

## ESTUDIO FRACTOGRÁFICO Y MICROCRISTALINO DE LA PASTA DE LA CERÁMICA NASCA

Alcides López Milla,<sup>a,b\*</sup> Julio Santiago Contreras<sup>a,c</sup>

### RESUMEN

En este trabajo se reporta el estudio morfológico y microscópico de fragmentos de 10 vasijas cerámicas provenientes de la cultura Nasca. El estudio morfológico de la pasta, realizado con un microscopio estéreo de 20X, sugiere que durante la fase V de la evolución de Nasca, se logró el mayor grado de tecnificación o dominio en la elaboración de estas pastas. Los resultados obtenidos por la microscopía electrónica de transmisión ha detectado la presencia de illita en todas las muestras, lo que sugiere que la temperatura de cocción a la que fueron sometidos los fragmentos analizados no superó los 800°C.

**Palabras clave:** cerámicas, Nasca, microscopía electrónica de transmisión.

### FRACTOGRAPHIC AND MICROCRYSTALLINE STUDY OF NASCA CERAMICS PASTE

#### ABSTRACT

The fractographic and microcrystalline study of the paste of 10 samples from Nasca pottery is reported. The fractographic study, using a stereo microscope (x20), indicates that during the phase V of Nasca evolution the highest level of technique was reached. Illite was detected by transmission electron microscope and electron diffraction, suggesting the firing temperature in the preparation of the ceramics did not exceed 800°C.

**Key words:** ceramics, Nasca, paste, transmission electronic microscopy

#### 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 solo a través de estudios arqueológicos rigurosos. Para su análisis se toman en cuenta la forma, acabado superficial y la composición de la pasta a simple vista, permitiendo clasificar a determinada cultura lo que nos da un diagnóstico valioso para poder comparar secuencias de los períodos y relaciones sociales tanto en el exterior como en el interior. Sin embargo, muchas veces las diferencias de pasta de uno a otro cerámico se ven iguales a simple vista con mínimas diferencias. En este caso es necesario recurrir a técnicas analíticas para

---

<sup>a\*</sup> Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Lima 41, Perú, alopez@ipen.gob.pe

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima 25, Perú

<sup>c</sup> Fac. Química e Ing. Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima 1, Perú

encontrar características específicas entre cerámicos que permitan correlacionar la pertenencia a una cultura o su procedencia, dando información de los intercambios culturales y comerciales ocurridos<sup>1</sup>.

En el análisis de un cerámico se debe diferenciar el estudio de los pigmentos utilizados y de los componentes de la pasta. Para un estudio de procedencia, generalmente se analiza las diferencias encontradas en la composición elemental de la pasta de un gran grupo de cerámicos, empleando para ello herramientas estadísticas (análisis multivariado) en base a la identificación de ciertos elementos presentes en ellos<sup>2-4</sup>. Entre las técnicas analíticas que permiten la caracterización elemental de la pasta de cerámicos tenemos el Análisis por Activación Neutrónica (AAN)<sup>3,4</sup>, la Espectrometría de Emisión Óptica de Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES)<sup>5,6</sup> y la Espectrometría de Masas de Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-MS)<sup>7-9</sup>. Estas técnicas son multielementales y tienen alta sensibilidad.

Adicionalmente, la pasta puede ser estudiada por diferentes técnicas que hacen uso de microscopios. Estas técnicas son variadas y tienen un carácter no destructivo; su fácil manejo y los bajos costos de la microscopía de luz<sup>1,10</sup>, permiten realizar análisis de muestras o fragmentos de ellas. Se puede observar las características de la matriz, pero sobre todo la naturaleza y características de los agregados presentes en ella. De otro lado, la observación de láminas delgadas de la pasta entre 0,003 y 1.00 mm de espesor, a través de un microscopio con luz polarizada, constituye la técnica conocida como petrografía y permite identificar los minerales utilizados en su fabricación así como los procesos sufridos por los tratamientos térmicos<sup>10-13</sup>.

