

ANÁLISIS ESPACIAL DE LA TEXTURA DE CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS POR MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS

Ángel J. Polvorinos del Río⁽¹⁾

Resumen

El análisis textural de cerámicas arqueológicas tiene por objeto cuantificar diversos parámetros de forma y tamaño de las fases que integran el desgrasante, así como de los poros. La utilización de esta información en procedimientos de clasificación y análisis discriminante puede ser de interés para resolver problemas de interés arqueológico. El análisis de la distribución espacial de los objetos que caracterizan la textura cerámica, es decir los minerales del desgrasante y los poros, puede realizarse aplicando los métodos geoestadísticos que derivan de la Teoría de Variables Regionalizadas para caracterizar su estructura.

Se ha utilizado la función variograma para caracterizar la textura de un conjunto de cerámicas. Los variogramas direccionales de las variables indicadoras se han modelizado para cada cerámica utilizando estructuras superpuestas de distintos alcances y varianza.

Palabras clave: Geoestadística, variograma, textura, alcance, anisotropía.

1. INTRODUCCIÓN

La textura se define como la repetición sistemática o aleatoria de patrones elementales sobre una área comparativamente más grande que el tamaño del patrón. Ésta es una propiedad fundamental de agregados minerales como las cerámicas y es el resultado de diversos procesos implicados en la producción cerámica, que van desde la elaboración de la pasta cerámica hasta su cocción.

Así en la percepción óptica de un fragmento cerámico es relevante la distribución espacial relativa del desgrasante, los poros y la matriz cerámica y, en general, presentan patrones de distribución espacial estructurados. Estos patrones se manifiestan en cerámicas con desgrasante de distintos tamaños de grano, cerámicas que desarro-

⁽¹⁾ Dpto. de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla. C/ Prof. García González, s/n. 41012 Sevilla. E-mail: polvorin@cica.es.

llan poros orientados en paralelo a la pared de la vasija, o aquellas otras en que los poros se asocian a los bordes de los granos minerales o conectando granos.

Son diversos los parámetros texturales cuya cuantificación puede ser de interés en Arqueometría para solucionar problemas de clasificación cerámica, discriminación e interpretación de las tecnologías de producción empleadas; entre ellos se encuentra el diámetro de los cristales del desgrasante y su forma, así como de los poros y la relación espacial entre ellos.

Para abordar el análisis de la textura de cerámicas arqueológicas se requiere la captación y procesamiento digital de imágenes de láminas delgadas. Entre la instrumentación utilizable se encuentra el microscopio de polarización [1], con dispositivos suplementarios de automatización de toma de imágenes [2] y de procesamiento [3], así como otros procedimientos que no requieren el uso del microscopio [4 y 5]. Dado el comportamiento óptico de los minerales, en general, se requerirá la utilización de distintas imágenes con iluminación con luz polarizada y con polarizadores cruzados para la discriminación de cada tipo de objeto identificable y la obtención final de sus imágenes máscara o binarias.

El análisis textural –no espacial– de cerámicas arqueológicas, en general, tiene por objeto cuantificar diversos parámetros de forma y tamaño de las fases y objetos que la integran, pero sin tomar en consideración la situación espacial de los objetos. Para ello se pueden utilizar diversos procedimientos que en general se basan en considerar que las distribuciones espaciales de dichas variables son aleatorias.

Entre los diversos procedimientos para medir atributos texturales de imágenes se encuentran los basados en la matriz de co-ocurrencias, los derivados del análisis espectral de Fourier y el método geoestadístico basado en el variograma.

En este trabajo para caracterizar la textura de cerámicas arqueológicas se ha utilizado el método geoestadístico que derivan de la Teoría de Variables Regionalizadas [6].

2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS

Los métodos geoestadísticos, inicialmente desarrollados para resolver problemas de estimación de reservas mineras [7, 8, 9 y 10] han visto expandido su campo de aplicación a otros terrenos entre los que se encuentra el procesamiento digital de imágenes.

La segmentación, por ejemplo del desgrasante de una cerámica, conduce a una imagen binaria definida por una matriz de $m \times n$ pixels; desde el punto de vista geoestadístico esta imagen es una variable regionalizada y se representa por $z(f,c) = 0$ o 1 , en que f y c representa la fila y columna correspondiente a cada pixel de la imagen, es decir que depende de cual sea su localización espacial (f,c) . La variable desgrasante así definida corresponde a una variable regionalizada indicadora con 1 en cada pixel ocupado por un grano mineral y nula si se trata de un poro o la matriz cerámica.

