

# **CARACTERIZACIÓN DE CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS DE LA PROVINCIA DE ALICANTE POR APLICACIÓN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE A LOS DATOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA**

**FRANCISCO RUIZ BEVIÁ  
VICENTE GOMIS YAGÜES  
AMPARO GÓMEZ SIURANA  
LORENZO ABAD CASAL**  
*Universidad de Alicante*

Este trabajo tiene como objetivo la caracterización de cerámicas arqueológicas a través de sus componentes químicos. Los materiales estudiados pertenecen a diferentes periodos entre el neolítico y la época medieval, y fue posible caracterizar químicamente cuatro grupos cerámicos diferentes, que correspondían a la Edad del Bronce y a las culturas ibérica, griega y romana.

This work aims to characterize archaeological pottery through its chemical components. The materials belong to different periods between the Neolithic and Medieval ages, and it was possible to characterize chemically four groups: Bronze, Iberic, Greek and Roman potteries.

## **1. RESUMEN**

Este trabajo se ha realizado en la División de Ingeniería Química en colaboración con el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Alicante con el objetivo de estudiar la posibilidad de caracterizar piezas cerámicas arqueológicas a partir de su composición química mediante la definición de grupos homogéneos tanto química

como arqueológicamente. Se estudian 95 fragmentos cerámicos, procedentes de excavaciones realizadas en la provincia de Alicante. El material analizado abarca una secuencia cultural que va desde la época eneolítica hasta la medieval, y se pretende encontrar las posibles diferencias químicas existentes entre muestras de diferentes edades.

Los datos analíticos obtenidos para ocho elementos analizados en los fragmentos son sometidos

a métodos computacionales de análisis estadístico multivariante, que han mostrado su utilidad en la búsqueda de correlaciones entre composición química y edad o procedencia de cerámicas arqueológicas. De esta forma, se ha logrado caracterizar químicamente cuatro grupos de cerámicas: Edad del Bronce, ibéricas, griegas y romanas.

## 2. INTRODUCCIÓN

Las contribuciones de la química a la arqueología se vienen produciendo casi desde el siglo XVIII (Meschel, 1974), si bien, estas actuaciones son esporádicas, y no es hasta el primer cuarto del siglo XX que se desarrollan los principios, ideas y conceptos pioneros de la llamada «Química Arqueológica»: A partir de este momento, esta nueva ciencia se desarrolla muy rápidamente debido, fundamentalmente, a la gran evolución que experimentan las técnicas instrumentales de análisis.

Es una idea antigua que la composición de un objeto debe guardar relación con la de la materia prima a partir de la cual ha sido fabricado. Sin embargo, en el caso de cerámicas, es casi imposible establecer una relación teórica entre la composición de una arcilla original y la del objeto obtenido a partir de ella, debido al elevado número de variables irreproducibles que se introducen durante el proceso de manufactura. Consecuentemente, las correlaciones entre composición y procedencia serán siempre empíricas, y se deberá operar a base de la información extraída a partir de los resultados analíticos de series de objetos de procedencia asegurada, hablándose siempre en términos de probabilidad.

En la actualidad se dispone de una serie de procedimientos estadísticos que, agrupados bajo el nombre de «métodos de análisis estadísticos multivariante», permiten clasificar, analizar o representar los datos procedentes de la observación de un número elevado de variables sobre una colección de muestras (Cuadras, 1981). Mediante la aplicación de estos métodos, es posible dar solución al problema de cómo comparar y agrupar las muestras cerámicas estudiadas de acuerdo con su composición química, de forma que se obtengan grupos que posean también sentido arqueológico.

Hasta hace algunos años, los métodos de comparación usados para la formación de grupos de ob-

jetos arqueológicos, homogéneos fisicoquímica y arqueológicamente, consistían en la inspección visual de gráficas o perfiles de concentración, confirmándose la clasificación obtenida por comparaciones entre las medias y desviaciones standard de los grupos (Abascal y col., 1974, Jornet, 1980, Grimanis y col., 1980, Carrara y col., 1982, Snow y col., 1983). Por otro lado, tras una revisión bibliográfica, puede comprobarse que se están aplicando, con éxito, técnicas multivariantes en la resolución de problemas arqueológicos. A título de ejemplo, cabe citar los trabajos de Hatcher y col., (1980), Thuesen y col., (1981), Mello y col., (1982), Attas y col., (1982), Peisach y col. (1982), Pike y col. (1983) y Blasius y col. (1983).

El objetivo de este trabajo es estudiar la aplicación de las técnicas multivariantes a la caracterización de piezas cerámicas arqueológicas procedentes de excavaciones en la provincia de Alicante. Con este fin, se han realizado análisis químicos de 95 fragmentos de cerámicas arqueológicas, abarcando una secuencia cultural que va desde la época eneolítica hasta la medieval.

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestras de cerámica estudiadas

Las cerámicas estudiadas han sido facilitadas por el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Alicante. Dentro de ellas se puede diferenciar entre:

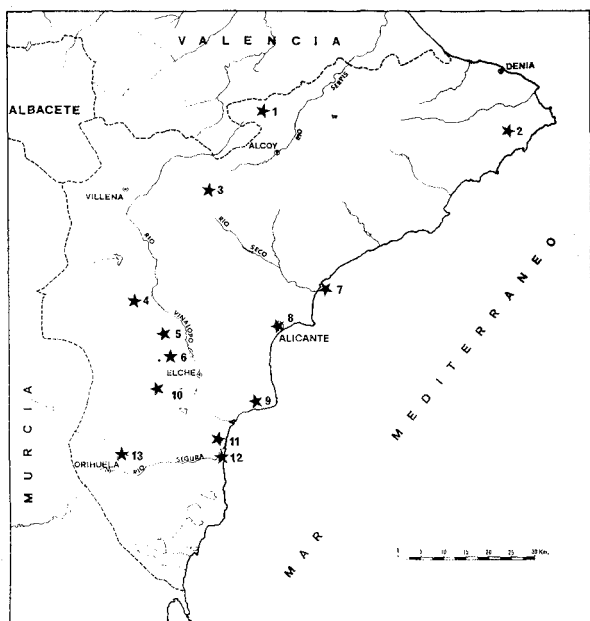
— 39 fragmentos procedentes de yacimientos que se encuentran en la provincia de Alicante (A-1 a A-39)

