

Caracterización química de la cerámica arqueológica de Cotahuasi mediante análisis por activación neutrónica

Patricia Bedregal*, Pablo Mendoza, Marco Ubillús, Eduardo Montoya
Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470 Lima 41, Perú

Resumen

Se ha determinado las concentraciones de As, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Na, Rb, Sb, Sc, Sm, Th, Yb, en 121 fragmentos de cerámicos arqueológicos encontrados en el valle de Cotahuasi, mediante análisis por activación neutrónica instrumental, según el método *k-subcero*. Se ha comparado los resultados con la composición química elemental de la cerámica Tiwanaku y la cerámica Wari de Ayacucho y Cusco, encontrándose que los grupos de Ayacucho, Cotahuasi, Cusco y Tiwanaku se encuentran separados en el espacio composicional. El análisis estadístico multivariado, indica que la cerámica de estilo Wari encontrada en Cotahuasi es de fabricación local, mientras que una parte de la cerámica Inca, encontrada en Cotahuasi habría sido importada de Cusco.

Abstract

The concentrations of As, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Na, Rb, Sb, Sc, Sm, Th, Yb, in 121 archaeological pottery fragments found in Cotahuasi Valley, have been determined by k_0 – based INAA. The results have been compared against the chemical composition of the archaeological pottery from Tiwanaku, Wari – Ayacucho and Wari – Cusco. It had been found that these groups are well separated in the compositional space. Multivariate statistical analysis indicates that the Wari style pottery found in Cotahuasi had been made locally, while a fraction of the Inca style pottery could be imported from Cusco.

1. Introducción

El análisis por activación neutrónica instrumental (AANI) juega un rol importante en la caracterización química de la cerámica arqueológica. Su aplicación en arqueología data del año 1957 con los trabajos pioneros de Sayre y otros [1,2]. Desde aquella época se han realizado varios refinamientos tecnológicos en cuanto a avances en la instrumentación, que han abierto el camino a una aplicación productiva y accesible del AANI en investigaciones arqueológicas. Los esfuerzos de investigadores como Rands y Bishop, *et al.* que trabajaron conjuntamente con químicos analíticos demostraron la relevancia de los datos obtenidos de los análisis para problemas arqueológicos específicos y ayudaron a establecer el AANI como una parte integral importante del grupo de técnicas utilizadas en arqueología [3].

Desde mediados de los años 70 el AAN ha sido la técnica preferida para resolver preguntas arqueológicas relacionadas a procedencia y uso de la materia prima, así como al comercio e intercambio de las cerámicas [4]. Los resultados obtenidos de la caracterización, permiten a los arqueólogos

resolver preguntas respecto a la ubicación de áreas de producción prehistórica, la identificación de rutas de comercio e intercambio de materias primas y artefactos arqueológicos, así como determinar el origen de piezas individuales, encontradas en sitios lejanos [5].

En cuanto a la cerámica del valle de Cotahuasi, nos hacemos las siguientes preguntas: ¿Es la cerámica químicamente diferente a la de otras regiones? ¿Es local o importada? ¿Cuál es su procedencia? El AANI brinda la posibilidad de resolver estas preguntas mediante la determinación cuantitativa de elementos como arsénico, hierro, lantano, cromo, cerio, cesio, bario, escandio, rubidio, cobalto, samario, etc., permitiendo describir la pasta cerámica y hacer inferencias de carácter social o económico.

La técnica de AANI, consiste en la irradiación de una muestra con neutrones para hacerla radioactiva y la medición de los rayos gamma emitidos por dicha muestra radiactiva, para identificar y cuantificar los diferentes elementos presentes. Esta técnica

* Correspondencia autor: pbedregal@ipen.gob.pe

tiene algunas ventajas sobre otras de caracterización de cerámica arqueológica, tales como: a) está libre de interferencias por efectos de matriz, b) presenta una alta sensibilidad permitiendo analizar elementos a nivel de trazas, c) mínima manipulación de la muestra antes de la irradiación, reduciendo el riesgo de contaminación y pérdida de muestra, y 4) se la puede aplicar sin necesidad de disolver la muestra. El método del *k-subcero* [6, 7], a diferencia del método comparativo, utiliza un solo comparador, simplificando el proceso de análisis.

En este artículo se presentan los resultados del análisis de 121 muestras de cerámicos, provenientes del valle de Cotahuasi y se comparan con la composición química elemental de la cerámica Tiwanaku y la cerámica Wari de Ayacucho y Cusco.

2. Parte experimental

Procesamiento de las muestras: Se limpió la superficie de las zonas seleccionadas en cada fragmento cerámico y con un taladro con broca de carburo de tungsteno se hicieron incisiones en dichas zonas, extrayendo y recolectado el polvo en papel de pesada. En los casos en que se pudo disponer del fragmento, se colocó una porción del mismo en un recipiente conteniendo nitrógeno líquido, con la finalidad de fragilizarlo y facilitar su molienda en un mortero de ágata.

La cantidad de muestra extraída en forma de polvo, fue colocada en frascos limpios de vidrio, puesta a secar en una estufa calibrada a 105°C por 24 horas y luego homogenizada. Para el análisis, se pesaron aproximadamente 250 mg del polvo cerámico seco en viales de polietileno rotulados y luego se sellaron. Se utilizaron como comparadores, láminas de zinc en forma de discos de 0.010 gramos de masa y 6 mm de diámetro [8].

