

# ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS: UNA TÉCNICA PARA OBTENER CRONOLOGÍAS RELATIVAS. SERIACIÓN DE ENTIERROS DE UNA TUMBA ENCONTRADA EN EL SITIO ARQUEOLÓGICO DE LOS TETELES DE OCOTITLA, TLAXCALA

*Pedro López García*

Centro INAH Tlaxcala

*Denisse L. Argote Espino*

Instituto de Geofísica-UNAM

**RESUMEN:** *Se discute una técnica de estadística multivariada conocida como análisis de correspondencias (AC), la cual ha resultado ser de gran utilidad para obtener cronologías relativas de sitios, entierros y depósitos arqueológicos. La relevancia de este procedimiento surge como una alternativa ante la incertidumbre inherente en los fechamientos conseguidos por los métodos de  $C^{14}$ . Se ha aplicado el AC para obtener la seriación de un grupo de entierros encontrados en una tumba en el sitio arqueológico de Los Teteles de Ocotitla, al noreste de Tlaxcala. Los datos utilizados consisten en el arreglo de una tabla de contingencia, con los tipos cerámicos colocados en las columnas y entierros en los renglones, a partir de la cual logra generarse una representación en un espacio matemático único. La correlación entre tipos cerámicos y entierros puede ser leída en una gráfica factorial en términos de proximidad, misma que posee una significancia cronológica.*

**ABSTRACT:** *A multivariate statistic technique known as correspondence analysis (CA) is discussed in this article. This technique has shown to be very useful in obtaining relative chronologies of sites, burials and archaeological deposits. The importance of this procedure emerges like an alternative to attain a greater certainty than the one got from the absolute dating methods like the  $C^{14}$ . The CA is applied in a specific group of burials found in the archaeological site of Los Teteles de Ocotitla, in Tlaxcala. The data was arranged in a contingency table, with the ceramic types ordered in columns and the burials in rows. From this table, a representation in an unique mathematical space is generated. The correlation between the ceramic types and the burials can be drawn out in a factorial graphic in terms of their proximity, where this proximity poses a chronological significance.*

**PALABRAS CLAVE:** *seriación, análisis de correspondencias, estadística multivariada, Tlaxcala*

**KEY WORDS:** *seriation, correspondence analysis, multivariate statistics, Tlaxcala*

## INTRODUCCIÓN

En arqueología, el fechamiento de los materiales se ha realizado mediante diferentes procedimientos que proporcionan cronologías con diferentes grados de precisión. Uno de los más utilizados para este propósito es el fechamiento por radiocarbono  $^{14}\text{C}$ . Este método de datación radiométrica utiliza el isótopo carbono 14 para determinar la edad de los restos arqueológicos de tipo orgánico y se considera una técnica de datación absoluta. Sin embargo, existen muchas fuentes de error en determinar una datación por  $^{14}\text{C}$ . En varias ocasiones se ha demostrado que los fechamientos obtenidos de esta forma pueden resultar contradictorios o poco confiables [Batt y Pollard, 1996; Jull *et al.*, 1996; Kouzmetsov *et al.*, 1996]. Aún así, sigue siendo el método más frecuentemente utilizado por los arqueólogos y al cual se le atribuye un alto grado de certidumbre.

No hay que olvidar que “[...] el fechamiento por radiocarbono es una expresión numérica (estimación) de la probabilidad de que una muestra de carbón sea datada y quede contenida dentro de un rango de posibles valores” [Hole y Shaw, 1967]. De esta manera, el intervalo “ $\pm$ ” hace referencia a que la fecha obtenida para una muestra está dentro de un intervalo de confianza dado por una, dos o hasta tres desviaciones estándar,<sup>1</sup> esto a partir de una estimación puntual obtenida para una muestra específica cuya amplitud de los intervalos queda determinada por el error estándar de la estimación. Si esta cantidad es grande los intervalos calculados para una muestra también lo serán, lo mismo si es pequeña.

Una alternativa para obtener una cronología confiable es fechar depósitos de rasgos arqueológicos utilizando métodos alternos que aborden el fenómeno cronológico y cuyas bases descansen en técnicas matemáticas. Al aplicar métodos numéricos puede mejorarse la calidad de la investigación, pues la cuantificación de los datos permite manipular grandes cantidades de éstos disminuyendo así los sesgos en el manejo de la información e interpretación. Cabe aclarar que dichos sesgos son los responsables de propagar el error en cada etapa de la investigación.

El objetivo de este artículo es ofrecer un panorama sencillo y comprensible en torno a la operación de un método estadístico que aborda el problema cronológico, conocido en arqueología como seriación de materiales por métodos numéricos. Mediante ésta, los arqueólogos han sido capaces de examinar cambios en las formas de la cerámica a lo largo del tiempo, utilizando los atributos de las vasijas que

---

<sup>1</sup> Un estimador por intervalo es una regla encargada de especificar el método que utilizan los datos obtenidos de una muestra para calcular dos valores que forman los extremos de los intervalos. La estimación obtenida se basa en suponer que la distribución de la muestra es normal o aproximadamente normal.

han sido analizadas independientemente del contexto en donde se encontraron. El criterio subyacente en una seriación radica en la naturaleza cambiante de los artefactos. Es decir, se asume que las clases de objetos son lentamente introducidos en un sistema social, poco a poco se incrementa su popularidad y de forma eventual se declina su uso hasta desaparecer por completo.

Al trazar las similitudes y diferencias en los estilos y al medir la popularidad de los cambios estilísticos, es posible reconstruir la secuencia cultural. De acuerdo con Cowgill, se le llama seriación a

[...] cualquier técnica que disponga a un grupo de entidades en una secuencia tal que, empezando de cualquier entidad específica, las otras entidades más parecidas a ella están más cercanas en la secuencia, y la similitud decrece monotónicamente al ir comparando las entidades progresivamente más distantes dentro de la secuencia [1972:381].

En resumen, seriación es una manera particular de ordenación que coloca las unidades bajo estudio en una serie secuencial de acuerdo con su posición cronológica. También es un método para obtener un fechamiento relativo que ordena los materiales arqueológicos en una secuencia cronológica tentativa, la cual está basada en el cambio cultural y estilístico de los materiales.

Existen varios problemas cronológicos que pueden resolverse mediante un método de seriación [Doran y Hodson, 1975]:

1. Dados o conocidos varios conjuntos de tuestos donde se incluya de manera general el mismo rango de tipos para cada uno, aunque en diferentes proporciones, puede determinarse la secuencia cronológica más adecuada en la que éstos fueron depositados.
2. Dado o conocido el número de grupos de enterramientos que proviene de un mismo cementerio puede determinarse la secuencia cronológica en la que fueron dispuestas las sepulturas.
3. Dado o conocido un conjunto de artefactos relacionados, por ejemplo broches o espadas, puede determinarse la secuencia cronológica de manufactura más adecuada.
4. Dado o conocido un número de un mismo tipo de vestigios de fortificaciones puede determinarse la secuencia cronológica de construcción más adecuada.