— Un fragmento cerámico procedente de «El Amarejo», en la provincia de Albacete (AB-1)

— Dos fragmentos procedentes de la factoría del Río Guadalhorce, en la provincia de Málaga (MA-1 y MA-2), y

— 53 fragmentos procedentes de la provincia de Alicante, de la colección del Museo Arqueológico Provincial, proporcionadas por mediación del profesor Abad (A-40 a A-92)

En la figura 1 se localizan los yacimientos de los que proceden las muestras estudiadas (a excepción de los situados en las provincias de Albacete



1. AGRES (Mola d'Agres)
2. TEULADA (Cova de les Cendres)
3. ONIL (El Fontanal)
4. MONÓVAR (El Campet)
5. NOVELDA (El Campet)
6. ASPE (Castillo del Río)
7. CAMPELLO (Ileta de Campello)
8. ALICANTE (Tossal de Manises, Benalúa, Fontcalent)
9. SANTA POLA (Portus Ilicitanus)
10. CREVILLENTE (Pic de Les Moreres, Les Moreres, El Castellar, Peña Negra)
11. SAN FULGENCIO (La Escuela, El Oral)
12. GUARDAMAR (Cabezo Lucero, Castillo)
13. CALLOSA DE SEGURA (Castillo)

Figura 1.—Localización de los yacimientos arqueológicos de la provincia de Alicante de los que proceden las muestras estudiadas.

y Málaga) sobre el mapa de la provincia de Alicante, y en la tabla 1 se ofrece una clasificación detallada de las muestras estudiadas, agrupadas según su edad y el yacimiento de que proceden.

## MÉTODO EXPERIMENTAL

Las muestras, previamente pulverizadas, han sido disgregadas por el procedimiento propuesto por Hernandis (1975) y modificado por Bosch y col. (1979), basado en la disgregación de las muestras con ácido fluorhídrico más ácido fosfórico en un recipiente de destilación de teflón que permite se-

parar el ácido hexafluorosilícico y el exceso de ácido fluorhídrico del resto de los componentes por determinar. Este mismo método fue utilizado con éxito por Mas (1980) en el estudio de las arcillas de interés cerámico de la provincia de Alicante, y ha sido descrito recientemente por Sala y col. (1986).

El destilado obtenido se utiliza para la determinación de la sílice, y en el residuo se analizan los elementos aluminio, titanio, hierro, manganeso, calcio, magnesio, sodio y potasio. Todos ellos, salvo el titanio, se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica y, este último se analizó por colorimetría, a partir de la coloración amarilla de las disoluciones sulfúricas de titanio, al ser tratadas con agua oxigenada.

La precisión del método analítico se encontró similar, y en ocasiones mejor que la obtenida por otros autores (Hatcher y col., 1980 y Tubb y col., 1980), con coeficientes de variación entre un 1.1% y un 7.2%, en función del elemento considerado.

## TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Los resultados de los análisis químicos han sido tratados estadísticamente usando métodos de análisis multivariante. En este trabajo se utilizan análisis de componentes principales y análisis canónico de poblaciones como métodos de análisis y presentación de datos, y análisis cluster y análisis discriminante como métodos de clasificación. Los programas de cálculo utilizados se encuentran recogidos en el paquete estadístico BMDP (Dixon y col., 1977), si bien para el análisis de componentes principales se ha aplicado el programa de cálculo elaborado en la División de Ingeniería Química de la Universidad de Alicante.

El análisis de componentes principales es un método de análisis de datos cuya finalidad es la de simplificar la estructura de éstos, sin obedecer a un modelo fijado a priori. Por ejemplo, en este caso concreto, permitirá la representación de las muestras cerámicas, caracterizadas cada una por su composición química, en un espacio de dimensión reducida (un plano), en el que los ejes coordenados o componentes principales, son combinaciones lineales de las variables estudiadas, con una pérdida de información mínima.

TABLA 1. Clasificación de los fragmentos cerámicos en función de los yacimientos de que proceden.

YACIMIENTOS	M U E S T R A S									
	Eneolítico	Neolítico	Bronce	Ibérico	Oriental	Fenicio	Griego	Campan.	Romano	Medieval
Oral				A-1-i A-2-i A-3-i A-4-i A-5-i A-6-i A-7-i A-8-i A-9-i A-10-i A-11-i A-12-i						
Castellar				A-38-i A-39-i						
Peña Negra			A-25-b A-26-b A-27-b A-28-b A-29-b		A-30-o A-31-o A-32-o A-33-o A-34-o A-35-o A-36-o A-37-o					
Pic de Les Moreres			A-20-b A-21-b A-22-b							
Les Moreres			A-18-b A-19-b							
Castillo de Callosa de Segura			A-23-b A-24-b							
Cova de Les Cendres		A-40-n A-41-n								
Fontanal	A-42-e A-44-e A-45-e									
Mola d'Agres			A-46-b A-47-b A-48-b							
Escuera				A-13-i				A-14-c		
Castillo de Guardamar								A-15-c		

TABLA 1. Clasificación de los fragmentos cerámicos en función de los yacimientos de que proceden (Continuación).

YACIMIENTOS	M U E S T R A S									
	Eneolítico	Neolítico	Bronce	Ibérico	Oriental	Fenicio	Griego	Campan.	Romano	Medieval
El Campet									A-16-r	
Monóvar									A-17-r	
Illeta de Campello			A-49-b A-50-b A-51-b	A-56-i A-57-i			A-43-g A-60-g	A-67-c		
Tossal de Manises				A-52-i A-53-i			A-59-g	A-66-c	A-68-r A-69-r A-70-r A-71-r A-72-r A-73-r A-74-r	
Cabezo Lucero							A-58-g A-61-g A-62-g			
Benalúa									A-76-r A-77-r A-78-r A-79-r A-80-r A-81-r A-82-r	
Fontcalet				A-87-i					A-83-r A-84-r A-85-r A-86-r	
Amarejo				AB-1-i						
Castillo del Río de Aspe				A-54-i A-55-i				A-63-c A-64-c A-65-c		A-88-m A-89-m A-90-m A-91-m A-92-m
Factoría del Río Guadalhorce						MA-1-f MA-2-f				

El análisis canónico de poblaciones consigue objetivos similares al análisis de componentes principales, pero mientras que éste representa a las muestras a lo largo de ejes con máximo poder de discriminación, el análisis canónico se aplica para la representación de grupos previamente definidos.