Esta variable regionalizada bidimensional no es una función determinista de las coordenadas, sino una realización de un proceso aleatorio que se puede representar por una función aleatoria $Z(f,c)$, es decir, dependiente de su localización espacial. La caracterización de las propiedades estocásticas del proceso subyacente a partir de una sola realización requiere que éste cumpla ciertas propiedades de estacionalidad entre las que el comportamiento intrínseco es la menos restrictiva. El variograma $\gamma(h)$ es una función direccional, es decir depende de un vector h , y es la esperanza matemática del cuadrado de las diferencias entre los valores (0 y 1) de los pixels separados por el vector h sobre toda la imagen y en el se integran distintos aspectos del grado de autocorrelación espacial de la variable regionalizada.

$$\gamma(h) = E [(Z(f,c) - Z(f+h, c+h))^2]$$

La variografía es el procedimiento para caracterizar e interpretar dicha variabilidad espacial y se basa en el cálculo del variograma experimental y su ajuste a modelos teóricos de variogramas. Desde el punto de vista práctico, el cálculo de variogramas experimentales de imágenes de gran tamaño puede ser una labor ralentizada por el volumen de puntos implicados y, aunque no representa una limitación importante, la realización de cálculos en imágenes submuestreadas o bien utilizando algoritmos diseñados a tal fin [11] puede facilitar la labor.

La estimación del variograma directo,

$$\gamma(h) = 1/2N(h) \sum_{i=1}^{i=N} [z(x_i) - z(x_i+h)]^2$$

indica que es una función que crece a medida que es mayor la separación entre observaciones. Por tanto, el grado de autocorrelación espacial disminuye a medida que aumenta el valor del variograma, es decir, que el parecido entre las partes de la imagen se hace menor a medida que comparamos partes más separadas.

El cálculo del variograma experimental en distintas direcciones permite caracterizar el comportamiento isótropo o anisótropo del fenómeno, pudiéndose identificar dos tipos de anisotropía zonal y geométrica.

Otros aspectos importantes de la variable regionalizada son su grado de continuidad, regularidad y el tamaño de las estructuras que definen dicha regularidad. La continuidad está definida por la discontinuidad al origen del variograma o efecto pepita, y representa la regularidad a la escala de muestreo. En esta variabilidad se integran otras posibles escalas de variación del fenómeno de menor tamaño, así como los errores analíticos.

La presencia de estructuras de transición viene indicada por variogramas cuyo valor se estabiliza a partir de una cierta distancia o alcance. Dicho alcance representa la distancia a partir de la cual la autocorrelación espacial del fenómeno es nula. La pendiente del variograma es indicativo del grado de regularidad del fenómeno, así vario-

gramas que crecen lentamente con la separación entre observaciones, caracterizan fenómenos más regulares que los de crecimiento más rápido. Otro aspecto estructural característico de la regionalización puede ser la existencia de estructuras superpuestas de distinto alcance y de distinta variabilidad, asociadas a distintas escalas de variación del fenómeno.

3. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

De un conjunto de 18 cerámicas pertenecientes al yacimiento de la Pijotilla (Badajoz), 15 son características de la diversidad estratigráfica y tipológica asociada al enterramiento colectivo de la tumba 3, incluyéndose además tres muestras externas una perteneciente a un silo (p 76) y las dos restantes (p 90 y p 91) son pastillas repujadas.

Utilizando un digitalizador de película fotográfica y el adaptador de lámina delgada [4] se han captado de cada lámina un conjunto de cinco imágenes con nícoles cruzados en distinta orientación respecto de la lámina cuya posición permanece fija. Aplicando procedimientos de procesamiento digital de imágenes [11] se han obtenido las imágenes binarias de poros y de desgrasantes de cada fragmento cerámico.

La digitalización de todas las láminas se ha realizado a una resolución nominal de 2.000 ppp y en todos los casos se han identificado un mínimo de 500 granos de desgrasante en cada lámina correspondiente a la superficie barrida por cada imagen procesada.

Los variogramas experimentales del desgrasante y de los poros se han calculado a partir de las imágenes binarias correspondientes y en distintas direcciones. Se ha constatado la isotropía de la distribución de los granos minerales, por lo que la modelización de sus estructuras se ha realizado con el variograma promedio (tabla 1). Por el contrario los variogramas direccionales de los poros indican la anisotropía de algunas cerámicas (tabla 2); los variogramas experimentales se han ajustado en todos los casos con el modelo exponencial (tablas 1 y 2) y en cada estructura se indica el alcance expresado en milímetros y en pixels equivalentes.