Irradiación y Medición: Los comparadores se insertaron entre las muestras colocadas apiladas en una cápsula para irradiación de polietileno, la que se envió a la posición B-1 de la grilla del núcleo del reactor RP-10 para ser irradiada por 30 minutos a 10 MW de potencia, con un flujo nominal de neutrones térmicos de $1.9 \cdot 10^{13}$ n-cm⁻²s⁻¹ y un flujo de neutrones epitérmicos de $3.2 \cdot 10^{11}$ n-cm⁻²s⁻¹. Después de 5 días de decaimiento se realizó una primera medición por 5000 – 6000

segundos utilizando un detector de Germanio hiperpuro GeHP (Canberra GC 1518; eficiencia relativa = 15%, FWHM = 1.8 keV en el pico 1332.5 keV ⁶⁰Co). Los comparadores se midieron por 1000 segundos después de 6 días de decaimiento. Estas mediciones se hicieron a 58.2 mm de distancia del detector, determinándose los siguientes nucleidos: ⁷⁶As, ⁴²K, ¹⁴⁰La, ²⁴Na, ²³⁹Np, ¹²²Sb, ¹⁵³Sm e ¹⁷⁵Yb. Después de 15-17 días de decaimiento se realizó una segunda medición por 10000 segundos, utilizando un detector GeHP (Canberra GC 7019; eficiencia relativa = 70%, FWHM = 1.9 keV en el pico de 1332.5 keV ⁶⁰Co). Los comparadores se midieron por 600 segundos, después de 10 días de decaimiento. En este caso la distancia del detector fue de 12.5 mm. Los nucleidos determinados fueron ¹³¹Ba, ¹⁴¹Ce, ⁶⁰Co, ⁵¹Cr, ¹³⁴Cs, ¹⁵²Eu, ⁵⁹Fe, ¹⁸¹Hf, ¹⁷⁷Lu, ¹⁴⁷Nd, ⁸⁶Rb, ⁴⁶Sc, ⁸⁵Sr, ¹⁸²Ta, ¹⁶⁰Tb y ²³³Pa. El análisis de los espectros se realizó utilizando el programa Genie 2000 (v 2.1) de Canberra y para el cálculo de las concentraciones de los elementos se utilizó un programa desarrollado en el laboratorio, escrito en Visual Basic.

Aseguramiento de la calidad de los resultados: Cada muestra se analizó por duplicado. Cada 12 muestras problema, se analizó una réplica del material de referencia New Ohio Red Clay, empleando el mismo procedimiento [3,9].

Análisis estadístico: Los resultados analíticos, expresados en unidades logarítmicas, se procesaron mediante los métodos estadísticos de clasificación jerárquica, extracción de componentes principales y clasificación de especímenes usando la distancia de Mahalanobis. Después de una etapa de análisis preliminares, se seleccionaron los elementos: Ce, Cr, Fe, Hf, La, Sc, Sm, Th. La razón de la selección fue que este conjunto de elementos produjo un juego de componentes principales, linealmente independientes, tal que los tres primeros lograron describir el 88 % de la varianza observada en los datos. Los grupos de cerámica Tiwanaku y cerámica Wari de Ayacucho y Cusco, que se usaron como grupos de referencia, se tomaron de un trabajo anterior [10].

3. Resultados y discusión

El aseguramiento de la calidad de los datos analíticos es una condición ineludible a la elaboración de inferencias arqueológicas a partir de dichos datos. En la tabla 1 se muestra los resultados obtenidos en el presente trabajo y los reportados por Kuleff *et al.* [9], Bishop [3] y Sharrat *et al.* [11] para el material de referencia New Ohio Red Clay.

En la tabla 1 se puede observar que los resultados obtenidos por nuestro laboratorio concuerdan satisfactoriamente con los de las referencias [3,9]. Esto confirma la validez del método de *k-subcero*, ya que los resultados de las referencias [3,9] fueron obtenidos mediante el método tradicional de AANI. También pueden observarse, para algunos elementos, diferencias notables entre los resultados de AANI y los de ICP- Laser Ablation.

Los resultados de la composición química elemental típica, de los grupos de referencia de la cerámica arqueológica de los sitios de Cotahuasi, Ayacucho (Wari), Cusco (Wari) y Tiwanaku se muestran en la tabla 2, para los

elementos determinados. Para la zona de Cusco se encontró tres grupos de referencia, de diferente composición química. Dado que en todos los casos se empleó el material de referencia New Ohio Red Clay, para el aseguramiento de la calidad de los resultados analíticos, se pudo verificar la consistencia de los datos obtenidos entre 1995 y 1999, para los grupos de referencia [10] y los obtenidos en el año 2008, para las muestras estudiadas en este trabajo.

Es útil comparar la composición de la cerámica Wari de Ayacucho con los datos de AANI que aparecen en la tabla II del artículo de Dussubieux *et al.* [12]. Esta comparación se presenta en la tabla 3 y es notorio el parecido químico entre los grupos representados en las dos primeras columnas de datos. De la tabla 3, se puede inferir que, para los elementos determinados en el presente trabajo, el grupo Wari 1 de la referencia [12] correspondería a la cerámica de Conchopata. Este hallazgo constituye evidencia adicional de la adecuada exactitud de los datos analíticos reportados en este trabajo.