El análisis cluster es un método de clasificación que permite la formación de grupos o clusters de muestras similares. La representación gráfica del análisis cluster conduce a un dendograma. En él, los grupos que se obtienen se van fusionando progresivamente, mientras decrece la homogeneidad de éstos.

Finalmente, el análisis discriminante, es un método de representación que da solución al problema de cómo asignar un individuo a una de varias posibles poblaciones, a partir de un número  $n$  de variables observadas tanto en el individuo como en las poblaciones, y una apropiada regla de decisión que permita asignar el individuo en cuestión a una de éstas. La clasificación se resuelve construyendo ciertas funciones llamadas funciones discriminantes o de clasificación, y la decisión se toma a partir del valor de dicha función.

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se presentan los resultados de los análisis químicos para cada una de las muestras estudiadas. En ella se muestran los datos para los nueve elementos determinados expresados como porcentaje de óxidos. También se indica el contenido en carbonatos, expresado como  $\%CO_2$  y el porcentaje de pérdida por calcinación a  $900\text{ }^\circ C$  como:

$$100 \times (\text{pérdida de peso/peso de muestra seca})$$

Para cada muestra se realizaron entre dos y cuatro disgregaciones y posteriores análisis. Los resultados que se dan son los valores promedio de dichos análisis.

##### Aplicación de métodos multivariantes a los resultados obtenidos

Cuando se dispone de datos analíticos de concentración para una serie de cerámicas arqueológicas, surge el problema de cómo comparar y agrupar las muestras de acuerdo con su composición, de

forma que se obtengan grupos con sentido tanto desde el punto de vista químico como del arqueológico. Como ya se ha expresado, la estadística multivariante y la taxonomía numérica o análisis cluster, han mostrado su utilidad en la interpretación de los datos analíticos procedentes de series de objetos arqueológicos.

Dentro del plan de trabajo trazado, se ha aplicado, en primer lugar, análisis de componentes principales y análisis cluster a los datos de composición de las 95 cerámicas analizadas. Así, se han logrado definir grupos de muestras con composición química semejante. De todos ellos, se han seleccionado aquellos grupos que poseían sentido arqueológico para ser estudiados con posterioridad.

Los datos analíticos obtenidos se organizaron en una matriz de dimensiones  $N \times n$ , donde  $N$  es el número de muestras y  $n$  el número de variables observadas. En dicha matriz se ha eliminado la columna correspondiente al  $\%SiO_2$ , por depender de las restantes columnas (al deber cuadrar a 100 el balance de óxidos). También se excluye en este análisis la columna correspondiente al  $\%CO_2$ , ya que se comprobó que esto no afectaba a las agrupaciones finales obtenidas.

La aplicación de análisis de componentes principales a una matriz como la descrita, proporciona una representación en dimensión reducida para las muestras, con máxima dispersión para éstas y, al mismo tiempo, mínima pérdida de información. La representación de las dos primeras componentes principales se muestra en la figura 2. En esta representación se encuentra contenido el 57,5% del total de la información incluida en la matriz de datos original. Sobre el primer eje se representa:

$$0,28 \times \%MnO + 0,41 \times \%Al_2O_3 + 0,50 \times \%Fe_2O_3 + 0,29 \times \%Na_2O + 0,27 \times \%K_2O - 0,43 \times \%CaO + 0,12 \times \%MgO + 0,39 \times \%TiO_2$$

y sobre el segundo;

$$-0,47 \times \%MnO + 0,39 \times \%Al_2O_3 - 0,03 \times \%Fe_2O_3 - 0,44 \times \%Na_2O - 0,01 \times \%K_2O - 0,38 \times \%CaO - 0,52 \times \%MgO + 0,04 \times \%TiO_2$$

A pesar de que la nube de puntos obtenida es muy densa y la formación de grupos de puntos correspondientes a fragmentos cerámicos homogéneos es difícil, sí que pueden hacerse algunas observaciones que sugieren la existencia de grupos composicionales que pueden relacionarse con grupos de muestras con la misma caracterización arqueológica. Así, por ejemplo, se observa que aparecen muy

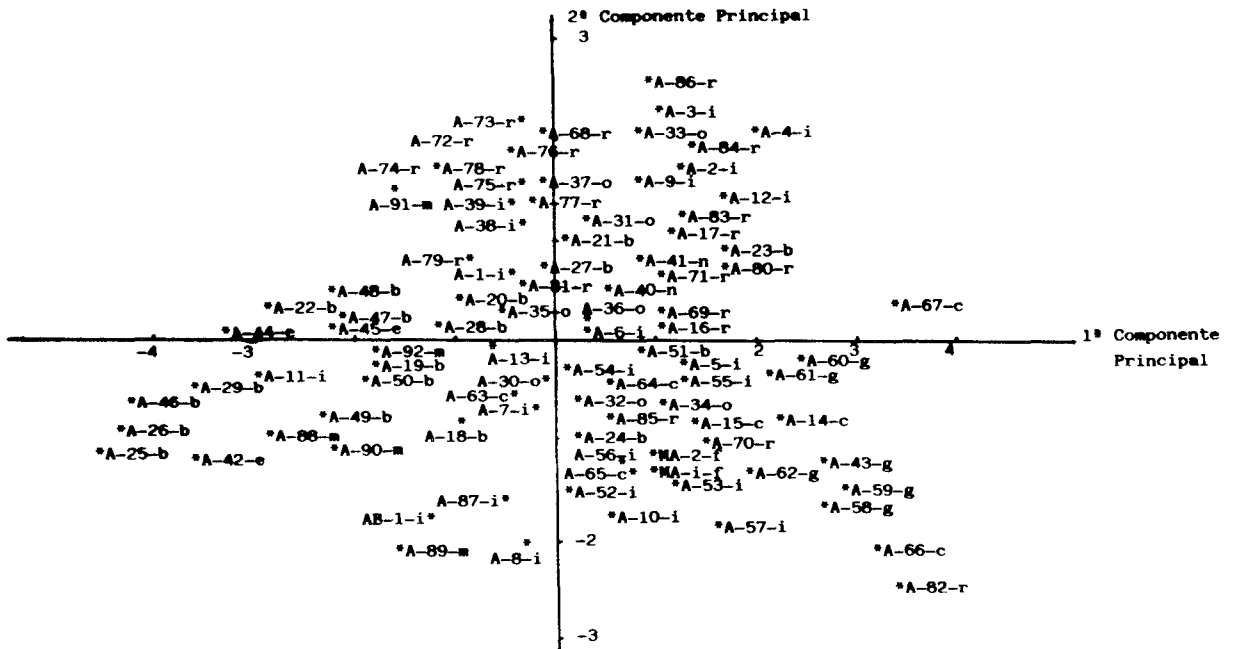


Fig. 2.— Análisis de componentes principales aplicado a las cerámicas arqueológicas de Alicante, Málaga y Albacete: primera componente principal frente a segunda componente principal.