Otras técnicas microscópicas más sofisticadas son la Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y la Microscopía Electrónica de Transmisión (MET); ambas técnicas dan información sobre la morfología de la pasta a escalas mucho más pequeña que la microscopía de luz. Adicionalmente, cuando la MEB y la MET están acoplados a un analizador elemental por espectroscopía de rayos X característicos (EDX) permite la caracterización de los elementos presentes en la zona de estudio<sup>11,14</sup>. La MET permite también determinar la microestructura cristalina aprovechando la difracción de los electrones<sup>15</sup>. Es una técnica costosa, pero en cambio requiere de cantidades pequeñísimas de muestras, del orden de los  $\mu\text{g}$  y permite obtener información sobre los compuestos cristalinos presentes en los materiales estudiados. Es decir, se puede realizar una caracterización mineralógica de gran parte de ellos, así como estimar el tamaño de partícula, densidad, permeabilidad, porosidad, calidad de mezclado, calidad del calcinado, entre otras. Tanto la MEB como la MET se han empleado con éxito en numerosos estudios de identificación de muestras arqueológicas<sup>16-19</sup>. Hay que recalcar que la información obtenida por la difracción de electrones es complementaria con la información obtenida por la difracción de rayos X.

En este trabajo se presentan los resultados del estudio morfológico de 10 fragmentos de vasijas cerámicas de la cultura Nasca, realizado por microscopía de luz y el estudio microcristalino de la pasta de dichos fragmentos por MET en sus modos de imagen y de difracción de electrones. 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. Esta cultura floreció entre los años 200 y 800 D.C. Es particularmente conocida por los grandes geoglifos (líneas de Nasca)

encontrados en las pampas de Nasca. Su cerámica se caracterizó por el policromismo y su buen acabado, los que se clasifican en nueve fases de desarrollo. La cerámica Nasca, proveniente de los sitios de Marcaya y Cahuachi, está siendo actualmente estudiada por AAN y LA-ICP-MS<sup>4,20,21</sup>.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Origen de las muestras arqueológicas

Las muestras estudiadas corresponden a fragmentos de vasijas cerámicas halladas en la región costera del valle de Nasca, Ica, y fueron cedidos por el Museo de Arqueología y Antropología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Los códigos de las muestras que se usan en este trabajo son los mismos códigos del museo.

### Análisis morfológico y fractográfico por microscopía de luz

Las zonas fragmentadas de las muestras fueron limpiadas con aire comprimido seco y filtrado; posteriormente, lavadas con un chorro de agua destilada y finalmente secadas. Se observaron estas zonas mediante un microscopio estereó MEIJI EMT de 20X y se registraron las imágenes con una cámara digital.

### Preparación de las muestras para análisis por MET

Las muestras fueron limpiadas con aire comprimido para eliminar el polvo y material contaminante; la parte fracturada fue la zona elegida para la extracción de la muestra. Una vez elegida la zona representativa, se hizo un decapado de aproximadamente 0,5mm de espesor con ayuda de una fresa carburada de forma esférica de 2mm de diámetro, montado sobre un taladro miniatura de velocidad variable. La muestra a ser estudiada por MET fue preparada a partir del polvo obtenido con la fresa en la zona decapada de la muestra. Posteriormente se añadió agua para formar una suspensión y luego decantar las partículas más grandes. Una gota de esta suspensión fue colocada sobre una rejilla portamuestras estándar para microscopía electrónica de 300 mesh con membrana de parlodion, dejándolo secar una hora a temperatura ambiente. La muestra se analizó con un Microscopio Electrónico de barrido-transmisión, STEM EM400 Philips, operando a 80kV,

Los análisis fueron realizados tanto en el modo **Imagen** como en el modo de **Difracción de Electrones de Área Selecta** (DEAS). En el análisis se miden las distancias interplanares de cada familia de planos de los componentes cristalinos de cada muestra y se relacionan con el tipo de fases cristalinas presentes<sup>22</sup>.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis morfológico y fractográfico por microscopía de luz

Las imágenes de las fracturas transversales de los fragmentos de la cerámica Nasca, pertenecientes a las fases II-VIII, son mostradas en las figuras 1 y 2. La muestra 2213 (fase II) presenta granos oscuros de aprox. 0,50mm de diámetro promedio y también granos oscuros de aprox. 0,05mm. La pasta es porosa y poco homogénea en su preparación, indicando un pobre dominio de la técnica alfarera.

Las muestras 2445 y 5085, pertenecientes a la fase III, presentan abundancia de granos oscuros que se encuentran en un rango muy marcado entre 0,05 y 0,10mm. Se nota también la presencia de granos incoloros con aspecto de cuarzo de aprox. 1,00mm de diámetro. La pasta muestra ser homogénea en su preparación y en la calcinación.