Lo principal en un problema cronológico de seriación es que la evidencia externa de fechamiento no se encuentra disponible. En ciertos casos no existen fechas de radiocarbono, no hay estratigrafía ni otros fechamientos para ordenar toda la secuencia cultural. Una seriación puede manipularse gráfica y numéricamente. Durante mucho tiempo el resultado estándar de una seriación se hacía

mediante *frecuencias*, con sus modalidades de curvas de barquitos o cocolitos; estos gráficos podían formarse a partir de una serie de barras horizontales que representan el porcentaje de material graficado en un eje vertical. Graficar las diversas curvas para un conjunto de materiales permitía a los arqueólogos obtener una cronología relativa para una colección cerámica, un sitio entero, grupo de sitios o de entierros. El problema con este método de frecuencias simples es que no puede ser aplicado a un sistema de dos, tres o más variables, además esta técnica sólo podía aplicarse en ocupaciones culturales unidireccionales, lo que significa una gran restricción para llevar a cabo estudios globales.

En contraste, los análisis estadísticos multivariados tienen en la actualidad un efecto simplificador y reductor de dimensionalidad, lo cual permite un tratamiento global de todas las variables cuantificadas de todas las unidades de análisis. Además, las técnicas estadísticas multivariantes permiten el tratamiento simultáneo de estas variables, lo que imposibilita restar o aumentar importancia del material. Hoy en día se cuenta con varios métodos trabajando en un espacio multidimensional más que en uno unidimensional (de sólo frecuencias, como los gráficos de barco). Con estos métodos es posible manipular grandes cantidades de datos que pueden ser procesados con la ayuda de un ordenador. Dichos métodos han sido aplicados con éxito a una variedad de materiales, desde cerámica hasta sitios arqueológicos y entierros [Digby, 1985; Smith, 1983; Rozoy, 1978].

Existen diversos métodos multivariados para seriar unidades (tipos cerámicos, artefactos, entierros, etcétera); algunos agrupan a las unidades de análisis basados en criterios bien conocidos, como las distancias euclidianas entre unidades, las cuales son calculadas por el método de escalamiento multidimensional que trata de convertir las disimilitudes en distancias representadas en un gráfico bidimensional. Otro método utilizado en seriación es el conocido como análisis de componentes principales, el cual realiza una transformación de los datos originales para expresarlos como un conjunto de nuevas variables no correlacionadas que pueden ser graficadas en pocas dimensiones, son las encargadas de explicar la variabilidad de los datos. Por último, el análisis de correspondencias utiliza tablas de frecuencia para ordenar los datos en un espacio bidimensional, se realiza un cambio de unidades de tal forma que la distancia entre dos renglones o columnas de la matriz de datos es expresada como  $ji$ -cuadrada. Basados en esta métrica, se define un centro de gravedad y así se obtienen nuevos ejes para renglones y columnas, por último se calculan los eigenvalores y eigenvectores ortogonales con el fin de conformar un nuevo espacio multidimensional.

## ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS

El análisis de correspondencias (AC) sirve para desplegar los renglones y columnas de una matriz de datos (sobre todo contenidos en una tabla de contingencia) como puntos en un espacio vectorial dual de baja dimensionalidad. Es una técnica de interdependencia utilizada como procedimiento para reducir dimensionalidad, el cual proporciona un *mapeo perceptual*.<sup>2</sup> Su aplicación más directa consiste en representar gráficamente la “correspondencia” entre categorías de variables, la cual se convierte en la base para desarrollar los mapas perceptuales.

En este mapeo, la proximidad indica el nivel de asociación entre las categorías de los renglones o columnas de la matriz de datos. Mediante el AC, la asociación o “correspondencia” entre los objetos y sus características distintivas (como tipos cerámicos u otros artefactos) se representa en un mapa de dos o tres dimensiones. Los objetos percibidos como similares son ubicados unos cerca de otros. Asimismo, las características o tipos más distintivos de objetos serán determinados por su proximidad con los mismos. El AC provee una representación multivariada de interdependencia para datos que no son posibles de obtener con otros métodos.

## MÉTODO ANALÍTICO

El AC requiere una matriz rectangular de datos (tabulación cruzada) con entradas no negativas. Las categorías para el renglón o columna no necesitan ser de un solo tipo de variable, sino pueden representar cualquier conjunto de relaciones. La tabulación cruzada es el número total de veces en que cada objeto o individuo (por lo general ubicado en los renglones) es descrito por cada característica o poseedor de algún atributo específico (registrado en las columnas). Una vez obtenida la tabulación cruzada para el AC, las frecuencias de cualquier combinación de categorías renglón/columna están relacionadas con las otras combinaciones, basándose en las frecuencias marginales (totales de fila y columna).

Este procedimiento contiene una expectación condicional similar al valor esperado de la distribución ji-cuadrada. Una vez obtenidos estos valores, son normalizados y entonces un proceso similar al de análisis de factores define las soluciones de baja dimensionalidad. Dichos factores simultáneamente relacionan los renglones y columnas en una misma gráfica. El resultado es una sola repre-

---

<sup>2</sup> Un mapa perceptual es la representación visual de las percepciones de los respondientes (individuos encuestados) en dos o más dimensiones o figuras. Usualmente, este mapa tiene niveles opuestos de una dimensión en sus extremos de los ejes  $x$  y  $y$ , tal como “dulce” o “amargo”, en los extremos de  $x$ ; y “caro” o “barato”, en los del  $y$ . Cada objeto, entonces, tiene una posición espacial en el mapa perceptual que refleja relativa similaridad o preferencia a otros objetos de acuerdo con las dimensiones percibidas.

sentación de las categorías tanto de columnas como de renglones. El AC se basa en transformar el valor de ji-cuadrada en una medida métrica de distancia. La distribución de ji-cuadrada es calculada como la frecuencia de ocurrencia observada menos la frecuencia de ocurrencia esperada. Los valores positivos altos indican mayor grado de “correspondencia” entre el atributo o columna y el individuo o renglón de la tabla, mientras que los negativos tienen una interpretación contraria.

A diferencia de otros, el AC es un método estadístico que de manera simultánea produce análisis tipo R (interrelación entre variables o columnas) y Q (entre renglones). La técnica del AC es similar a la del análisis de componentes principales en el sentido que utiliza los factores principales para extraer información significativa del espacio variable (columnas) y espacio muestra (renglones), al proyectar las interrelaciones en un espacio de dimensiones reducidas (dos, máximo tres) y la cuantificación de columnas y renglones. La diferencia con otras técnicas como el análisis de componentes principales, de factores o escalamiento multidimensional es que éstas sólo pueden realizar análisis de tipo R o Q de forma individual, es decir, un solo análisis al mismo tiempo [Benzecri, 1992].