próximas entre sí, en el segundo cuadrante, todas las muestras griegas. Algo análogo ocurre, sobre todo si se considera también la tercera componente principal (que quedaría representada en la figura 2 por un tercer eje perpendicular al plano del papel), con las muestras ibéricas, de la Edad del Bronce y romanas.

La misma matriz de observaciones se sometió a análisis cluster, obteniéndose el dendograma presentado en la figura 3. En la tabla 3 se detallan las muestras que constituyen los diferentes grupos o clusters, y las distancias de unión entre éstos (que viene a ser un índice del grado de homogeneidad/heterogeneidad del grupo). A la vista de la tabla 3, y ciñéndonos a los cuatro grupos que el análisis de componentes principales indicaba como más homogéneos desde el punto de vista del grado de correlación edad-composición, se observa que, efectivamente, parece existir tal correlación, siendo necesario un estudio más detallado de estos cuatro grupos.

La aplicación de análisis discriminante a estos cuatro grupos puso de manifiesto que si las muestras en ellos incluidas tuvieran que ser de nuevo re-clasificadas como bronce, ibéricas, griegas o roma-

nas, en base exclusivamente a su composición química, serían clasificadas correctamente:

- el 47,8% de las muestras ibéricas
- el 100% de las muestras griegas
- el 61,9% de las muestras romanas, y
- el 62,5% de las muestras de la Edad del Bronce

Estos porcentajes son elevados si se considera que los grupos fueron definidos con anterioridad prescindiendo de cualquier consideración de tipo químico. Con el fin de obtener unas funciones de clasificación que proporcionen porcentajes de clasificaciones correctas elevados y que puedan ser utilizadas con una confianza razonable en la clasificación de nuevos casos, se definen cuatro nuevos grupos, atendiendo a factores tanto químicos como arqueológicos, cuya composición es la que se indica en la tabla 4.

La aplicación de análisis discriminante a estos cuatro grupos proporciona las funciones de clasificación o discriminantes que se muestran en la tabla 5. De la observación a dichas funciones puede concluirse que para la asignación de una muestra cerámica a uno de los cuatro grupos considerados, basta con atender a su contenido en MnO, K<sub>2</sub>O, CaO y MgO, y realizar la sustitución de los porcentajes correspondientes en las cuatro funciones: el frag-

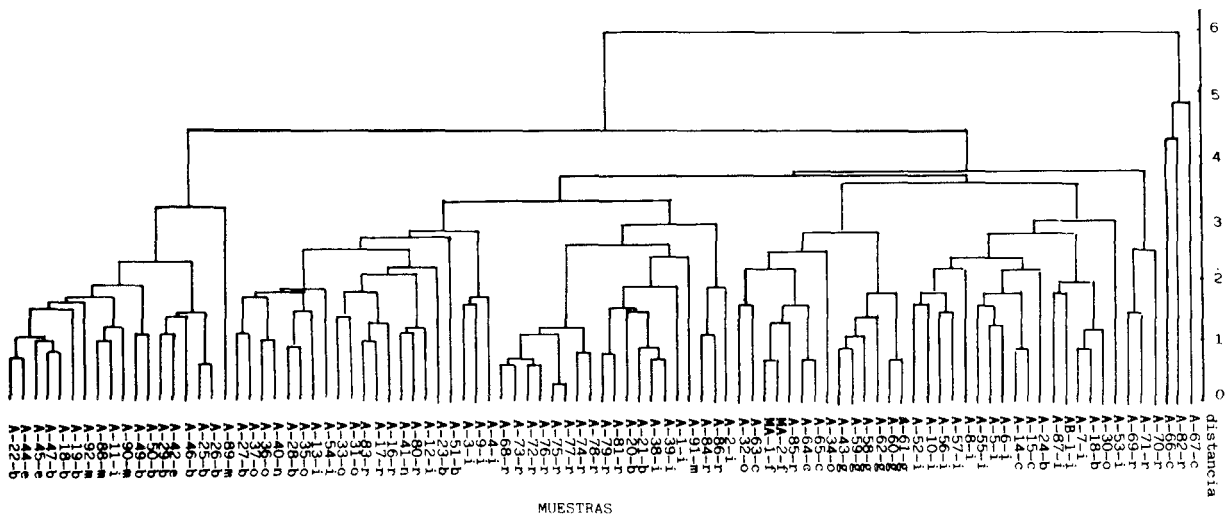


Fig. 3.— Dendrograma resultante de la aplicación de análisis cluster a las cerámicas arqueológicas de Alicante, Málaga y Albacete.

mento en cuestión será asignado a aquel grupo cuya función discriminante presente el valor más elevado. Las funciones de clasificación presentadas en la tabla 5, clasifican correctamente al 100% de las muestras consideradas.

Al aplicar análisis canónico de poblaciones a los cuatro grupos definidos a partir de consideraciones tanto químicas como arqueológicas, utilizando las cuatro variables seleccionadas en el análisis discriminante (%MnO, %K<sub>2</sub>O, %CaO y %MgO), se obtienen tres variables canónicas, de las cuales, las dos primeras son:

$$-75,290 \times \%MnO + 0,628 \times \%K_2O + 0,237 \times \%CaO + 0,098 \times \%MgO - 2,551$$

y,

$$-5,965 \times \%MnO - 1,313 \times \%K_2O - 0,045 \times \%CaO - 0,583 \times \%MgO + 6,468$$

y acumulan el 82,3% de la información sobre el contenido en Mn, K, Ca y Mg de las muestras.