Tabla 1. Resultados obtenidos para el material de referencia New Ohio Red Clay, por AANI y por ICP-Laser Ablation (última columna).

Elemento	Resultados obtenidos (mg / kg)			
	Este trabajo (n = 10)	Kuleff y otros [9] (n variable)	Bishop [3] (n > 100)	Sharratt y otros [11] (n = 21)
As	14.4 ± 0.87	14.1 ± 0.9	14.2 ± 0.56	10.8 ± 4.9
Ba	600 ± 47	668 ± 43	690 ± 53	580 ± 45
Ce	108.0 ± 3.0	109.7 ± 6.5	105.8 ± 2.3	96 ± 11
Co	23.3 ± 0.6	20.2 ± 1.3	20.6 ± 0.5	24.0 ± 1.2
Cr	85.8 ± 16	90.7 ± 7.4	90 ± 3	93.2 ± 3.3
Cs	9.9 ± 0.35	10.6 ± 0.7	10.18 ± 0.32	10.14 ± 0.49
Eu	1.69 ± 0,05	1.54 ± 0.14	1.456 ± 0.039	1.57 ± 0.29
Fe	50200 ± 1255	53300 ± 2000	51600 ± 1100	40400 ± 1900
Hf	6.81 ± 0,22	7.16 ± 0.84	7.43 ± 0.26	5.51 ± 0.92
La	48.3 ± 1.2	50.9 ± 3.1	54.6 ± 1.2	39.9 ± 4.3
Lu	0.64 ± 0,03	0.64 ± 0.14	0.663 ± 0.046	0.500 ± 0.040
Na	1490 ± 42	1400 ± 70	1440 ± 30	1400 ± 270
Nd	48 ± 18	42.3 ± 2.8	45 ± 7	35.0 ± 5.0
Rb	181 ± 14	184 ± 16	201 ± 12	190 ± 11
Sb	1.07 ± 0,10	1.39 ± 0.09	1.49 ± 0.10	1.16 ± 0.14
Sc	18.6 ± 0.45	18.95 ± 1.17	17.78 ± 0.29	19.65 ± 0.97
Sm	8.5 ± 0.20	8.0 ± 0.6	8.28 ± 0.28	7.0 ± 1.4
Ta	1.38 ± 0,10	1.65 ± -0.21	1.457 ± 0.082	NR
Tb	1.04 ± 0,16	1.06 ± 0.04	1.11 ± 0.13	0.96 ± 0.12
Th	14.6 ± 0.38	15.1 ± 0.8	15.28 ± 0.33	13.9 ± 1.6
U	2.84 ± 0.48	2.96 ± 0.34	2.62 ± 0.44	3.05 ± 0.22
Yb	4.36 ± 0,19	4.27 ± 0.16	4.43 ± 0.22	3.32 ± 0.36
Zn	103 ± 2.6	101 ± 6.0	NR	116.8 ± 8.6

NR: No reportado

Tabla 2. Valores promedio de concentración elemental de los grupos de referencia de la cerámica estudiada. Datos de Fe y Na en %. Otros datos en mg / kg.

	Cotahuasi (CH) n = 63	Wari Ayacucho (ACW) n = 12	Tiwanaku (TW) n = 20	Wari Cusco grupo 1 (CU1) n = 10	Wari Cusco grupo 2 (CU2) n = 09	Wari Cusco grupo 3 (CU3) n = 14
	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$
As	12 \pm 20	12.7 \pm 3.8	31 \pm 29	16.2 \pm 7.3	12.2 \pm 7.8	11.5 \pm 3.6
Ba	1040 \pm 190	560 \pm 130	980 \pm 460	780 \pm 190	1200 \pm 320	850 \pm 230
Ce	95 \pm 18	55.6 \pm 4.2	88 \pm 20	96 \pm 15	55.3 \pm 9.9	45.6 \pm 5.2
Co	12.4 \pm 4.02	11.1 \pm 1.6	17.9 \pm 7.6	26.9 \pm 8.7	17.0 \pm 2.0	16.0 \pm 3.8
Cr	21.0 \pm 4.7	28.4 \pm 3.8	58.5 \pm 8.0	105 \pm 20	14.2 \pm 3.4	32.7 \pm 3.9
Cs	7.6 \pm 2.3	8.32 \pm 0.75	15.3 \pm 7.9	10.7 \pm 2.0	6.3 \pm 1.6	6.7 \pm 1.9
Eu	1.44 \pm 0.32	0.76 \pm 0.16	1.31 \pm 0.37	1.43 \pm 0.20	1.21 \pm 0.21	0.92 \pm 0.21
Fe	3.19 \pm 0.36	2.51 \pm 0.18	4.31 \pm 0.31	5.38 \pm 0.28	5.06 \pm 0.86	4.16 \pm 0.36
Hf	7.71 \pm 0.94	4.48 \pm 0.19	6.9 \pm 1.1	6.9 \pm 1.3	5.19 \pm 0.82	4.9 \pm 1.0
La	47.6 \pm 9.3	26.9 \pm 1.9	45 \pm 11	46.0 \pm 7.8	27.4 \pm 4.2	21.9 \pm 2.9
Na	1.67 \pm 0.25	1.39 \pm 0.24	1.34 \pm 0.35	0.85 \pm 0.26	1.58 \pm 0.39	1.92 \pm 0.47
Rb	120 \pm 18	173 \pm 17	137 \pm 28	148 \pm 32	88 \pm 10	80 \pm 12
Sb	1.2 \pm 1.0	1.05 \pm 0.10	1.78 \pm 0.76	2.12 \pm 0.58	0.85 \pm 0.24	1.14 \pm 0.40
Sc	10.8 \pm 1.2	9.19 \pm 0.78	15.3 \pm 1.2	17.23 \pm 0.59	12.5 \pm 1.2	12.55 \pm 0.90
Sm	6.8 \pm 1.8	4.57 \pm 0.29	7.3 \pm 1.8	7.9 \pm 1.0	5.52 \pm 0.81	4.06 \pm 0.60
Th	16.7 \pm 2.8	15.7 \pm 1.4	14.0 \pm 1.9	17.1 \pm 3.3	6.75 \pm 0.75	7.6 \pm 1.1
Yb	2.50 \pm 0.54	2.15 \pm 0.28	3.28 \pm 0.32	3.86 \pm 0.71	3.03 \pm 0.40	2.22 \pm 0.30