Las muestras 2385 y 1584, pertenecientes a la fase IV, presentan granos oscuros aglomerados de hasta 3mm, predominando los granos oscuros entre 0,05 y 0,10mm. Se nota también la presencia de granos incoloros con aspecto de cuarzo de aprox. 0,50mm de diámetro. La pasta muestra ser poco homogénea en su preparación y en la calcinación.

Las muestras 452 y 3918, de la fase V, presentan aglomerados de granos finos oscuros de menos de 1mm, abundancia de granos claros y oscuros que se encuentran en un rango muy marcado entre 0,05 y 0,10mm. La pasta se presenta muy homogénea y cuidadosa en su preparación; la calcinación es muy homogénea y la porosidad muy baja. Estas cualidades y la fineza del trabajo demuestran un alto desarrollo de la técnica alfarera.

Las muestras 2210 y 490, de la fase VII, presentan aglomerados mayores a 5mm, mostrados con tonalidades diferentes al de la matriz, los mismos que sugieren indicar poco cuidado en la homogenización de la pasta al momento de su preparación. Se nota abundancia de granos claros y oscuros que se encuentran en un rango muy marcado entre 0,05 y 0,10mm. La calcinación es bastante homogénea y la porosidad alta. Estas cualidades de la pasta demuestran poco dominio o cuidado en la fabricación.

La muestra 765, de la fase VIII, presenta abundancia de granos claros y oscuros que se encuentran en un rango muy marcado entre 0,05 y 0,20mm. No se aprecian aglomerados de rango amplio, los mismos que sugieren indicar mucho cuidado en la homogenización de la pasta al momento de su preparación. La calcinación es muy homogénea y la porosidad baja, lo que muestra un buen dominio de la técnica alfarera.



Muestra 2213 (Periodo II)