El objetivo principal de esta técnica es “reducir dimensionalidad” y seriar los materiales con una pérdida mínima de información. Esto se logra mediante el *eigenanálisis* de una tabla de contingencia. Es el proceso de encontrar pares de eigenvalores ( $\lambda_i$ ) y eigenvectores ( $u_i$ ) de una matriz cuadrada  $A$  o simétrica. Los *eigenvalores* son elementos de la diagonal principal de una matriz  $A$  y los *eigenvectores* son los renglones de una matriz  $U$  (equivalentes a las columnas  $U'$ ), donde  $U'$  es la traspuesta de la matriz  $U$ . De esta manera, la solución de la ecuación está dada por:

$$A = U' \Lambda U$$

Los factores principales  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  en el espacio de la variable ( $R^p$ ) tienen la misma contribución al total de la variación de los componentes principales  $u_1, u_2, \dots, u_p$  en el espacio de los renglones ( $R^n$ ). El AC trata a las variables y unidades (columnas y renglones) de manera simétrica. Estos factores principales pueden usarse para representar de manera gráfica a ambas de modo que *geográficamente* describan la estructura de la correlación. En el análisis de correspondencias los factores principales para los renglones son duales a los factores principales de las columnas, por ello es posible combinar gráficas o mapas utilizando los mismos ejes.

En una gráfica obtenida para un AC dado, las variables graficadas juntas o cercanas están más correlacionadas entre sí que las más lejanas. Es importante notar que las graficadas juntas con un par de factores principales pueden no siempre tener alta correlación con otras variables de otro par de factores principales que

se muestren próximas. Las gráficas combinadas proveen cierta indicación del grado de correlación entre la variable y un grupo de individuos o entre un individuo y un grupo de variables, pero esta indicación gráfica es menos confiable que aquella dada entre individuos o variables.

En el AC, primero deben identificarse el número apropiado y la importancia de las dimensiones, esto se logra al observar los eigenvalores derivados para cada dimensión los cuales indican la contribución relativa de las dimensiones en la explicación de la varianza en las categorías analizadas. De acuerdo con este criterio, el analista puede seleccionar el número de dimensiones que represente el nivel de varianza deseada. Es decir, para determinar la dimensionalidad de la solución se examina el porcentaje acumulativo de la variación explicada y se define la dimensionalidad apropiada. En términos generales, interpretar los datos es más sencillo en una representación gráfica de tres o menos dimensiones. Una vez que la dimensionalidad se ha establecido puede identificarse la asociación entre categorías por su proximidad.

Otro elemento importante en el AC es la contribución de la *inercia*<sup>3</sup> de cada componente (eje o dimensión), puede aplicarse por el porcentaje de inercia representado en cada dimensión. De manera formal puede cuantificarse la parte representada por cada punto al establecer la dimensión particular eje por eje. De forma matemática, la inercia es igual a la suma ponderada del cuadrado de las distancias al origen de los perfiles de renglón o, equivalentemente, la correspondiente suma ponderada para los perfiles de columna, siendo estos pesos las masas de los respectivos puntos. Cada término en estas sumas puede ser expresado como un porcentaje de la inercia principal y a esto se le denomina *contribuciones de los puntos a la inercia principal o al eje principal*. Cada punto tiene una masa y distancia al centroide (origen o coordenada 0,0). Si pensáramos que los puntos en sus posiciones fijas dentro de los dos espacios correspondientes ejercen fuerzas de atracción para el eje principal en virtud de sus posiciones y masas, entonces los puntos con las contribuciones más altas jugarían un mayor papel al causar la orientación del eje principal. La masa de los puntos varía de acuerdo con su distancia al origen, por lo cual hay casos donde la masa es baja en puntos con un alto valor de contribución [Greenacre, 1984].

Resumiendo, el análisis de correspondencias deberá considerar la interpretación tanto gráfica como numérica. De forma gráfica, debe tomarse en cuenta la posición de los puntos respecto a sus perfiles y la interacción de éstos con los demás puntos. De manera numérica, deben considerarse: a) inercias principales

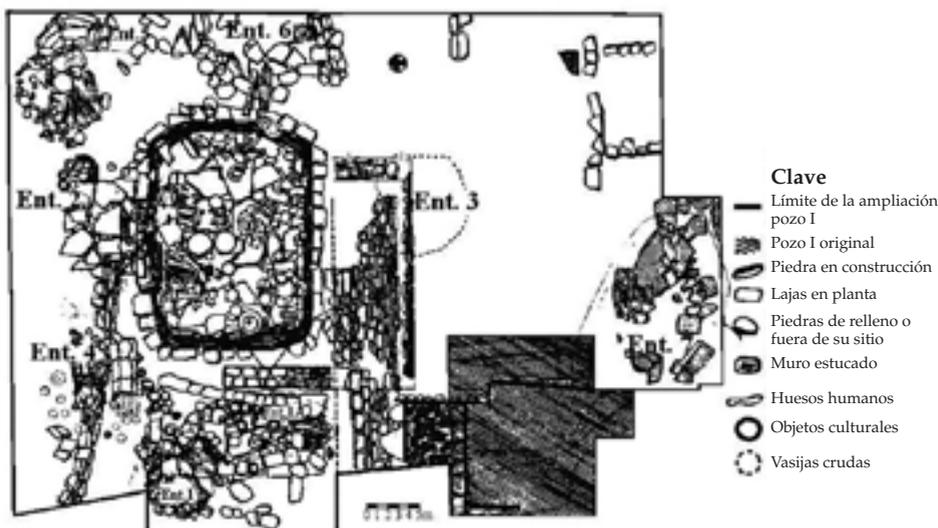
<sup>3</sup> El término *inercia* en el AC es análogo a la definición aplicada a las matemáticas como "momento de inercia", se establece como la integral de  $m$  veces la distancia al cuadrado a su centroide [Greenacre, *op. cit.*: 35].

(eigenvalores) e inercia total, así como los porcentajes simples y acumulativos de las inercias; y b) coordenadas de renglones por columnas, contribuciones relativas (correlaciones al cuadrado) y absolutas (descomposición de inercia) para los puntos de los renglones respecto a los dos o tres primeros ejes.

#### ESTUDIO DE CASO: UNA TUMBA EN EL SITIO ARQUEOLÓGICO DE LOS TETELES DE OCOTITLA, TLAXCALA

Para aplicar una seriación por medio de AC se decidió utilizar un grupo de entierros excavados por el arqueólogo Ángel García Cook y colaboradores en 1974 en el sitio arqueológico T-358, comúnmente conocido como Los Teteles de Ocotitla, en Tlaxcala. Se determinó este lugar como importante para realizar una seriación debido a que se encontró una tumba en una de las terrazas del sitio, donde se excavaron ocho entierros (figura 1) con un total de 304 vasijas. Además de los objetos registrados se tomaron siete muestras de  $C^{14}$  en diferentes lugares de la tumba. A continuación se reproducen los datos obtenidos para las muestras de  $C^{14}$  [1997a]. Los resultados de estas muestras y ofrendas se utilizaron para obtener una cronología de la tumba [1997].

