradas. Por ejemplo, se han inferido aspectos de la vida de las comunidades, desarrollo tecnológico, cultural, relaciones de comercio e interacción, entre otros aspectos[1]. Estos estudios se llevan a cabo por medio de la arqueometría, que es un área de la arqueología que estudia las propiedades físico-químicas de los diversos vestigios de origen arqueológico.

Desde el punto de vista estrictamente geológico, la cerámica es considerada una roca sedimentaria que sufrió algunos procesos metamórficos, teniendo como principales componentes arcillas y diversos materiales no-plásticos (antiplásticos) encontrados naturalmente o adicionados, intencionalmente, por el ser humano. Los perfiles tecno-tipológicos de las cerámicas, como decoración, color, forma y función contribuyen para la clasificación de las piezas. Entretanto, el problema que surge es que a simple vista las cerámicas fabricadas en diferentes lugares parecen ser muy semejantes[2]. El estudio de esas variables, asociadas a los resultados obtenidos por medio de las técnicas analíticas, permite inferir acerca de la procedencia de las piezas así como del proceso tecnológico usado por esos grupos antiguos.

Las primeras aplicaciones de las técnicas analíticas en estudios arqueológicos se remontan al siglo XIX, con los trabajos de Martin H. Klaproth y Humphry Davy[3].

Actualmente, se han aplicado varias técnicas analíticas para la determinación de elementos traza. Entre ellas, se destacan la Espectrometría de Absorción Atómica (AAS),[4] Fluorescencia de Rayos-X (FRX),[5] Espectrometría de Masas con Fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS),[6] Análisis por Activación Neutrónica Instrumental (AANI)[7]. Entre esas técnicas, AANI asociada con la Espectrometría de

1) Cfr. Casimiro Munita, M.A. Silva, S.A Silva, Paulo M.S. Oliveira, "Archaeometric study of clay deposits from the indigenous land of the Asurini do Xingu", *Instrumentation Science and Technology N° 33*, 2005, pp. 169-181 y M.P. Felicíssimo, J.L. Peixoto, J.J. Pireaux, G. Demortier, U.P.F. Rodrigues, "PIXE and PIGE analysis of pre-colonial pottery from Pantanal-MS, Brazil", *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry N° 267*(1), 2005, pp. 209-217.

2) G.E. Benedetto, P. Acquafredda, M. Masieri, G. Quarta, L. Sabbatini, P.G. Zambonin, M. Tite, M. Walton, "Investigation on Roman lead glaze from Canosa: results of chemical analyses", *Archaeometry N° 46*(4), 2004, pp. 615-624.

3) E.R. Caley, "Klaproth as a pioneer in the chemical investigation of antiquities", *J. of Chemical Education N°* 26, 1949, pp. 242-247;268.

4) J. Gardans, F. Montes, J. Penuelas, "Determination of As, Cd, Cu, Hg and Pb in biological samples by modern eletrothermal atomic absorption spectrometry", *Spectrochimica Acta Part B - Atomic Spectroscopy*, 65(2), 2010, pp. 97-112.

5) M.N. Tijani, M.E. Nton, R. Kitagawa, "Textural and geochemical characteristics of the Ajali Sandstone, Anambra Basin, SE Nigeria: Implication for its provenance", *Comptes Rendus Geoscience N° 342*(2), 2010, pp. 136-150.

6) E.V. Smirnova, B. Flem, E.A. Anchutina, I.N. Mysovskaya, V.I. Lozhkin, L.L. Petrov, "Determination of REE, Y, Nb, Zn, Hf, Ta, Th and U in geological reference materials LSCH-1 and Amf-1 by solution and laser ablation ICP-MS", *Geostandards and Geoanalytical Research N° 34*(1), 2010, pp. 49-65.

7) Cfr. Casimiro Munita, A. Nascimento, S.B. Schreiber, S. Luna, Paulo M.S. Oliveira, "Chemical study of some ceramics from Brazilian Northeast", *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry N° 259*(2), 2004, pp. 305-309, "Contribuição da análise por ativação com nêutrons a estudos arqueométricos: estudo de caso", *Canindé N° 6*, 2005, pp. 159-181 y H.M. Anawar, M.C. Freitas, "Analysis

Rayos Gama de Alta Resolución, ha sido la más usada para la determinación de la composición química en muestras de cerámicas, porque presenta varias ventajas, tales como, alta sensibilidad, precisión y exactitud, características esenciales para detectar pequeñas variaciones en la concentración de los elementos químicos contenidos en los fragmentos cerámicos, a un nivel de traza o ultratraza[8].

En este estudio se analizaron muestras de cerámicas del sitio arqueológico Hatahara que está localizado en la Amazona central y forma parte de un escenario adecuado para el estudio de los principales aspectos abordados en arqueometría. En este sitio se encontró una gran cantidad de cerámicas y tierra negra antropogénica en toda su extensión. Además, desde el punto de vista arqueológico, presenta tres fases distintas y concomitantes de ocupación pre-colonial[9]. El sitio pasó por varias intervenciones arqueológicas que incluyeron identificación, mapeo y excavación. Estos trabajos de campo revelaron que el sitio presenta un carácter bastante complejo en cuanto a la formación pre-colonial, por lo que fue pertinente la clasificación de las cerámicas arqueológicas encontradas en esta área por medio de técnicas analíticas.

Los estudios se realizaron usando 127 fragmentos cerámicos que fueron examinados por el método de análisis por Activación Neutrónica Instrumental, AANI. Los resultados de las concentraciones elementales de As, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Na, Nd, Sb, Sm, U e Yb, Rb, Sc, Ta, Tb, Th y Zn se interpretaron por medio de métodos estadísticos multivariados, como análisis de agrupamiento y análisis discriminante, los mismos que señalaron la existencia de grupos distintos de cerámicas, confirmando los estudios culturales e históricos con relación a esas comunidades.

Área de estudio

El mapeo arqueológico de la Amazonia central se inició en 1950, con los trabajos de campo de los arqueólogos Paul Hilbert e Mário Simões del Museu Paraense Emilio Goeldi[10]. Investigaciones que tuvieron como objetivo clasificar la tecnología de las cerámicas encontradas en esta región. De una forma bastante genérica, esta clasificación se realizó por medio de categorías crono-estilísticas de la

---

of mayor and trace elements by INAA to predict the thousands year old sediment deposition enviroment in the Meghna river delta", *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry N° 283*(2), 2010, pp. 347-352.

8) Cfr. Casimiro Munita, "Contribuição da análise"pp. 159-181, H.M. Anawar, M.C. Freitas, "Analysis of mayor", pp. 347-352 y I.E. Stamatelatos, F. Tzika, T. Vasilopoulou, M.J.J. Koster-Ammerlaan, "Large sample neutron activation analysis of a ceramic vase", *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry N° 283*(3), 2010, pp. 735-740.

9) J.S. Machado, Montículos artificiais na Amazonia central: um estudo de caso do sítio Hatahara, Dissertação de Mestrado – Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, MAE-USP, 2005, p.68.

10) Ibídem

variabilidad encontrada en las cerámicas de los sitios de la región, basándose en la utilización de un atributo cultural, el antiplástico. En algunos casos se consideró también la decoración.

Los arqueólogos catalogaron las cerámicas de la región apoyándose en los atributos utilizados en la producción de los artefactos, estableciendo que estos parámetros pueden revelar características culturales de un mismo grupo. Sobre todo, cuando interactúan entre sí, pueden representar una fase arqueológica. Unido a este concepto, una tradición cultural puede ser entendida como fases arqueológicas que comparten un mismo conjunto de técnicas diagnosticadas por los atributos[11]. No obstante estas dos definiciones se encuentren insertadas en el contexto de la clasificación de las cerámicas, y todavía son motivos de intensas discusiones en arqueología, en lo que se refiere a sus significados reales.

A partir de esta clasificación se consideraron tres fases arqueológicas distintas para la Amazonia central, las que sirven de referencia para la descripción de tipologías para las cerámicas. Hasta el momento, se tiene la fase Manacapuru, fechada entre el siglo V al IX, la fase Paredón, entre el siglo VII hasta inicio del siglo XI, ambas asociadas a la tradición borde inciso, y, por último, la fase Guarita, entre el siglo X a XVI, asociada a la tradición policrómica[12].

El área de estudio de la Amazonia central es de 900 km2 y se localiza próxima a la ciudad de Manaus, Estado de Amazonas. El clima característico es tropical, lluvioso y húmedo. También se observan temperaturas elevadas durante todo el año, con ocurrencia de altos índices pluviométricos en invierno y bajos índices durante el verano. Esta área está demarcada por los ríos Solimões al sur, Negro al norte y al este y al oeste por el Ariaú. Tiene dos tipos distintos de ecosistemas: ríos de aguas negras y ríos de aguas blancas[13].

Los ríos de aguas negras tienen pequeña cantidad de peces, que forman una región de planicie poco desarrollada. El paisaje en esta región se caracteriza por poseer suelo arenoso e inundado por agua ácida y pobre en nutrientes traídos por estos ríos. Esta región es conocida como zona de tierra firme.

Por otra parte, los ríos de aguas blancas forman parte de la cuenca del río Solimões. Al contrario de los ríos de aguas negras, se trata de una región que forma planicie de cultivo, alargada y bastante desarrollada con relación a la productividad pesquera y las prácticas agrícolas, debido a la fertilización del suelo por las inundaciones. La planicie cultivable, en la Amazonia central, es extensa y llega a alcanzar

11) R.M. Latini, A.V. Bellido, M.B.A. Vasconcellos, O.F. Dias, "Classificação de cerâmicas arqueológicas da bacia amazonica", *Química Nova N° 24*(6), 2001, pp.724-729.

12) Cfr. J.S. "Machado, Montículos artificiais na Amazonia central" y E.K. Tamanaha, A.R. Py-Daniel, "Sítio Hatahara: Estruturas funerárias, residenciais ou ambos?", *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia N° 8*, 2009, pp. 63-73.

13) H.P. Lima, E.G. Neves, J.B. Petersen, "La fase Acutuba: um novo complexo ceramico na Amazonia central", *Arqueologia Suramericana N° 2*(1), 2006, pp. 26-52.

Vista aérea del sitio arqueológico Hatahara. (Foto E. Neves, 1999; Señalización Grosch, 2005).

algunos kilómetros. Es común en este tipo de paisaje encontrar muchos lagos, playas e islas[14].

La definición de los dos tipos de ecosistemas es relevante para la comprensión de las ocupaciones humanas en la Amazonia Central. Los suelos de tierra firme, localizados próximos al río Negro, tienen baja fertilidad natural, lo que restringió el establecimiento y el desarrollo de las poblaciones en esta región. Este hecho se evidenció por la menor cantidad de fragmentos arqueológicos encontrados, como también, por la presencia de sitios arqueológicos de menor extensión. Por otro lado, cuando se compara con los sitios de planicie, se observa que estos poseen mayor cantidad de fragmentos cerámicos, como también, se nota que son de mayor extensión.

El sitio arqueológico Hatahara ocupa un área de 160.000 m2. Está situado en el municipio de Iranduba, 30 km al sudoeste de Manaus, en la margen izquierda del río Solimões, próximo a la confluencia con el río Negro[15]. Por tratarse de una región donde son comunes las inundaciones estacionales provenientes del río Solimões, posee un suelo bastante enriquecido por depósito de nutrientes arrastrado por las inundaciones. Como se aprecia en la fotografía, el sitio está localizado en un barranco adyacente a un área de planicie.

14) Ibídem

15) L. Rebellato, Interpretando a variabilidade cerâmica e as assinaturas químicas e físicas do solo no sítio arqueológico Hatahara – AM. Dissertação de Mestrado – Museu de Arqueologia e Etnologia, MAE-USP, 2007, p. 49.

Lo que llamó la atención en el sitio fue la gran cantidad de material cerámico y de tierra negra (tipo de suelo rico en materia orgánica) presente en toda su superficie[16]. Probablemente, las comunidades que habitaron en este sector, además del usufructo de los productos resultantes de las prácticas agrícolas, también se beneficiaron de la gran disponibilidad y cantidad de peces ofrecida por el río Solimões.

Los estudios arqueológicos muestran que la existencia de la tierra negra es consecuencia de la ocupación humana y su desarrollo[17]. De esta forma, la actividad humana fue responsable de causar alteración en la composición química de la tierra negra. El análisis químico de esta tierra mostró una gran cantidad de fosfato concentrado en niveles estratigráficos que corresponden a las fases de ocupación más recientes y con mayor cantidad de fragmentos cerámicos.

Además de cerámica y tierra negra, en el sitio Hatahara existen estructuras de tierra que llegan alcanzar cerca de 1,50m de altura en el terreno. Esas estructuras recibieron el nombre de montículos artificialmente construidos[18].

Estudios estadísticos

El principal objetivo en análisis de cerámicas reside en la formación de grupos significativos estadísticamente, por ese motivo se aplican métodos estadísticos en las concentraciones elementales para que se puedan correlacionar. En arqueometría se han empleado varias técnicas estadísticas multivariadas, tales como análisis de agrupamiento, análisis discriminante, análisis por componentes principales, entre otros[19].

Antes de iniciar la aplicación de las técnicas estadísticas, es necesario el estudio de los valores discrepantes (*outliers*). En una base de datos, los valores discrepantes son resultados diferentes de los otros y se generan por diversos mecanismos. La presencia de valores discrepantes en una base de datos, puede llevar a falsas estimaciones e interpretaciones[20].

16) E.G. Neves, J.B. Petersen, R.N. Bartone, C.A. Silva, "Historical and socio cultural origins of amazonian dark earths", J. Lehmann, ed., *Amazonian dark earths origin properties management*, Kluwer Academic Publishers, Dordrescht, The Netherlands, 2003, pp. 29-50.

17) E.G. Neves, J.B. Petersen, R.B. Bartone, M.J. Heckenberger, "The timing of terra preta formation in the central Amazon: archaeological data from three sites" B. Glaser and W.I., Woods editores, *Amazonian dark earths: explorations in space and time*, Springer, Alemanha, 2004, pp. 125-134.

18) Cfr. J.S. "Machado, Montículos artificiais na Amazonia central" y L. Rebellato, "Interpretando a variabilidade cerâmica"

19) J.O. Santos, Casimiro Munita, R.G. Toyota, C. Vergne, R.S. Silva, Paulo M.S. Oliveira, "The archaeometry study of the chemical and mineral composition of pottery from Brazil´s Northeast", *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry N° 281*, 2009, pp. 189-192.

20) R.J. Beckman, R.D. Cook, "Outlier", *Technometrics N° 25*(2), 1983, pp. 119-163.

La identificación de resultados discrepantes en muestras univariadas es relativamente simple. Generalmente, por simple inspección gráfica o por medio de algunos tests específicos (test de Grubbs, test de Dickson, etc.) es posible confirmar la presencia de valores discrepantes. Por otro parte, la identificación de valores discrepantes en muestras multivariadas es de extrema dificultad, porque la inspección de cada variable aislada no es suficiente para identificar una muestra discrepante.

Hay varios procedimientos estadísticos para identificar valores discrepantes en muestras que envuelven más de una variable. Algunos autores sugieren que la distancia de *Mahalanobis (D^2)* es un método eficiente para su identificación[21]. Considerando una base de datos con n muestras y p variables medidas, la distancia de Mahalanobis está dada por:

$$D_i^2 = \left(X_i - \overline{\mathrm{X}}\right)^T S^{-1} \left(X_i - \overline{\mathrm{X}}\right)$$

$$S = \sum_{i=1}^{n} \left(X_i - \overline{\mathrm{X}}\right)\left(X_i - \overline{\mathrm{X}}\right)^T / n - 1$$

Donde ^{T} es la matriz transpuesta, $X_i - \overline{X}$ es el vector de la diferencia entre las concentraciones en un grupo y la media de los valores de otro grupo y S es la varianza-covarianza del muestreo.

La identificación de los valores discrepantes por medio de D_i^2 se realiza calculando el D_i^2 para cada grupo de muestras y efectuando el test de hipótesis por medio de la comparación de este valor con el valor crítico. En la literatura, se ha sugerido que la determinación de los valores críticos de la distancia Mahalanobis puede ser efectuada por medio de la distribución *F*, especialmente, para pequeño número de muestras[22]. Wilks[23] sugirió que el valor crítico para la distancia Mahalanobis fuese calculado por medio de la expresión:

$$\frac{p\left(n-1\right)^2 F_{p;n\text{-p-1};\alpha/\mathrm{n}}}{n\left(n-\mathrm{p}-1+\mathrm{pF}_{\mathrm{p,\,n\text{-}p\text{-}1};\alpha/\mathrm{n}}\right)}$$

21) Cfr. E. Grubbs, "Sample criteria for testing outlying observations", *Annals of mathematical statistics*, 21, 1950, pp. 27-28 y M.J. Baxter, "Statistical modelling of artefact compositional data", *Archaeometry N° 43*(1), 2001, pp. 131-147.

22) K.I. Penny, "Appropriate critical values when testing for a single multivariate outlier by using the Mahalanobis distance", *Applied Statistica N°, 35*, 1987, pp. 153-162.

23) S.S Wilks, "Multivariate statistical outliers", *Sankhya N° 25*, 1963. pp. 407-426.

Donde n es el número de muestras, p es el número de variables, F es la distribución de Fischer y α el nivel de significancia.

Por otro lado, Oliveira y Munita,[24] estudiaron la influencia del valor crítico en la detección de valores discrepantes en arqueometría. Los autores compararon 3 criterios (test F, test del x^2 y lambda Wilks) encontraron que el criterio de Wilks es más conveniente para este tipo de estudios.

En el caso en que D_i^2 sea mayor que el valor crítico la muestra es considerada discrepante[25].

En este trabajo la identificación de muestras discrepantes fue realizada por medio de la distancia Mahalanobis, siendo que el valor crítico fue calculado por medio del criterio de Wilks.

Análisis de conglomerados *(cluster analysis)*

El análisis de conglomerados es una técnica estadística multivariada usada para describir diversas técnicas numéricas con el propósito de clasificar los valores de una matriz de datos en grupos discretos. Específicamente, el objetivo es clasificar una muestra en un pequeño número de grupos mutuamente excluyentes, con base en la semejanza entre los datos[26].

El análisis de conglomerados generalmente envuelve por lo menos tres etapas. La primera es la medida de alguna forma de disimilitud o asociación entre los datos para determinar cuántos grupos realmente existen en el conjunto de muestras. La segunda etapa es el propio proceso de agrupamiento, en el cual los datos son divididos en grupos (conglomerados). La última etapa consiste en establecer el perfil de los datos para presentar los agrupamientos, muchas veces eso es posible aplicando análisis discriminante a los grupos identificados por la técnica de agrupamiento[27].

Análisis discriminante

Es una técnica estadística multivariada utilizada para discriminar muestras y/o clasificarlas en grupos previamente definidos. De esta forma, los principales objetivos de la técnica son encontrar las

24) Paulo M.S. Oliveira, Casimiro Munita, Influencia do valor crítico na detecção de valores discrepantes em arqueometria, 48ª Reunião Anual Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. Lavras, MG, 07-11 Julho, 2003, pp. 545-550.

25) S.S Wilks, "Multivariate statistical"

26) I.T. Jolliffe, B. Jones, J.T. Morgan, "Identifying influential observations in hierarchical cluster analysis", *J. of Applied Statistics N° 22*(1), 1995. pp. 61-80.

27) L. Kaufman, P.J. Rousseeuw, *"Finding groups in data: An introduction to cluster analysis"*, New Jersey, John Wiley & Sons, 1990, pp. 342.

funciones de las variables originales (funciones discriminantes) que expliquen las diferencias entre las muestras y que permitan colocar nuevas muestras en uno de los grupos involucrados en el análisis.

Al contrario del análisis de agrupamiento, el análisis discriminante es una técnica supervisada, porque en este tipo de exploración existe la necesidad del conocimiento a priori de los grupos de los cuales forman parte las muestras.

Parte experimental

Equipamiento y preparación de las muestras

Las medidas de la actividad gama se efectuaron utilizando un detector de Ge hiperpuro de Canberra, con resolución de 1,90 keV en el pico de 1332 keV del ^{60}Co, una placa S-100 MCA de Canberra, con 8192 canales y electrónica asociada. Los espectros de rayos gama se obtuvieron y analizaron por medio del programa Genie-2000 NAA Processing Procedure, producido por Canberra.

Inicialmente, se lavaron los fragmentos cerámicos con agua Milli Q, removiendo la superficie externa con un cepillo de cerdas finas. Luego, se colocaron en estufa a 104ºC por 24 horas. A continuación, la superficie externa de la cerámica se eliminó con lima rotativa de carburo de tungsteno, adaptada a un taladro eléctrico con velocidad variable, a fin de evitar cualquier contaminación. Cerca de 500 mg de muestra, en la forma de polvo, se obtuvieron haciendo 3 a 5 orificios en la parte interna del fragmento, evitando que la broca atravesase las paredes. Ese polvofue recogido, secado en estufa a 104ºC por 24 horas y almacenado en desecador[28].

Procedimiento analítico

Para el análisis, cerca de 100 mg de cada muestra fueron pesados en envolturas de polietileno y sellados usando un soldador eléctrico manual. Las muestras fueron envueltas en hojas de papel aluminio. Una serie de ocho muestras, juntamente con, aproximadamente, 100 mg del material de referencia Standard Reference Material – NIST-SRM 1633b Constituent Elements in Coal Fly Ash, fue utilizado como patrón. Las muestras fueron irradiadas por 8 horas en el Reactor IEA - R1m del IPEN - CNEN/SP, con un haz de neutrones térmicos del orden de $10^{12}n\ cm^{-2}s^{-1}$.