Tabla 3. Concentraciones elementales de los grupos Wari, obtenidos por AANI, reportados en el presente trabajo y en [12]. Datos de Fe y Na en %. Otros datos en mg / kg.

	Wari Ayacucho (ACW) n = 12	Wari 1 [12]	Wari 2 [12]	Wari 3 [12]
	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$	Promedio $\pm \sigma$
As	12.7 \pm 3.8	12.5 \pm 2.9	18.6 \pm 2.4	9.6 \pm 3.7
Ba	560 \pm 130	450 \pm 140	550 \pm 160	720 \pm 300
Ce	55.6 \pm 4.2	56.3 \pm 5.6	115.6 \pm 4.6	75 \pm 24
Co	11.1 \pm 1.6	8.60 \pm 0.60	9.6 \pm 1.3	5.1 \pm 0.15
Cr	28.4 \pm 3.8	25.1 \pm 2.2	22.0 \pm 2.0	27.7 \pm 3.0
Cs	8.32 \pm 0.75	10.30 \pm 0.52	13.60 \pm 0.82	7.300 \pm 0.073
Eu	0.76 \pm 0.16	0.900 \pm 0.045	1.400 \pm 0.042	1.100 \pm 0.066
Fe	2.51 \pm 0.18	2.39 \pm 0.17	2.05 \pm 0.12	2.26 \pm 0.25
Hf	4.48 \pm 0.19	4.200 \pm 0.084	8.8 \pm 0.35	6.30 \pm 0.25
La	26.9 \pm 1.9	25.6 \pm 1.3	52.40 \pm 0.51	41.6 \pm 5.8
Rb	173 \pm 17	170.4 \pm 5.1	209 \pm 6.3	113.2 \pm 3.4
Sb	1.05 \pm 0.10	1.000 \pm 0.080	0.900 \pm 0.063	0.600 \pm 0.042
Sc	9.19 \pm 0.78	8.90 \pm 0.62	12.30 \pm 0.49	6.90 \pm 0.76
Sm	4.57 \pm 0.29	5.05 \pm 0.20	10.90 \pm 0.22	5.80 \pm 0.35
Th	15.7 \pm 1.4	16.10 \pm 0.32	24.60 \pm 0.42	19.3 \pm 2.1
Yb	2.15 \pm 0.28	2.00 \pm 0.22	5.40 \pm 0.11	1.50 \pm 0.18

La figura 1, presenta un ejemplo de separación del grupo de Cotahuasi y los grupos de referencia, para el caso del par Fe – La. A su vez, las figuras 2 - 4 muestran la diferencia entre los 06 grupos de referencia, empleando los tres primeros componentes

principales. Dichos componentes, calculados a partir de las concentraciones de Ce, Cr, Fe, Hf, La, Sc, Sm y Th, describen en conjunto el 87.98 % de la varianza observada en los datos.

Se ha obtenido las probabilidades de pertenencia de los fragmentos de cerámica

incluidos en el presente estudio, a cada uno de los 06 grupos empleados como referencia. Las distancias consideradas son las de Mahalanobis. Las muestras de estilo Inca no se usaron para definir el grupo composicional local. Es notorio que 96 de las 121 muestras

de cerámica, encontradas en el valle de Cotahuasi, presentan probabilidades significativas ($P > 5\%$) de pertenencia al grupo principal de composición química de dicho valle (CH).