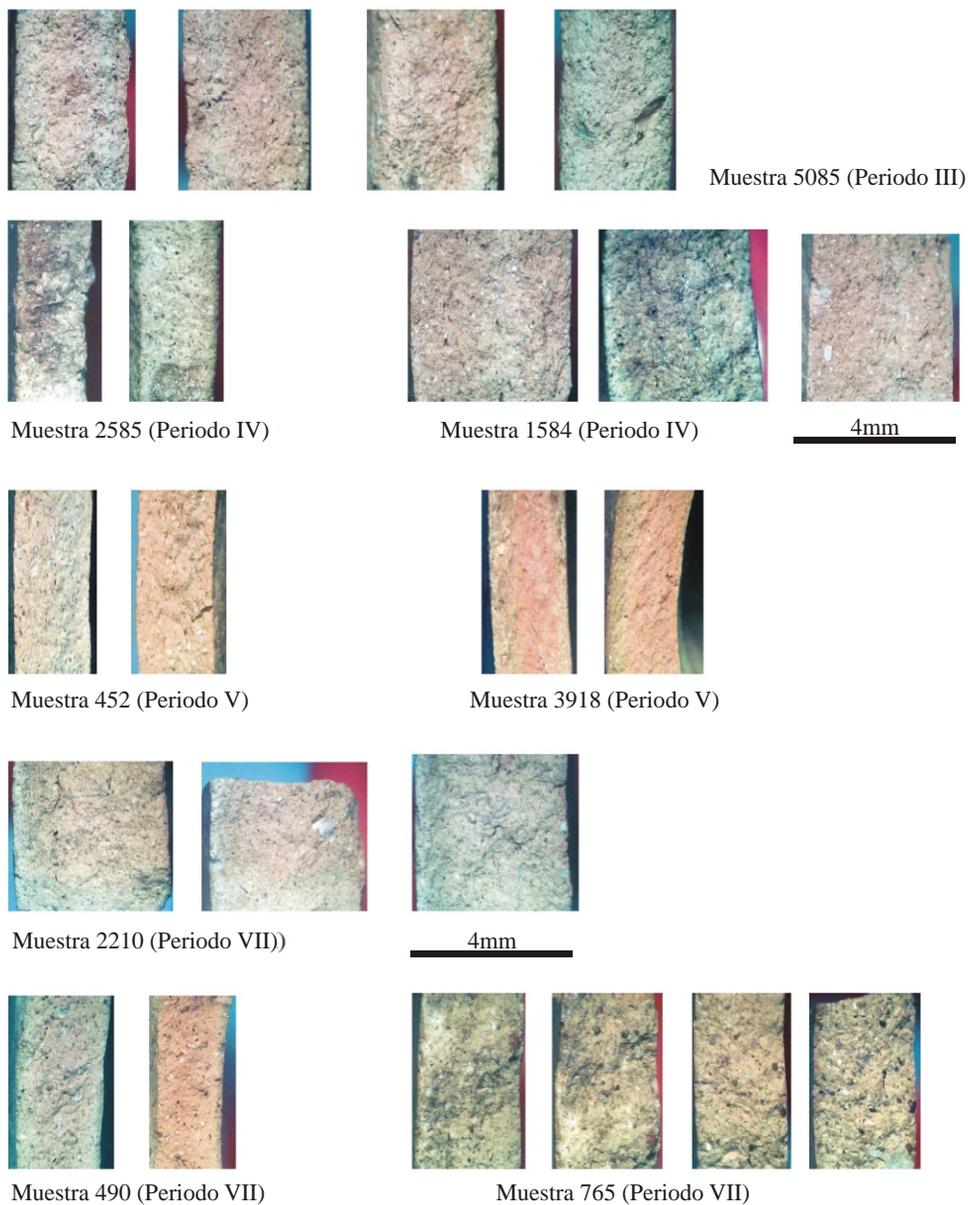


Muestra 2445 (Periodo III)

(Figura 1)

sigue ...

... viene

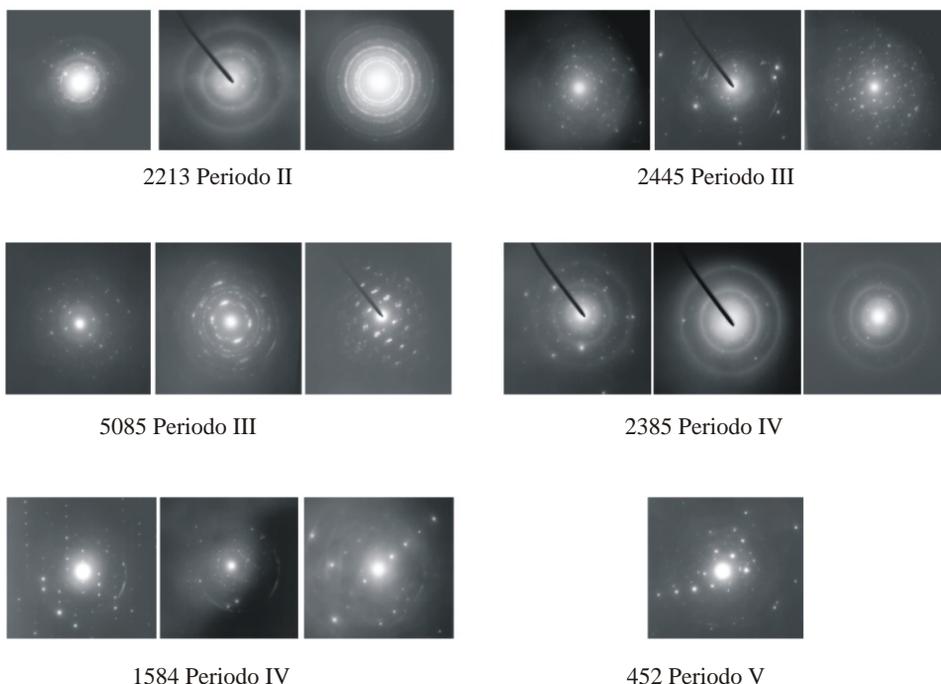


**Figura 1.** Fractografías, obtenidas a la misma ampliación con microscopio de luz, de fracturas diversas correspondientes a 10 fragmentos de cerámicas Nasca de las fases II-VIII.