Se realizaron dos medidas, siendo determinados, después de siete días de decaimiento As, K, La, Lu, Na, Nd, Sb, Sm, U e Yb y, después de 25-30 días Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Rb, Sc, Ta, Tb, Th e

28) J.O. Santos, Casimiro Munita, R.G. Toyota, C. Vergne, R.S. Silva, Paulo M.S. Oliveira, “The archaeometry”, p. 189- 192.

Zn[29]. La Tabla muestra los radioisótopos, el período de semidesintegración ($T_{1/2}$) y la energía gama del fotopico que se usó en el análisis. El esquema del procedimiento analítico se ilustra en las fotografías.

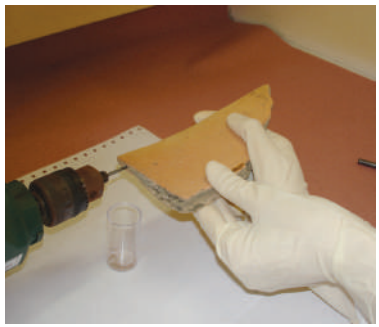
Elemento	Radioisótopo	$T_{1/2}$	E_γ (kev)
As	^{76}As	26,3 h	559,1
Ba	^{131}Ba	11,5 d	496,3
Ce	^{141}Ce	32,5 d	145,4
Cr	^{51}Cr	27,7 d	320,1
Cs	^{134}Cs	2,06 a	795,8
Co	^{60}Co	5,27 a	1332,5
Eu	^{152}Eu	13,3 a	1408,0
Fe	^{59}Fe	44,5 d	1099,3
Hf	^{181}Hf	42,4 d	482,2
K	^{42}K	12,4 h	1524,6
La	^{140}La	40,3 h	1596,2
Lu	^{177}mLu	161 d	208,4
Na	^{24}Na	15 h	1368,6
Nd	^{147}Nd	10,99 d	531,0
Rb	^{86}Rb	18,7 d	1077,0
Sb	^{124}Sb	60,2 d	1691,0
Sc	^{46}Sc	83,8 d	889,3
Sm	^{153}Sm	46,3 h	103,2
Ta	^{182}Ta	115 d	1221,4
Tb	^{160}Tb	72,3 d	879,4
Th	^{233}Pa[1]	27,0 d	312,0
U	^{239}Np[2]	2,4 d	228,2
Yb	^{175}Yb	4,19 d	396,3
Zn	^{65}Zn	243,9 d	1115,6

Características nucleares de los radioisótopos usados en el análisis.

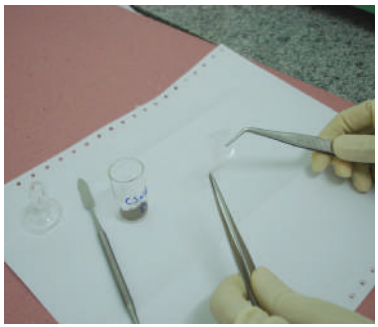
[1] Th determinado por medio de la reacción $^{232}Th\ (n, \gamma)\ ^{233}Th \xrightarrow{\beta^-} {}^{233}Pa$

[2] U determinado por medio de la reacción $^{238}U\ (n, \gamma)\ ^{239}U \xrightarrow{\beta^-} {}^{239}Np$

29) Ibídem

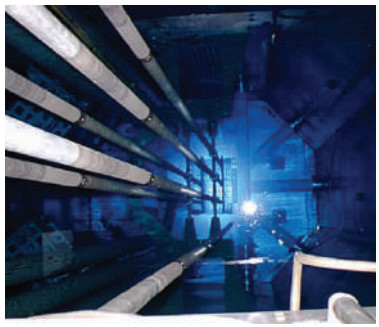


(a)

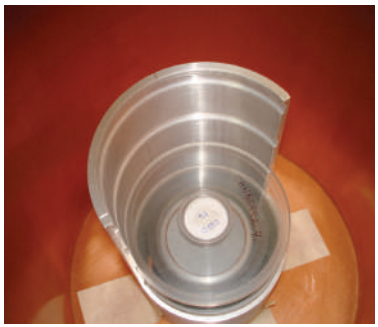


(b)

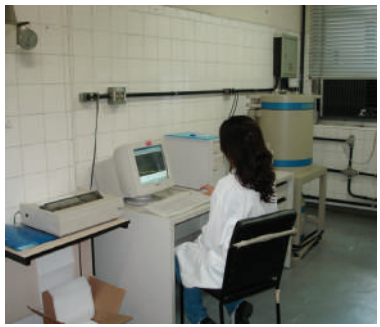
(c)



(d)



(e)



(f)

Esquema del procedimiento experimental para análisis por Activación Neutrónica Instrumental. a) Orificios en la parte interna del fragmento. b) Colocación de la muestra en envolturas de polietileno. c) Pesaje de la muestra. d) Irradiación en el reactor nuclear. e) Detector de radiación gama. f) Análisis del espectro y cálculo de la concentración.

Control de calidad analítico

La precisión, exactitud y sensibilidad del método fueron estudiadas por medio de las determinaciones de As, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb e Zn en el material de referencia IAEA Soil 7, Trace Elements in Soil. Los valores encontrados fueron comparados con los de referencia.

Resultados

Con el objetivo de estudiar el control de calidad del método analítico y escoger los elementos químicos que pueden ser usados en la interpretación de los resultados, las concentraciones elementales de As, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb y Zn del material de referencia IAEA Soil 7 fueron comparadas, estadísticamente, con los resultados de 18 muestras analizadas en nuestro laboratorio.

La precisión del método fue calculada por medio de la desviación estándar relativa, DER, que es una medida de la incertidumbre que acompaña cada uno de los 18 análisis. La DER para la mayoría de los elementos fue menor o igual a 10%. Esta precisión es considerada adecuada para escoger los elementos químicos en estudios de caracterización química de objetos arqueológicos utilizando métodos estadísticos multivariados. El elemento que presentó una DER mayor que 10% fue Sm. Los elementos Co y Ta presentaron una precisión menor que 10%; sin embargo, fueron eliminados de la base de datos porque existen evidencias de contaminación por la broca de tungsteno durante la preparación de las muestras[30]. Zn también fue eliminado porque sufre interferencia en el espectro de rayos gama del fotopico del ^{46}Sc. La interferencia de la fisión de ^{235}U en la determinación de La, Ce y Nd fue despreciable, porque la concentración de U no excedió 5 ppm y las tierras raras no estaban en un nivel extraordinariamente bajo[31]. A pesar que para los elementos As, Ba, Nd, Rb, y Sb se haya encontrado una buena precisión, estudios anteriores mostraron que no son elementos confiables para ser incluidos en la base de datos por presentar una gran dispersión en las concentraciones de esas cerámicas. Por lo tanto, los elementos escogidos usados para interpretar los resultados de las cerámicas arqueológicas fueron Ce, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Na, Sc, Tb, Th, U e Yb. En la siguiente Tabla se distinguen los resultados de la media, desviación estándar y valores mínimos y máximos de las muestras de cerámicas del sitio Hatahara.

30) M. Attas, J.M. Fossey, L. Yaffe, "Corrections for drill-bit contamination in sampling ancient pottery for neutron activation analysis", *Archaeometry N° 26*(1), 1984, pp. 104-107.

31) Michael D. Glascock, "Characterization of ceramic at MURR by INAA and multivariate statistics", *Chemical characterization of ceramic paste in archaeology*, Monographs in World Archaeology, H. Neff editor, Prehistory Press, Section 1, 1992, pp. 11-26.

Elemento	Media	Desv. estándar	Mínimo	Máximo
Ce	74.72	17.98	39.5	231
Cr	61.65	7.77	40.8	81.4
Cs	6.38	1.74	2.6	10.6
Eu	1.22	0.24	0.7	2.2
Fe(%)	3.3	0.69	1.5	4.7
Hf	6.02	3.27	3.1	31.4
K(%)	1.21	0.38	0.3	2.6
La	39.32	8.47	20.1	93.9
Lu	0.45	0.12	0.3	1.2
Na(%)	0.29	0.14	0.1	0.7
Sc	14.52	1.92	9.1	19.3
Tb	0.71	0.22	0.3	1.4
Th	13.38	2.07	8.7	20
U	3.22	0.73	0.5	7.5
Yb	2.85	0.67	1.6	7.7

Resultados de la media, desviación estándar, valores mínimo y máximo de las muestras de cerámicas del sitio arqueológico Hatahara, en mg/g a no ser indicado, para n =127.

Una vez que por el método de análisis por activación pueden ser medidos tanto elementos mayores como a nivel de trazas, las concentraciones de los elementos fueron convertidas a valores logaritmo con base 10 para compensar las grandes diferencias en magnitud, entre elementos que están a niveles mayores y los que están a niveles de trazas.

Posteriormente, fueron estudiadas las muestras discrepantes (outliers), por medio de la distancia de *Mahalanobis (D),* usando el criterio lambda Wilks para calcular el valor crítico. Las muestras que presentaron un valor de *D* mayor que el valor crítico se eliminaron. Fue calculada una nueva *D* con las muestras restantes. El procedimiento terminó cuando el valor de *D* calculado fue menor que el valor crítico. Por medio de este cálculo fue posible encontrar *7* muestras discrepantes, las mismas que fueron eliminadas de la base de datos.

Después de remover de la base de datos las muestras discrepantes, los resultados de las concen-

traciones elementales de 120 muestras fueron sometidos a análisis de conglomerados. Se sabe que con diferentes métodos de análisis de conglomerados, aplicados a los mismos resultados, se obtienen diferentes estructuras en los resultados. En este trabajo se usó el método de Ward y la similitud entre las muestras se midieron por medio de la distancia Euclidiana al cuadrado porque es el método más aplicado en arqueometría debido a que enfatiza la diferencia entre las variables. La Figura 1 muestra el dendrograma para el análisis de conglomerados de las 120 muestras y se revelan las semejanzas entre las muestras de cerámicas. Como se aprecia, las muestras se separan en 5 grupos bien definidos, indicando la semejanza en la composición química entre las muestras de un mismo grupo. Esto permite inferir que existen 5 fuentes distintas de materia prima usada en la fabricación de los artefactos cerámicos del sitio Hatahara.

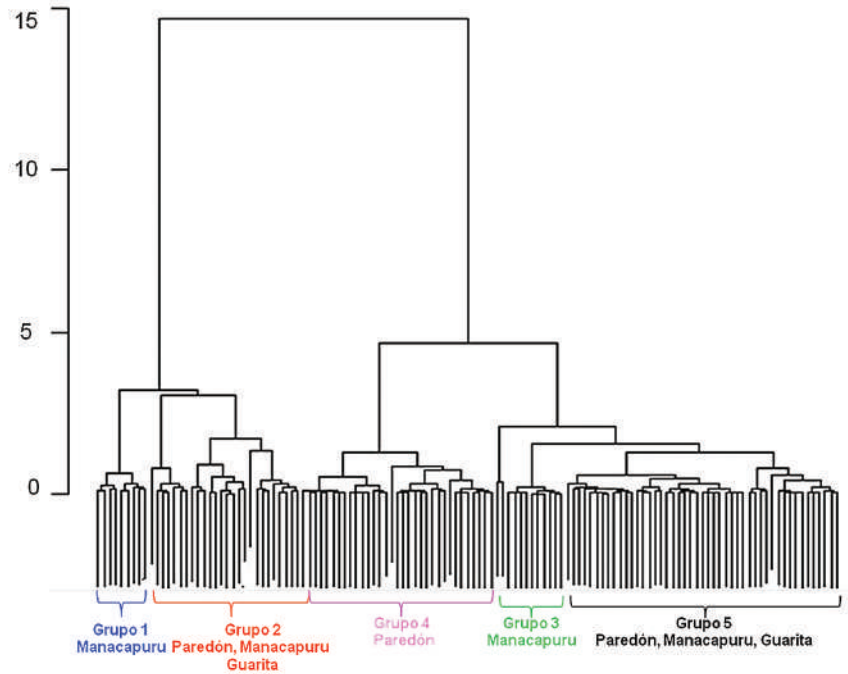


Figura 1. Dendrograma de las muestras de cerámica del sitio arqueológico Hatahara usando método de Ward y distancia Euclidiana al cuadrado.

Una vez que el método de análisis de agrupamiento ofreció una visión general de clasificación de las cerámicas, los resultados se sometieron a análisis discriminante. La Figura 2 muestra el gráfico de la función discriminante 1 versus la función discriminante 2, en la cual se observa claramente 5 grupos de muestras.

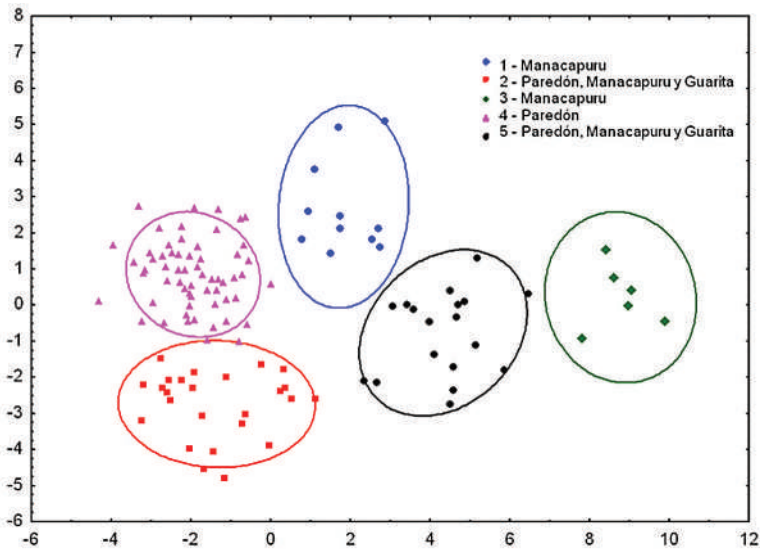


Figura 2. Función discriminante 1 vs función discriminante 2 para las muestras de cerámica del sitio arqueológico Hatahara. Las elipsis representan un nivel de confianza de 85%.

Desde el punto de vista arqueológico, en el sitio Hatahara existieron tres ocupaciones distintas. Con base en el perfil estratigráfico, a aproximadamente 2,30 m de profundidad se encontró una camada con espesura de 50 cm. Se trata de una capa compuesta de poco material cerámico y que fue relacionada a la fase Manacapuru, cuyo período de ocupación se extendió del siglo V al IX. En esta fase se encontraron cerámicas de diversas formas y decoradas con figuras abstractas, zoomorfas y antropomorfas. El antiplástico que aparece en las cerámicas es de espículas de esponjas[32]. Las cerámicas de

32) Cfr. H.P. Lima, E.G. Neves, J.B. Petersen, "La fase Acutuba" y E.K. Tamanaha, Ocupação Polícroma no Médio e Baixo rio Solimões, Estado do Amazonas. Relatório de mestrado submetido à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), 2010.

esta fase fueron identificadas en los grupos 1 y 3 en las Figuras 1 y 2. La composición química de estas cerámicas reveló el uso de un tipo diferente de arcilla. Los estudios tipológicos también señalaron la existencia de algunas diferencias entre estas cerámicas. Las del grupo 1 son con borde simple, incisiones paralelas y curvilíneas. Por otra parte, las cerámicas del grupo 3 poseen deformaciones labiales con canales e incisiones paralelas.

Luego encima, se encuentra la segunda camada situada entre 1,80 a 1,10 m de profundidad, ocupando un espesor de 70 cm. En esta camada se encontró tierra negra parcialmente mezclada con suelo arcilloso amarillo en su parte inferior y tierra negra en su parte superior. Las cerámicas de esta camada se asociaron a la fase Paredón. El período de ocupación se extendió desde el final del siglo VII hasta el siglo XI.

Superpuesta, se encuentra una capa con espesor de 60 cm con alta densidad de cerámicas de las fases Paredón y Guarita, que confirmó los resultados de las concentraciones elementales determinada por AAN y corresponden a los grupos 2 y 5 (Figuras 1 y 2). En la estratigrafía de esta camada, teniendo en cuenta la densidad, tamaño y la disposición de los fragmentos cerámicos, se encontraron 3 subcamadas. La primera subcamada con grandes fragmentos de la fase Paredón. En la siguiente subcamada, camada intermedia, se encontró poca densidad de cerámicas, tierra negra y restos de fauna. Por último en la primera subcamada, se localizó, nuevamente alta densidad de fragmentos cerámicos de las fases Paredón y Guarita. Estos resultados se reflejaron tanto en el gráfico de agrupamiento cuanto en el de análisis discriminante, conforme muestran los grupos 2 y 5. En el gráfico de las funciones discriminantes se observa que en la fabricación de las cerámicas de esta fase, se empleó arcilla de los mismos depósitos usados por las comunidades de las fases Manacapuru y Guarita.

Si se compara con otros complejos cerámicos de la Amazonia, la diversidad entre las cerámicas de la fase Paredón es poco significante. Las formas más comunes son vasos con alza (fruteras) y grandes urnas funerarias. La decoración es con pintura roja con motivos geométricos en espiral. Esto se puede confirmar en el grupo 4 de la Figura 2, donde se señala que la mayor densidad de cerámicas se encuentra en esta fase. Esto se debe a que existe, proporcionalmente, en el sitio Hatahara, un predominio de cerámicas Paredón.

Por último, la ocupación más reciente en la Amazonia central está representada por la fase Guarita que se desarrolló entre los siglos X al XVI. En el sitio Hatahara corresponde a la capa que se extiende desde la superficie hasta una profundidad de 50 cm. Los resultados de la composición elemental de los fragmentos cerámicos corresponden al grupo 5 (Figuras 1 y 2). En ese grupo se encuentran en una

proporción menor cerámicas de las fases Paredón y Manacapuru. Las cerámicas de la fase Guarita están dispersas por todo el sitio caracterizadas por la pintura policrómica (roja y negra) sobre engobe blanco. Las vasijas son características porque presentan flanges mesiais, decoración con canales y las urnas funerarias son antropomorfas. El antiplástico más usado fue de cenizas de árbol.

La tradición policrómica de la Amazonia se distribuyó desde la isla de Marajó hasta el alto Amazonas. Las cerámicas de esta tradición fueron producidas por medio de técnicas complejas de decoración. Están asociadas a enterramientos en urnas, en sitios de gran extensión y por un largo período de ocupación[33].

La presencia de cerámicas en un mismo grupo con clasificación tipológica distinta, como muestra el sitio Hatahara, indica la existencia de fases distintas de ocupación, con la misma fuente de materia prima usada en la fabricación de los tiestos. Indica también, la permanencia de comunidades concomitantes y con patrones de comportamiento semejantes a las comunidades que se desarrollaron en el sitio Hatahara.

Conclusión

La aplicación del método de análisis por Activación Neutrónica Instrumental en 127 muestras de cerámicas del sitio arqueológico Hatahara, situado en la Amazonia central, permitió identificar la existencia de tres grupos distintos de cerámicas. Estos resultados confirmaron los estudios tecnotipológicos en las muestras, que indican que el sitio tuvo tres fases culturales de ocupación, llamadas de Manacapuru, Paredón y Guarita.

33) H.P. Lima, E.G. Neves, J.B. Petersen, “La fase Acutuba”

Bibliografía

Anawar, H.M., Freitas, M.C., "Analysis of mayor and trace elements by INAA to predict the thousands year old sediment deposition enviroment in the Meghna river delta", *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry N° 283*(2), 2010, pp. 347-352.

Attas, M., Fossey, J.M., Yaffe, L., "Corrections for drill-bit contamination in sampling ancient pottery for neutron activation analysis", *Archaeometry N° 26*(1), 1984, pp. 104-107.

Baxter, M.J., "Statistical modelling of artefact compositional data", *Archaeometry N° 43*(1), 2001, pp. 131-147.

Beckman, R.J., Cook, R.D., "Outlier", *Technometrics N° 25*(2), 1983, pp. 119-163.

Benedetto, G.E., Acquafredda, P., Masieri, M., Quarta, G., Sabbatini, L., Zambonin, P.G.,
Tite, M., Walton, M., "Investigation on Roman lead glaze from Canosa: results of chemical analyses", *Archaeometry N° 46*(4), 2004, pp. 615-624.

Caley, E.R., "Klaproth as a pioneer in the chemical investigation of antiquities", *J. of Chemical Education N° 26*, 1949, pp. 242-247;268.

Felicíssimo, M.P., Peixoto, J.L., Pireaux, J.J., Demortier, G., Rodrigues, U.P.F., "PIXE and PIGE analysis of pre-colonial pottery from Pantanal-MS, Brazil", *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry N° 267*(1), 2005, pp. 209-217.

Gardans, J., Montes, F., Penuelas, J., "Determination of As, Cd, Cu, Hg and Pb in biological samples by modern eletrothermal atomic absorption spectrometry", *Spectrochimica Acta Part B - Atomic Spectroscopy N° 65*(2), 2010, pp. 97-112.

Glascock, Michael D., "Characterization of ceramic at MURR by INAA and multivariate statistics", *Chemical characterization of ceramic paste in archaeology*, Monographs in World Archaeology, H. Neff editor, Prehistory Press, Section 1, 1992, pp. 11-26.

Grubbs, E., "Sample criteria for testing outlying observations", *Annals of mathematical statistics N° 21*, 1950, pp. 27-28.

Jolliffe, I.T., Jones, B., Morgan, J.T., "Identifying influential observations in hierarchical cluster analysis", *J. of Applied Statistics N° 22*(1), 1995. pp. 61-80.

Kaufman, L., Rousseeuw, P.J., *"Finding groups in data: An introduction to cluster analysis"*, New Jersey,
John Wiley & Sons, 1990, pp. 342.