FIGURA 1.  
Entierros encontrados en el sitio de Los Teteles de Ocotitla, Tlaxcala [García Cook, 1997b]



**TABLA 1.**  
 Los Teteles de Ocotitla (T-358). Fechas C<sup>14</sup>  
 [García Cook *et al.*, 1997]

Control Lab. Tx núm.	Control del PAPT	Procedencia de la muestra		Edad en años (BP)		Fecha corregida por comparación dendrocronológica	Fecha en años aC o dC
		Sitio	Unidad de excavación	Vidas media 5568	Vida media 5830		
2137	Muestra 1	T-358	Pozo 1 E 1.2	2230 ± 60	2300 ± 60	2310 ± 80	360 ± 80 aC
2138	Muestra 2	T-358	Entierro 4	1880 ± 50	1830 ± 50	1880 ± 60	180 ± 60 dC
2139	Muestra 3	T-358	Entierro 6	1840 ± 60	1900 ± 60	1850 ± 80	100 ± 80 dC
2140	Muestra 4	T-358	Pozo 1 Capa v	1540 ± 60	1590 ± 60	1520 ± 80	430 ± 80 dC
2141	Muestra 5	T-358	Interior de la tumba Parte superior	1820 ± 60	1880 ± 60	1830 ± 80	120 ± 80 dC
2142	Muestra 6	T-358	Interior de la tumba, parte media	1690 ± 130	1840 ± 130	1680 ± 140	280 ± 140 dC
2143	Muestra 8	T-358	Interior de la tumba, parte inferior	1940 ± 60	2000 ± 60	1980 ± 80	20 ± 80 aC

Las muestras 2137, 2138 y 2139 fueron tomadas en asociación con los entierros 2, 4 y 6, respectivamente; la 2140 se tomó de la capa v del pozo 1 para amarrar una secuencia de ocupación en la fase Tezoquipan (300 aC a 100 dC); y las muestras 2141, 2142 y 2143, al interior de la tumba en sus partes superior, media y media inferior. Se piensa que en este lugar se llevaron a cabo al menos tres ceremonias importantes. Una cuando se utilizó la tumba por primera vez, se considera en esa ocasión fueron depositados los entierros 4, 5 y 6, encontrados en la parte exterior de la tumba. Durante una segunda ceremonia se reabrió la tumba para colocar otro entierro y remover el anterior con sus ofrendas hacia el exterior de la misma (convirtiéndose en el entierro 1A) y también fue depositado el entierro 3. Por último, en una tercera ceremonia fue depositado el entierro 2. Podría consi-

derarse una posible cuarta ceremonia en caso de que la ofrenda encontrada en el entierro 2 hubiera sido depositada en otra ocasión [*ibid.*:390].

De acuerdo con la información obtenida mediante los fechamientos, intentó establecerse la cronología de la tumba, no sin antes enfrentar algunos problemas debido a las variaciones en los valores de  $C^{14}$ . Primero la muestra 2137, incluyendo los intervalos de confianza, dan una fecha que va de 440 aC a 280 aC, corresponde a épocas más tempranas, específicamente a las fases de Texoloc (800 aC a 300 aC) y Tezoquipan (400 aC a 100 dC). El argumento que justifica este hecho es el supuesto de que la tierra utilizada para rellenar la terraza de donde se tomó la muestra debió haber sido traída desde otro sitio. También, que el tamaño de muestra fue de sólo 10 g, lo cual pudo haber influenciado en los resultados. Por otro lado, la muestra 2140 da una fecha muy tardía en comparación con las demás, encontrándose entre 350 dC y 510 dC, correspondientes a la fase Tenanyecac (100 dC a 650 dC).

Puede verse que los fechamientos de  $C^{14}$  son bastante imprecisos, incluso observando las fechas dadas por las muestras (2141 y 2142), que fueron tomadas en las partes superior y media de la tumba y en donde la muestra de la parte superior es mucho más antigua que la tomada de la parte media. La conclusión en aquel entonces fue que las muestras 2138 y 2140 no se tomaran en cuenta debido a la imprecisión en las fechas, además que podían no corresponder con el contexto bajo investigación. De esta forma, para fechar la tumba se tomaron en cuenta sólo las cinco muestras restantes, realizando algunas modificaciones a las fechas obtenidas por el radiocarbono. En primer lugar, se eliminaron los intervalos de confianza de cada muestra, manteniendo sólo la estimación puntual de cada una. Después se observó la fecha más antigua de las estimaciones, la cual correspondió a 20 aC (muestra 2143); y luego la más tardía, 270 dC (muestra 2142). Tomando estos valores como extremos y ajustando una línea que pasara por las otras tres muestras, los arqueólogos postularon la fecha tentativa de construcción, utilización y reutilización de la tumba entre el  $50 \text{ dC} \pm 200 \text{ dC}$ , la cual corresponde a los inicios de la fase Tenanyecac (100 dC a 650 dC).

Una vez propuesta la fecha los autores se apoyaron en el material cultural encontrado tanto en el interior como exterior de la tumba para comprobar. Consideraron que el material era en su mayor parte contemporáneo a Teotihuacan I y II (fases Patlachique, Tzacualli y Miccaotli), basándose sobre todo en tipos cerámicos como la Negra pulida, Café alisado, Roja pulida, Anaranjado delgado, cerámica negativa y policroma, entre otros. Si bien la tumba puede fecharse aproximadamente para la fase Tenanyecac mediante la asociación entre materiales culturales registrados en ella, no sucede lo mismo con las fechas obtenidas mediante  $C^{14}$ . Debemos mencionar que en una estimación por intervalo no pueden eliminarse de manera arbitraria los intervalos de confianza de la estimación, pues la sola

estimación puntual de ninguna manera puede dar una buena aproximación del valor verdadero, el cual siempre es desconocido.

La estimación puntual de algún parámetro poblacional es un valor único, calculado a partir de la muestra. Como el parámetro es desconocido, la estimación puntual de la muestra no puede coincidir con éste. La mayoría de las veces, la estimación no es exactamente igual al parámetro y, por tanto, la estimación puntual es errónea o sesgada. Por esta razón, es preferible determinar un intervalo dentro del cual se espera encontrar el valor del parámetro. Los intervalos no pueden ser eliminados, pues dependen del valor estadístico de la distribución muestral del parámetro. Por su longitud, el intervalo de estimación indica qué tan precisa es la estimación puntual; el intervalo de confianza es una ampliación de dicha estimación para considerar su precisión. El ancho del intervalo de confianza del parámetro será según la calidad del estimador puntual mediante su error estándar. Dentro de los intervalos se espera encontrar el valor real del parámetro.

La fecha estimada de construcción de la tumba se fijó en  $50 \text{ dC} \pm 200 \text{ dC}$ , fase Tenanyecac (200 dC a 650 dC). Observando los intervalos de tiempo dados para las muestras de radiocarbono de 2141 (40 dC a 200 dC), 2142 (140 dC a 420 dC) y 2143 (100 aC a 60 dC), y aquellas tomadas al interior de la tumba, podemos darnos cuenta que las fechas no corresponden con la fase en cuestión, tampoco las 2138 y 2140. De acuerdo con estos datos, podemos suponer que: 1) las muestras fueron contaminadas o no se tomaron del lugar indicado; 2) existe una gran fuente de variación en los fechamientos por  $C^{14}$ , lo cual sugiere mucha cautela en la interpretación; y 3) los entierros no son contemporáneos y corresponden a por lo menos dos fases diferentes. Las fechas establecidas para la tumba la ubicarían tanto en la fase Tezoquipan como en la Tenanyecac Temprano.