Como ya se indicó, dichas variables canónicas permiten representar a los cuatro grupos estudiados a lo largo de ejes con máximo poder diferenciador y con mínima pérdida de información. En la figura 4 se han representado los puntos resultantes al evaluar las dos primeras variables canónicas, tanto para los valores medios de cada grupo (puntos 1, 2, 3 y 4), como en cada fragmento (puntos B, I, R y G). Se observa una concentración de las muestras alrededor del punto correspondiente al centro de su grupo, así como una separación entre las cuatro poblaciones estudiadas que pone de manifiesto que,

realmente, se pueden establecer grupos composicionales que resultan ser homogéneos desde el punto de vista arqueológico.

## 5. CONCLUSIONES

Tras analizar químicamente 95 fragmentos cerámicos, abarcando una secuencia cultural que va desde la época eneolítica a la medieval, y estudiar comparativamente los valores medios de cada variable, en cada uno de los grupos arqueológicos, puede verse la existencia de algunas diferencias en la composición química de los grupos. Con el fin de obtener conclusiones más definitivas sobre la formación de grupos homogéneos desde el punto de vista de la composición química, se aplicó análisis de componentes principales y análisis cluster. Los resultados de este estudio estadístico, sugirieron la existencia de grupos composicionales que podían relacionarse con grupos de muestras con la misma caracterización arqueológica.

Sin embargo, la aplicación de análisis discriminante a los cuatro grupos más destacados del estudio anterior, proporcionaba unas funciones de clasificación con porcentajes de clasificaciones correctas entre el 47,8% y el 100%. Con el fin de obtener unas funciones de clasificación mejores, se procedió a la definición de unos nuevos grupos de cerámicas, atendiendo a factores arqueológicos (edad de las muestras) y químicos (rechazo de aquellas mues-



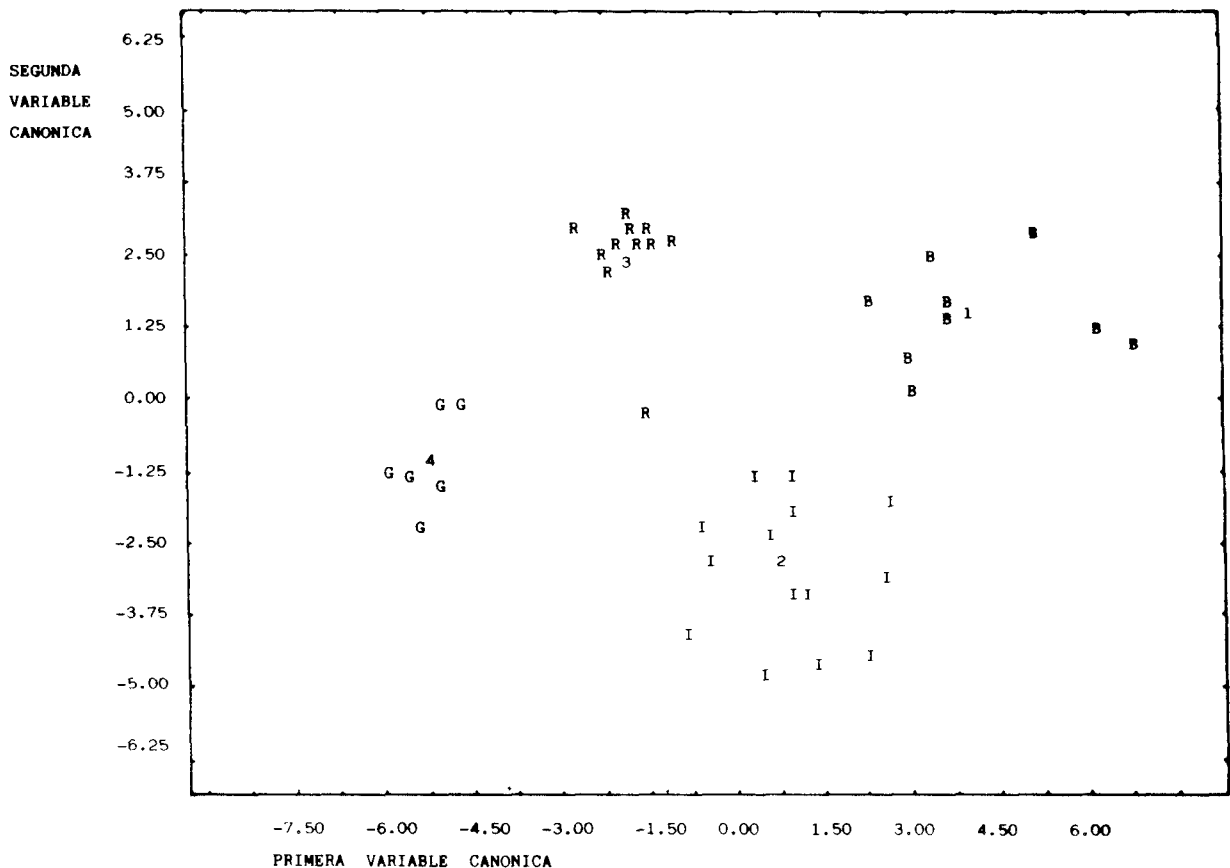


Fig. 4.— Análisis canónico aplicado a grupos de cerámicas de la Edad del Bronce, ibéricas, griegas y romanas de Alicante, homogeneizados desde el punto de vista químico. Primera variable canónica frente a segunda variable canónica. El punto correspondiente a cada muestra se representa por la inicial del grupo al que pertenece (B, I, G, R) y el punto resultante al evaluar las variables canónicas en el individuo medio de cada grupo se representa por un número (1: Bronce, 2: Ibérico, 3: Romano y 4: Griego).

tras cuya composición difiere mucho de la media del grupo). Así se llegó a cuatro grupos formados por:

- 10 muestras de la Edad del Bronce
- 14 muestras ibéricas
- 6 muestras griegas
- 12 muestras romanas

de forma que, las variables diferenciadoras entre estos cuatro grupos resultaron ser:

MnO, %K<sub>2</sub>O, CaO y %MgO.