Latini, R.M., Bellido, A.V., Vasconcellos, M.B.A., Dias, O.F., "Classificação de cerâmicas arqueológicas da bacia amazonica", *Química Nova N° 24*(6), 2001, pp.724-729.

Lima, H.P., Neves, E.G., Petersen, J.B., "La fase Acutuba: um novo complexo ceramico na Amazonia central", *Arqueologia Suramericana N°* 2(1), 2006, pp. 26-52.

Machado, J.S., Montículos artificiais na Amazonia central: um estudo de caso do sítio Hatahara, Dissertação de Mestrado – Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, MAE-USP, 2005, p.68.

Munita, Casimiro, Silva, M.A., Silva, S.A., Oliveira, Paulo M.S., "Archaeometric study of clay deposits from the indigenous land of the Asurini do Xingu", *Instrumentation Science and Technology N° 33*, 2005, pp. 169-181.

Munita, Casimiro "Contribuição da análise por ativação com nêutrons a estudos arqueométricos: estudo de caso", *Canindé N° 6*, 2005, pp. 159-181.

Munita, Casimiro A. Nascimento, S.B. Schreiber, S. Luna, Paulo M.S. Oliveira, "Chemical study of some ceramics from Brazilian Northeast", *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry N° 259*(2), 2004, pp. 305-309.

Neves, E.G., Petersen, J.B., Bartone, R.B., Heckenberger, M.J., "The timing of terra preta formation in the central Amazon: archaeological data from three sites" B. Glaser and W.I., Woods editores, *Amazonian dark earths: explorations in space and time*, Springer, Alemanha, 2004, pp. 125-134.

Neves, E.G., Petersen, J.B., Bartone, R.N., Silva, C.A., "Historical and socio cultural origins of amazonian dark earths", J. Lehmann, ed., *Amazonian dark earths origin properties management*, Kluwer Academic Publishers, Dordrescht, The Netherlands, 2003, pp. 29-50.

Oliveira, Paulo M.S., Munita, Casimiro, Influencia do valor crítico na detecção de valores discrepantes em arqueometria, 48ª Reunião Anual Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. Lavras, MG, 07-11 Julho, 2003, pp. 545-550.

Penny, K.I., "Appropriate critical values when testing for a single multivariate outlier by using the Mahalanobis distance", *Applied Statistical N° 35*, 1987, pp. 153-162.

Rebellato, L., Interpretando a variabilidade cerâmica e as assinaturas químicas e físicas do solo no sítio arqueológico Hatahara – AM. Dissertação de Mestrado – Museu de Arqueologia e Etnologia, MAE-USP, 2007, p. 49.

Santos, J.O., Munita, Casimiro, Toyota, R.G., Vergne, Silva, R.S., Oliveira, Paulo M.S., "The archaeometry study of the chemical and mineral composition of pottery from Brazil´s Northeast", *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry N° 281*, 2009, pp. 189-192.

Smirnova, E.V., Flem, B., Anchutina, E.A., Mysovskaya, I.N., Lozhkin, V.I., Petrov, L. L., "Determination of REE, Y, Nb, Zn, Hf,Ta, Th and U in geological reference materials LSCH- 1 and Amf-1 by solution and laser ablation ICP-MS", *Geostandards and Geoanalytical Research N° 34*(1), 2010, pp. 49-65.

Stamatelatos, I.E., Tzika, F., Vasilopoulou, T., Koster-Ammerlaan, M.J.J., "Large sample neutron activation analysis of a ceramic vase", *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry N° 283*(3), 2010, pp. 735-740.

Tamanaha, E.K., Py-Daniel, A.R., "Sítio Hatahara: Estruturas funerárias, residenciais ou ambos?", *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia N° 8*, 2009, pp. 63-73.

Tijani, M.N., Nton, M.E., Kitagawa, R., "Textural and geochemical characteristics of the Ajali Sandstone, Anambra Basin, SE Nigeria: Implication for its provenance", *Comptes Rendus Geoscience N° 342*(2), 2010, pp. 136-150.

Wilks, S.S, "Multivariate statistical outliers", *Sankhya N° 25*, 1963, pp. 407-426.

Tamanaha, E.K., Ocupação Polícroma no Médio e Baixo rio Solimões, Estado do Amazonas. Relatório de mestrado submetido à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), 2010.

Análisis por Difracción de Rayos X de cerámicas de los sitios arqueológicos Rumipamba y La Florida, Quito - Ecuador*

Martha Romero Bastidas
Laboratorio de Química, Instituto Nacional de Patrimonio Cultural

María del Carmen Molestina
Arqueóloga

Resumen

En este trabajo se analizaron 74 muestras de cerámicas de los sitios arqueológicos La Florida y Rumipamba por Difracción de Rayos X (DRX) y Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA). Los resultados fueron evaluados por análisis de agrupamiento y componentes principales. Los hallazgos de la composición química permitieron clasificar las cerámicas en 2 grupos y 5 subgrupos y encontrar las fuentes de la materia prima usada en la confección de los objetos.

Introducción

El análisis de composición de pastas de los objetos cerámicos, llamado a veces petrología cerámica[1] (hecho con microscopio petrográfico o por el método de Difracción de Rayos X y el análisis geoquímico), así como las investigaciones de técnicas de fabricación y el estudio por medio de análisis estadísticos multivariados pueden usarse para revelar las interacciones culturales entre los grupos humanos.

Por lo tanto, el estudio de materiales cerámicos por medio de la composición química contribuye a: 1) identificar culturas y fases culturales de períodos de tiempo diferentes, 2) investigar cambios tecnológicos (diferentes procesos de fabricación, métodos de cocción, fabricación de barnices, etc.), 3) estudiar

* Agradecemos la colaboración de Pablo Cisneros de la Facultad de Química de la Universidad Central y Leticia Baños de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su colaboración en los análisis instrumentales de los fragmentos cerámicos.

1) Michael D. Glascock, *Arqueometry* in Encyclopedia of Archaeology, ed. Deborah M. Pearsall, Academic Press, New York, 2008.

las interacciones entre los grupos humanos, 4) identificar las fuentes de aprovisionamiento de materia prima y 5) diferenciar los artefactos arqueológicos de los contemporáneos, entre otros aspectos[2].

La técnica de Difracción de Rayos X (DRX) por el método de polvos, es el único procedimiento que aborda el estudio cristaloquímico de especies que no se presentan en forma de monocristales como es el caso de la cerámica, suelos, barros, arcillas, etc., ésta técnica establece diferencias entre los objetos cerámicos, en virtud que los minerales presentes tienen relación con la materia prima usada en la fabricación de las vasijas[3]. El método de cocción puede ser inferido a partir de las estructuras cristaloquímicas presentes, lo que identifica si el objeto fue cocido en atmósfera oxidante o reductora. Mucha de la información está relacionada con la tecnología, que se convierte en uno de los indicadores de la evolución de las sociedades humanas.

En el presente trabajo se estudian los restos de cerámica recolectada en los yacimientos arqueológicos de La Florida y Rumipamba. Las muestras presentan dos tipos de pasta, una gruesa y porosa (denominada Sierra Norte) propia de la zona que comprende desde la Quebrada de Rumipamba en Quito hasta Otavalo y otra fina y compacta (conocida como "cerámica consaga – panzaleo") característica de la Sierra Centro y Baeza, lo que sugiere la utilización de diferente materia prima dependiendo del uso del recipiente.

El yacimiento de Rumipamba se encuentra a una distancia relativamente pequeña de la necrópolis de La Florida y los dos yacimientos arqueológicos presentan una cronología más o menos similar, así mismo el material cerámico de la Sierra Norte está presente tanto en un yacimiento como en el otro. La cerámica fina o Panzalea en Rumipamba es abundante, mientras que en La Florida prácticamente está ausente. Establecer el origen de la materia prima permite inferir posibles talleres cerámicos en la zona o quizás el intercambio a corta o larga distancia.

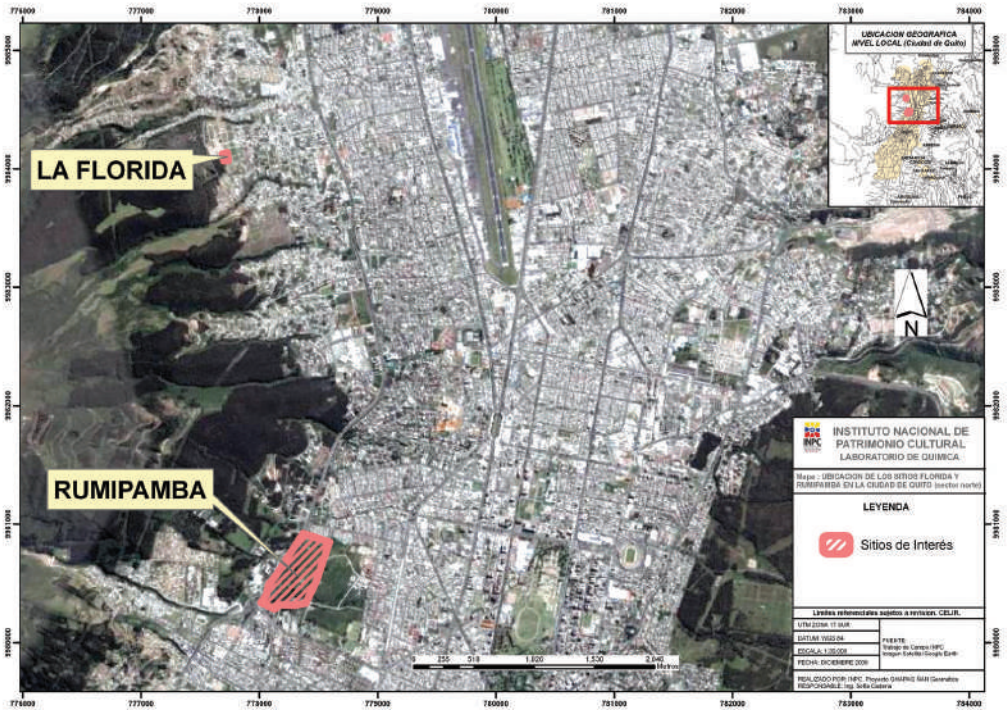
Área de estudio

La Florida[4] se encuentra en la Meseta de Quito, en las laderas del Pichincha, entre los 2900 y 3000 msnm., hacia el costado noroccidental de la ciudad de Quito, entre las quebradas La Pulida y San Juan, en el sector denominado San Vicente en el barrio de La Florida.

2) G.Harbottle, "Chemical characterization in archaeology", in Ericson JE and Earle TK, eds., *Contexts for Prehistoric Exchange*, New York: Academic Press, 1982, pp. 13-51.

3) Lauro Bucio, Agapi Filini, José Luis Ruvalcaba, "Estudios de PIXE y difracción de rayos X en cerámica de la cuenca de Cuitzeo", en Rodrigo Esparza, Efraín Cárdenas, ed., *Arqueometría*, Zamora: El Colegio de Michoacán, 2005, pp. 23-38.

4) María del Carmen Molestina, Parque arqueológico La Florida: Excavación de Tumbas 5, 6, Informe final, Fondo de Salvamento FONSAL, Quito, 2007.



Ubicación geográfica de los sitios Florida y Rumipamba al norte de la ciudad de Quito.

Las características topográficas y altitud, lo ubican dentro de la zona de vida del bosque húmedo Montano con temperaturas medias anuales de 12 a 18ºC[5] y precipitaciones anuales entre 500 y 1000 mm. (IGM). La vegetación está constituida por matorrales que se localizan en las quebradas o barrancos, bosques de eucaliptos, pasto y cultivos, paisaje que en relación con la época prehispánica se halla muy alterado[6]. Gran parte de la zona ha sido urbanizada y con ello los vestigios prehispánicos han desaparecido, sin embargo existe un pequeño sector libre de construcciones y susceptible de realizar investigaciones arqueológicas.

5) Rodrigo Erazo, Avance de la investigación arqueológica realizada en el sitio La Florida de Quito, Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 1982.

6) Luis Cañadas, *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*, Banco Central del Ecuador, Quito, 1980.

El yacimiento La Florida está compuesto por enterramientos del periodo de Integración pertenecientes a la cultural Negativo del Carchi o Capulí que comparten manifestaciones culturales con la sierra norte ecuatoriana[7].

La cerámica proviene de las sepulturas de pozo profundo con entierros múltiples. Se ubica, cronológicamente, en el 200 a 680 d.c., las formas cerámicas y los diseños son similares a las extraídas de los diferentes yacimientos de la Sierra Norte[8]. Tanto los recipientes rituales como los utilitarios se caracterizan por la pasta gruesa y porosa. Algunos recipientes utilitarios presentan ennegrecimiento de la pasta por contacto directo con el fuego, algunas superficies son alisadas mientras que otras tienen engobe rojo. La cerámica ritual presenta, en la superficie, engobe rojo bruñido, característico de la cultura Negativo del Carchi o Capulí[9].

El yacimiento Rumipamba[10] se encuentra ubicado al noroccidente de la ciudad de San Francisco de Quito, en la parroquia Altamira. Limita al norte con la calle Mañosca, al sur con la Av. Mariana de Jesús, al este la Av. América y al Oeste la Av. Occidental o Mariscal Sucre, con las siguientes coordenadas: UTM N99805000, E778500, a una altitud de 2941 msnm. El yacimiento tiene una extensión de 26 hectáreas.

En la actualidad la zona se presenta cubierta por un denso matorral y escasos árboles de eucalipto y pino, flanqueada en el sector sur por una sección de la quebrada Rumipamba, cuyo desfogue final ha sido cubierto completamente y encausado por medio de canalización para dar paso a urbanizaciones de reciente construcción.

Se trata de un yacimiento multicomponente del periodo Formativo, Desarrollo Regional, Integración e Inca[11], que presenta tanto en las sepulturas como en las viviendas y talleres, cerámica de la Sierra Norte[12] y Panzaleo[13]. Las características de la cerámica de la Sierra Norte son similares a las ya descritas para la cerámica utilitaria de La Florida. La cerámica de paredes finas o Panzaleo presenta superficie

7) María del Carmen Molestina, "Parque arqueológico La Florida"
8) Ibídem
9) María del Carmen Molestina, "Investigaciones arqueológicas en la zona Negativo del Carchi o Capulí", *Revista Cultura* N° 21, ed. Banco Central del Ecuador, Quito, 1985.
10) María del Carmen Molestina, Excavación arqueológica para la reinterpretación y análisis de las estructuras prehispánicas del lote 7del yacimiento de Rumipamba, Informe técnico final. Banco Central del Ecuador, Quito, 2008.
11) Manuel Coloma, Proyecto arqueológico Rumipamba, temporada 2004, Segundo Informe Parcial, Fondo de Salvamento FONSAL, Quito, 2004.
12) María del Carmen Molestina, Proyecto de conservación monumental de los vestigios culturales en el lote Nº 7, Parqueo arqueológico Rumipamba, Anexo I, Banco Central del Ecuador, Quito, 2007.
13) María del Carmen Molestina, Proyecto de conservación monumental de los vestigios culturales en el lote Nº 7, Parqueo arqueológico Rumipamba, Anexo II, Banco Central del Ecuador, Quito, 2007.

alisada de colores grises, naranja y café rojizo sobre las cuales en unos casos se han hecho diseños en pintura blanca, roja y negra. Las muestras analizadas tanto de la cerámica fina como de la gruesa, en su mayoría proceden del taller textil datado en 600 d.c.[14] y de una estructura posiblemente habitacional datada en promedio en 1262 d.c.[15]

Materiales y Métodos

Difracción de Rayos X

La técnica consiste en hacer pasar un haz de rayos X a través de un cristal, parte de este haz se dispersa en varias direcciones a causa de los electrones asociados a los átomos e iones que encuentra en el trayecto, pero el resto del haz puede dar lugar al fenómeno de Difracción de Rayos X, que tiene lugar si existe una disposición ordenada de átomos y se cumple las condiciones que vienen dadas por la Ley de Bragg (relación de la longitud de onda de los rayos X y la distancia interatómica con el ángulo de incidencia del haz difractado)[16].

El método de polvos se basa en la obtención del conjunto de todos los máximos de difracción que genera un material cristalino, lo que constituye una huella de la estructura cristalina propia de cada fase cristalina.

Espectroscopía de Absorción Atómica

La técnica de Espectroscopía de Absorción Atómica ha sido muy utilizada para la determinación de elementos en diferentes matrices. Este método consiste en la medición de las especies atómicas por su absorción a una longitud de onda particular. La especie atómica se logra por atomización de la muestra, siendo los distintos procedimientos utilizados para llegar al estado fundamental del átomo lo que diferencia las técnicas y accesorios empleados. La técnica de atomización más utilizada es la de absorción atómica con flama o llama, que nebuliza la muestra y luego la disemina en forma de aerosol dentro de una llama de acetileno-aire u óxido nitroso-acetileno. La cantidad de luz absorbida después de pasar a través de la llama determina la cantidad de analito existente en la muestra[17]. Esta técnica es

14) Ibídem, p. 10.
15) Rodrigo Erazo, Ciudad metrópoli, excavación arqueológica de Rumipamba en el área de los sectores 1 al 6, Fondo de Salvamento FONSAL, Quito, 2007.
16) R. Jenkins, R.Snyder, *Introduction to X-ray powder diffractometry*, John Wiley & Sons, INC, R. Jenkins, R.Snyder, *Introduction to X-ray powder diffractometry*, John Wiley & Sons, INC, New York, 1996.
17) Paul de Paepe, Jozef Bys, *Análisis mineralógico y químico de la cerámica del sitio arqueológico "Jardín del Este" Cumbayá,*

muy favorable como método de análisis elemental de metales.

En el caso específico de la caracterización del material cerámico, se aplica la Espectroscopía de Absorción Atómica en el análisis de la composición elemental de la pasta, dado que las concentraciones de ciertos metales están relacionadas directamente con el origen geoquímico de la materia prima con que fueron elaboradas las piezas cerámicas. Esta técnica analítica es útil como complemento al análisis petrográfico de las pastas cerámicas especialmente si su composición mineralógica es muy semejante, ya que se puede identificar el origen de una pasta a partir de su composición elemental [18].

Análisis de muestras

Se seleccionaron 74 muestras de cerámica de los sitios en estudio y se recogieron 11 muestras de arcillas de los sectores que van desde La Florida hasta Rumipamba, para su caracterización empleando las técnicas de Difracción de Rayos X y Espectroscopía de Absorción Atómica. Los fragmentos cerámicos se agruparon de acuerdo al espesor de la pasta cerámica a partir de los cuales se establecieron 2 grupos. El primero consta de cerámica con espesor menor a 4 mm llamada en adelante "pasta fina", que se caracteriza por tener un buen acabado y ser poco porosa.

El segundo grupo está constituido por cerámica con un espesor mayor a 4 mm, que la llamaremos de "pasta gruesa", es bastante porosa y en algunos casos presenta superficie alisada y en otros engobada.

El proceso de preparación de las muestras cerámicas se inició con el registro, posteriormente se lavaron con agua desionizada, y se dejaron secar a la temperatura ambiente, se retiró la capa superficial con el Dremel, a 28000 rpm, se trituró en un mortero de ágata, se secó por 24 horas a 80ºC en la estufa. Para el caso de la materia prima se coció en mufla 800ºC por 2 horas. El polvo resultante de la cerámica y de las muestras de materia prima se pulverizó hasta pasar por una malla 325 mesh.

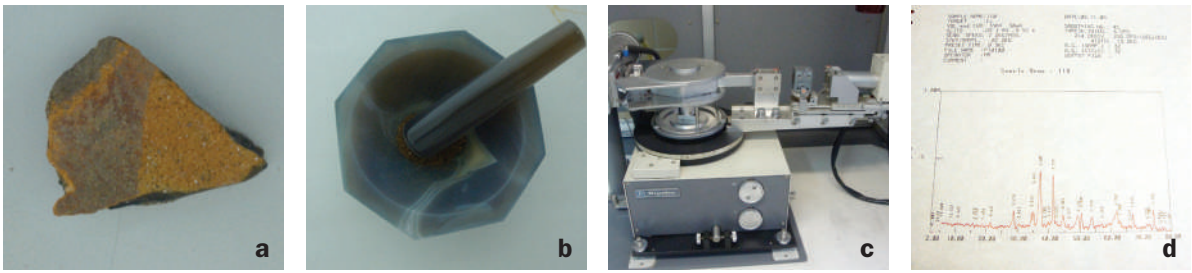
Los análisis de las muestras se realizaron en un difractómetro Rigaku Geigerflex bajo condiciones de operación del generador de 35Kv y 30 Ma, con un goniómetro equipado con un monocromador de grafito. El tubo de rayos X empleado proporcionó rayos X característicos Kα de Co. El intervalo para el ángulo de dispersión fue de $3º \leq 2\Theta \leq 70º$ en modo de barrido continuo de 1º por minuto.

El análisis por Espectroscopía de Absorción Atómica se hizo en un espectrofotómetro Hitachi empleando llama aire-acetileno y lámparas de cátodo hueco de sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca),

Provincia de Pichincha, Ecuador, Proyecto de Cooperación técnica Ecuatoriano-Belga, Preservación y promoción cultural del Ecuador, Vol. 4, Quito, 1990.

18) D.A. Skoog, F.J. Holler, T.A. Nieman, *Principios de Análisis Instrumental*, 5ª ed., McGraw Hill, Madrid, 2001.

magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), cromo (Cr), magnesio (Mg), estroncio (Sr), zinc (Zn).



a) Eliminación del engobe. b) Pulverizado de la muestra. c) Difractómetro de rayos X RIGAKU. d) Difractograma.

Resultados y discusión

Los resultados de la media, desviación estándar, valores máximos y mínimos de la composición mineralógica se muestran en la siguiente Tabla.