En resumen, podemos decir que los datos obtenidos por radiocarbono 14 son poco precisos, algunos intervalos de tiempo son bastante amplios y hay fechas sin relación con la realidad. En este caso, una seriación puede ayudar a determinar si los entierros encontrados son contemporáneos o corresponden a diferentes periodos de ocupación del sitio. Es decir, de acuerdo con este criterio, si los entierros son contemporáneos deberán tener la misma asociación en un mismo plano y así podrá afirmarse que corresponden a una sola fase, por ejemplo la Tenanyecac. En caso contrario, el método deberá arrojar alguna evidencia de que los entierros no son contemporáneos y pudieron corresponder a una fase más temprana (fase Tezoquipan), además de la Tenanyecac.

#### SERIACIÓN DE LOS ENTIERROS ENCONTRADOS EN LA TUMBA MEDIANTE EL AC

En el método AC los datos deben arreglarse en una tabla de contingencia [García Cook, 1997b]. En ésta, los renglones corresponden a cada uno de los entierros

encontrados; y las columnas, a los tipos cerámicos asociados. A continuación se reproducen las tablas de frecuencia de los tipos cerámicos clasificados por cada entierro.

TABLA 2.  
Tumba explorada en T-358, Los Teteles de Ocotitla,  
Tlaxcala: Elementos culturales [García Cook *et al.*, 1997]

Vasijas obtenidas del interior y exterior de la tumba																				
I Cerámica negra pulida										II Cerámica café pulida										
Tipo de entierro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Suma	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Suma
Interior de la tumba	12	4	13	2	0	0	3	3	1	38	0	1	1	0	1	0	0	2	0	5
1	15	3	2	2	0	0	0	1	0	23	0	4	26	0	13	1	0	2	0	46
1A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	4
2	12	10	3	1	0	0	0	8	0	34	0	1	18	0	2	2	2	2	1	28
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
4	0	1	0	1	2	0	0	0	0	4	0	1	6	8	0	9	0	5	0	28
5	4	2	6	1	0	1	0	2	0	16	0	0	18	0	11	0	1	1	0	31
6	1	0	0	0	4	0	0	1	0	6	4	0	0	0	0	0	0	1	0	5
Total	44	20	24	8	6	1	3	15	1	121	4	8	81	8	28	12	4	14	1	148

Vasijas obtenidas del interior y exterior de la tumba														
Tipo de entierro	III Anaranjado delgado				IV Cerámica roja pulida			V Cerámica policroma				VI Negativo		Suma
	19	20	21	Suma	22	23	Suma	24	25	26	Suma	27	Suma	
Interior de la tumba	2	3	6	11	0	5	5	2	0	2	4	0	0	63
1	1	0	0	1	1	2	3	0	0	0	0	0	0	73
1A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2	0	0	1	1	0	2	2	0	1	0	1	1	1	67
3	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	3
4	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	33
5	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	49
6	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	12
Total	3	3	7	13	1	14	15	2	2	2	6	1	1	304

TABLA 2 (continuación)

Otros objetos asociados													
Tipo de entierro	De arcilla				De piedra T			De piedra pulida				Objetos de concha	Suma
	28	29	30	Suma	31	32	Suma	33	34	35	Suma		
Interior de la tumba	0	2	0	2	7	2	9	0	46	5	51	192 3*	257
1	1	1	0	2	0	0	0	1	2	1	4	0	6
1A	1	1	2	4	0	0	0	1	0	1	2	0	6
2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	2
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	5	1	0	6	1	0	1	0	5	1	7	1*	15
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	3	1	4
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	2
Total	8	5	2	15	8	14	10	4	54	11	69	198	292

\* Artefactos de hueso.

En esta información las variables se manejaron de forma numérica para su fácil reconocimiento en el análisis: van de 1 a 9, en el caso de la cerámica Roja pulida; de 10 a 18, en Negra pulida, y así sucesivamente. Así, la Negra pulida corresponde a un tipo; y la categoría 9, a un subtipo [v. García Cook, 1997b]. Una vez completa la tabla o matriz de datos se procede a realizar la seriación. La matriz utilizada en este caso se obtuvo al omitir aquellas columnas o renglones cuyo total de frecuencias fuera igual a 0 o 1 para evitar la poca contribución, en otras palabras, que puedan tener frecuencias bajas o nulas en un análisis. La resultante fue de ocho renglones (entierros) por 21 columnas (variables).

Una vez realizado el análisis de correspondencia con los datos de la tabla 2, la sumatoria de los tres ejes principales representó 81.5198% del total de inercia, es decir 34.70487% + 26.31977% + 20.49518% de cada uno de los ejes, respectivamente (tabla 3).

TABLA 3.  
 Información explicada para cada uno  
 de los componentes después del análisis  
 de correspondencias (AC)

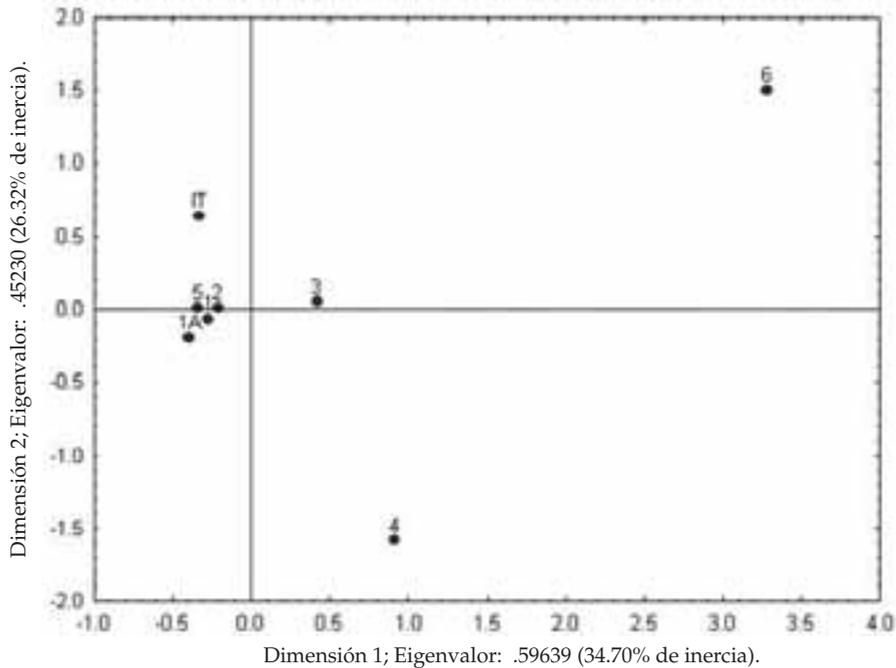
Número de dimensiones	Valores singulares	Eigenvalores	Porcentaje de inercia	Porcentaje acumulado	Ji-cuadrada
1	0.772263	0.596391	34.70487	34.7049	178.3208
2	0.672529	0.452296	26.31977	61.0246	135.2364
3	0.593466	0.352202	20.49518	81.5198	105.3085
4	0.331219	0.109706	6.38398	87.9038	32.8022
5	0.319596	0.102142	5.94378	93.8476	30.5404
6	0.265731	0.070613	4.10908	97.9567	21.1133
7	0.187387	0.035114	2.04334	100.0000	10.4991