### Análisis de las muestras por MET

En el análisis de la muestra en el modo imagen, se pudo apreciar una gran cantidad de partículas de aspecto inorgánico de tamaño muy pequeño y algunos de forma acicular. La cristalinidad de estas partículas ha sido confirmada mediante el análisis de los patrones de difracción de electrones de área selecta aplicada en ellos, figura 2. A partir de estos patrones de difracción se han identificado un gran número de distancias interplanares, tabla 1. Estas distancias constituyen rasgos característicos de cada muestra, mientras más altos sean sus valores son más discretos entre ellos y pueden servir para identificarlos en la base de datos del Joint Committee on Powder Diffraction Standards JCPDF <sup>22</sup>. Con esta metodología se ha determinado los minerales mostrados en la tabla 2.

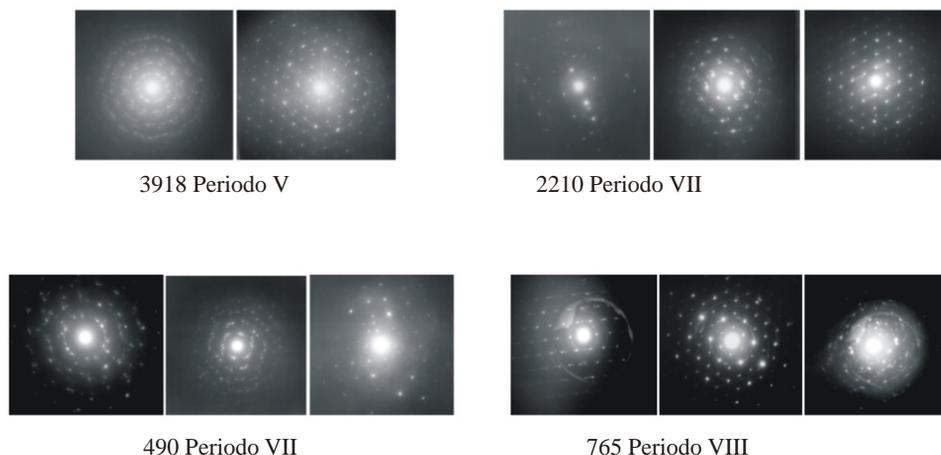
En todas las muestras se han encontrado componentes comunes como: el cuarzo, illita [ $K_{0,5}(Al, Mg, Fe)_3(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$ ], y dos tipos de micas: la lepidonita (K-Mg-Fe-Al-Si-O-H<sub>2</sub>O) y la lepidomelana (KMgAlFe<sub>2,3</sub>O<sub>13</sub>.86H<sub>2</sub>O). La lepidomelana se ha encontrado en los fragmentos catalogados con criterios arqueológicos como pertenecientes a las fases tempranas (II-IV), mientras que la lepidonita se ha encontrado en fases posteriores (IV-VII). Algunos de los fragmentos también presentaban arcillas como la nontronita ( $Na_{0,3}Fe_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2.nH_2O$ ) y montmorillonita ( $(Na, Ca)_{0,3}(Al, Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2.nH_2O$ ), y la ferripirofilita ( $Fe_2Si_4O_{10}(OH)_2.4H_2O$ ).



(Figura 2)

sigue ...

... viene



**Figura 2.** Patrones de difracción de electrones de área selecta de las diez muestras indicadas debajo de cada grupo de patrones.