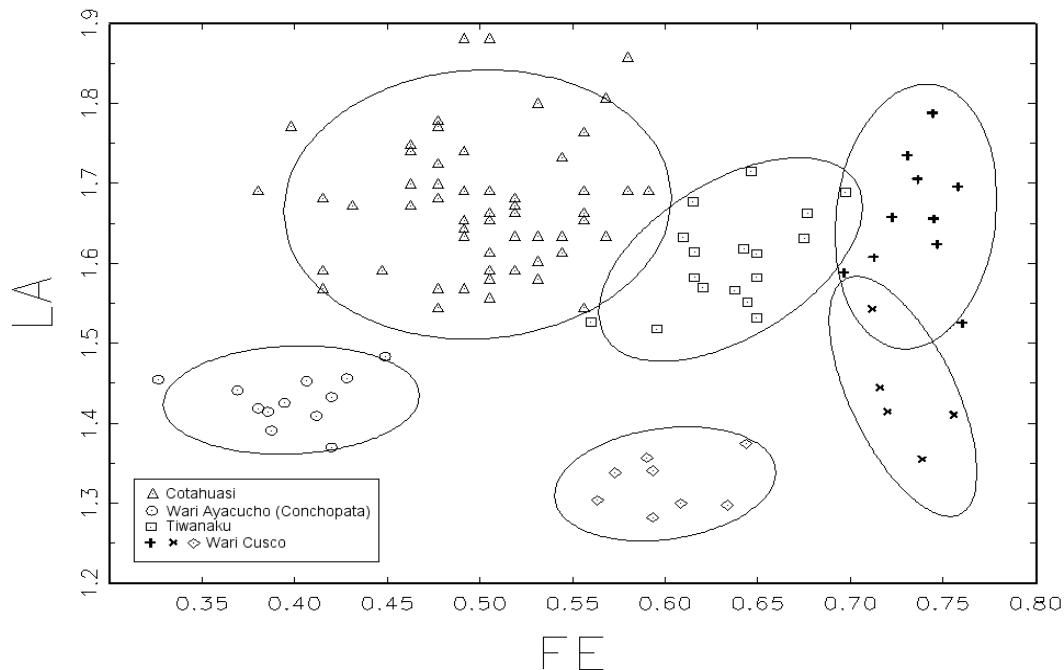


Figura 1. Distribución composicional de los grupos de cerámica en el plano Fe – La. Las concentraciones están en escala logarítmica. Las elipses de probabilidad corresponden a niveles de confianza de 90% en cada variable.

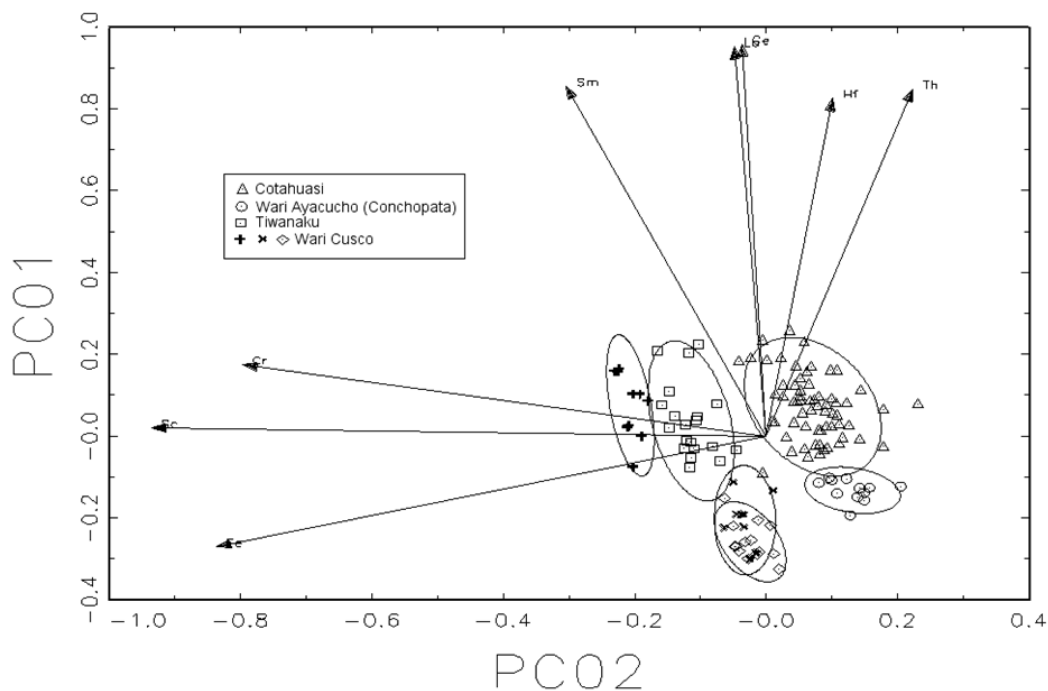


Figura 2. Distribución composicional de los grupos de cerámica en el plano de los componentes principales PC1 y PC2. Dichos componentes describen el 50.76 % y 29.62 % de la varianza observada. Las elipses de probabilidad corresponden a niveles de confianza de 90% en cada variable.