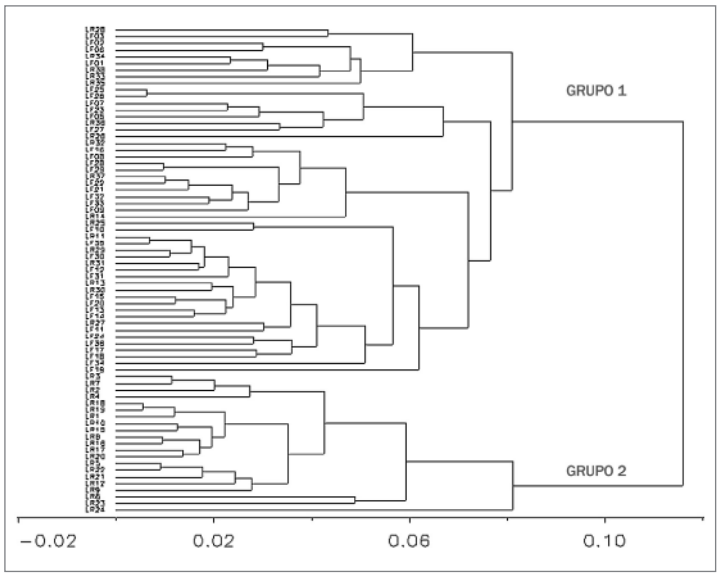
FASE CRISTALINA	Promedio	Desviación estándar	Valor máximo	%Valor Mínimo	N
Albita	36,1	18,0	82,0	5,8	71
Cuarzo	32,5	30,8	92,5	4,5	71
Hornblenda	14,3	7,8	40,6	2,4	42
Montmorillonita	8,6	2,0	12,1	3,3	34
Nontronita de fe y al	5,9	2,5	10,0	1,9	24
Clorita-vermiculita-montmorilionita	9,1	0,3	9,8	9,3	2
Zeolita	7,9	3,3	23,0	4,0	35
Fayalita	9,5	1,3	9,7	6,0	11
Olivino	8,2	4,5	22,3	2,9	48

Media, desviación estándar y valores máximos y mínimos para las fases cristalinas determinadas.
N: número de muestras en las que el elemento fue determinado
Los valores de concentraciones están en %.

Los resultados de la composición química y mineralógica de las muestras fueron transformados a $\log_{10}$ para compensar la diferencia en las magnitudes entre los elementos cuantificados como paso previo al análisis estadístico multivariado.

El análisis de conglomerados jerárquicos o Cluster basado en distancias Euclidianas de la composición mineralógica, fue utilizado para tener una comprensión inicial dentro la posible estructura de la composición de los datos, este paso fue seguido por el análisis de componentes principales, el cual es más efectivo en separar grupos dentro de los datos.

En el siguiente dendograma se muestra los resultados del análisis mineralógico, en base a la inspección visual se ha llegado a proponer la formación de 2 grupos principales.



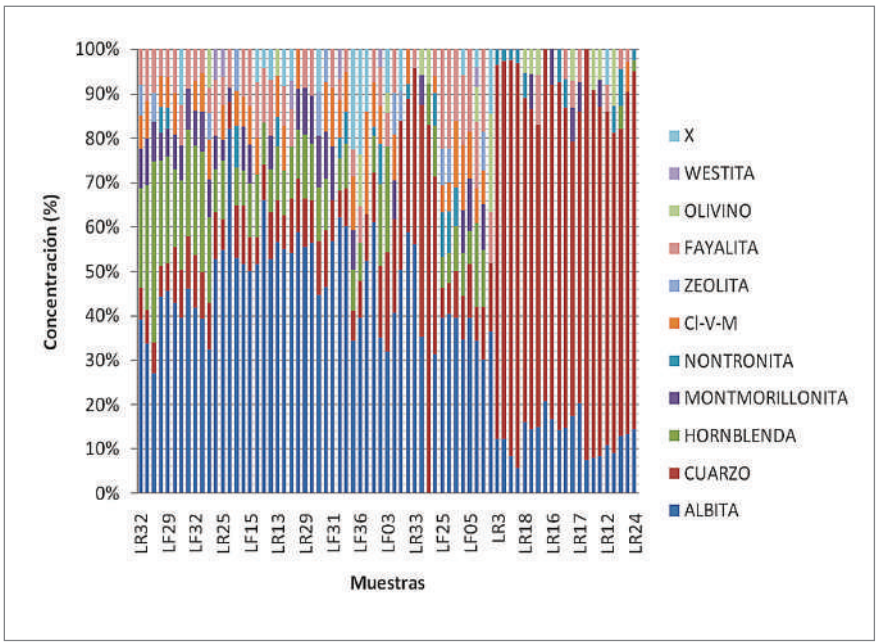
Dendograma de las fases cristalinas de las pastas.

El grupo 1, el más grande, está formado por 52 muestras de los dos yacimientos arqueológicos, son de pasta gruesa. Se caracterizan por la presencia de albita como fase cristalina principal (pro-

medio 45,7%) y una gran variedad de minerales que conforman las fases secundarias, esto genera la formación de 3 subgrupos, lo que indica la existencia de diversas de fuentes de arcilla.

El grupo 2 está constituido por 21 muestras cerámicas de Rumipamba y La Florida. Son fragmentos de cerámica de pasta fina, la fase cristalina principal es el cuarzo (promedio 77,2%) y menor cantidad de minerales como fases secundarias.

En la siguiente Figura se muestra la composición mineralógica de las cerámicas distribuidas según el dendograma correspondiente al análisis de Difracción de Rayos X. Se observa, claramente, que se forman 2 grupos principales que corresponden cada uno a concentraciones altas y bajas de cuarzo.

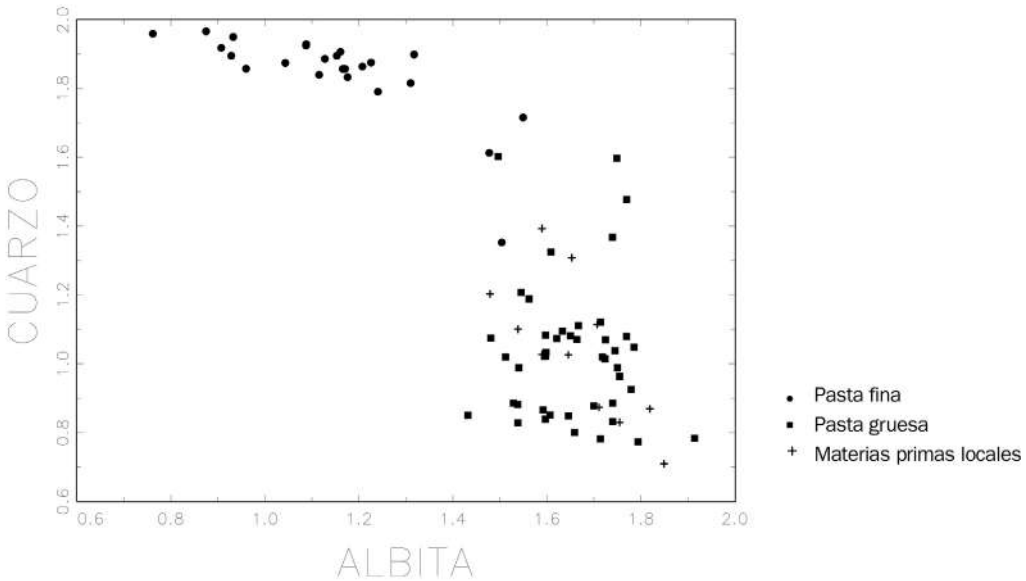


Distribución de la composición mineralógica de las pastas cerámicas.

Del análisis de componentes principales a partir de la matriz varianza – covarianza de la cerámica y la materia prima muestreada localmente, utilizando los primeros dos componentes principales se obtiene un gráfico bivariado donde se confirma la existencia de dos grupos principales.

El grupo 1 que corresponde a las cerámicas de pasta fina, se caracterizan porque el principal ingrediente de la pasta es el cuarzo.

El grupo 2 está formado por cerámicas de pasta gruesa fabricada con materia prima local, las cuales se caracterizan porque la albita es el compuesto principal de la pasta, lo que significa que los talleres cerámicos de éste grupo se encuentran en la región.



Diagramación de las variantes de cuarzo y albita.

El análisis de componentes principales de la composición elemental basado en la matriz de covarianza se muestra en la siguiente Tabla, donde se observa que los primeros cinco componentes principales representan el 90% de varianza acumulada de los datos y son los recomendados para utilizar en las gráficas bivariadas a fin de tener una mejor perspectiva de los grupos.

CPs	Eigenvalue	%Variance	Cum. %Var.
1	0.7249	65.3986	65.3986
2	0.0935	8.4394	73.8379
3	0.0752	6.7860	80.6240
4	0.0628	5.6667	86.2907
5	0.0566	5.1046	91.3953
6	0.0437	3.9412	95.3365
7	0.0219	1.9719	97.3084
8	0.0144	1.2964	98.6048
9	0.0090	0.8116	99.4164
10	0.0065	0.5836	100.000

Análisis de componentes principales de la composición elemental basada en la matriz de covarianza de variación.

En las Figuras que se presentan a continuación, los tres primeros componentes principales (PC1 vs. PC2) y (PC1 vs. PC3) con elipses del 90% de confianza se observa la formación de 5 subgrupos:

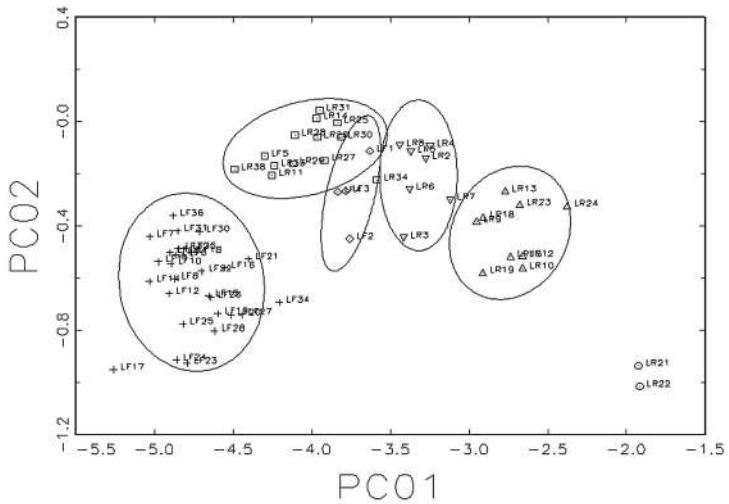
Grupo 1: Se trata de cerámica de pasta gruesa, de producción local conformado por las muestras de La Florida.

Grupo 2: Lo conforma la cerámica de pasta gruesa de Rumipamba y una de La Florida, son de producción local.

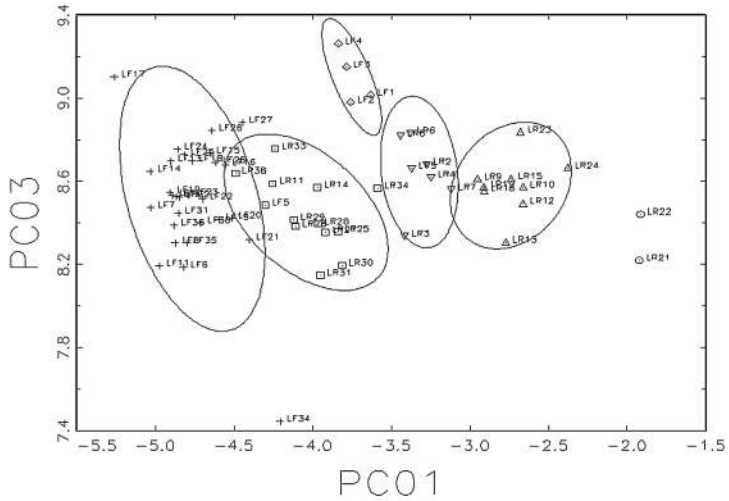
Grupo 3: Está formado por 4 cerámicas de pasta fina procedentes de La Florida, tienen engobe de color rosado y son importadas.

Grupo 4: Son cerámicas de pasta fina de Rumipamba fechados en 600 d.c., son importadas.

Grupo 5: Está formado por cerámicas de pasta fina de Rumipamba fechados en el 1262 d.c., no son de producción local.



Dos primeros componentes principales (PC1 vs. PC2). Las elipses representan 90% del grupo asociado.



Componentes principales 1 y 3 (PC1 vs. PC3). Las elipses representan 90% del grupo asociado.

De la formación de los grupos es posible inferir que, para el caso de la cerámica de pasta fina procedente de Rumipamba que en el 600 d.c. correspondiente al taller textil, las relaciones intergrupales fueron diferentes que a la estructura habitacional del 1262 d.c., mientras que en la cerámica de pasta gruesa de La Florida y el taller textil de Rumipamba, confirma la relación existente entre los dos sitios.

Conclusiones

La combinación de la Difracción de Rayos X y la Espectroscopía de Absorción Atómica, sumada con las pruebas estadísticas constituyen una metodología apropiada para obtener mayor información sobre los grupos humanos que elaboraron la cerámica.

Las muestras analizadas revelan que existe variedad en la composición mineralógica, sin embargo se obtuvieron agrupaciones que permitieron establecer ciertas particularidades que diferencian claramente a las cerámicas locales e importadas, principalmente debido a los contenidos de cuarzo y albita. La cerámica importada contiene cantidades considerables de cuarzo mientras que la cerámica local contiene mayor proporción de albita.

La gran variedad de fases secundarias en la cerámica local, indica la existencia de varios centros de producción cerámica con diversas fuentes de materia prima.

La cerámica de pasta fina de Rumipamba del taller textil (600 d.c.) presenta ciertas semejanzas en su perfil químico y mineralógico con la cerámica de la posible estructura habitacional (1262 d.c.) que les agrupa como pasta fina, no obstante, presenta diferencias sustanciales que permiten inferir que provienen de varios talleres cerámicos. El origen de la materia prima de los cuatro fragmentos de pasta fina de La Florida no tiene relación con los de Rumipamba. Por lo anterior se concluye que la cerámica de pasta fina posiblemente tiene su origen en diferentes zonas geográficas del país.

El presente estudio marca el inicio de investigaciones futuras encaminadas al análisis de una mayor cantidad de muestras cerámicas y de materia prima de diferentes zonas y yacimientos del país, a fin de obtener una visión más clara sobre los talleres cerámicos y su difusión a través del comercio hacia distintas zonas, así como el origen de los talleres de la cerámica fina y su dispersión en la Sierra ecuatoriana.

Bibliografía

Bucio, Lauro, Filini, Agapi, Ruvalcaba, José Luis, "Estudios de PIXE y difracción de rayos X en cerámica de la cuenca de Cuitzeo", en Rodrigo Esparza, Efraín Cárdenas, ed., *Arqueometría,* Zamora: El Colegio de Michoacán, 2005, pp. 23-38.

Cañadas, Luis, *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*, Banco Central del Ecuador, Quito, 1980.

Coloma, Manuel, Proyecto arqueológico Rumipamba, temporada 2004, Segundo Informe Parcial, Fondo de Salvamento FONSAL, Quito, 2004.

Erazo, Rodrigo, Ciudad metrópoli, excavación arqueológica de Rumipamba en el área de los sectores 1 al 6, Fondo de Salvamento FONSAL, Quito, 2007.

Avance de la investigación arqueológica realizada en el sitio La Florida de Quito, Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 1982.

Glascock, Michael D., *Arqueometry* in Encyclopedia of Archaeology, ed. Deborah M. Pearsall, Academic Press, New York, 2008.

Harbottle, G., "Chemical characterization in archaeology", in Ericson JE and Earle TK, eds., *Contexts for Prehistoric Exchange*, New York: Academic Press, 1982, pp. 13–51.

Jenkins, R., Snyder, R., *Introduction to X-ray powder diffractometry*, John Wiley & Sons, INC, New York, 1996.

Molestina, María del Carmen, Parque arqueológico La Florida: Excavación de Tumbas 5, 6, Informe final, Fondo de Salvamento FONSAL, Quito, 2007.

"Investigaciones arqueológicas en la zona Negativo del Carchi o Capulí", *Revista Cultura* N° 21, ed. Banco Central del Ecuador, Quito, 1985.

Excavación arqueológica para la reinterpretación y análisis de las estructuras prehispánicas del lote 7del yacimiento de Rumipamba, Informe técnico final. Banco Central del Ecuador, Quito, 2008.

Proyecto de conservación monumental de los vestigios culturales en el lote Nº 7, Parqueo arqueológico Rumipamba, Anexo I, Banco Central del Ecuador, Quito, 2007.

Proyecto de conservación monumental de los vestigios culturales en el lote Nº 7, Parqueo arqueológico Rumipamba, Anexo II, Banco Central del Ecuador, Quito, 2007.

Paepe, Paul de, Bys, Jozef, *Análisis mineralógico y químico de la cerámica del sitio arqueológico "Jardín del Este" Cumbayá, Provincia de Pichincha, Ecuador*, Proyecto de Cooperación técnica Ecuatoriano-Belga, Preservación y promoción cultural del Ecuador, Vol. 4, Quito, 1990.

Skoog, D.A., Holler, F.J., Nieman, T.A., *Principios de Análisis Instrumental*, 5ª ed., McGraw Hill, Madrid, 2001.

Estudio de procedencia de obsidiana arqueológica de Cantona - Puebla*

Dolores Tenorio
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

Luis Carlos Longoria Gándara
División de Investigación Científica, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

Fabiola Monroy Guzmán
División de Química Nuclear, Sociedad Química de México

Resumen

Con el propósito de conocer la procedencia de la obsidiana manufacturada tanto en los Talleres Estatales de Cantona como en otros asentamientos de su entorno, en la Cuenca de Oriental, se escogieron setenta y nueve muestras para ser analizadas mediante activación neutrónica. De acuerdo con el estudio estadístico de los datos obtenidos se dedujo que en dicha ciudad se manufacturaba a la obsidiana del yacimiento de Oyameles-Zaragoza. Otras muestras de obsidiana, colectadas en el Cerro Pizarro, tienen una composición química diferente a la de Oyameles-Zaragoza. En el siguiente estudio se presenta una discusión con las implicaciones de estos resultados en el contexto de tan importante ciudad prehispánica.

Antecedentes

Desde 1993 se han realizado trabajos de investigación en la zona arqueológica de Cantona, gran ciudad prehispánica que cubre 14.5Km^2. Cantona está ubicada en una región donde se dio un gran derrame de lava andesítico-basáltica, a la que se ha denominado Malpaís por sus características geo-

* Agradecemos al Organismo Internacional de Energía Atómica RLA8043 por subsidiar esta investigación y al Sr. Jesús Muñoz Luján por el apoyo técnico.

morfológicas; se halla al extremo Oriental del Altiplano Central y al norte-centro de la Cuenca Oriental, casi al inicio de la vertiente del Golfo y justo a la mitad entre la Cuenca de México y la Costa del Golfo Central. La altitud es de 2500 - 2 600 msnm y sus coordenadas geográficas quedan entre 19° 31' 30" y 19° 37' 30" de latitud norte y entre 97° 28' 15" y 97° 31' 30" de longitud oeste.

Ubicación de Cantona en el occidente de la Cuenca de México.

Cantona, con larga ocupación, tuvo su esplendor a partir de finales del Formativo y durante el llamado periodo Clásico, del 300 a.c. al 600 de nuestra era, justo el momento de apogeo de Cholula y

poco después de Teotihuacan. Sobrevivió a la debacle de esas grandes ciudades, fue contemporánea de Xochicalco y Cacaxtla y, en ese periodo de transición, llegó a ser la ciudad más grande y más poblada del Altiplano Central [1].

Cantona se construyó sobre piedra y aparece a los ojos de los observadores como un ejemplo extraordinario de cómo habitaban los antiguos grupos humanos del territorio mexicano y cómo transformaron totalmente el terreno –lava volcánica– sobre el que habitaron. Sólo al observar esta unidad se entiende la razón por la cual Cantona está considerada como el asentamiento prehispánico con el máximo grado de urbanización de toda Mesoamérica. De esto dan cuenta: el aprovechamiento del terreno, el trazo por encima del nivel del suelo de largas, intrincadas y a veces estrechas calles, calzadas, privadas, cerradas y pasillos, así como sus plazas y patios, que constituyen una muestra excepcional de ingenio arquitectónico y urbanístico y que, a la vez, formaron parte de un sólido sistema de defensa militar y de control sobre el grueso de la población. Pareciera que los moradores de Cantona hubiesen querido negar el trazo simétrico de Teotihuacan, estableciendo su propia identidad [2].

Sitio Arqueológico de Cantona Puebla, México.

1) A. García-Cook, Y. Martínez-Calleja, *"Las vías de circulación interna en Cantona"*. *Arqueología N° 38*, 2008, pp. 124-160.
2) A. García Cook "Cantona: ubicación temporal y generalidades". *Arqueología N° 33*, 2004, pp. 91-108.

Toda la superficie del asentamiento fue transformada y adaptada para ubicar sus unidades-habitacionales y construir los edificios tanto ceremoniales como administrativos y de los dirigentes. Cantona se caracteriza, entre otras cosas, porque su población habitó en unidades arquitectónicas cerradas. Se construyeron basamentos para colocar en su superficie la casa habitación –éstas de carácter perecedero- y se les delimitó por muros periféricos; en su interior habitaron familias nucleares o familias extensas. Se conocen a detalle unas 2.500 unidades-habitacionales, también llamadas "Patios", tanto de carácter "popular" como de "elite". Se calculan más o menos 7.500 de estas unidades-habitacionales para la ciudad entera [3].