**Tabla 1.** Distancias interplanares cristalinas de las muestras arqueológicas (nm)

| 2213 |      |      |      |      | 2445 |      |      | 5085 |      |      |      | 2585 |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 4,17 | 2,75 | 4,73 | 2,25 | 4,09 | 5,18 | 4,08 | 5,62 | 3,89 | 4,40 | 3,52 | 4,35 | 4,20 | 3,85 | 4,44 |
| 3,56 | 2,39 | 4,25 | 1,94 | 3,56 | 4,79 | 3,64 | 4,18 | 3,39 | 4,27 | 3,39 | 4,16 | 3,73 | 3,18 | 2,51 |
| 3,48 | 2,10 | 3,63 | 1,38 | 2,84 | 4,47 | 3,49 | 3,92 | 2,86 | 4,07 | 2,99 | 3,79 | 2,47 | 2,86 | 2,15 |
| 3,38 | 2,05 | 3,17 | 1,11 | 2,35 | 4,06 | 3,10 | 3,77 | 2,72 | 3,85 | 2,27 | 3,68 | 2,16 | 2,72 | 2,00 |
| 3,13 | 1,99 | 2,71 | 0,98 | 2,30 | 3,86 | 2,80 | 3,56 | 2,51 | 3,77 | 2,22 | 3,44 | 1,96 | 2,31 | 1,94 |
| 2,95 | 1,87 | 2,62 | 0,91 | 2,24 | 3,58 | 2,73 | 3,34 | 2,36 | 3,69 | 2,09 | 3,31 | 1,76 | 2,22 | 1,77 |
| 2,90 | 1,80 | 2,40 | 0,88 | 2,03 | 3,29 | 2,47 | 3,08 | 2,22 | 3,44 | 2,07 | 3,19 | 1,61 | 2,03 | 1,65 |
| 2,68 | 1,78 | 2,13 | 0,85 | 2,01 | 2,76 | 2,39 | 2,80 | 2,01 | 3,27 | 2,03 | 3,05 | 1,51 | 1,87 | 1,48 |
| 2,56 | 1,70 | 1,95 | 2,25 | 1,97 | 2,54 | 1,96 | 2,43 | 1,93 | 3,15 | 1,98 | 2,96 | 1,41 | 1,61 | 1,44 |
| 2,33 | 1,64 | 1,81 | 1,94 | 1,95 | 2,46 | 1,76 | 2,37 | 1,88 | 2,95 | 1,79 | 2,87 | 1,21 | 1,58 | 1,26 |
| 2,25 | 1,62 | 1,76 | 1,38 | 1,88 | 2,32 | 1,69 | 2,16 | 1,80 | 2,65 | 1,76 | 2,73 | 1,16 | 1,44 | 1,20 |
| 2,10 | 1,50 | 1,71 | 1,11 | 1,73 | 2,24 | 1,54 | 2,10 | 1,76 | 2,55 | 1,73 | 2,45 | 1,09 | 1,39 | 1,12 |
| 2,02 | 1,47 | 1,67 | 0,98 | 1,55 | 2,16 | 1,52 | 2,06 | 1,66 | 2,50 | 1,68 | 2,33 | 0,95 | 1,27 | 0,98 |
| 1,93 | 1,42 | 1,61 | 0,91 | 1,52 | 2,07 | 1,43 | 1,96 | 1,54 | 2,37 | 1,49 | 2,13 | 0,73 | 1,21 | 0,87 |

| 1584 |      | 452  |      | 3918 |      | 2210 |      | 490  |      | 765  |      |  |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| 5,86 | 3,55 | 4,10 | 4,30 | 4,41 | 4,34 | 3,27 | 6,20 | 4,37 | 6,16 | 4,41 | 4,29 |  |
| 3,89 | 3,23 | 3,34 | 3,80 | 3,59 | 3,71 | 2,42 | 3,87 | 3,80 | 4,32 | 3,26 | 4,18 |  |
| 3,62 | 1,76 | 2,90 | 3,64 | 3,19 | 3,22 | 1,95 | 3,78 | 3,60 | 3,72 | 2,52 | 3,84 |  |
| 2,92 | 1,60 | 2,50 | 2,75 | 2,51 | 3,00 | 1,90 | 3,66 | 3,29 | 3,42 | 2,44 | 3,64 |  |
| 2,84 | 1,29 | 2,20 | 2,51 | 2,41 | 2,50 | 1,63 | 3,26 | 3,11 | 3,22 | 2,22 | 3,34 |  |
| 2,50 | 1,26 | 2,05 | 2,30 | 2,28 | 2,19 | 1,34 | 3,11 | 2,79 | 3,09 | 1,76 | 2,39 |  |
| 2,36 | 1,09 | 1,82 | 2,16 | 2,18 | 2,14 | 1,26 | 2,88 | 2,49 | 2,95 | 1,71 | 2,15 |  |
| 2,23 | 1,06 | 1,80 | 2,08 | 1,74 | 2,09 | 1,22 | 2,71 | 2,34 | 2,74 | 1,66 | 2,00 |  |
| 2,15 | 0,88 | 1,77 | 1,99 | 1,65 | 1,93 | 1,13 | 2,56 | 2,15 | 2,44 | 1,48 | 1,92 |  |
| 2,09 | 0,78 | 1,69 | 1,83 | 1,59 | 1,87 | 1,12 | 2,46 | 2,06 | 2,34 | 1,35 | 1,84 |  |
| 2,00 | 0,66 | 1,66 | 1,65 | 1,47 | 1,83 | 1,08 | 2,41 | 1,99 | 2,17 | 1,27 | 1,60 |  |
| 1,87 | 2,71 | 1,64 | 1,61 | 1,45 | 1,75 | 1,05 | 2,23 | 1,91 | 2,05 | 1,23 | 1,50 |  |
| 1,78 | 1,89 | 1,47 | 1,58 | 1,27 | 1,69 | 1,02 | 2,06 | 1,80 | 2,00 | 1,18 | 1,46 |  |
| 1,67 | 1,36 | 1,43 | 1,55 | 1,25 | 1,66 | 1,00 | 1,98 | 1,68 | 1,90 | 1,10 | 1,43 |  |