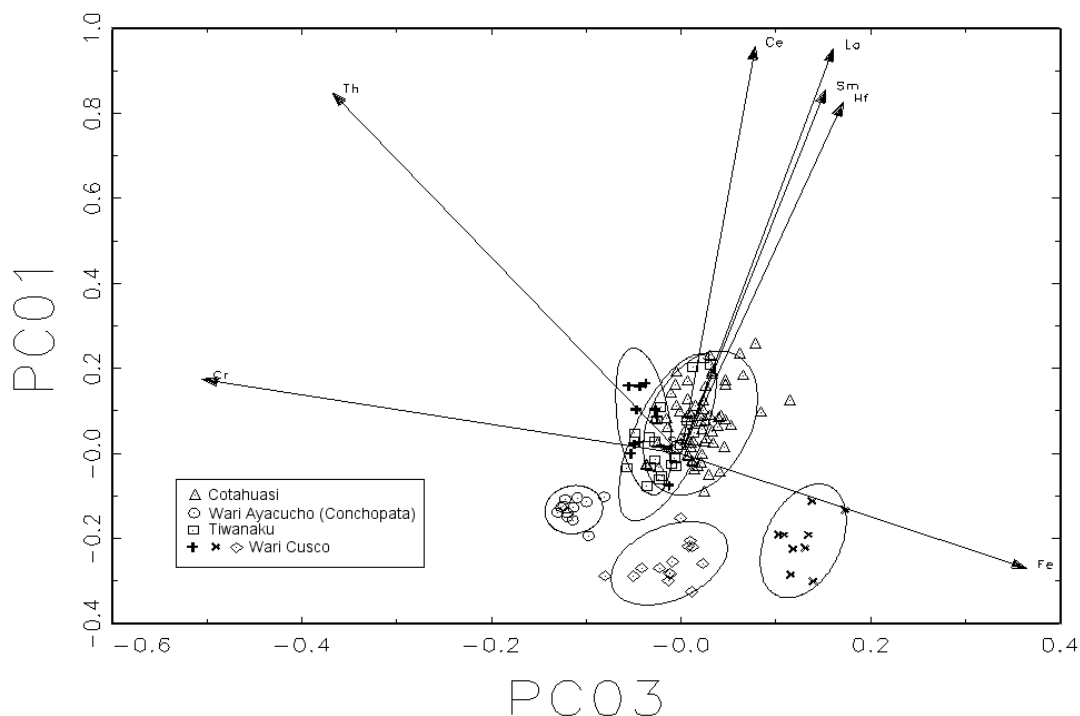


Figura 3. Distribución composicional de los grupos de cerámica en el plano de los componentes principales PC1 y PC3. Dichos componentes describen el 50.76 % y 7.60 % de la varianza observada. Las elipses de probabilidad corresponden a niveles de confianza de 90% en cada variable.

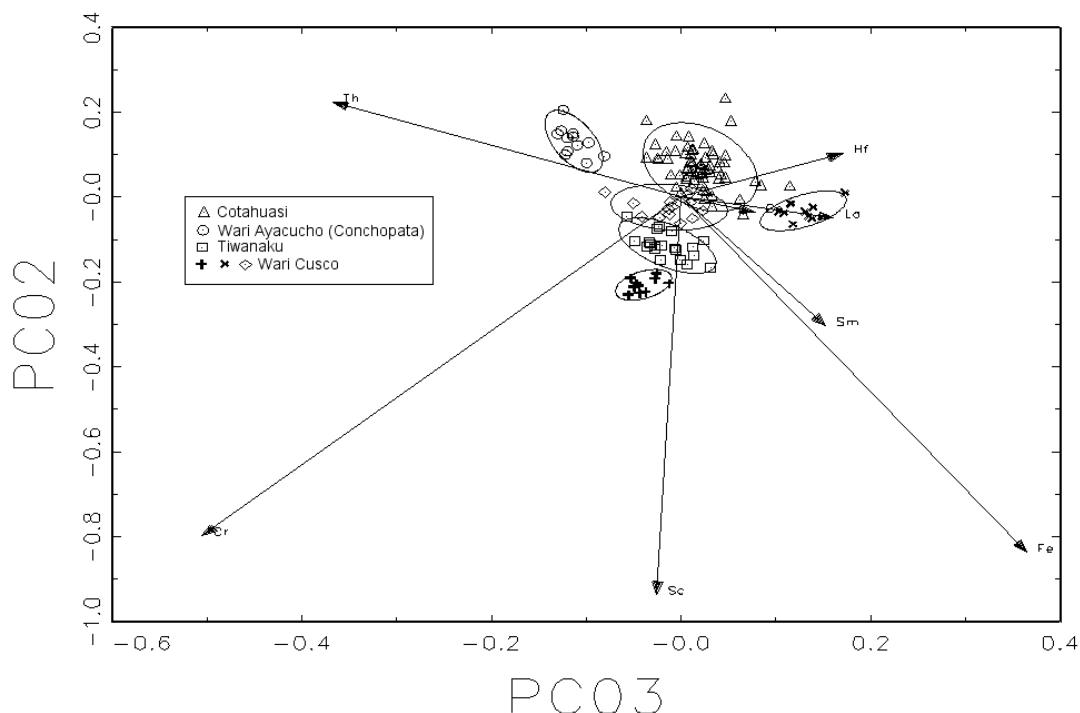


Figura 4. Distribución composicional de los grupos de cerámica en el plano de los componentes principales PC2 y PC3. Dichos componentes describen el 29.62 % y 7.60 % de la varianza observada. Las elipses de probabilidad corresponden a niveles de confianza de 90% en cada variable.

En los resultados de probabilidad de pertenencia de las muestras de cerámica, relativas a los 06 grupos de referencia considerados CH: Cotahuasi; ACW: Ayacucho Conchopata Wari; TW: Tiwanaku; CU1 – CU3: Cusco 1 – Cusco 3, se observa

que los siguientes 09 casos, presentan probabilidades muy bajas ($P \leq 5\%$) de pertenecer a cualquiera de los grupos de referencia mencionados:

- Las muestras 2C-24-3 y 16110.1, de estilo

Tarhuara, presentan probabilidades de pertenencia al grupo composicional CH, de $P = 4.351 \%$ y $P = 4.426 \%$, respectivamente. Por otra parte, dado que se trata de un estilo utilitario, ambas muestras tienen que ser definitivamente consideradas como de fabricación local.