Tanto las unidades-habitacionales cerradas como las de carácter cívico-religioso están comunicadas por una extensa y compleja red de vías de circulación; calles que fueron construidas en su totalidad, con arroyo pavimentado y que generalmente van elevadas, aunque también las hay sobre el piso natural del terreno o incluidas en éste. Una característica más que define a Cantona es la asimetría observada en las construcciones arquitectónicas, lo mismo en planta que en fachadas. Lo interesante de es que todas sus construcciones, que son miles, no tienen material cementante alguno para unir o pegar las piedras que forman los muros. Igualmente llama la atención, el gran número de Juegos de Pelota (se conocen al momento 27) construidos al interior del asentamiento[4].

Los habitantes de Cantona tejieron una extensa red de intercambios comerciales que se vio favorecida tanto por su estratégica posición geográfica, a medio camino entre la costa del Golfo y la cuenca de México, como por su control sobre los ricos yacimientos de obsidiana localizados en las faldas del volcán Citlaltépetl, material que era imprescindible en la Mesoamérica antigua.

Durante las exploraciones llevadas a cabo hasta ahora en los talleres de la ciudad de Cantona, se han recuperado navajas prismáticas y también núcleos para la extracción de navajas. No se descarta la posibilidad de que hayan manufacturado también raspadores, cuchillos y algunos otros artefactos. Pero, con los materiales colectados tanto en la excavación como en la superficie, tal parece que fueron las navajas prismáticas y los núcleos, las piezas que más fueron exportadas de Cantona. De esta manera, una gran cantidad de alimentos y objetos de uso cotidiano, de carácter ceremonial o exótico, no producidos en la región (textiles, hule, cacao, "piedras preciosas", diversas frutas), así como también maíz, frijol, calabaza y chile pudieron obtenerse por medio del intercambio de la obsidiana producida y exportada por los habitantes de Cantona. Comercio que llevaban a cabo con poblaciones cercanas y

3) A. García Cook, "Cantona: la ciudad", en W. Sanders; A. G. Mastache y R. H. Cobean(ed.), *El urbanismo en Mesoámerica,* vol. 1, México, INAH/Pennsylvania State University, 2003, pp. 311-343.

4) Ibídem

lejanas a la ciudad. La ubicación de Cantona fue seleccionada para acceder a los yacimientos de obsidiana de Oyameles–Zaragoza o de otros yacimientos en torno a la ciudad [5].

Por todo lo anterior se aprecia que los yacimientos de obsidiana cercanos a Cantona, jugaron un papel sumamente importante en la existencia y mantenimiento de esta ciudad prehispánica. Esos yacimientos fueron una de las razones para que la ciudad se convirtiera en un lugar estratégico y de gran importancia en su época[6].

En Cantona, además de los talleres existentes en varias unidades-habitacionales, cuya producción debió ser únicamente para el consumo familiar y/o local, existen más de 350 talleres en un área cercana a las 19 hectáreas. Entre otros trabajos llevados a cabo en el área de la mitad norte de la Cuenca de Oriental se han visitado, registrado y colectado restos de obsidiana en los yacimientos, en los talleres primarios cercanos a la Ciudad de Cantona y en los talleres de algunos otros asentamientos.

La obsidiana es un vidrio natural de origen volcánico que se produce por el rápido enfriamiento de la lava. La composición típica de la obsidiana es: SiO_2 (70-75%), Al_2O_3 (10-15%), Na_2O (3-5%), K_2O (2-5%), Fe_2O_3 (1-5%) y otros elementos en concentraciones menores que 1%. Generalmente es negra o gris, aunque puede existir en otros colores como: verde oscuro, verde claro, rojizo, blanco y algunas veces se encuentra veteada en negro-rojo y en verde-café. Su consistencia vítrea, su calidad de fractura predecible y su facilidad para obtener orillas filosas contribuyeron a que la obsidiana fuera altamente apreciada por las culturas antiguas.

Los artefactos de obsidiana son el tipo de objetos que mejor se adecua para el estudio de procedencia porque una de sus principales características es que al ser tallado, su composición y propiedades químicas no se alteran. Esto, aunado a su composición química homogénea, hace posible identificar la procedencia.

Uno de los objetivos primordiales del análisis de material arqueológico es la determinación de su procedencia; ya que a partir de este conocimiento, los arqueólogos establecen rutas de comercio, determinan qué grupos culturales se establecieron en un sitio determinado y su relación con otros.

Diversos estudios han revelado que la composición química es homogénea en un mismo yacimiento de obsidiana y que puede ser significativamente diferente de la de otras formaciones geológicas. Por lo que, la similitud entre la composición química de un artefacto arqueológico y la de la materia prima de un yacimiento puede revelar su origen.

5) Galicia Lara, Aline, El yacimiento de Oyameles-Zaragoza, Puebla ejercicios de explotación prehispánica, Tesis, México, ENAH-INAH, 2003.

6) Ibídem

En las últimas tres décadas, se han utilizado diversas técnicas de análisis químico para determinar la procedencia de artefactos de obsidiana: Espectroscopia de Emisión Óptica (EEO); Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA); Emisión de Rayos X Inducida con Partículas (PIXE); Espectroscopia de Emisión con Plasma (EEP); Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Análisis por Activación Neutrónica (AAN), que ha sido la más utilizada.

Para el estudio de la procedencia de la obsidiana, transformada en Cantona y en los sitios de su entorno, fueron escogidas 79 muestras para ser analizadas mediante activación neutrónica. De estas muestras 15 proceden de 12 yacimientos o talleres primarios, ubicados a orillas de yacimientos; 7 corresponden a muestras obtenidas en talleres terciarios de sendos asentamientos humanos, cuatro de los cuales se localizan en torno al Cerro Pizarro y tres (los sitios 82, 104 y 140) están localizados, al oeste y norte inmediato de la ciudad de Cantona. Las otras 40 muestras (de la 23 a la 62) proceden de varios de contextos estratigráficos obtenidos de la excavación de un taller de los considerados como estatales. Las 17 muestras restantes (de la 63 a la 79) pertenecen a material colectado en la superficie, de sendos Talleres Estatales, también en la ciudad de Cantona. Las Tablas 1A y 1B describen las características de las obsidianas analizadas en esta investigación.

Los objetivos del presente estudio fueron los siguientes: a) Determinar la composición química de los yacimientos de obsidiana de la Cuenca Oriental del estado de Puebla, ya que en esta zona se ubicó una de las ciudades militares más importantes de la época prehispánica. b) Sugerir las rutas de comercio en esa región, al través de la identificación de la procedencia de obsidianas recuperadas en los talleres prehispánicos de la mencionada cuenca y c) Incrementar los conocimientos sobre la caracterización de yacimientos de obsidiana del Eje Volcánico Transversal de nuestro país.

		Localización			
No.	Sitio	Grad-min-sec	Grad-min-sec	msnm	Nombre local
1	9	19-44-49.8	97-33-38.7	2413	El Durazno
2	9A	19-44-50.3	97-33-40.6	2100	El Durazno II
3	10	19-44-21	97-33-33.2	2500	El Sabinal
4	12B	19-44-03.7	97-33-52.5	2496	Ayala- El Sabinal
5	13	19-44-0.94	97-33-37.3 a 97-20-21	2539	Los Pastizales

6	31	19-39-44	97-32-30	2620	Barranca del Diablo
7	32 T1	19-42-10.7 a 19-42-13.2	97-32-02.7 a 97-32-13.5	2800 a 2864	Oyameles
8	33	19-42-10.7 a 19-42-13.2	97-32-02.7 a 97-32-13.5	2800 a 2864	Oyameles
9	32 T3	19-42-10.7 a 19-42-13.2	97-32-02.7 a 97-32-13.5	2800 a 2864	Oyameles
10	32 T6	19-42-10.7 a 19-42-13.2	97-32-02.7 a 97-32-13.5	2800 a 2864	Oyameles
11	34	19-41-51.4	97-30-53.3	2915	Barranca El Muerto
12	47	19-45-47.4	97-29-34.4	2453	Toluca Gómez
13	48	19-41-19.7	97-32-47.5	2716	Meseta La Rosa
14	73	19-42-56 a 19-42-51	97-42-37.5 a 97-33-31	2580	-
15	74A	19-43-08.1	97-33-49.6	2487	Barranca Acuaco (El Retiro)
16	82	19-39-12.2 a 19-39-14.5	97-32-11.0 a 97-32-57	2660	La Barranca
17	90	19-39-12.2	97-31-35.9	2575	Barranca del Diablo II
18	114 114T	19-30-09.4 a 19-30-22.4	97-27-22.3 a 97-27-30.8	2380 a 2400	Cerro Pizarro
19	115	19-31-10 a 19-31-31	97-26-35 a 97-27-22.5	2420 a 2600	Cerro Pizarro
20	118	19-30-21 a 19-30-45	97-26-34 a 97-27-05	2480 a 2620	Cerro Pizarro
21	137	19-29-38 a 19-29-58	97-26-34 a 97-26-47	2350 a 2600	Cerro Pizarro
22	140	19-34-59 a 19-35-08.8	97-30-18.7 a 97-30-22.3	2520 a 2540	Talleres del oeste de Cantona

Tabla 1A. Muestras de obsidiana procedentes de sitios aledaños a Cantona.

No.	Cuadro-Capa	Muestra	Cuadro-Capa
23	M6-Ia	46	N7-IIId
24	L6-Ia	47	L6-IIId’
25	N7-Io	48	M6-IIId’
26	M7-Io	49	N7-IIIe
27	M6-Ib	50	N6-IIIe
28	M6-IIa	51	N7-IIIe
29	M7-IIa	52	M6-IIIe’
30	N10-IIa	53	M6-IIIe’
31	N7-IIa	54	M6-IIIe’
32	N7-IIIa	55	L6-IVa
33	L7-IIIa’	56	P6-IVa
34	N6-IIIa	57	P6-IVa
35	L6-IIIa’	58	N7-IVb
36	L6-IIIa’	59	P7-IVb
37	L7-IIIa’	60	P7-IVb
38	M6-IIIc	61	L6-superficie
39	N7-IIIc	62	M5-superficie
40	M7-IIIc		
41	L7-IIIc		
42	L6-IIIc’		
43	M7-IIIc’		
44	L7-IIIc’		
45	L6-IIIc’		

Tabla 1B. Muestras de obsidiana procedentes de la excavación del Taller Estatal 1 de Cantona.

Proceso experimental

El análisis multielemental de las muestras de obsidiana se llevó a cabo mediante activación neutrónica, con el método del comparador, que consiste en irradiar simultáneamente con la muestra problema, una cantidad conocida de los elementos a determinar y luego medir la radiactividad de la muestra y del comparador (o material de referencia), con el mismo detector y en las mismas condiciones geométricas. El material de referencia fue el SRM 278 *obsidian rock,* certificado por el *National Institute of Standard and Technology* (NIST).

Limpieza de muestras

Todas las muestras de obsidiana se limpiaron cuidadosamente para eliminar cualquier impureza que pudiera alterar los resultados, se lavaron con una solución de Extran al 10% en agua destilada y agitación en un baño de ultrasonido.

Preparación de las muestras para la irradiación con neutrones

Las muestras de obsidiana limpias se molieron en un pulverizador automático de ágata (FRTTSCH-Pulverisette) hasta obtener un polvo fino, con el propósito de asegurar una irradiación homogénea en toda la muestra.

La cantidad de muestra utilizada para el análisis, se determinó tomando en cuenta las propiedades nucleares de los isótopos en estudio, tales como: tiempo de vida media, sección eficaz y las condiciones de medición de la radiactividad en un equipo de detección gamma. En esta investigación se cuantificaron los radionúclidos de vida media larga.

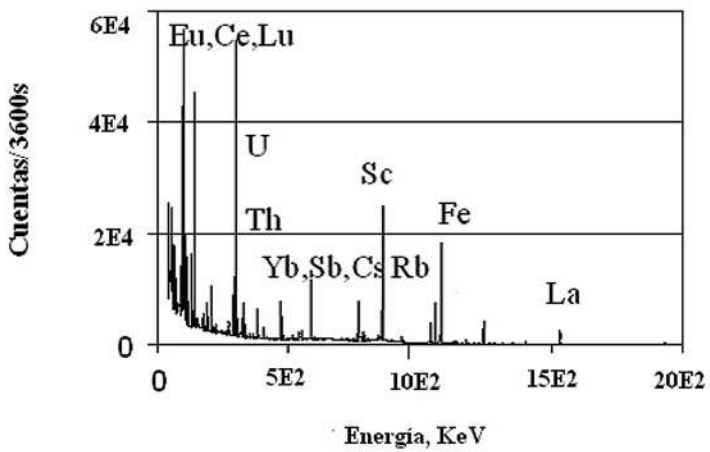
Se prepararon por duplicado muestras de 200 mg cada una en contenedores cilíndricos, de polietileno de alta densidad, de aproximadamente 1.5 ml de capacidad, y se sellaron herméticamente con calor. Finalmente, ambas muestras junto con una cantidad idéntica del material de referencia se depositaron en un contenedor adecuado para la irradiación neutrónica, claramente identificado [7].

7) M. G. Almazán Torres, Jiménez Reyes, M., Monroy Guzmán, F., Tenorio, D. y Aguirre Martínez, P. I.,"Determination of the provenance of obsidian samples collected in the archaeological state of San Miguel Ixtapan, Mexico State, Mexico by means of neutron activation analysis", *Journal of Radioanalytical and Nuclear N° 3*, Chemistry vol. 260, 2004, pp. 533-542.

La técnica de AAN es altamente sensible y detecta trazas de elementos, es por ello que durante el proceso de preparación de las muestras se debe tener en cuenta las siguientes precauciones: Todos los contenedores utilizados deben lavarse previamente con Extran al 10% y agua destilada, para retirar el polvo que pudiera habérseles adherido durante su almacenamiento. Debe verificarse que los contenedores de las muestras estén perfectamente sellados para evitar la pérdida de ésta o su contaminación con agentes externos. Los contenedores sellados deben limpiarse con acetona para eliminar la contaminación que se origina al manipularlos.

Condiciones de irradiación, decaimiento y conteo

Las muestras junto con el material de referencia se irradiaron durante 2 horas en el reactor nuclear TRIGA MARK III del ININ, en la posición experimental SIRCA, donde el flujo de neutrones térmicos es de 1.19x1013 cm-2s-1. Luego, se almacenaron durante 12-13 días para permitir el decaimiento de los isótopos de vida media corta y finalmente la radiactividad de cada muestra fue medida durante 1 hora con un detector de GeH, acoplado a un analizador multicanal de altura de pulsos [8].

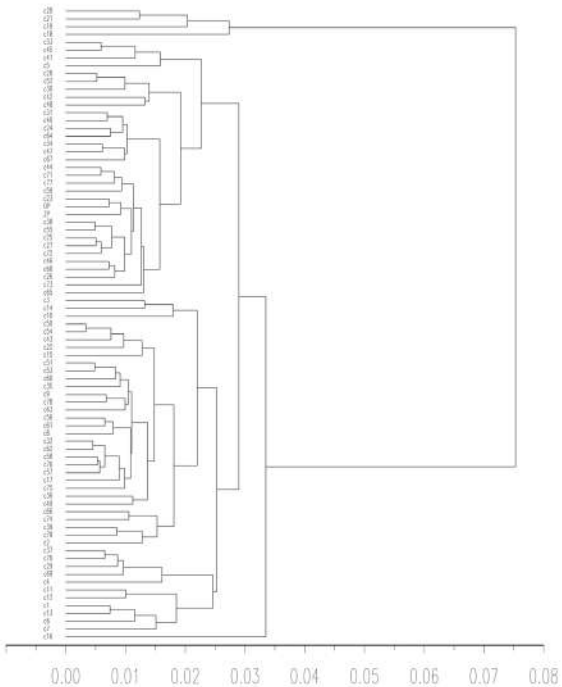


Espectro gamma de una obsidiana irradiada con neutrones térmicos.

8) Ibídem

Resultados y discusión

Los elementos analizados fueron: Sc, Fe, Rb, Sb, Cs, La, Ce, Eu Yb, Lu, Th y U. Con los datos de las concentraciones de esos elementos se llevó a cabo una comparación con los de 30 yacimientos de obsidiana reportados en la literatura [9], todos esos datos fueron obtenidos mediante NAA. El cálculo se llevó a cabo con el programa de estadística multivariable escrito en lenguaje GAUSS [10].



Dendograma de los resultados de los análisis de obsidianas de Cantona Puebla, México.

9) Cfr. Robert H. Cobean, *A world of obsidian: The Mining and Trade of a Volcanic Glass in Ancient Mexico*, INAH-University of Pittsburg, México-Pittburgh, 2002 y M. Jiménez Reyes, D. Tenorio, J.R. Esparza López, R.L Cruz Jiménez, C. Mandujano, S. Elizalde, "Neutron activation analysis of obsidian from quarries of the central quaternary Trans-Mexican Volcanic Axis", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry N° 3*, vol. 250, 2001, pp. 465-471.

10) Neff, H., "GAUSS language routines for statistical analysis of multivariate archaeometric data areavailable for free download from the MURR", 2008 http://archaeometry.missouri.edu.

Los objetivos de este análisis estadístico fueron identificar tipos o grupos característicos de muestras que puedan ser claramente distinguidos de otros y asignar la procedencia de las obsidianas de los talleres con datos de yacimientos analizados previamente.

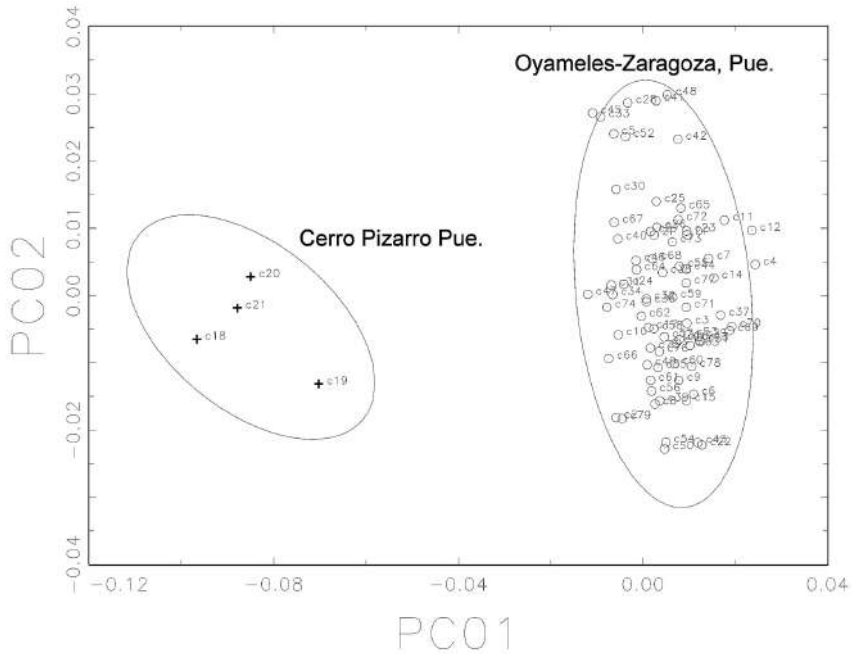


Diagrama de componentes principales.

Las figuras anteriores muestran respectivamente el dendograma y diagrama de componentes principales obtenidos. En ellos se observa una evidente discriminación entre las muestras. Lo que significa que las obsidianas de Cantona provienen de 2 yacimientos, la mayoría (75 muestras) del de Zaragoza/Oyameles Puebla y sólo 4 del yacimiento del Cerro Pizarro. El último dato no es de extrañar ya que los 4 sitios de los que se obtuvieron esas muestras son los únicos que se encuentran en la periferia de ese cerro. Las 75 muestras procedentes de los yacimientos Oyameles-Zaragoza fueron colectadas en los Talleres en Cantona, tanto de la excavación como de las superficies de los 17 Talleres Estatales y

tres de las muestras (las de números 16, 17 y 22) proceden de tres asentamientos arqueológicos localizados al oeste y norte inmediato de la Ciudad de Cantona.

Elemento	OP/ZP (n = 75)	CP (n = 4)
Sc	3±0.1	2.9±0.2
Fe	7109±371	5209±245
Rb	139±10	96±12
Sb	0.5±0.1	0.29±0.06
Cs	4.2±0.5	3±0.4
La	40±2	24±1
Ce	74±6	49±1
Eu	0.44±0.06	0.9±0.1
Yb	3.6±0.4	1.9±0.1
Lu	0.59±0.06	0.32±0.07
Th	22±2	9.5±0.4
U	5.5±0.6	2.7±0.6

Tabla 2. Resultados del análisis elemental de las muestras de obsidiana de Cantona Pue.; en µg/g. Promedio ± desviación estándar. Los grupos (OP-ZP: Oyameles-Zaragoza y CP: Cerro Pizarro) fueron identificados conforme al análisis estadístico.

Por otro lado, considerando el material de obsidiana proveniente de la excavación de un Taller, el que de acuerdo al escaso material cerámico conocido, fue ocupado al menos desde el 100 a.c. hasta el 890-900 ya de nuestra era, puede agregarse que al menos desde 200-100 antes del inicio de nuestra era se producían en Cantona en buena escala, artefactos de obsidiana para su exportación además de su consumo interno.

El yacimiento de Oyameles-Zaragoza está situado al nornordeste de Cantona, a escasos 7 Km en línea recta. De acuerdo con los resultados obtenidos se confirma la hipótesis de que la población de Cantona explotó este yacimiento, y fabricó artefactos y objetos en gran cantidad, para el comercio y el intercambio por objetos y materiales de otras regiones.