La presencia de illita en todas las muestras analizadas sugiere que en el proceso de cocido de dichas cerámicas no se alcanzó los 800°C, porque a esta temperatura la illita cambia de fase <sup>23</sup>. Sin embargo, cuando los artefactos cerámicos se cuecen en hornos artesanales la temperatura que se alcanza es bastante variada, pudiendo encontrarse diferencias hasta de 250°C en un solo proceso, haciendo que no todas los artefactos tengan las mismas condiciones de cocido ni los mismos resultados <sup>24</sup>. De otro lado, los componentes de las pastas, deducidos por MET, no nos permiten obtener conclusiones sobre la variación en el empleo de la materia prima.

**Tabla 2.** Muestras analizadas y materiales cristalinos que muestran coincidencia con las distancias interplanares encontradas experimentalmente.

| Muestra | Periodo | Materiales cristalinos   |
|---------|---------|--|
| 765     | VIII    | Cuarzo, Illita, $Pb_8Bi_6S_{17}$ , CaO, CaFeO <sub>2</sub> , $3K_2S_2O_3 \cdot H_2O$ , $Mn_3GaNO_5$ , $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ |
| 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, $2MgHBO_3$ , $Ca_4B_{10}Si_2O_{23} \cdot 5H_2O$ , $Be_2SiO_4$                                |
| 2213    | II      | Cuarzo, Illita, Lepidomelana, $2MgHBO_3$ , $Ca_4B_{10}Si_2O_{23} \cdot 5H_2O$ , $Be_2SiO_4$                                |

## CONCLUSIONES

A partir de las muestras analizadas se puede apreciar rasgos característicos que nos indican una tendencia morfológica estrechamente vinculada al dominio de la técnica alfarera, ya sea en los criterios para la elaboración de la pasta, como en la determinación de la calidad de las materias primas. La cerámica proveniente de la fase V es la que presenta una pasta más homogénea y tamaño de partículas pequeños en comparación con la cerámica de las otras fases de esta cultura, lo que evidencia del amplio dominio de la técnica alfarera alcanzado en esta fase.

De modo sugerente y teniendo en cuenta la apreciación de la calidad del material cerámico producido por los antiguos pobladores de Nasca, podemos decir que el grado de tecnificación o dominio en la elaboración de estas pastas se situarían en la siguiente secuencia de periodos: II, III, VIII, VI, IV, VII y V.

Gracias a los resultados obtenidos por MET se ha podido estimar la temperatura de cocción (800°C) a la que fueron cocidos los fragmentos analizados.