Con una sola dimensión en este análisis se explica 34.7% de la inercia total, esto significa que los valores de las frecuencias relativas reconstruidas en una sola dimensión pueden reproducir 34.7% del valor total de la ji-cuadrada (y así de la inercia). Con una segunda dimensión se explica 61.02%; y con tres, 81.51% de la inercia. Sabemos que 81.51% del total de inercia es bueno en términos estrictos, es decir, un modelo perfecto explicaría 100% de la variabilidad total o inercia de los datos, sin embargo el anterior porcentaje es más que suficiente para realizar interpretaciones.

El despliegue gráfico de la figura 2 (entierros) es el llamado análisis de correspondencias de los perfiles de renglón de la matriz de datos. Los perfiles son vectores de las frecuencias relativas en sus totales respectivos. Basados en la posición que ocupan los puntos en este eje principal y conociendo cuáles contribuyen más a este eje, puede apreciarse que los entierros más próximos son 1, 1A, 2 y 5, interior de la tumba (IT); hay una separación con el entierro 3, por un lado; y los 4 y 6, en los extremos.

En esta gráfica los entierros 5, 2, 1 y 1A están más próximos en dimensionalidad, lo cual significaría que son más cercanos en el tiempo. El 4 se ubica en una dimensión vertical diferente de acuerdo con los valores de su perfil, sugiriendo con esto una época diferente en la deposición de éste. Lo mismo puede decirse de los entierros 3 y al interior de la tumba (IT); el entierro 6 parece ser el más distante en el tiempo.

FIGURA 2.  
Gráfico 2D del perfil del renglón (seriación de los entierros en el sitio Los Teteles de Ocotitla)



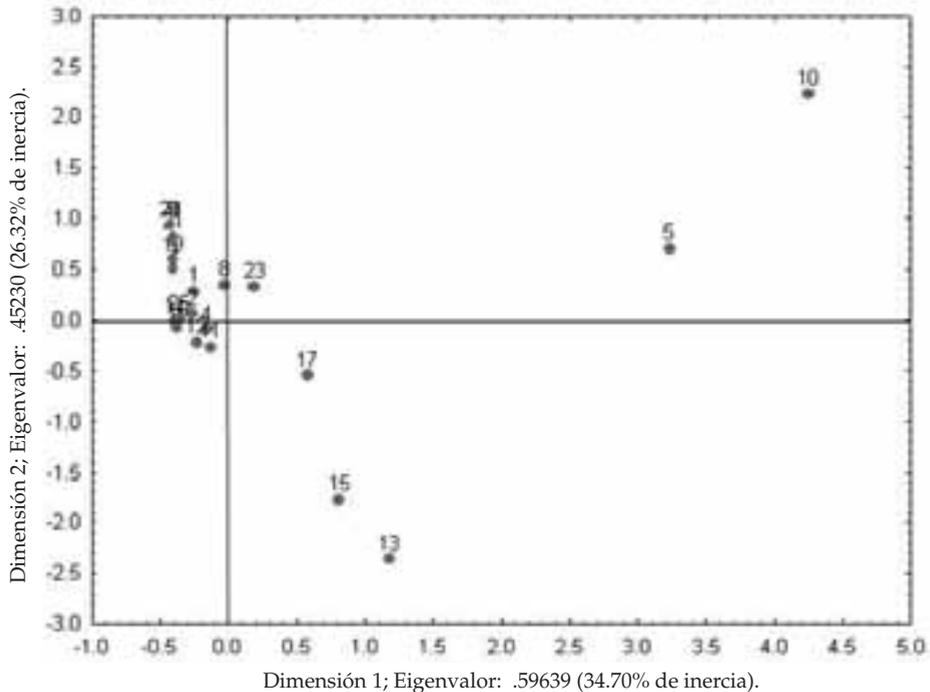
De acuerdo con lo establecido anteriormente, la distancia entre cada punto puede considerarse una medida de similitud entre sus perfiles. Así, los entierros 6 y 4 se hallan lejanos unos de otros, pues sus perfiles son diferentes; mientras que los 1, 1A y 2 se encuentran en la vecindad del entierro 5 debido a sus perfiles similares. Por último, en los entierros 3 e IT, aunque cercanos al grupo principal, existe cierta distancia con el mismo, lo cual hace suponer que fueron depositados en otra época. Todos los puntos (entierros) están dispuestos en este despliegue reflejando la posición relativa de sus perfiles. Basados en una solución de dos dimensiones (sólo dos son utilizadas para reconstruir los patrones de las frecuencias relativas mediante las columnas) confirman el hecho de que las inercias que más contribuyen en la seriación se deben a los entierros 4 y 6, siguiéndoles el 3.

Los puntos que representan a los tipos cerámicos son interpretados de la misma manera. Si ahora vemos el mapa de columnas o tipos cerámicos se ve la separación entre éstas. En la dimensión horizontal o parte superior de la gráfica figuran los tipos 7, 20, 26, 24, 21, 19 y 3; a la mitad de ésta, los 25, 2,

1, 8, 23, 4, 16, 12, 11 y 29; continuando con los 17, 15 y 13; y en el extremo derecho, los tipos 5 y 10 (figura 3). De igual manera, las coordenadas para calcular masa y eigenvalores de las inercias de columnas y variables que más contribuyen en los cálculos son 13, 15, 10 y 5; posteriormente se encuentran las 17, 23 y 24.