Mucho se sabe sobre la existencia de obsidiana procedente de Oyameles-Zaragoza en sitios ar-

queológicos ubicados en áreas cercanas o distantes del sur y sureste de la región. Y, es precisamente la obsidiana, la que revela las regiones con las cuáles mantuvo contacto Cantona: en la costa del Golfo de México, sobre todo con el centro y sur de Veracruz y Tabasco; con el valle de Oaxaca, con la región Mixteca, con el norte de Oaxaca y el sur de Puebla, lo mismo que en el valle de Tehuacán y el valle poblano-tlaxcalteca y en menor escala con la cuenca de México.

Recientemente se excavó un depósito de material de desecho resultante de la fabricación de artefactos, que ofrece información sobre la producción de artefactos en Cantona, desde etapas mas tempranas y por tanto corrobora la detección de los materiales de obsidiana analizadas hasta el momento.

Conclusión

La obsidiana utilizada y transformada en artefactos en Cantona y parte noroeste de la Cuenca de Oriental procede de los yacimientos de Oyameles-Zaragoza, al menos desde una etapa correspondiente al Formativo Tardío –por el 600 d.c. hasta la desocupación masiva-de Cantona y de la región norte de la Cuenca Oriental por el inicio del Posclásico temprano, por el 950-1000 d.c.

En este momento se cuenta con muestras de obsidiana de más de 100 asentamientos, la mayoría del Formativo, localizados hacia el centro-oeste de la Cuenca de Oriental, al sur de Cantona, cuyo análisis por activación neutrónica podrá dar también información sobre la procedencia de la obsidiana utilizada en esa mitad poniente de la Cuenca de Oriental.

Bibliografía

Almazán Torres, M. G., Jiménez Reyes, M., Monroy Guzmán, F., Tenorio, D. y Aguirre Martínez, P. I.,"Determination of the provenance of obsidian samples collected in the archaeological state of San Miguel Ixtapan, Mexico State, Mexico by means of neutron activation analysis", *Journal of Radioanalytical and Nuclear N° 3*, Chemistry vol. 260, 2004, pp. 533-542.

Cobean, Robert H., *A world of obsidian: The Mining and Trade of a Volcanic Glass in Ancient Mexico*, INAH-University of Pittsburg, México-Pittburgh, 2002.

Galicia Lara, Aline, El yacimiento de Oyameles-Zaragoza, Puebla ejercicios de explotación prehispánica, Tesis, México, ENAH-INAH, 2003.

García Cook, A. "Cantona: la ciudad", en W. Sanders; A. G. Mastache y R. H. Cobean(ed.), *El urbanismo en Mesoámerica,* vol. 1, México, INAH/Pennsylvania State University, 2003, pp. 311-343. "Cantona: ubicación temporal y generalidades". *Arqueología N° 33*, 2004, pp. 91-108.

García Cook, A. y Martínez-Calleja, Y.*, "Las vías de circulación interna en Cantona". Arqueología N° 38*, 2008, pp. 124-160.

Jiménez Reyes, M., Tenorio, D., Esparza-López, J.R., Cruz-Jiménez, R.L., Mandujano, C., Elizalde, S., "Neutron activation analysis of obsidian from quarries of the central quaternary Trans-Mexican Volcanic Axis", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry N° 3*, vol. 250, 2001, pp. 465-471.

Neff, H., "GAUSS language routines for statistical analysis of multivariate archaeometric data are available for free download from the MURR", 2008 http://archaeometry.missouri.edu.

Estudio sobre la autenticidad y la temperatura de cocción de fragmentos cerámicos de la cultura Nasca*

Javier Alcalde Gonzáles
Jorge Bravo Cabrejos
Yeseña Huaypar
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Luisa María Vetter Parodi
Museo Nacional Sicán

Susana Petrick
Universidad Nacional de Ingeniería

Alcides López Milla
Paula Olivera de Lescano
Julio César Santiago Contreras
Instituto Peruano de Energía Nuclear

Resumen

Se ha estudiado un conjunto de fragmentos de cerámica de la cultura Nasca (Ica - Perú) mediante diferentes técnicas analíticas para obtener información sobre la tecnología utilizada en su preparación. Por medio de Espectroscopía Mössbauer hemos obtenido datos que evidenciarían que la temperatura de cocción de los ceramios estuvo entre 700ºC y 900°C. La aplicación de Difracción de Electrones selectivamente, sobre minerales en granulometría muy fina, determinó la presencia de Illita en todas las muestras, lo que sugiere que éstas no superaron los 800°C durante la cocción. La presencia de otros minerales en la composición de estos fragmentos se realizó por Difracción de Rayos X.

Debido a que los fragmentos estudiados provienen del Museo de Arqueología y Antropología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y no de excavaciones, se aplicó Termoluminiscencia y Luminiscencia Ópticamente Estimulada para verificar la autenticidad de las piezas.

* Agradecemos al Museo de Arqueología y Antropología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por ceder los fragmentos cerámicos de la cultura Nasca y al Organismo Internacional de Energía Atómica por el financiamiento parcial de este trabajo, a través de los proyectos CRP 13058 y ARCAL RLA8043.

Introducción

El arte y la tecnología de la cerámica fueron algunas de las manifestaciones culturales más destacadas de muchas culturas prehispánicas. Algunas de ellas realizaron y decoraron su cerámica de modo tal que reflejaron en ella su modo de vida y sus costumbres. Así, a través de esas representaciones se ha llegado a conocer mucho más de ellos que lo que se podría descubrir sólo a través de estudios arqueológicos rigurosos. Para el análisis de cerámica tradicionalmente se tomaron en cuenta la forma, el acabado de la superficie y la iconografía. Adicionalmente, en algunos casos se utilizó el análisis mineralógico de la composición de la pasta, utilizando microscopía óptica, lo que dio la posibilidad de un mejor diagnóstico y amplió los criterios de comparación entre los períodos y usos de la cerámica. Sin embargo, algunas veces las diferencias halladas entre las pastas usadas por los ceramistas son tan sutiles que se hace necesario el uso de técnicas que proporcionen resultados más precisos.

Las técnicas analíticas hacen posible encontrar características específicas de los ceramios que correlacionan la pertenencia a una cultura o su procedencia, dando información de los intercambios culturales y comerciales ocurridos[1].

Para los estudios de procedencia, generalmente se analizan las diferencias encontradas en la composición elemental de las pastas de un grupo suficientemente representativo de ceramios, para ello se emplea además de las herramientas analíticas la herramienta estadística (análisis multivariado), basando la identificación en la cuantificación de ciertos elementos presentes en las muestras analizadas[2]. Entre las herramientas analíticas que permiten la caracterización elemental de la pasta de ceramios tenemos el Análisis por Activación Neutrónica,[3] la Espectrometría de Emisión Óptica de Plasma Inductivamente Acoplado[4] y la Espectrometría de Masas de Plasma Inductivamente

1) L.Sanhueza, F.Falabella, E.Fonseca, O.Andonie, *Aplicación de análisis de pastas microscópicos, petrográficos y de composición de elementos químicos al problema de la procedencia de cerámica en el periodo alfarero temprano de Chile central y Cuyo*, Estudios Atacameños N° 28, Argentina, 2004, pp. 121-132.

2) Cfr. G. Barone, A. Lo Giudice, P.Mazzoleni, A. Pezzino, D. Barilaro, V. Crupi, M. Triscari, "Chemical characterization and statistical multivariate analysis of ancient pottery from Messina, Catania, Lentini and Siracusa (Sicily)", *Archaeometry N° 47*, 2005, pp. 745-762 y K. Vaughn, H. Neff, "Moving beyond iconography: Neutron activation analysis of ceramics from Marcaya, Perú, an early domestic Nasca site", J. Field Archaeol *N° 27*, 2000, pp. 75-90.

3) Cfr. U. Vinagre, R. Latini, A. Bellido, A. Buarque, A. Borges, "Ancient Ceramic Analysis by Neutron Activation in Association with Multivariate Methods", Braz. J. Phys. *N°* 35, 2005, pp. 779-781 y K. Vaughn, H. Neff, "Moving beyond iconography".

4) Cfr. M. Feliu, M. Edreira, J. Martín, Application of physical–chemical analytical techniques in the study of ancient ceramics, Anal. Chim. Acta 502, 2004, pp. 241-250 y J. Pérez-Arantegui, M. Uruñuela, J. Castillo, "Roman Glazed Ceramics in the Western

Acoplado[5]. De otro lado, gracias al avance de la tecnología en láser y detectores, la espectroscopía de descomposición inducida por láser (*Laser-induced breakdown spectroscopy,* LIBS) está siendo recientemente utilizada en el estudios de diferentes matrices, incluyendo los ceramios y pinturas[6]. Estas técnicas tienen la ventaja de ser multielementales y de tener alta sensibilidad por lo que permiten el análisis cuantitativo de los elementos traza.

Para obtener información sobre la tecnología de preparación, y específicamente sobre la temperatura de cocción de los cerámicos, es necesario determinar la composición mineralógica de la pasta, ya sea por Difracción de Rayos X (DRX) o por Microscopía Electrónica de Transmisión (MET) en su forma de difracción de electrones de áreas selectas. Así, basándonos en la presencia o alteración de determinados minerales de los que se conocen las temperaturas a las cuales desaparecen o se transforman, es posible hacer un estimado de la temperatura máxima alcanzada por la pasta generalmente durante la cocción. El MET, por ser una técnica que analiza áreas muy pequeñas de muestra, detecta los minerales que por su escasez relativa no pueden ser descubiertos por Difracción de Rayos X.

Por otro lado, la Espectroscopía Mössbauer (EM) puede ser utilizada para la determinación de la temperatura de cocción de cerámicos. El fundamento fenomenológico del efecto Mössbauer es la emisión sin retroceso de fotones gamma por los núcleos radiactivos en la fuente y la subsiguiente absorción resonante de esos fotones por otros núcleos del mismo isótopo en la muestra. En el caso de estudio de arcillas y cerámicas por EM sólo se obtiene información de la presencia de un tipo de isótopo, el ^{57}Fe.

El espectro Mössbauer está constituido de subespectros, cada uno de ellos asociado a un sitio estructural, que pueden ser dobletes o sextupletes, que son caracterizados por un conjunto de parámetros hiperfinos. Los dobletes están asociados a átomos de Fe en estado paramagnético y los sextupletes a sitios con ordenamiento magnético. Los parámetros hiperfinos incluyen el corrimiento isomérico, el desdoblamiento cuadrupolar y el campo magnético hiperfino. Cada mineral que contiene

Mediterranean: Chemical Characterization by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrom etry of Ceramic Bodies", *J. Archaeol. Sci. N° 23*, 1996, 903-914.

5) Cfr. W. James, E. Dahlin, D. Carlson, "Chemical compositional studies of archaeological artifacts: Comparison of LA-ICP-MS to INAA measurements", *J. Radioanal. Nucl. Chem. N° 263*, 2005, pp. 697-702 y A. Pillay, "Analysis of archaeological artefacts: PIXE, XRF or ICP-MS?", *J. Radioanal. Nucl. Chem. N° 247*, 2001, pp. 593-595.

6) Cfr. A. Giakoumaki, K. Melessanaki, D. Anglos, "Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS)" in *Archaeological science - applications and prospects*, *Anal. Bioanal. Chem.*, 387(3), 2007, pp. 749-760 y Alexcei Pérez B., Análisis elemental semi-cuantitativo de la composición química de cerámicas arqueológicas usando la técnica LIBS, Tesis de Diploma en Física, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2009.

hierro, ya sea como catión principal o por sustitución, está caracterizado por un conjunto de parámetros hiperfinos que dan información sobre su presencia y las áreas de absorción resonante asociadas a dichos sitios dan información sobre sus abundancias en la pasta de estudio. Es decir, en el espectro Mössbauer se puede evidenciar las variaciones de la vecindad química de los isótopos, la misma que se puede alterar mediante calentamiento.

El método se basa en medir el espectro Mössbauer de una muestra de cerámica en polvo luego de someterla a tratamientos térmicos a diferentes temperaturas. Las características de los espectros obtenidos serán similares para los casos en los que no se superó la temperatura de cocción (Tc) original. Pero, teóricamente, a temperaturas mayores a la Tc el entorno de los núcleos de ^{57}Fe se modifica produciendo espectros Mössbauer diferentes[7].

En este trabajo presentamos los resultados obtenidos del estudio de fragmentos de 10 ceramios de la cultura Nasca, aplicando DRX, MET y EM para obtener información sobre la temperatura de cocción las mismas.

Se sabe que la cultura Nasca se desarrolló a 49 km de la actual ciudad de Nasca, 500 km al sur de Lima, sobre la cuenca del río Grande, entre los años 100 a.c. y 750 d.c. Es particularmente conocida por los grandes geoglifos, líneas encontrados en las pampas de Nasca[8]. Los principales sitos arqueológicos encontrados se encuentran en Cahuachi, centro religioso, Marcaya y Los Molinos[9]. La cerámica producida por los alfareros de esta cultura se caracterizó por el policromismo y su buen acabado.

Debido a que las muestras estudiadas provenían del Museo de Arqueología y Antropología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, y no de una excavación, se les realizaron pruebas dosimétricas por termoluminiscencia y luminiscencia ópticamente estimulada, para determinar su autenticidad. La emisión de luz por el material, estimulado térmicamente (TL) u ópticamente (OSL), se produce con posterioridad a la absorción de energía proveniente del fondo radioactivo del ambiente en el que el material estuvo inmerso. Si la intensidad de la emisión

7) Cfr. U. Wagner, "The Application of Mössbauer Spectroscopy to Archaeology", *Hyperfine Interactions N°* 134, 2004, pp. 1-253 y R. Venkatachalapathy, T. Sridharan, S. Dhanapandian, C. Manoharan, *Determination of firing temperature of ancient potteries by means of infrared and Mossbauer studies*. Spectr. Letters, http://www.informaworld.com/smpp/title%7Edb=all%7Econtent=t713597299%7Etab=issueslist%7Ebranches=35 - v3535(6), 2002, pp. 769-779.

8) K. Vaughn, "Van Gijseghem H., "A compositional perspective on the origins of the "Nasca cult" at Cahuachi", *J. Archaeol. Sci. N° 34*, 2007, pp. 814-822.

9) Cfr. Helaine Silverman, *Cahuachi in the Ancient Nasca World,* University of Iowa Press, Iowa City, 1993 y M. Reindel, J. Isla, "Los Molinos y La Muña, Dos centros administrativos de la cultura Nasca en Palpa, costa sur del Perú", *Sonderdruck aus Beiträge zur Allgemeinen und Vergleichenden Archaeologie N° 21*, 2001, pp. 289-319.

de luz es proporcional a la energía absorbida y al tiempo transcurrido desde que el material se calentó por última vez, es posible determinar si una muestra es antigua o "moderna" a través de las pruebas de TL u OSL[10].

Parte experimental

Material cerámico

Las muestras cedidas fueron estudiadas en forma de fragmentos de vasijas cerámicas (antiguamente restauradas). Estos fragmentos fueron separados por el personal del museo utilizando alcohol o acetona y colocados en bolsas de polietileno con sus respectivas etiquetas. Para la obtención de las muestras de pastas, se retiraron las capas de pigmentos y engobes de los fragmentos con la ayuda de un taladro con brocas de carburo de tungsteno y una fresa de acero.

Análisis por termoluminiscencia

Para obtener las muestras se utilizó un taladro de baja velocidad con una broca diamantada. Las muestras fueron taladradas hasta una profundidad de 2 mm, antes de obtener el material para dosimetría (Figura 1). El equipo utilizado en los registros de TL y OSL es una lectora de *Risø National Laboratories,* modelo TL-DA-15, con una fuente IR de 875 nm y una fuente de luz azul de 470 nm. Este equipo también está provisto de una fuente de radiación beta (135,5 mGy/s) para las irradiaciones de laboratorio necesarias en la calibración de la dosis acumulada. Los datos fueron obtenidos y analizados según el protocolo *Single Aliquot Regeneration* (SAR)[11].

Análisis por Microscopía electrónica de transmisión

Los fragmentos cerámicos se limpiaron con aire comprimido para eliminar el polvo y el material contaminante de la superficie, luego fueron fracturados. Una vez elegida la zona representativa se procedió a hacer un decapado de aproximadamente 0,5 mm de espesor con ayuda de una fresa carburada

10) Cfr. L. Vetter, S. Petrick, Y. Huaypar, M. Mac Kay, "Los hornos metalúrgicos del sitio Inca de Curamba (Perú): estudio por DRX, espectroscopia Mössbauer y datación por métodos de luminiscencia", *Bull. Inst. Fr. d'Études Andines N°* 37 (3), 2008, pp. 451-475 y Gloria Santana, "La datación por termoluminiscencia en los materiales cerámicos prehistóricos de Gran Canaria", *Vector plus N° 16*, 2000, pp. 47-55 y M. Aitken, *Termoluminiscence Dating*, London Pulitzer, 1985.

11) Cfr. L. Bøtter-Jensen, S. McKeever, A. Wintle, "Optically Stimulated Luminescence Dosimetry". *Elsevier Science*, 2003 y M. Takano, T. Yawata, T. Hahimoto, "Luminescence dosimetry of archaeological and ceramic samples using a single-aliquot regenerative-dose method", *J. Radioanal. Nuc. Chem. N° 255* (2), 2003, pp.365-368.

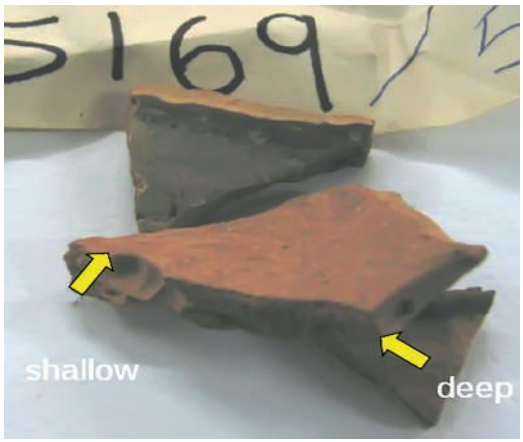


Figura 1. Fragmento de cerámica Nasca mostrando las zonas, superficie (s) o al interior (d), de donde se obtuvieron las muestras para su medición por OSL o TL.

de forma esférica de 2 mm de diámetro, montado sobre un minitaladro de velocidad variable. El polvo obtenido de la parte interna se puso en una suspensión acuosa para decantar las partículas más grandes, una gota de esta suspensión fue colocada sobre una rejilla portamuestras estándar, de 300 mesh con membrana de soporte de parlodion, para microscopía electrónica. Las muestras preparadas se dejaron secar por espacio de una hora a temperatura ambiente. Una vez secas se procedió a su análisis haciendo uso del Microscopio Electrónico de barrido transmisión, STEM EM 400 Philips operando a 80 kV, mediante la técnica de Difracción Electrónica de Área Selecta.

En el análisis de los patrones de difracción de electrones obtenidos se buscaron las distancias interplanares correspondientes a las fases cristalinas presentes en cada muestra, luego se analizaron y compararon con las distancias interplanares características de las fases minerales tabuladas en las bases de datos cristalográficos.

Análisis por Difracción de Rayos X

Para facilitar la pulverización de las piezas, se las sumergió individualmente en un vaso de precipitación con nitrógeno líquido por espacio de 5 minutos, luego con unas pinzas se colocó la muestra en un mortero de porcelana y se procedió a la homogenización del grano con un pilón del mismo

material. La muestra ya pulverizada fue colocada en frascos de vidrio con tapa y puestos a secar en una estufa por espacio de 24 horas.

Análisis por Espectroscopía Mössbauer

Para el análisis por EM se utilizó 250 mg del mismo material en polvo preparado para DRX. Se utilizaron dos espectrómetros convencionales, uno de 512 canales y modalidad de aceleración constante, y otro de 1024 canales en la modalidad de velocidad sinusoidal, utilizando una geometría de transmisión. El criterio de selección de las muestras se basó en el mayor contenido de hematita cristalizada, que puede estar asociado a una temperatura de cocción más elevada y a una atmósfera oxidante.

Para el tratamiento térmico se utilizó una atmósfera oxidante y un rango de temperatura de 300 a 1000ºC. En cada caso, la alícuota de la muestra fue sometida a tratamiento térmico durante 12 h y los espectros Mössbauer se acumularon con la alícuota a temperatura ambiente. Para cada temperatura se utilizó alícuotas diferentes.

Resultados y discusión

Pruebas de autenticidad por dosimetría termoluminiscencia

Las piezas de cerámica que están guardadas en los museos no pueden ser datadas de manera confiable aplicando las técnicas dosimétricas basadas en medidas de intensidad de sus señales de TL y OSL, sin embargo es usual aplicar las técnicas de dosimetría TL y OSL para determinar su autenticidad haciendo un estimado grueso de su antigüedad.

Los valores obtenidos a partir de las curvas de OSL obtenidas por estimulación de las muestras con luz azul, Figura 2, son proporcionales a la dosis arqueológica calculada por interpolación de la señal natural, como se muestra en la Figura 3.

Los resultados obtenidos se muestran resumidos en la Tabla 1. Se observa que las muestras tomadas cerca de la superficie (s) dan valores muy por debajo de los obtenidos al interior del fragmento (d) debido a la mayor interacción de la muestra con la luz del medio ambiente. Entre las muestras analizadas se colocaron tres muestras “modernas”, las que no dieron ninguna señal residual de luminiscencia. Esto prueba que la metodología utilizada funciona bien para diferenciar muestras originales de las muestras de manufactura reciente.