## AGRADECIMIENTOS

Al Arqueólogo Javier Alcalde del Museo de Arqueología y Antropología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por proporcionar las muestras. Al Ing. Javier Gago del Laboratorio de Microscopía Electrónica de Transmisión del IPEN por el cálculo de las distancias interplanares. Al Organismo Internacional de Energía Atómica por el financiamiento parcial a este proyecto: CRPPER13058.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sanhueza L., Falabella F., Fonseca E., Andonie O., Aplicación de análisis de pastas microscópicas, petrográficos y de composición de elementos químicos al problema de la procedencia de cerámica en el periodo alfarero temprano de Chile central y Cuyo, Argentina, *Estudios Atacameños*. 2004; 28: 121-132.
2. 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*, 2005; 47: 745-762.
3. Vinagre U., Latini R., Bellido A., Buarque A., Borges A., Ancient Ceramic Analysis by Neutron Activation in Association with Multivariate Methods, *Braz. J. Phys.*, 2005; 35: 779-781.
4. Vaughn K., Neff H., Moving beyond iconography: Neutron activation analysis of ceramics from Marcaya, Perú, an early domestic Nasca site, *J. Field Archaeol.*, 2000; 27: 75-90.
5. Feliu M., Edreira M., Martín J., Application of physical-chemical analytical techniques in the study of ancient ceramics, *Anal. Chim. Acta*, 2004; 502: 241-250.
6. Pérez-Arategui 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.* 1996; 23: 903-914.
7. James W., Dahlin E., Carlson D., Chemical compositional studies of archaeological artifacts: Comparison of LA-ICP-MS to INAA measurements, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 2005; 263: 697-702.
8. 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, p. 1-14.
9. Pillay A., Analysis of archaeological artefacts: PIXE, XRF or ICP-MS?, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 2001; 247: 593-595.
10. Cremonte M., Baldini M., Díaz A., Caracterización petrográfica de una muestra de pastas aguada. Variaciones de manufactura y tipológicas, *Chungará (Arica)*, 2004; 36 Supl. Espect 2.
11. De la Fuente G., Kristcautzky N., Toselli G., Riveros A., Petrología cerámica comparativa y análisis composicional de las pinturas por MEB-EDS de estilo Aguada Portezuelo (ca. 600-900 DC) en el valle de Catamarca (Noroeste Argentino), *Estudios Atacameños*, 2005; 30: 61-78.

12. Stoltman J., Marcus J., Flannery K., Burton J., Moyle R., Petrographic evidence shows that pottery exchange between the Olmec and their neighbors was two-way, *Proceed. Nat. Acad. Sci.*, 2005; 102: 11219–11223.
13. Cau M., Day P., Baxter M., Papageorgiou I., Iliopoulos I., Montana G., Exploring automatic grouping procedures in ceramic petrology, *J. Archaeol. Sci.*, 2004; 31: 1325-1338.
14. López A., Nicolás G., Mateo M., Piñón V., Ramil A., Yáñez A., Análisis de cerámicas romanas Terra Sigillata mediante espectroscopía de plasmas inducidos por láser (LIPS), *Bol. Soc. Esp. Ceram. V.*, 2005; 44: 373-378.
15. Deeb C., Walter P., Castaing J., Penhoud P., Veyssièrre P., Transmission electron microscopy (TEM) investigations of ancient Egyptian cosmetic powders, *Appl. Phys. A: Mater. Sci. Proces.* 2004; 79: 393-396.
16. López A., Olivera de Lescano P. Caracterización de pigmentos de material arqueológico de la Cultura Chíncha por fluorescencia de rayos X y microscopía electrónica de transmisión, *Rev. Soc. Quím. Per.*, 2007; 73: 3-17.
17. Liu K., Chan H., Notis M., Pigott V., Analytical electron microscopy of early steel from the Bacqah valley, Jordan. *Microbeam Analysis*, 1984: 1-3.
18. Ownby M., Ownby C., Miksa E., Use of scanning electron microscopy to characterize schist as a temper in Hohokam pottery, *J. Archaeol. Sci.*, 2004; 31: 31-38.
19. Campos G., Malheiros M., Solorzano G., Microanalytical study of a ferrous agricultural tool recovered from a historical site in Rio de Janeiro, *Appl. Phys. A: Mater. Sci. Proces.*, 2004; 79: 315-318.
20. Clados C., Monkey and death: A Nasca textile of the Linden-Museum Stuttgart, *Tribus*, 2005, 54: 71-88.
21. Vaughn K., Neff H., Tracing the clay source of Nasca polychrome pottery: results from a preliminary raw material survey, *J. Archaeol. Sci.*, 2004; 31: 1577-1586.
22. Vaughn K., Conlee C., Neff H., Schreiber K., A compositional analysis of nasca pigments: implications for craft production on the prehispanic south coast of Peru, in *Laser Ablation ICP-MS: A New Frontier in Archaeological Characterization Studies*, R. Speakman, H. Neff Editors, University of New Mexico Press, Albuquerque. 2005.
23. Joint Committee on Powder Diffraction Standards, Powder Diffraction File, International Center for Diffraction Data, Swarthmore, PA, 1995.
24. Jordán M., Sanfeliú T., De la Fuente C., Firing transformations of tertiary clays used in the manufacturing of ceramic tile bodies, *Appl. Clay Sci.*, 2001; 20: 87-95.
25. Salazar J., López E., 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*, 1993; 22:685-699.