Debido a la correspondencia geométrica entre las nubes de puntos, tanto en posición como inercia, los despliegues de las figuras 1 y 2 pueden combinarse en un solo despliegue. El de cada nube de puntos indica la naturaleza de similitudes y dispersión dentro de cada una, mientras que el despliegue simultáneo indica la correspondencia entre las nubes de datos. La posición de ambos conjuntos son interpretados de una forma muy especial en el AC. En general, cada punto de cada tipo caerá más o menos en la dirección del entierro en el cual cada tipo cerámico resulta predominante. De este modo encontramos que los tipos 5 y 10 son más cercanos al entierro 6, tienen una frecuencia de ocurrencia alta asociada a este entierro en particular; mientras que el 13 cae por completo alejado en el despliegue gráfico, pues su frecuencia es relativamente baja

FIGURA 3.  
Gráfico en 2D de las coordenadas de  
columna o por tipos cerámicos

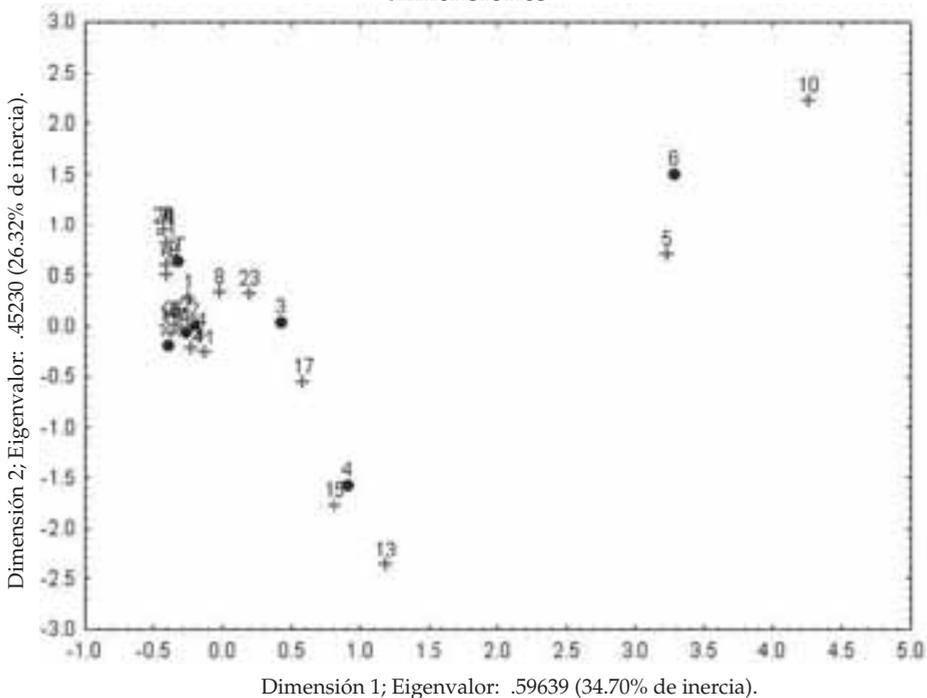


para ese mismo entierro. De hecho, existe un acuerdo en la posición de los puntos de las columnas y renglones en cuanto a su asociación en la matriz de datos.

En la figura 4 puede observarse la ordenación de los entierros respecto a sus variables. En este despliegue hay dos conjuntos de puntos: tipos cerámicos (columnas) y entierros (renglones). De acuerdo con el resultado obtenido en esta seriación, se concluye que hay cinco grupos o fechas de utilización de la tumba, por lo cual de ninguna forma los entierros son contemporáneos. Observando esta última representación de la figura 4 puede verse que el primer eje está determinado por el entierro 6, asociado a las variables 5 y 10. La primera corresponde a cerámica Negra pulida relacionada con la fase Tenanyecac o Teotihuacan II (Miccaotli), aunque se inicia desde Teotihuacan I (Patlachique-Tarde Tzacualli), existiendo al parecer cierta semejanza con algunas vasijas registradas en Cholula II (100 aC-200 dC).

En el otro eje está bien representado el entierro 4 asociado al tipo cerámico Café pulido. Los entierros 1A y 3 se observan un poco alejados del grupo principal

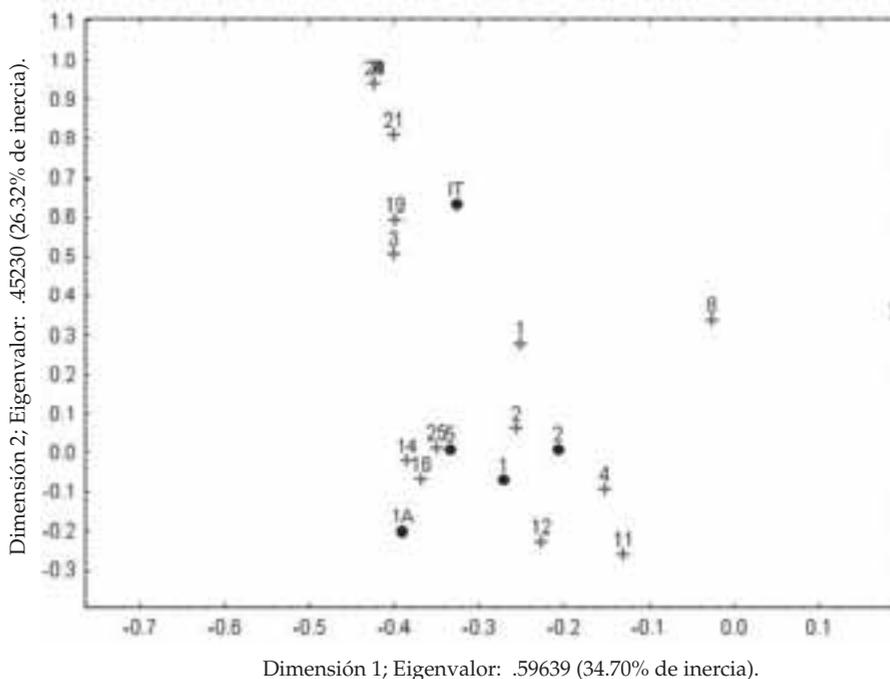
FIGURA 4.  
Distribución conjunta de coordenadas  
de renglón y columna en las dos primeras  
dimensiones



porque sus frecuencias de ocurrencia son bajas. La otra separación evidente se aprecia en el entierro del interior de la tumba cuyos tipos asociados son la cerámica Anaranjada delgada, cerámica policroma y Negra pulida (figura 5). De acuerdo con los resultados obtenidos por AC puede observarse que los entierros 4, 5 y 6 no fueron colocados al mismo tiempo, como fue sugerido en el texto original, y que el entierro 3 no fue depositado al mismo tiempo que la tumba principal.

A la cerámica Rojo pulida (variables 22 y 23) subtipo olla de cuello festonado se le atribuyen los periodos Teotihuacan I Tarde y II, lo mismo que el Anaranjado delgado. Otra variable con esta misma temporalidad es el tipo v de vasijas policromas Rojo y Crema sobre el color de barro, así como Café claro pulido, encontrados al interior de la tumba. La cerámica policroma (variables 24, 25 y 26) y ollas de cuello festonado con decoración en Rojo y Blanco sobre color del barro pulido se consideran un marcador de la fase superior del Preclásico en el subtipo vb, es decir, se le atribuye a Teotihuacan I [García Cook, 1997b]. La cerámica Café alisado en el subtipo II (variable 11) se relaciona con la fase Tezoquipan Tarde-Tenanyecac Temprano o Teotihuacan I Tarde y II. La cerámica Anaranjada delgada,

FIGURA 5.  
Detalle o acercamiento de tipos  
y entierros del grupo principal



por no tratarse de las formas típicas de este tipo relacionadas cronológica y culturalmente con Teotihuacan, quizá tuvo su origen en el Golfo o al sur de Puebla.