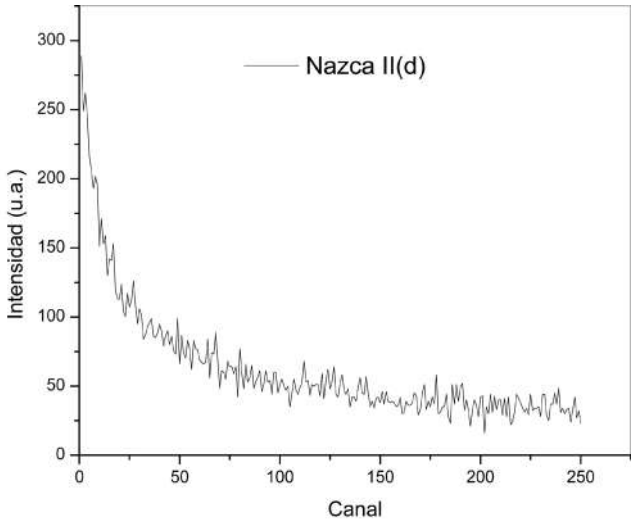


Figura 2. **Señal OSL obtenida estimulando un fragmento de cerámica Nasca, fase II, con luz azul.**

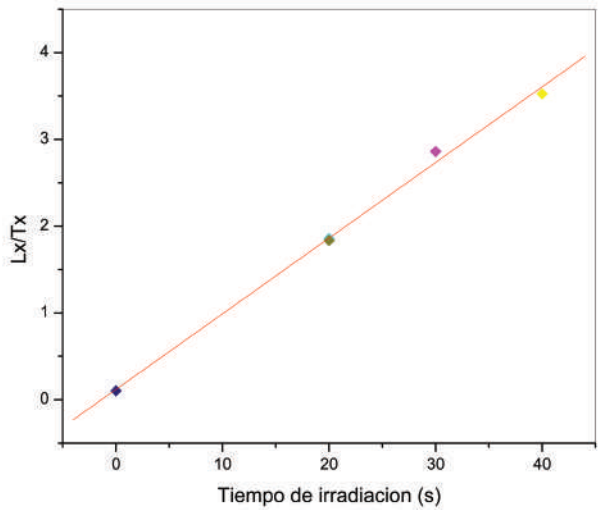


Figura 3. **Proporcionalidad entre la señal obtenida luego de la irradiación de un fragmento de la fase Nasca III en función del tiempo de irradiación.**

Los resultados muestran además que las dosis acumuladas calculadas varían mucho, lo cual no debe sorprender puesto que las muestras provienen de un rango de tiempo de 800 años. Sin embargo, notamos que la dosis "arqueológica" tiende a disminuir conforme aumenta la fase de evolución de esta cultura, es decir de la más antigua a la más moderna.

Muestras	Dosis (mGy)	Error (mGy)	% (2 sigma)
Nazca II 5204(s)	3688,34	104,33	100
Nazca II 5204(d)	7723,50	395,66	100
Nazca III 5169	7859,08	364,50	100
Nazca III 3794	8441,73	363,14	100
Nazca IV 5209(s)	1417,34	40,65	100
Nazca IV 5209(d)	4376,65	131,44	100
Nazca V 2109(s)	3712,74	481,03	100
Nazca V 2109(d)	4159,85	440,38	100
Nazca VII 2147	6246,61	334,69	100
Nazca VIII 2582	4173,44	229,00	100

Tabla 1. Dosis "arqueológica" calculada en los fragmentos de cerámicos Nasca después de aplicar el análisis SAR sobre las curves de OSL vs tiempo.

Estudio por Microscopía Electrónica de Transmisión

La MET en su modo de Difracción de Electrones de Áreas Selectas (DEAS) permitió obtener patrones de difracción de polvo policristalino y monocristalino en cada una de las muestras. La Figura 4 muestra los patrones de difracción observados para la muestra 2210. Dada la variedad de distancias interplanares obtenidas por medio de la difracción de electrones muchas no pudieron ser identificadas con fases minerales conocidas, sin embargo algunos minerales si se han podido identificar plenamente, como se observa en la Tabla 2. La presencia de Illita en todas las muestras analizadas sugiere que en el proceso de cocido de dichas cerámicas no se alcanzaron los 800ºC, porque a esta temperatura la illita cambia de fase[12]. Sin

12) Cfr. A. López, J. Santiago, "Estudio fractográfico y microcristalino de la pasta de la cerámica Nasca", *Rev. Soc. Quím. N°4(1), Perú*, 2008, pp. 24-29 y M. Jordán, T. Sanfeliú, De la Fuente C., "Firing transformations of tertiary clays used in the manufactu-

embargo, cuando los artefactos cerámicos se cuecen en hornos artesanales la temperatura que se alcanza es bastante variable, se pueden encontrar diferencias hasta de más de 250ºC en un solo proceso, lo que hace que no todos los artefactos tengan las mismas condiciones de cocción ni los mismos resultados[13].

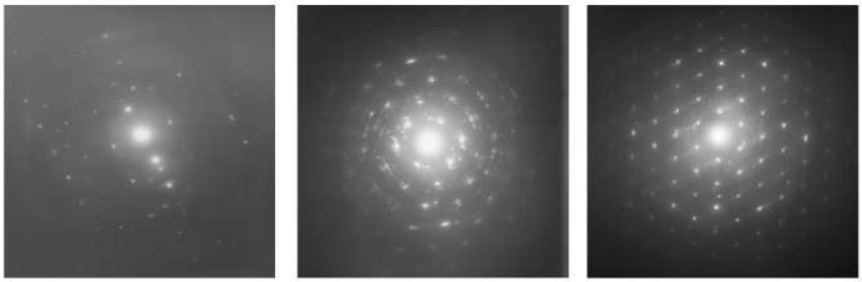


Figura 4. Patrones de difracción obtenidos a partir de la muestra 2210.

Muestra	Periodo	Materiales cristalinos
765	VIII	Cuarzo, Illita, $Pb_8Bi_6S_{17}$, CaO, $CaFeO_2$, $3K_2S_2O_3.H_2O$, Mn_3GaNO_5 $MgCl_2.6H_2O$
490	VII	Cuarzo, Illita, Ferripirofilita, Nontronita, $Pb_3FeSi_3O_{10}(Cl,OH)$, $(Pb,Mo)_8O_8C_{12}$
2210	VII	Cuarzo, Illita, Lepidolita, $NaMgAlSiO_2(OH)H_2O$, Montmorillonita
3918	V	Cuarzo, Illita, Lepidolita
452	V	Cuarzo, Illita, Lepidolita, Hg_2OCl, Fucalita
1584	IV	Cuarzo, Illita, Nontronita, Ferripirofilita, Lepidolita
2385	IV	Cuarzo, Illita, Lepidomelana, Lepidolita
5085	III	Cuarzo, Illita, Lepidomelana
2445	III	Cuarzo, Illita, Lepidomelana, $2MgHBO_3$, $Ca_4B_{10}Si_2O_{23}.5H_2O$, Be_2SiO_4
2213	II	Cuarzo, Illita, Lepidomelana, $2MgHBO_3$, $Ca_4B_{10}Si_2O_{23}.5H_2O$, Be_2SiO_4

Tabla 2. Minerales presentes en las muestras estudiadas e identificados por comparación con la base de datos JCPDF.

ring of ceramic tile bodies", *Appl. Clay Sci. N° 20*, 2001, pp. 87-95.

13) J. Salazar, J. Vreeland, "Medida de las temperaturas de un horno artesanal de Mórrope, departamento de Lambayeque, utilizado para la fabricación tradicional de alfarería", *Bull. Inst. Fr. Études Andines N° 22*, 1993, pp. 685-699.

Análisis por Difracción de Rayos X

La Figura 5 muestra uno de los difractogramas obtenidos de tres muestras seleccionadas por poseer características contrastantes, relativas a su color y su composición mineralógica. La muestra 2385 es de color grisáceo y contiene hematita en menor concentración que las otras dos muestras, que presentan color rojizo anaranjado. La Tabla 3 muestra los resultados del análisis por DRX. Como se puede apreciar todas estas muestras contienen cuarzo en alto porcentaje y en menor concentración albita, muscovita, micas y hematita. Este análisis no permite detectar la presencia de hematita en la muestra 2385; que si se observa por EM. La presencia de clorita indica que la temperatura de cocción original no superó los 650ºC en el caso de la muestra 5169[14].

La aparente discrepancia entre los minerales observados por DRX y MET puede explicarse por el hecho de que en la técnica aplicada (MET-DEAS) se analizan zonas muy pequeñas, especialmente aquellas zonas que presentan buena cristalización, mientras que por DRX se obtienen todos los minerales presentes y muchas veces los que se encuentran en pequeñas proporciones son encubiertos por aquellos que son mayoritarios.

Periodo	Muestras	Color	Minerales Identificados
Nazca III	5169	Naranja/rojo	Cuarzo
			Albita
			Hematita
			Muscovita
			Clorita
Nazca IV	2385	Gris	Cuarzo
			Albita
			Muscovita

14) Cfr. M .Maggeti, "Rossmanith, Archaeometry of kaolinitic clays", *Revue d'archaeometry* III, suppl., 1981, pp. 185-194 y M .Gallart, M .Mata, "Análisis mineralógico de las cerámicas, *Bolskan: Revista de arqueología del Instituto de Estudios Altoaragoneses N° 12*, 1995, pp. 171-180.

Nazca V	2461	Naranja claro	Cuarzo
			Albita
			Hematita
			Mica

Tabla 3. Resultados de los análisis por Difracción de rayos X de las muestras Nasca.

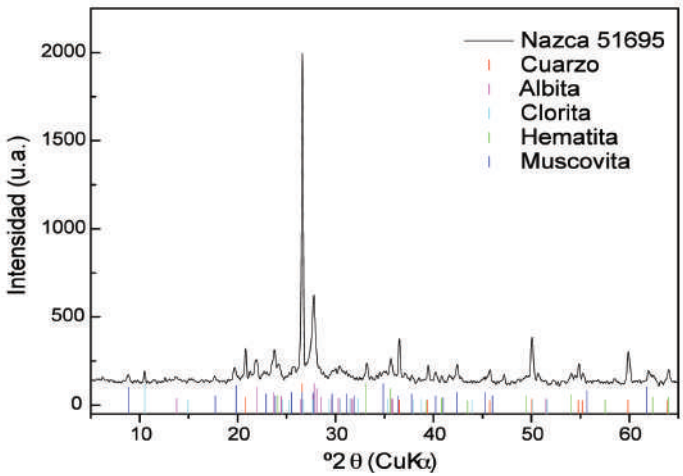


Figura 5. Difractograma de Rayos X de la muestra Nasca 5169.

Análisis por Espectroscopia Mössbauer

La Figura 6 presenta el espectro Mössbauer de la muestra 5169 como representativo de los espectros obtenidos. Todos los espectros muestran curvas que han sido desdobladas en seis curvas individuales utilizando el software PCMOS; tres de estas curvas presentan dobletes y las otras tres están constituidas de sextupletes magnéticamente desdoblados. Este mismo software calcula la contribución individual de las diferentes especies de hierro Fe(II), Fe(III), y fases magnéticas), encontrándose una contribución mayor de Fe(II) en las muestras de color oscuro, lo que sugiere que esta cerámica fue confeccionada en una atmósfera reductora. El ancho exagerado de los sextetos observados está

asociado a fases amorfas; lo que implicaría que la temperatura que se alcanzó en la cocción no fue ni lo suficientemente alta ni lo suficientemente prolongada para alcanzar buena cristalización.

A partir de las curvas individuales utilizadas en el ajuste se pudo determinar el desdoblamiento cuadrupolar promedio para los sitios ocupados por Fe(III) y Fe(II) en estado paramagnético para cada una de las muestras, Figura 7.

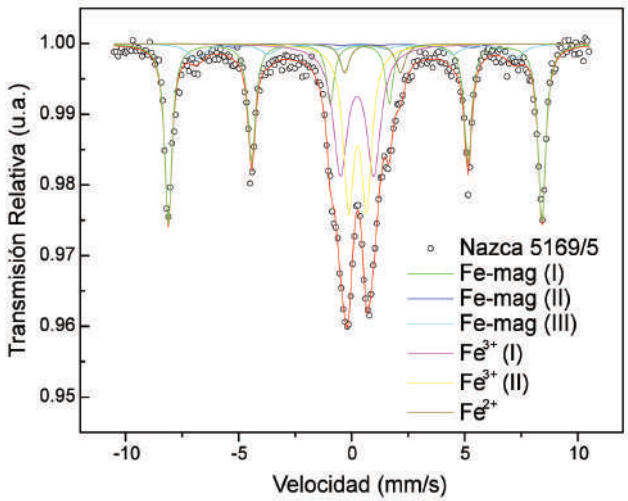


Figura 6. Espectro de la muestra Nasca 5169 a temperatura ambiente.

La muestra 5169 fue seleccionada para un tratamiento térmico en atmósfera oxidante a temperaturas de 300ºC a 1000ºC, con intervalos de 50ºC, 100ºC y 150ºC, con el objetivo de medir la variación con la temperatura de cocción de los parámetros hiperfinos. Esta muestra fue seleccionada por cumplir con dos criterios: i) por su mayor contenido de hematita bien cristalizada, que puede ser consecuencia de una mayor temperatura de cocción original, y ii) por contar con la cantidad de muestra requerida para realizar los procesos de recocido. Para este fin, las muestras fueron sometidas a tratamientos térmicos durante intervalos de 12 h, en cada temperatura. Los espectros fueron tomados a Temperatura Ambiente (TA), obteniéndose por ajuste el desdoblamiento cuadrupolar de los sitios

paramagnéticos, que luego se tabuló y graficó en función de la temperatura de calentamiento.

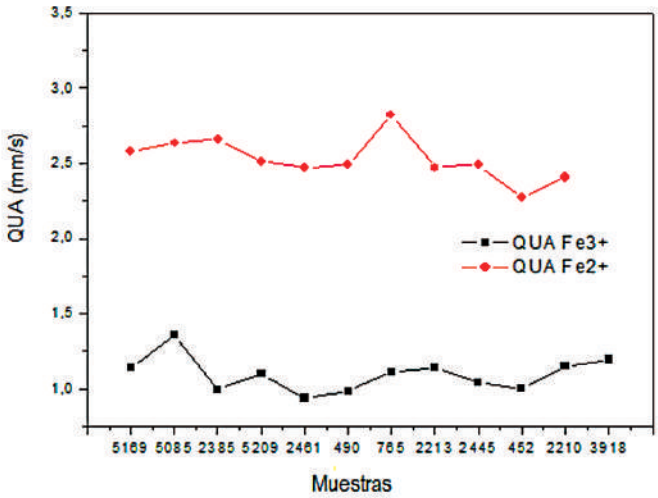


Figura 7. **Desdoblamiento cuadrupolar de los sitios paramagnéticos en las muestras.**

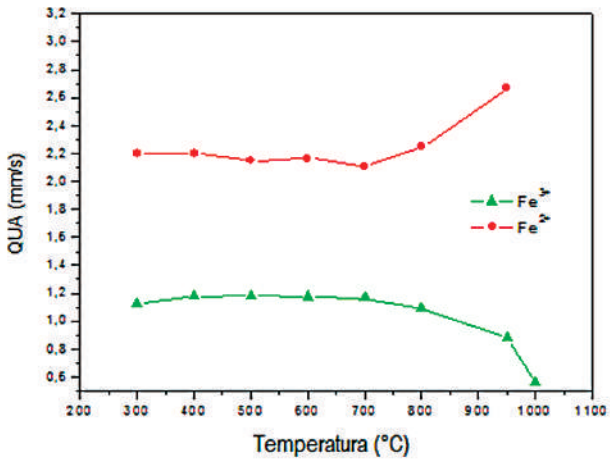


Figura 8. **Variación del desdoblamiento cuadrupolar de los sitios paramagnéticos en función de la temperatura para la muestra 5169.**

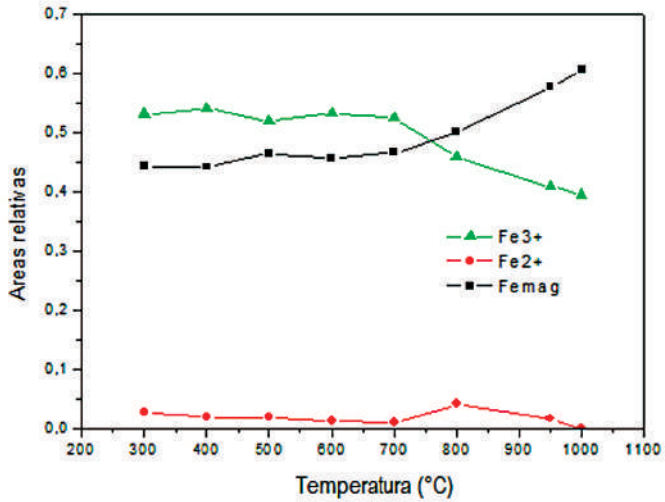


Figura 9. Variación de la ocupación de los sitios de Fe en función de la temperatura para la muestra 5169.

De la Figura 8, sobre la base de la variación del desdoblamiento cuadrupolar de los sitios de Fe(III), en el caso de la muestra 5169 se observa que a partir de 700ºC se inicia una tendencia a la disminución del valor del desdoblamiento cuadrupolar. En la Figura 9 se evidencia un incremento en la proporción de sitios ocupados por Fe(III) en estado magnético a partir de 700ºC. También se observa un aumento en el desdoblamiento cuadrupolar del sitio de Fe(II), lo cual estaría relacionado al colapso de las estructuras que soportan los cationes ferrosos. Este resultado parece indicar que la temperatura de cocción original para esta muestra fue próxima a 700ºC. A partir de 800ºC se nota una redistribución de los cationes Fe(III) magnéticos entre los tres sextetos, lo cual parece indicar que el mineral asociado a este sexteto es el más estable a mayores temperaturas. A 1000ºC, para ajustar el espectro, sólo fue necesario utilizar dos dobletes, asociados a Fe(III), y dos sextetos, debido a que ya no se observa material en estado amorfo o pobremente cristalizado.

La presencia de varias fases de hematita, que se manifiestan por la necesidad de utilizar de 2 a 4 sextetos para ajustar la componente magnética de los espectros Mössbauer de las muestras estudiadas puede estar relacionada al tratamiento térmico al que fueron sometidas estas muestras durante su cocción.

Conclusiones

Se ratificó la autenticidad de las muestras cedidas por el Museo de Arqueología y Antropología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Esta confirmación, realizada por termoluminiscencia y luminiscencia ópticamente estimulada fue necesaria como paso previo a la realización de las otras pruebas, debido a que por la belleza de la cerámica producida por los alfareros nasca ha sido objeto de copia o falsificación desde tiempos coloniales.

La DRX y la MET en su forma DEAS, permitieron identificar la mayoría de los componentes de las pastas de los fragmentos de ceramios estudiados. La presencia de algunas arcillas, observadas e identificadas por DRX, indicaría que ninguna de las muestras alcanzó temperaturas mayores a 900ºC durante su elaboración.

En todas las muestras se determinó la presencia de Illita, lo que sugiere que durante la cocción estas pastas no superaron los 800ºC por tiempos suficientemente prolongados. Los resultados hallados por espectroscopia Mössbauer sugieren igualmente que la temperatura de cocción original de la cerámica 5169 fue próxima a los 700ºC.

Bibliografía

Aitken, M., *Termoluminiscence Dating*, London Pulitzer, 1985.

Barone, G., Lo Giudice, A., Mazzoleni, P., Pezzino, A., Barilaro, D., Crupi, V., Triscari, M., "Chemical characterization and statistical multivariate analysis of ancient pottery from Messina, Catania, Lentini and Siracusa (Sicily)", *Archaeometry N° 47*, 2005, pp. 745-762.

Bøtter-Jensen, L., McKeever, S., Wintle, A., "Optically Stimulated Luminescence Dosimetry", *Elsevier Science*, 2003.

Feliu, M., Edreira, M., Martín, J., Application of physical–chemical analytical techniques in the study of ancient ceramics, Anal. Chim. Acta 502, 2004, pp. 241-250.

James, W., Dahlin, E., Carlson, D., "Chemical compositional studies of archaeological artifacts: Comparison of LA-ICP-MS to INAA measurements", *J. Radioanal. Nucl. Chem. N° 263*, 2005, pp. 697-702.

Gallart, M., Mata, M., "Análisis mineralógico de las cerámicas, *Bolskan: Revista de arqueología del Instituto de Estudios Altoaragoneses N° 12*, 1995, pp. 171-180.

Giakoumaki, A., Melessanaki, K., Anglos, D., "Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS)" in *Archaeological science - applications and prospects*, *Anal. Bioanal. Chem.*, *387*(3), 2007, pp. 749-760.

Jordán, M., Sanfeliú, T., De la Fuente, C., "Firing transformations of tertiary clays used in the manufacturing of ceramic tile bodies", *Appl. Clay Sci. N° 20*, 2001, pp. 87-95.

López, A., Santiago, J., "Estudio fractográfico y microcristalino de la pasta de la cerámica Nasca", *Rev. Soc. Quím. N°4(1), Perú*, 2008, pp. 24-29.

Maggeti, M., "Rossmanith, Archaeometry of kaolinitic clays", *Revue d'archaeometry* III, suppl., 1981, pp. 185-194.

Melessanaki, K., Mateo, M., Ferrence, S., Betancourt, P., Anglos, D., "The application of LIBS for the analysis of archaeological ceramic and metal artifacts", *Applied Surface Science***,** 2002, pp. 197-198; 156-163.

Pérez-Arantegui, J., Uruñuela, M., Castillo, J., "Roman Glazed Ceramics in the Western Mediterranean: Chemical Characterization by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry of Ceramic Bodies", *J. Archaeol. Sci. N° 23*, 1996, 903-914.

Pérez B., Alexcei, Análisis elemental semi-cuantitativo de la composición química de cerámicas arqueológicas usando la técnica LIBS, Tesis de Diploma en Física, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2009.