Se observa que las muestras p 64, p 66, p 71, p 85, p 90 y p 91 presentan una única estructura de transición que caracteriza el tamaño máximo de los granos del desgrasante, que en ningún caso es superior a 0,312 mm, presentando la muestra p 91 el desgrasante más fino, cuyo tamaño no excede 0,10 mm de diámetro.

Las estructuras superpuestas que se han identificado para el resto de las cerámicas indican que el desgrasante está constituido por cristales con dos rangos máximos de tamaño, uno con cristales de tamaño más fino que en todas las muestras se sitúan próximos a los 0,125 mm de diámetro, destacándose las muestras p 25 y p 86 por presentar ambas minerales con un tamaño de 0,187 mm. Esta elevada homogeneidad que se encuentra para la estructura de menor alcance, no se conserva en la estructura de mayor alcance que corresponde a los granos de talla mayor, observándose un rango

Tabla 1. Parámetros de variogramas del desgrasante.

Muestra	Varianza	Pepita C_0	C_1	C_2	$A_1(mm/p)$	$A_2(mm/p)$
p 16	0,122	0,020	0,044	0,058	0,125/10	0,5/40
p 25	0,208	0,036	0,082	0,090	0,187/15	1,0/80
p 27	0,232	0,030	0,077	0,125	0,125/10	0,875/70
p 32	0,210	0,039	0,081	0,090	0,125/10	0,625/50
p 46	0,176	0,046	0,086	0,044	0,125/10	0,625/50
p 48	0,237	0,036	0,105	0,096	0,125/10	0,750/60
p 59	0,158	0,018	0,044	0,096	0,125/10	0,750/60
p 64	0,205	0,020	0,185	0	0,125/10	0
p 65	0,210	0,025	0,113	0,072	0,125/10	0,875/70
p 66	0,118	0,014	0,104	0	0,250/20	0
p 68	0,169	0,007	0,087	0,076	0,125/10	0,625/50
p 71	0,108	0,018	0,090	0	0,165/13	0
p 72	0,217	0,021	0,093	0,103	0,10/8	0,562/45
p 76	0,197	0,020	0,045	0,132	0,125/10	0,562/45
p 85	0,094	0,016	0,078	0	0,250/20	0
p 86	0,221	0,027	0,06	0,134	0,187/15	0,625/50
p 90	0,044	0,003	0,041	0	0,187/15	0
p 91	0,146	0,004	0,142	0	0,10/8	0

entre 0,5 y 1 mm (40 y 80 pixels), lo que es indicativo de diferencias en la preparación de las distintas pastas cerámicas.

La varianza estimada del desgrasante indica que el porcentaje de la superficie de la cerámica cubierta por granos minerales se sitúa entre el 9,4% de la cerámica p 85 y el 23,2% de la p 27, que representan una cerámica de textura muy fina y otra basta respectivamente.

Las varianzas C_1 y C_2 representan la contribución de cada estructura a la varianza total del desgrasante, y en todos los casos, se evidencia que el efecto de pepita C_0 es inferior al 30% de la varianza total.

Respecto de la porosidad se observan comportamientos estructurales más complejos; sólo la cerámica p 85 presenta una porosidad isotropa y con una sola estructura de pequeño tamaño 0,187 mm de diámetro; con dos estructuras de poros se han identificado las cerámicas p 48 y p 76. Las porosidades orientadas de las cerámicas p 59, p 64 y p 68 se desarrollan paralelas a la pared de la vasija y se representan por elipses de $0,875 \times 1,62$ mm para la cerámica p 59, siendo de $0,187 \times 0,312$ mm para la cerámica p 64. Las restantes cerámicas presentan anisotropías más complejas asociadas a sus estructuras (tabla 2). La relación entre las estructuras de los poros y del desgrasante requiere su estudio más detallado a través de la función variograma cruzado.

- [9] Deutsch, C.V. y Journel, A.G., 1992, *GSLIB. Geostatistical Software Library and User's Guide*, Oxford University Press, New York.
- [10] Isaaks, E.H. y Srivastava, R.M., 1989, *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York.
- [11] Polvorinos, A.J., Gómez Morón, M.A. y Hurtado Pérez, V., 1999, *Análisis morfométrico de cerámicas calcolíticas del yacimiento de la Pijotilla (Badajoz)*, IV European Meeting on ancient Ceramic, 250-262.