- Las muestras 2D-107-6, 8038.1 y 10011.3, de estilo Huayllura, presentan probabilidades de pertenencia al grupo composicional local de Cotahuasi (CH) de $P = 4.145 \%$, $P = 1.443 \%$ y $P = 0.000 \%$, respectivamente. Al mismo tiempo presentan probabilidades de pertenencia al grupo composicional CU2, de Cusco, de $P = 3.714 \%$, $P = 4.745 \%$ y $P = 2.913 \%$, respectivamente. Las muestras 2D-107-6 y 8038.1 representan un problema, ya que su composición cae simultáneamente en los extremos de los grupos composicionales local (CH) y de Cusco (CU2). Dado que estas dos muestras tienen bajas probabilidades de pertenencia a cualquiera de los grupos mencionados, es preferible dejarlas sin clasificar, puesto que no contribuyen a dilucidar la procedencia de las muestras de estilo Inca, encontradas en Cotahuasi. Por otra parte, la muestra 10011.3 parece corresponder al grupo composicional de Cusco.
- La muestra 2D-120-6, de estilo Tarcanya, presenta una probabilidad baja de pertenecer al grupo CU2 de Cusco ($P = 0.911 \%$) y probabilidades despreciables ($P < 0.061 \%$) de pertenecer a cualquier otro de los grupos de referencia. Así, aunque esta muestra podría haber sido fabricada en Cusco, lo más seguro es dejarla sin clasificar.
- La muestra 12B-261-10, de estilo Chapi, presenta una probabilidad de pertenecer al grupo CU2, de $P = 4.998 \%$. Aunque este valor está justo por debajo del límite inferior considerado ($P = 5.000 \%$), parece claro que la muestra 12B-261-10 pertenecería al mencionado grupo composicional de Cusco, ya que presenta probabilidades despreciables de pertenencia a cualquiera de los otros grupos considerados.
- Las muestras 6C-2261 y 24013.1, de estilos Alcollaca y Pullhuay, respectivamente, deberían y parecen ser de procedencia local, a pesar de sus bajas probabilidades de pertenencia ($P = 3.757 \%$ y $P = 1.968 \%$,

respectivamente).

Adicionalmente, se observa que las siguientes 05 muestras de la cerámica encontrada en Cotahuasi, presentan un comportamiento atípico:

- La muestra 2C-71-2, clasificada estilísticamente como Sayhua con influencia Pukara, presenta una probabilidad significativa de pertenecer al grupo composicional CU2, de Cusco ($P = 31.365 \%$). Al mismo tiempo, presenta probabilidades despreciables de pertenecer a cualquiera de los otros grupos de referencia considerados. La composición peculiar de esta muestra podría estar relacionada con el período cultural (Cerámica Inicial - Formativo) al que se encuentra asociada.
- La muestra 6B-221-1, clasificada estilísticamente como Runarina, presenta una afinidad composicional significativamente mayor ($P = 10.771 \%$) con el grupo CU2, de Cusco, que con el grupo local CH ($P = 0.793 \%$). Otras dos muestras analizadas de estilo Runarina (2A-189-1, 2A-200-4), pertenecen claramente al grupo composicional local.
- La muestra 3017.10, clasificada estilísticamente como Canllapampa, presenta una afinidad composicional significativamente mayor ($P = 15.390 \%$) con el grupo CU2, de Cusco, que con el grupo local CH ($P = 2.855 \%$).
- La muestra 19127.15, clasificada estilísticamente como Tarhuara, presenta una afinidad composicional significativamente mayor ($P = 10.630 \%$) con el grupo CU2, de Cusco, que con el grupo local CH ($P = 4.126 \%$).
- La muestra 26006.1, clasificada estilísticamente como Chapi, presenta una afinidad composicional ligeramente mayor ($P = 7.920 \%$) con el grupo de Tiwanaku, que con el grupo CU2 de Cusco ($P = 6.120 \%$).

En el caso de las muestras atípicas 6B-221-1, 3017.10 y 19127.15, se esperaba que hubieran correspondido al grupo composicional de Cotahuasi (CH). Una posible causa del comportamiento atípico, podría ser que existe un cierto grado de parecido químico entre los grupos composicionales de Cusco, Cotahuasi y

Tiwanaku, tal como se puede observar en la figura 3. La hipótesis del parecido químico explicaría parcialmente el comportamiento de la muestra 19127.15, ya que Tarhuara es un estilo utilitario local y no tendría sentido clasificarla como un fragmento fabricado fuera de Cotahuasi; sin embargo, otro factor a considerar en este caso es que la cerámica Tarhuara está hecha de pasta de textura gruesa y la inclusión de antiplásticos, como por ejemplo arena, puede tener influencia apreciable en la composición. El parecido químico entre los grupos de Cusco, Cotahuasi y Tiwanaku, también podría explicar la ambigüedad observada en la procedencia de la muestra 26006.1.

En el caso de la muestra de estilo Canllapampa, codificada como 3017.10, las probabilidades de pertenencia indican que podría tratarse de un cerámico Wari fabricado en Cusco.