Todo lo anterior pone de manifiesto la validez del método empleado para la búsqueda de correlaciones entre la composición química de una cerámica y el grupo al que pertenece desde el punto de vista arqueológico. Sin embargo, no hay que olvidar que en estas correlaciones se está operando en términos estadísticos y, para poder llegar a resultados que puedan hacerse extensivos, con una eleva-

da probabilidad, a cualquier fragmento cerámico, debería ampliarse el estudio, partiendo de una adecuada selección de las muestras a estudiar.

#### BIBLIOGRAFIA

- ABASCAL, R., HARBOTTLE, G., SAYRE, E.V. (1974): «Archaeological Chemistry. Advances in Chemistry Series». American Chemical Society, 138, 81-101.
- ATTAS, S. M., FOSSEY, J. M., YAFFE, L. (1982): *Archaeometry*, 24 (2), 181-190.
- BLASIUS, E., WAGNER, H., BRAUN, H., KRUMBHOLZ, R., SCHWARTZ, B. (1983): *Archaeometry*, 25(2), 165-178.
- BOSCH, F., HERNANDIX, V., MARTIN, M. L. (1979): *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, 18, 93.
- CARRARA, M., CRISCI, G. M., DE FRANCESCO, A. M. (1982): *Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, 38(3), 1.459-1.470.

**TABLA 2. Cerámicas arqueológicas de Alicante, Málaga y Albacete: resultados de los análisis químicos. Los resultados se expresan en tanto por ciento en peso de óxido.**

Muestra	% MnO	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Na <sub>2</sub> O	% K <sub>2</sub> O	% CaO	% MgO	% SiO <sub>2</sub>	% TiO <sub>2</sub>	% CO <sub>2</sub>	% Pérd. Calc.
A-1-i	0.006	16.6	5.61	1.07	0.57	13.8	1.23	45.1	0.74	7.6	16.3
A-2-i	0.004	20.0	7.37	0.88	0.93	8.8	1.05	62.9	1.10	0.1	8.3
A-3-i	0.006	18.6	3.82	0.57	3.97	0.6	0.92	72.5	1.11	0.7	2.4
A-4-i	0.008	18.7	6.03	0.58	5.11	0.5	1.21	70.0	1.01	0.0	2.7
A-5-i	0.020	15.2	7.17	1.30	4.27	8.7	3.66	48.3	0.65	4.5	13.1
A-6-i	0.019	15.4	5.79	0.96	3.75	9.8	3.91	56.7	0.52	2.2	5.1
A-7-i	0.010	11.2	5.17	0.57	3.11	8.5	6.90	53.4	0.47	6.3	10.7
A-8-i	0.015	11.2	5.11	1.45	2.69	15.7	8.67	45.1	0.48	8.9	13.0
A-9-i	0.008	17.0	3.58	0.67	5.23	2.8	1.38	73.4	0.88	0.2	1.6
A-10-i	0.027	12.3	6.57	0.99	3.84	11.7	8.77	48.7	0.50	5.9	10.2
A-11-i	0.016	7.9	4.20	0.62	1.79	24.9	1.47	33.9	0.21	18.4	25.2
A-12-i	0.023	18.4	7.71	0.86	3.06	1.0	0.96	52.7	0.71	0.0	10.7
A-13-i	0.014	12.2	5.17	0.50	3.87	14.9	4.02	48.0	0.45	7.4	11.0
A-14-c	0.041	15.2	8.30	1.28	3.39	6.1	5.56	56.6	0.77	0.4	3.6
A-15-c	0.043	15.0	7.45	1.19	3.25	9.5	5.29	51.7	0.64	1.8	3.4
A-16-r	0.044	18.4	6.02	0.73	4.20	15.4	2.73	46.1	0.68	0.7	2.1
A-17-r	0.023	19.6	6.16	0.66	3.88	10.9	2.27	48.9	0.80	0.7	2.9
A-18-b	0.025	10.3	5.16	0.44	2.51	13.4	6.29	49.2	0.45	7.4	18.1
A-19-b	0.023	9.6	5.05	0.33	2.65	22.3	2.94	36.3	0.39	14.9	24.5
A-20-b	0.025	13.1	6.13	0.58	1.30	20.5	1.47	41.3	0.61	11.3	20.1
A-21-b	0.020	16.2	6.58	0.37	1.62	14.6	1.57	47.3	0.77	6.7	19.5
A-22-b	0.015	9.5	2.90	0.33	1.67	24.5	1.18	37.1	0.42	17.8	20.8
A-23-b	0.027	18.0	7.17	0.56	5.42	6.2	2.53	61.4	0.60	2.1	5.4
A-24-b	0.038	12.6	7.23	1.33	2.33	17.4	3.52	43.2	0.60	8.0	10.2
A-25-b	0.014	3.9	1.36	0.59	1.95	35.2	1.63	26.5	0.17	24.3	30.3
A-26-b	0.016	4.8	2.02	0.50	1.94	38.3	1.77	28.0	0.17	24.4	29.2
A-27-b	0.025	11.4	5.08	0.47	3.03	5.0	2.23	63.3	0.76	3.8	6.6
A-28-b	0.019	11.4	4.07	0.41	2.76	14.2	3.16	45.7	0.67	10.1	16.2
A-29-b	0.026	5.9	2.65	0.26	1.70	28.9	1.58	31.5	0.33	19.7	25.1
A-30-o	0.020	14.5	5.85	0.65	2.58	10.6	6.19	58.9	0.48	5.0	8.6
A-31-o	0.012	17.8	4.40	0.57	3.92	7.4	2.47	61.5	0.74	0.8	3.6
A-32-o	0.081	6.7	5.74	0.87	2.15	3.1	1.12	72.4	0.86	3.1	4.4

**TABLA 2. Cerámicas arqueológicas de Alicante, Málaga y Albacete: resultados de los análisis químicos. Los resultados se expresan en tanto por ciento en peso de óxido. (Continuación).**