Podemos apreciar que en su mayoría los tipos cerámicos corresponden tanto a Teotihuacan I y Tezoquipan Tarde como a Teotihuacan II y Tenanyecac Temprano. Entonces, ¿cuál de estos entierros es más antiguo y cuál más reciente en la secuencia? Primero es preciso observar las inercias de las variables que contribuyen más: la 5 (Negra pulida), las 10, 13, 15 y 17 (Café alisada), y las 23 y 24 (cerámica policroma); de éstas, sólo la cerámica policroma se considera un marcador de la fase superior del Preclásico. De los demás objetos asociados en los entierros, durante la excavación se encontraron algunas figurillas: tres del tipo E, tres de Teotihuacan I y una de Tenanyecac.

Pero las últimas son características de la parte tardía de la fase Tezoquipan. Las primeras (tipo E), aunque existen en Tezoquipan e incluso en una parte muy temprana de Tenanyecac, son más bien características de Texoloc Tarde (600aC-300 aC) y Tezoquipan Temprano (300 aC-100 aC). Si vemos la tabla 1, en el entierro 4 se encontraron cinco figurillas, mientras que en los 1, 1A y 2 sólo se halló una en cada uno. De acuerdo con la temporalidad de las figurillas, dichos entierros estarían más temprano en la secuencia; y en el entierro 4 la frecuencia de figurillas encontradas lo ficharían como el más antiguo de todos, contando además la presencia de cerámica Café alisada que comienza en Teotihuacan I. Por otro lado, al pectoral encontrado en el entierro 1 lo sitúan para la fase Tezoquipan Tardío y las orejeras registradas en el 1A se consideran características del Preclásico Tardío, aunque inician desde el Preclásico Medio en esta región de Tlaxcala.

De esta forma, se concluye que el entierro 4 fue el primero en ser colocado, siguiendo otras ceremonias que colocarían a los entierros 1A y 1, y posteriormente los 2 y 5. Otra ceremonia muy cercana en el tiempo colocó al entierro 3, en una más fue colocado el entierro del interior de la tumba, y por último la más temprana cuando se colocó el entierro 6 (v. figura 5). Es más probable que el entierro 4 pertenezca a la fase Tezoquipan; los 1, 1A, 2, 3 y 5, a la inicial de Tenanyecac; y el 6, a la Tenanyecac, en su fase media.

## CONCLUSIONES

En este artículo se propone el método de análisis de correspondencias para realizar la seriación de un grupo de entierros, considerando para ello la frecuencia de ocurrencia de las ofrendas asociadas a cada entierro. Para utilizar este método, deben calcularse los eigenvalores de la matriz de datos, por lo que se lleva a cabo una reducción de la dimensionalidad en las variables observadas.

De esta manera, pueden probarse hipótesis de significancia cronológica de los entierros, al mismo tiempo que tener una idea de las fuentes de variabilidad en

los datos. El análisis de correspondencias es un procedimiento que busca entender la geometría de un conjunto de puntos en un espacio multidimensional mediante una aproximación hecha en un despliegue de dos dimensiones.

En el ejemplo dado los fechamientos hechos por  $C^{14}$ , en lugar de ayudar a establecer la cronología de la tumba, confunden debido a fechas erráticas y amplios intervalos obtenidos para cada una de éstas. Por ello, el material cultural asociado con los entierros es esencial en el establecimiento cronológico de los mismos.

Siempre debe tenerse presente que la estadística multivariada es un instrumento que facilita el análisis y síntesis de los datos, así como la manipulación y validación de los conceptos; además, mejora la obtención y calidad subsiguientes de los propios datos. Pero en nada sustituye la labor imprescindible de construcción del objeto y diseño de la investigación, registro, análisis e interpretación de los resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

### **Batt, C. M. y A. M. Pollard**

1996 "Radiocarbone Calibration and the Peopling of North America", en Orn, Mary Virginia (ed.), *Archaeological Chemistry, Organic, Inorganic, and Biochemical Analysis*, Washington, American Chemical Society, pp. 415-433.

### **Benzecri, Jean Paul**

1992 *Correspondence Analysis Handbook*, Nueva York, Marcel Dekker.

### **Cowgill, George L.**

1972 "Models, Methods and Techniques for Seriation", en Clark, D. L. (ed.), *Models in Archaeology*, Londres, Methuen, pp. 381-424.

### **Digby, P. G. N.**

1985 "Graphical Displays for Classification", en Voorrips, A. y S. H. Loving (eds.), *To Pattern the Past*, Amsterdam, Journal of the European Study Group on Physical, Chemical and Mathematical Techniques Applied to Archaeology, pp. 75-91.

### **Doran, Jim E. y Hodson, F. Roy**

1975 *Mathematics and Computers in Archaeology*, Harvard, University Press.

### **García Cook, Ángel**

1997a "Una secuencia cultural para Tlaxcala", en García Cook, A. y B. L. Merino (comps.) y Mirambell, L. (coord.), *Antología de Tlaxcala*, Antologías 2, México, INAH-Gobierno del Estado de Tlaxcala, pp. 57-89.

1997b "Cronología de la tumba y comentarios generales", en García Cook, A. y B. L. Merino (comps.) y Mirambell, L. (coord.), *Antología de Tlaxcala*, Antologías 2, México, INAH-Gobierno del Estado de Tlaxcala, pp. 395-412.

### **García Cook, Ángel, M. Arias y R. Abascal**

1997 "Una tumba de la fase Tenanyecac en Tlaxcala, México", en García Cook, A. y B. L. Merino (comps.) y Mirambell, L. (coord.), *Antología de Tlaxcala*, Antologías 2, México, INAH-Gobierno del Estado de Tlaxcala, pp. 333-394.

### **Greenacre, Michael. J.**

1984 *Theory and Applications of Correspondence Analysis*, Nueva York, Academic Press.

**Hole, Frank y Mary Shaw**

1967 *Computer Analysis of Chronological Seriation*, Houston, William Marsh Rice University.

**Jull, A. J., D. J. Donahue y P. E. Damon**

1996 "Factors that Affect the Apparent Radiocarbon Age of Textiles", en Orn, Mary Virginia (ed.), *Archaeological Chemistry, Organic, Inorganic, and Biochemical Analysis*, Washington, American Chemical Society, pp. 248-253.

**Kouzmetsov, D. A., A. A. Ivanov y P. R. Veletsky**

1996 "A Re-Evaluation of the Radiocarbon Date of the Shroud of Turín Based on Biofractionation of Carbon Isotopes and a Fire-Simulating Model", en Orn, Mary Virginia (ed.), *Archaeological Chemistry, Organic, Inorganic, and Biochemical Analysis*, Washington, American Chemical Society, pp. 229-247.

**Rozoy, Jean-Georges**

1978 "Typologie de l'Épipaléolithique ("Mésolithique") franco-belge", en *Bulletin de la Société Archéologique Champenoise*, julio, Francia, Charleville.

**Smith, Michael E.**

1983 "Postclassic Culture Change in Western Morelos, Mexico: The Development and Correlation of Archaeological and Ethnohistorical Chronologies", tesis de doctorado en ciencias, Estados Unidos, Universidad de Illinois-Departamento de Antropología.