De esta manera, y adoptando una política conservadora, 96 de las 121 muestras estudiadas, quedan consistentemente clasificadas como locales. Otras 09 quedan sin clasificar debido a sus bajas probabilidades de pertenencia a los grupos de referencia considerados. A éstas últimas, habría que añadir las 05 muestras que presentan un comportamiento atípico.

Analizando con mayor detalle la cerámica encontrada en el valle de Cotahuasi, se observa lo siguiente:

- Con excepción del fragmento 3017.10, todas las muestras de los estilos Canllapampa, Condorsayhua y Fiuri corresponden al grupo composicional local. De éstas, 07 presentan probabilidades de pertenencia entre $P = 11.006\%$ y $P = 31.183\%$, mientras que las 29 restantes presentan probabilidades de pertenencia mayores que $P = 31.183\%$ ($\pm 1\sigma$). De esto se puede inferir que las muestras de estilos Wari, encontradas en el valle de Cotahuasi, son de fabricación local. No se ha encontrado evidencia de una eventual presencia de cerámica Wari fabricadas en Ayacucho, aunque esto no descarta la posibilidad.
- Con respecto a los 41 fragmentos de cerámica Inca, que corresponde a los estilos Chapi, Huayllura, Sojra y Tarcanya, se observa que 24 de ellos pertenecen al grupo

composicional local y otros 11 al grupo composicional CU2, de Cusco. Las 06 restantes presentan bajas probabilidades de pertenencia ($P \leq 5\%$) a cualquiera de los grupos de referencia y se han descrito anteriormente. La presencia de un número de casos de cerámica Inca, pertenecientes a un grupo composicional de cerámica de Cusco, sugiere que dichas cerámicas se habrían fabricado en Cusco y llevado en algún momento a Cotahuasi.

Con excepción de los casos atípicos 2C-71-2 (Sayhua), 6B-221-1 (Runarina) y 19127.15 (Tarhuara), todas las muestras analizadas, de los estilos Aicano, Sayhua, Pullhuay, Tarhuara, Accomarca, Ischuloma, Runarina, Callpana y Allcullaca, se clasifican consistentemente como pertenecientes al grupo composicional local. Esto sigue siendo cierto para los casos 2C-24-3, 16110.1, 6C-2261 y 24013.1, que presentan bajas probabilidades de pertenencia. Los estilos mencionados cubren los períodos culturales Formativo, Horizonte Medio e Intermedio Tardío.

4. Conclusiones

La cerámica analizada del valle de Cotahuasi es de composición química local, incluyendo la de estilo Wari encontrada.

Parte de la cerámica Inca, encontrada en Cotahuasi, habría sido importada de Cusco.

Con la técnica de AANI, método *k-subcero*, también se obtienen resultados confiables para aplicaciones en arqueológicas.

5. Referencias

- [1] Sayre EV, Dodson R W. Am. J. Archaeol. 1957; 61:35.
- [2] Sayre EV, Murrenhoff A, Weick Ch. The Nondestructive analysis of ancient potsherds through neutron activation. Upton (NY): Brookhaven National Laboratory. 1958 Apr. Report No. BNL 508. Patrocinado por: United States Atomic Energy Commission.
- [3] Bishop RL. Instrumental neutron activation analysis of archaeological ceramics: Progress and challenges. En: International Atomic Energy Agency. Technical Reports Series No. 416. Vienna:

IAEA; 2003. p. 35-44.

[4] Bishop RL, Blackman MJ. Instrumental neutron activation analysis of archaeological ceramics: Scale and interpretation. *Acc. Chem. Res.* 2002; 35(8):603-610.

[5] Glascock MD, Neff H. Neutron activation analysis and provenance research in archaeology. *Meas. Sci. Technol.* 2003; 14:1516-26.

[6] De Corte, F. The k_0 standardization method. *Habil. Thesis, University of Ghent.* 1987.

[7] Montoya E, Mendoza P, Bedregal P, Cohen IM. The development of the k_0 method in Peru: Past, present and future perspectives. *Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A.* DOI: 10.1016/j.nima.2010.04.005.

[8] Bedregal P, Mendoza P, Ubillús M, Montoya E. k_0 -INAA method accuracy using Zn as comparator. *Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A.* DOI: 10.1016/j.nima.2010.01.043.

[9] Kuleff I, Djingova R. Mean elements determined in Ohio Red Clay. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.* 1998; 237(1-2):3-6.

[10] Montoya E, Glowacki M, Zapata J, Mendoza P. Chemical characterization of archaeological ceramics using k_0 -based INAA: A study in the production and distribution of middle horizon pottery from Cuzco, Peru. En: International Atomic Energy Agency. Nuclear analytical techniques in archaeological investigations. Technical Report Series No. 416. Vienna: IAEA; 2003. p. 163-183. Ver también: Montoya E, Glowacki M, Zapata J, Mendoza P. Caracterización de cerámicos Wari mediante análisis por activación neutrónica. *Revista de la Sociedad Química del Perú.* 2009; 75(4): 473-478.

[11] Sharratt N, Golitko M, Williams PR, Dussubieux L. *Geoarchaeology.* 2009; 24(6): 792-820.

[12] Dussubieux L, Golitko M, Williams PR, Speakman RJ. Laser Ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry analysis applied to the characterization of peruvian Wari ceramics. En: ACS Symposium Series 968: Archaeological Chemistry – Analytical Techniques and Archaeological Interpretation. Chapter 19. 2007.