Pillay, A., "Analysis of archaeological artefacts: PIXE, XRF or ICP-MS?", *J. Radioanal. Nucl. Chem*. N° *247*, 2001, pp. 593-595.

Reindel, M., Isla, J., "Los Molinos y La Muña, Dos centros administrativos de la cultura Nasca en Palpa, costa sur del Perú", *Sonderdruck aus Beiträge zur Allgemeinen und Vergleichenden Archaeologie N° 21*, 2001, pp. 289-319.

Salazar, J., Vreeland, J., "Medida de las temperaturas de un horno artesanal de Mórrope, departamento de Lambayeque, utilizado para la fabricación tradicional de alfarería", *Bull. Inst. Fr. Études Andines N° 22*, 1993, pp. 685-699.

Sanhueza, L., Falabella, F., Fonseca, E., Andonie, O., *Aplicación de análisis de pastas microscópicos, petrográficos y de composición de elementos químicos al problema de la procedencia de cerámica en el periodo alfarero temprano de Chile central y Cuyo*, Estudios Atacameños N° 28, Argentina, 2004, pp. 121-132.

Santana, Gloria, "La datación por termoluminiscencia en los materiales cerámicos prehistóricos de Gran Canaria", *Vector plus N° 16*, 2000, pp. 47-55.

Silverman, Helaine, *Cahuachi in the Ancient Nasca World,* University of Iowa Press, Iowa City, 1993.

Speakman, R., Neff, H., "The Application of Laser Ablation-ICP-MS to the Study of Archaeological Materials-An Introduction", en *Laser Ablation-ICPMS in Archaeological Research*, R. Speakman, H. Neff Editors, University of New Mexico Press, Albuquerque, 2005, pp. 1-14.

Takano, M., Yawata, T., Hahimoto, T., "Luminescence dosimetry of archaeological and ceramic samples using a single-aliquot

regenerative-dose method", *J. Radioanal. Nuc. Chem. N° 255* (2), 2003, pp. 365-368.
Vaughn, K., Neff, H., "Moving beyond iconography: Neutron activation analysis of ceramics from Marcaya, Perú, an early domestic Nasca site", *J. Field Archaeol, N° 27*, 2000, pp. 75-90.
Vaughn, K., "Van Gijseghem H., "A compositional perspective on the origins of the "Nasca cult" at Cahuachi", *J. Archaeol. Sci. N° 34*, 2007, pp. 814-822.
Vinagre, U., Latini, R., Bellido, A., Buarque, A., Borges, A., "Ancient Ceramic Analysis by Neutron Activation in Association with Multivariate Methods", *Braz. J. Phys. N° 35*, 2005, pp. 779-781.
Vásquez, J., "Aproximación etnoarqueológica a la temperatura de cocción de la cerámica", *Gallaecia N° 22*, 2003, pp. 407-411.
Venkatachalapathy, R., Sridharan, T., Dhanapandian, S., Manoharan, C., *Determination of firing temperature of ancient potteries by means of infrared and Mossbauer studies*. Spectr. Letters, 35(6), 2002, pp. 769-779.
Vetter, L., Petrick, S., Huaypar, Y., Mac Kay, M., "Los hornos metalúrgicos del sitio Inca de Curamba (Perú): estudio por DRX, espectroscopia Mössbauer y datación por métodos de luminiscencia", *Bull. Inst. Fr. d'Études Andines N° 37* (3), 2008, pp. 451-475.
Wagner, U., "The Application of Mössbauer Spectroscopy to Archaeology", *Hyperfine Interactions N° 134*, 2004, pp. 1-253.

SIGLAS

AAN	Análisis por Activación Neutrónica
AAS	Atomic Absorption Spectroscopy
AANI	Activación Neutrónica Instrumental
ARCAL	Acuerdo Regional de Cooperación Técnica para América Latina y el Caribe
CChEN	Comisión Chilena de Energía Nuclear
CDTN	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
CEADEN	Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear
CICANUM-UCR	Centro de Investigación en Ciencias Atómicas Nucleares y Moleculares, Universidad de Costa Rica
CNEA	Comisión Nacional de Energía Atómica
DEAS	Difracción de Electrones de Áreas Selectas
DRX	Difracción de Rayos X
EAA	Espectroscopía de Absorción Atómica
EEO	Espectroscopia de Emisión Óptica
EM	Espectroscopía Mössbauer
EEP	Espectroscopia de Emisión con Plasma
ERX	Espectroscopía de Rayos X
FRX	Fluorescencia de Rayos X
ICP-MS	Espectrometría de Masas con Fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo
INNA	Instrumental Neutron Activation Analysis
ININ	Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
INPC	Instituto Nacional de Patrimonio Cultural
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
IPEN	Instituto Peruano de Energía Nuclear
LIBS	Laser-Induced Breakdown Spectroscopy
MET	Microscopía Electrónica de Transmisión
MURR	Missouri University Research Reactor Center
NIST	National Institute of Standard and Technology
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
PIXE	Proton-Induced X-Ray Emission
RLAHA	Research Laboratory for Archaeology and the History of Art
TA	Temperatura Ambiente
TLD	Termo-luminiscencia

Perfil de los autores

Institución: **Organismo Internacional de Energía Atómica**
Dirección: Centro Internacional de Viena. PO Box 100 A-1400
Viena - Austria
Teléfono: +43 1260028244
Página web: http://www.iaea.org
Persona de contacto: Román Padilla
R.Padilla-Alvarez@iaea.org

Román Padilla. Físico, graduado en la Universidad Estatal de Bielorusia en 1985 y Doctor en Ciencias por la Universidad de Amberes (Bélgica, 2005). Trabajó desde 1985 como investigador en el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN, La Habana, Cuba) y desde el 2008 trabaja en el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) como especialista en instrumentación nuclear. Durante veinticinco años se ha dedicado a la implementación, desarrollo y aplicación de técnicas analíticas nucleares en los campos de la salud, el medioambiente, la agricultura, la prospección de minerales radioactivos, la caracterización de obras de arte y hallazgos arqueológicos, así como de materias primas y productos industriales. Es autor de más de treinta publicaciones científicas y ha presentado cerca de cincuenta ponencias en eventos científicos.

Argentina

Institución: **Comisión Nacional de Energía Atómica**
Dirección: Av. del Libertador 8250
Buenos Aires - Argentina
Teléfono: +54 11 6779-8572
Fax: +54 11 6779-8126
Página web: http://www.cnea.gov.ar
Persona de contacto: Rita R. Plá
rpla@cae.cnea.gov.ar

Verónica Aldazabal. Doctora en Antropología de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires. Es investigadora adjunta del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET), en el Instituto Multidisciplinario de Historia y Ciencias Humanas (IMHICIHU). Sus principales líneas de investigación abarcan la arqueología de ambientes costeros y de las regiones de la Pampa Deprimida (provincia de Buenos Aires) y de Norpatagonia y también la arqueología naval. Es directora y/o colaboradora de varios proyectos de investigación relacionados con estos temas y autora de numerosos trabajos científicos, publicados y presentados en congresos.

Rodrigo Invernizzi. Técnico de laboratorio y estudiante avanzado de Química en la Universidad de Buenos Aires. Ingresó al Grupo Técnicas Analíticas Nucleares de la Comisión Nacional de Energía Atómica en 2002. Tiene experiencia en la caracterización de muestras biológicas y geológicas mediante Análisis por Activación Neutrónica Instrumental y también en el empleo de separaciones radioquímicas para la determinación de metales pesados en matrices biológicas. Participa en la evaluación de resultados analíticos empleando Análisis Multivariado.

Mónica Moreno. Técnica de laboratorio, miembro del Grupo Técnicas Analíticas Nucleares de la Comisión Nacional de Energía Atómica desde 1987. A partir de 1995, trabaja en la caracterización de muestras arqueológicas, especialmente cerámicas y muestras líticas, empleando la técnica de Análisis por Activación Neutrónica.

Rita R. Plá. Graduada en Química en la Universidad de Buenos Aires. Desde 1995 se desempeña como Jefe del Grupo Técnicas Analíticas Nucleares de la Comisión Nacional de Energía Atómica. A partir de 1980, trabaja en Análisis por Activación Neutrónica (AAN) y ha participado y/o coordinado numerosos proyectos de investigación nacionales e internacionales de aplicación de la técnica, especialmente en las áreas de contaminación ambiental, geología y arqueología. Se ha desempeñado como experta en aplicaciones ambientales de las técnicas nucleares y en evaluación e interpretación de datos de tales estudios, en diversos países de Latinoamérica y dictado numerosos seminarios, talleres y cursos. Es autora de numerosos trabajos publicados y presentados en congresos.

Brasil

Institución: **Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares**
Dirección: Av Prof. Lineu Prestes 2242, CEP 05508-000
São Paulo-Brasil
Teléfono: +55 11 3133-9984 (Cidade Universitária, USP)
Página web: www.ipen.br
Persona de contacto: Casimiro Munita
camunita@ipen.br

Casimiro S. Munita. Licenciado y Bachiller en Química. Magíster y Doctor en Tecnología Nuclear, con Pos Doctorado en Suiza (1988) y Bélgica (1991). Investigador nuclear en el Instituto de Investigaciones Energéticas y Nucleares, IPEN-CNEN/SP, desde 1975. Profesor titular en la Universidad de São Paulo, USP, en el área de Tecnología Nuclear, desde 1986 y en el Museo de Arqueología y Etnología de la USP, a partir de 2007. Profesor guía de alumnos de maestría, doctorado y pos doctorado en la Universidad de São Paulo, USP, desde 1986. Asesor científico del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, CNPq, Fundación de Amparo a la Investigación del Estado de São Paulo, FAPESP, Fundación de Amparo a la Investigación del Estado de Minas Gerais, FAPEMIG, Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA. Tiene experiencia en Química, radioquímica, uso de trazadores radioactivos, en muestras geológicas, arqueológicas y ambientales e interpretación de resultados por medio de métodos estadísticos avanzados.

Eduardo G. Neves. Formado en Historia por la Universidad de São Paulo y Doctor en Arqueología por la Universidad de Indiana, USA. Profesor a nivel de Graduación y Pos Graduación en el Museo de Arqueología y Etnología de la Universidad de São Paulo y en Ciencias del Ambiente de la Universidad del Estado de Amazonas. Es asesor de proyectos en la Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Sus estudios de investigación se focalizan en la Amazonia brasileña.

Kelly P. Nunes. Bachiller y Licenciada en Química por la Universidad Presbiteriana Mackenzie, São Paulo. Magister en Tecnología Nuclear y estudiante de Doctorado en Tecnología Nuclear en la Universidad de São Paulo. Su tesis de doctorado se relaciona con la caracterización físico química de cerámicas Marajoara.

Paulo M.S. Oliveira. Bachiller, Magister y Doctor en Estadística por la Universidad de São Paulo. Actualmente cursa Pos Doctorado en el Grupo de Estudios Arqueométricos del Instituto de Investigaciones Energéticas y Nucleares. Sus proyectos están direccionados en el área de probabilidad y estadística multivariada.

Eduardo K. Tamanaha. Graduado en Historia en la Pontificia Universidad Católica de São Paulo, 2006. Forma parte del Proyecto Amazonía Central que coordina el profesor Eduardo Góes Neves de la Universidad de São Paulo. Tiene experiencia en el área de Arqueología, con énfasis en Arqueología Amazónica. Actualmente cursa el Posgrado en el Museo de Arqueología y Etnología de la Universidad de São Paulo y realiza investigaciones vinculadas a la ocupación de grupos cerámicos policromos en el centro y sur del río Solimões.

Ecuador

Institución: **Instituto Nacional de Patrimonio Cultural**
Dirección: Av. Colón Oe-1-93 y Av. 10 de Agosto "La Circasiana"
Quito-Ecuador
Telefax: (593 2) 2227 297 / 2549 257 / 2227 969 / 2543 527
Página web: www.inpc.gob.ec
Persona de contacto: Martha Romero
mromero@inpc.gob.ec

María del Carmen Molestina. Licenciada en Historia Antigua por la Universidad de Navarra (España). Doctora en Historia Antigua, Universidad de Gaywood (Gran Bretaña). Candidata al Doctorado en Historia del Arte de la Universidad Nacional a Distancia (España)-Universidad de Navarra. Profesora asistente de Historia Antigua y Arqueología en la Universidad de Navarra. Fue Directora Nacional de los Museos del Banco Central del Ecuador, Jefe Nacional de Arqueología e Historia del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural y asesora de la Presidencia de la República y el Ministerio de Cultura. Catedrática de la Universidad San Francisco, Universidad del Pacífico y Universidad Internacional. Es autora de varios artículos publicados en revistas nacionales y extranjeras.

Martha Romero. Graduada en Química, en la Universidad Central de Ecuador en 1997. Investigadora responsable del Laboratorio de Química del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural desde 2002. Ha trabajado en el desarrollo e implementación de técnicas analíticas aplicadas a la caracterización físico-química de bienes arqueológicos como: textiles, metales y cerámica con el fin de conocer los materiales compositivos, técnicas de elaboración y origen de las materias primas.

México

Institución: **Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.**
Dirección: Carretera México-Toluca s/n, La Marquesa Ocoyoacac, México C.P. 52750
Teléfono: +52(55) 53297200
Página web: www.inin.gob.mx
Persona de contacto: Dolores Tenorio
dolores.tenorio@inin.gob.mx

Luis Carlos Longoria. Doctorado en Física Nuclear Imperial College, University of London, Inglaterra. Magíster en Tecnología Nuclear University of Surrey, Inglaterra. Dentro de sus estancias de investigación se destaca el Instituto Nuclear de Japón. Sus principales áreas de investigación: son la Física de las radiaciones, Ingeniería Nuclear, Técnicas Nucleares. Pertenece al sistema nacional de investigadores. Ha publicado treinta artículos científicos a nivel internacional. Ha dirigido tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias y de Ingeniería de México. Director de la división de Investigación Científica del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.

Fabiola Monroy. Investigadora del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares desde 1999. Realizó estudios de Ingeniería Química, Posgrado y Maestría en Ciencias Nucleares, en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), así como de doctorado en la Universidad de Paris XI, Francia. Es miembro de la Sociedad Química de México y presidenta de la División de Química Nuclear de dicha Sociedad desde 2002. Ha publicado numerosos artículos internacionales y nacionales sobre temas relacionados con la arqueometría, producción de radioisótopos y procesos radioquímicos útiles en ciencias ambientales, salud y química analítica. Ha formado recursos humanos en el ámbito de las Ciencias Nucleares y actualmente se desarrolla proyectos enfocados a la gestión de desechos radiactivos y al uso de técnicas nucleares en el análisis de diversos materiales.

María Dolores Tenorio. Magíster en Química Analítica y Control del Medioambiente, Doctorado en Ciencias Físicas y Doctorado en Química Analítica en la Universidad Louis Pasteur, Strasbourg Francia. Licenciada en Química por la Universidad Autónoma de Puebla México. Sus principales áreas de investigación son: Radioquímica, Colisiones Atómicas y Arqueometría. Ha publicado artículos científicos internacionales y nacionales y ha dirigido tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Participa en proyectos de investigación subvencionados por el

Consejo Técnico de Ciencia y Tecnología de México, Organismo internacional de Energía Atómica y la United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. Es investigadora y responsable de proyecto en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.

Perú

Institución: **Instituto Peruano de Energía Nuclear**
Dirección: Av. Canadá 1470, Lima 41
Lima-Perú
Teléfono: 0051-1-4885050 Anexo 235
Página web: http://www.ipen.gob.pe/site/index/index.htm
Persona de contacto: Julio Santiago Contreras
jsantiago@ipen.gob.pe

Javier Alcalde. Licenciado en Arqueología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Magíster en Arqueología Social Iberoamericana, Universidad Internacional de Andalucía, España. Fue Director del Museo de Arqueología y Antropología (UNMSM). Director General y Consultor Principal de Willca: investigación, evaluación y desarrollo en Patrimonio y Cultura. Asesor y ejecutor de proyectos relacionados a temas sociales, educativos y patrimoniales. Entre sus publicaciones se destaca: El Reposo del Badilejo: Reflexiones sobre conceptos, aplicaciones y realidades de la arqueología actual. Actualmente es docente de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Jorge Bravo. Magíster en Ingeniería Nuclear por la Universidad de California, Berkeley en 1964. Doctorado en Física, Universidad de Carolina del Norte, Raleigh en 1971. Profesor principal del Departamento Académico de Física Nuclear, Atómica y Molecular en la Facultad de Ciencias Físicas en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Responsable del Laboratorio de Arqueometría y del Laboratorio de Análisis de Suelos, Facultad de Ciencias Físicas. Sus líneas de investigación se relacionan a las Interacciones hiperfinas en sólidos, Estructura electrónica de átomos, Difractometría de Rayos X, Espectroscopía Mössbauer, Análisis Cuantitativo por Fluorescencia de Rayos X, Análisis mineralógico de suelos, Aplicaciones arqueométricas en suelos, metalurgia, pigmentos, entre otros.

Yeseña Huaypar. Licenciada en Física, Candidata a la Maestría en Física y Docente contratada, Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Fue asistente de investigación del Laboratorio de Arqueometría. Sus líneas de investigación son: Física de la materia condensada, Cambios estructurales en arcillas, Aplicaciones en Arqueometría. Actualmente se desempeña como Especialista en técnicas analíticas en la Empresa Buenaventura Ingenieros, Inc.

Alcides López. Físico y Doctor en Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería. Actualmente es Profesor de Física, Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería. Investigador, especialista en microscopía electrónica, de la División de Materiales de la Dirección de Investigación y Desarrollo del Instituto Peruano de Energía Nuclear.
Entre sus publicaciones recientes con otros especialistas se destacan: Caracterización de pigmentos aplicados en material arqueológico de la cultura Chincha por fluorescencia de rayos X y microscopia electrónica de transmisión. Análisis morfológico y microcristalino de la pasta de cerámicas de la Cultura Nasca, Informe científico Tecnológico 2006 IPEN. Nanostructured low crystallized titanium dioxide thin films with good photocatalytic activity. Estudio fractográfico y microcristalino de la pasta de la cerámica Nasca.

Paula Olivera de Lescano. Ingeniera Química. Estudios concluidos de la Maestría en Ciencias con mención en Energía Nuclear de la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima, Perú. Investigador analista de la División de Materiales de la Dirección de Investigación y Desarrollo del Instituto Peruano de Energía Nuclear. Especialista en Análisis por Fluorescencia de Rayos X. Miembro del Staff de profesores especializados en Técnicas Nucleares del Centro Superior de Estudios Nucleares.
Sus líneas de investigación se relacionan con la Aplicación de Técnicas Analíticas Nucleares en Arqueometría. Entre sus publicaciones se destacan: Building a bridge to the past: archaeometry at the ipen reactor. Identificación de pigmentos empleados en cerámica nasca ornamental por Difracción y Fluorescencia de Rayos X. Informe Científico Tecnológico 2008 Instituto Peruano de Energía Nuclear. Estudio arqueométrico de piezas metálicas provenientes del museo inka-UNSAAC, Informe Científico Tecnológico 2008 Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2009.

Susana Petrick. Licenciada en Física de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería. Doctora en Física del Centro Brasilero de Investigaciones Físicas. Profesora asociada de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú. Jefa del laboratorio de Física. Entre sus líneas de Investigación se destacan: Autenticación y fechado de cerámicas arqueológicas, Estudio estratigráfico de capas de pintura mural y de caballete, Estudios de Física aplicada en arqueología y restauración de bienes del patrimonio cultural.

Julio César Santiago. Químico por la Universidad de Neuchatel, Suiza, (1990), Doctor en Ciencias, Universidad de Neuchatel-Suiza (1995). Pos Doctorado en el Osaka National Research Institute, Japón, 1995-1998. Actualmente es Profesor Principal de Química Orgánica en la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Director del Instituto de Investigación de Ciencias Químicas. Investigador de la División de Materiales de la Dirección de Investigación y Desarrollo del Instituto Peruano de Energía Nuclear.
Publicaciones recientes: Nanostructured low crystallized titanium dioxide thin films with good photocatalytic activity. Actividad antioxidante de tres ecotipos de maca *(Lepidium meyenii walp)* tratada con radiación gamma. Efecto del isopropanol en la síntesis de nanopartículas de plata mediante radiación gamma. Fotodegradación de

azul de metileno usando hidrogeles de alcohol polivinílico con nanopartículas de TiO_2. Estudio fractográfico y microcristalino de la pasta de la cerámica Nasca.

Luisa María Vetter. Arqueóloga por la Pontificia Universidad Católica del Perú en 1993. Con estudios de posgrado en Ciencia de los Materiales en la Comisión Nacional de Energía Atómica CNEA en Argentina, 1996. Diplomada en Arqueometría por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y la Universidad Nacional de Ingeniería en 2005, y Magíster en Historia por la PUCP, 2007. Actualmente cursa el Doctorado en Historia con mención en Estudios Andinos en la PUCP. Investigadora asociada al Museo Nacional Sicán. Realiza diversos estudios sobre metalurgia precolombina y colonial temprana, con el fin de determinar los procesos de manufactura de objetos de metal. Participa en congresos internacionales con ponencias relacionadas a su especialidad. Ha publicado una treintena de artículos sobre arqueología y arqueometría peruana. Es coeditora del libro Puruchuco. Un homenaje a Arturo Jiménez Borja (Lima, 2004), autora de los libro Oro del Perú Antiguo (Lima, 2006), Plateros indígenas en el Virreinato del Perú: siglos XVI y XVII (UNMSM, 2008) y El Tupu: símbolo ancestral de identidad femenina (Lima, 2009).

GOBIERNO NACIONAL DE
LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

Ministerio Coordinador
de Patrimonio

Ministerio de Cultura
del Ecuador

ISBN 978-9978-92-968-1