Muestra	% MnO	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Na <sub>2</sub> O	% K <sub>2</sub> O	% CaO	% MgO	% SiO <sub>2</sub>	% TiO <sub>2</sub>	% CO <sub>2</sub>	% Pérd. Calc.
A-33-o	0.016	21.0	4.84	0.08	3.80	5.6	2.46	60.2	0.86	1.0	2.4
A-34-o	0.129	10.4	6.62	0.25	2.27	6.0	1.75	66.2	1.01	4.5	3.5
A-35-o	0.021	12.0	3.98	0.52	3.45	9.5	3.46	52.0	0.67	4.8	12.3
A-36-o	0.032	15.3	5.85	0.57	3.12	9.5	3.90	49.1	0.62	6.5	9.0
A-37-o	0.010	12.3	4.85	0.25	3.27	2.9	1.44	68.6	0.91	0.7	2.5
A-38-i	0.009	16.4	6.28	0.31	1.83	11.7	2.07	49.8	0.63	8.7	12.1
A-39-i	0.008	16.4	5.81	0.43	1.33	10.4	1.39	48.5	0.07	6.8	16.8
A-40-n	0.044	14.8	6.02	0.62	2.98	6.8	2.24	55.2	0.70	3.5	6.9
A-41-n	0.050	17.3	6.82	0.80	3.59	3.5	1.72	54.3	0.72	1.7	6.1
A-42-e	0.026	7.1	2.79	0.45	1.77	34.7	3.02	23.7	0.26	21.4	28.6
A-43-g	0.094	16.8	8.35	1.26	3.15	7.0	4.63	55.3	0.79	0.1	2.9
A-44-e	0.015	10.5	3.59	0.34	1.87	25.5	1.89	36.0	0.36	14.4	19.6
A-45-e	0.022	11.1	3.46	0.45	2.23	19.9	2.42	38.6	0.28	15.5	19.1
A-46-b	0.022	6.8	1.78	0.35	0.92	36.2	1.05	21.9	0.37	21.8	27.7
A-47-b	0.018	11.0	2.89	0.25	2.51	21.1	2.40	40.7	0.42	12.7	18.6
A-48-b	0.015	9.9	3.39	0.29	2.04	18.9	1.72	46.9	0.51	11.7	13.6
A-49-b	0.020	8.4	2.77	1.07	1.93	26.6	1.53	22.0	0.57	20.2	32.1
A-50-b	0.014	11.3	3.66	1.05	2.18	23.9	1.81	35.4	0.43	14.1	18.8
A-51-b	0.039	13.2	5.42	1.38	2.93	8.0	1.49	52.8	0.97	4.6	11.1
A-52-i	0.043	12.5	5.49	0.80	3.30	17.2	7.46	39.9	0.70	4.2	9.5
A-53-i	0.035	10.3	5.49	0.81	4.86	8.6	7.48	53.0	1.02	3.4	2.9
A-54-i	0.040	9.6	5.78	0.50	4.06	13.0	2.83	51.2	0.82	5.9	9.1
A-55-i	0.035	16.2	6.51	0.75	4.28	13.0	5.59	46.0	0.72	3.6	5.5
A-56-i	0.052	12.5	5.23	1.39	3.77	13.1	5.71	44.9	0.75	3.0	7.3
A-57-i	0.059	15.7	6.28	1.22	3.71	13.5	7.85	44.9	0.79	4.4	3.7
A-58-g	0.101	18.1	7.64	1.06	3.02	9.2	6.57	50.5	0.95	0.7	2.2
A-59-g	0.090	17.9	7.99	1.41	2.92	8.5	5.59	50.3	0.93	1.1	3.9
A-60-g	0.074	16.9	7.97	0.88	3.00	5.5	3.36	58.6	1.08	1.0	0.9
A-61-g	0.074	15.4	7.89	0.71	2.64	4.3	3.95	59.9	1.01	0.4	1.3
A-62-g	0.102	16.7	7.91	0.79	2.53	9.4	5.68	46.5	0.75	1.6	8.3
A-63-c	0.071	10.1	5.46	0.81	2.11	12.0	1.81	57.9	0.64	4.5	6.5
A-64-C	0.074	16.4	5.93	0.91	2.24	15.6	2.49	45.4	0.74	3.7	10.0

**TABLA 2. Cerámicas arqueológicas de Alicante, Málaga y Albacete: resultados de los análisis químicos. Los resultados se expresan en tanto por ciento en peso de óxido. (Continuación).**

Muestra	% MnO	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Na <sub>2</sub> O	% K <sub>2</sub> O	% CaO	% MgO	% SiO <sub>2</sub>	% TiO <sub>2</sub>	% CO <sub>2</sub>	% Pérd. Calc.
A-65-c	0.091	15.3	5.95	1.01	2.32	16.6	2.89	50.3	0.67	4.1	3.6
A-66-c	0.019	18.7	5.03	2.94	4.62	5.2	1.60	58.1	0.77	0.0	0.0
A-67-c	0.029	19.0	10.2	1.80	2.79	1.0	1.34	56.8	0.95	0.0	5.6
A-68-r	0.017	19.4	5.40	0.24	2.04	1.1	1.32	61.1	0.34	0.0	4.6
A-69-r	0.048	20.4	7.04	1.04	3.35	11.1	2.46	50.7	0.18	1.3	2.4
A-70-r	0.111	19.2	7.91	0.93	2.27	10.1	3.97	53.9	0.16	0.0	4.1
A-71-r	0.064	24.3	6.42	0.59	3.36	12.0	2.59	49.2	0.23	0.0	3.6
A-72-r	0.012	18.0	4.65	0.32	1.83	1.5	1.15	65.7	0.28	0.0	5.0
A-73-r	0.013	20.4	5.07	0.37	1.90	1.7	1.31	62.5	0.24	0.0	1.6
A-74-r	0.009	16.8	4.01	0.27	1.79	3.9	1.79	69.4	0.16	0.0	0.0
A-75-r	0.018	17.3	6.23	0.49	1.95	1.5	1.50	62.3	0.22	0.0	5.9
A-76-r	0.010	17.7	5.02	0.51	2.21	1.4	1.28	66.7	0.27	0.0	0.6
A-77-r	0.020	17.5	6.29	0.55	2.15	1.8	1.84	65.9	0.22	0.0	0.0
A-78-	0.005	14.7	4.42	0.38	1.94	0.6	1.39	70.8	0.22	0.0	0.0
A-79-r	0.033	11.9	5.45	0.40	1.47	5.3	1.83	68.0	0.59	1.3	2.8
A-80-r	0.032	17.0	8.24	0.74	3.82	3.6	2.35	57.3	0.68	1.4	3.0
A-81-r	0.027	13.4	5.91	0.60	1.37	7.7	2.53	58.9	0.67	2.3	4.2
A-82-r	0.092	17.4	8.61	3.35	1.07	1.7	3.28	69.3	0.70	0.4	0.0
A-83-r	0.039	21.9	6.05	0.64	3.38	9.5	1.64	50.2	0.74	0.0	10.0
A-84-r	0.019	21.2	6.48	0.43	2.11	0.9	1.78	63.0	0.86	0.0	0.0
A-85-r	0.107	14.8	6.00	0.65	2.05	9.5	2.80	53.6	0.51	3.2	6.3
A-86-r	0.008	20.8	7.00	0.32	1.17	1.6	0.89	61.1	0.89	0.2	6.3
A-87-i	0.032	11.4	5.30	0.74	1.75	10.1	9.45	47.2	0.39	5.3	10.0
A-88-m	0.032	9.0	3.80	0.80	1.55	30.1	2.25	36.5	0.18	9.1	12.2
A-89-m	0.037	11.9	4.90	1.57	1.14	27.8	4.74	40.5	0.24	4.9	9.1
A-90-m	0.052	9.3	4.36	0.57	2.04	26.8	2.84	37.0	0.24	11.1	12.5
A-91-m	0.006	10.4	4.03	0.33	0.64	2.5	0.75	74.2	0.54	0.6	3.7
A-92-m	0.029	8.24	4.45	0.65	2.32	14.1	1.42	58.2	0.31	5.3	5.9
AB-1-i	0.023	9.0	4.37	0.41	3.16	14.9	10.1	43.1	0.37	8.1	13.3
MA-1-f	0.116	13.5	6.28	0.78	1.69	9.9	3.68	55.9	0.79	4.3	5.2
MA-2-f	0.113	13.4	6.04	0.97	1.66	9.4	2.60	57.5	0.77	3.4	6.2

TABLA 3. Composición de los clusters obtenidos al aplicar análisis cluster a las cerámicas arqueológicas de Alicante, Málaga y Albacete, correspondiente a la figura 3.

CLUSTER	DISTANCIA DE UNIÓN	M U E S T R A S			
A	3.2	A-19-b A-22-b A-25-b A-26-m A-29-b A-46-b A-47-b A-48-b A-49-b A-50-b	A-42-e A-44-e A-45-a	A-11-i	A-88-m A-89-m A-90-m A-92-m
B	3.3	A-20-b A-21-b A-23-b A-27-b A-28-b A-51-b	A-31-o A-33-o A-35-o A-36-o A-37-o  A-40-n A-41-n  A-91-m	A-1-i A-2-i A-3-i A-4-i A-9-i A-12-i A-13-i A-38-i A-39-i A-54-i	A-16-r A-17-r A-68-r A-72-r A-73-r A-74-r A-75-r A-76-r A-77-r A-78-r A-79-r A-80-r A-81-r A-83-r A-84-r A-86-r
C	2.8	A-32-o A-34-o  A-85-r	A-63-c A-64-c A-65-c	MA-1-f MA-2-f	A-43-g A-58-g A-59-g A-60-g A-61-g A-62-g
D	3.0	A-18-b A-24-b	A-14-c A-15-c	A-5-i A-6-i A-7-i A-8-i A-10-i A-52-i A-53-i A-55-i A-56-i A-57-i A-87-i AB-1-i	A-30-o
E	2.5	A-69-r A-70-r A-71-r			
F	4.8	A-82-r	A-66-c A-67-c		

TABLA 1. Grupos de cerámicas arqueológicas homogéneos desde el punto de vista de la composición química de las muestras.

Grupo: EDAD DEL BRONCE		Grupo: GRIEGO	
MUESTRAS	PROCEDENCIA	MUESTRAS	PROCEDENCIA
A-19-b	Les Moreres	A-43-g	Campello
A-22-b	Les Moreres	A-58-g	Cabezo Lucero
A-25-b	Peña Negra	A-59-g	Tossal de Manises
A-26-b	Peña Negra	A-60-g	Campello
A-29-b	Peña Negra	A-61-g	Cabezo Lucero
A-46-b	Mola d'Agres	A-62-g	Cabezo Lucero
A-47-b	Mola d'Agres		
A-48-b	Mola d'Agres		
A-49-b	Illeta de Campello		
A-50-b	Illeta de Campello		
Grupo: IBÉRICO		Grupo: ROMANO	
MUESTRAS	PROCEDENCIA	MUESTRAS	PROCEDENCIA
A-5-i	El Oral	A-68-r	Tossal de Manises
A-6-i	El Oral	A-72-r	Tossal de Manises
A-7-i	El Oral	A-73-r	Tossal de Manises
A-8-i	El Oral	A-74-r	Tossal de Manises
A-10-i	El Oral	A-75-r	Benalúa
A-13-i	La Escuera	A-76-r	Benalúa
A-52-i	Tossal de Manises	A-77-r	Benalúa
A-53-i	Tossal de Manises	A-78-r	Benalúa
A-54-i	Aspe	A-79-r	Benalúa
A-55-i	Aspe	A-80-r	Benalúa
A-56-i	Illeta de Campello	A-81-r	Benalúa
A-57-i	Illeta de Campello	A-84-r	Fontcalent
A-87-i	Fontcalent		
AB-1-i	El Amarejo		

TABLA 5. Funciones discriminantes para grupos de cerámicas de la Edad del Bronce, ibéricas, griegas y romanas de Alicante.

GRUPO	FUNCIONES DICRIMINANTES
Bronce	$-184.751\% \text{MnO} + 11.363\% \text{K}_2\text{O} + 2.31\% \text{CaO} + 1.978\% \text{MgO} - 44.390$
Ibérico	$-123.274\% \text{MnO} + 16.069\% \text{K}_2\text{O} + 1.410\% \text{CaO} + 4.852\% \text{MgO} - 53.120$
Griego	$608.741\% \text{MnO} + 8.599\% \text{K}_2\text{O} + 0.393\% \text{CaO} + 2.271\% \text{MgO} - 47.967$
Romano	$15.222\% \text{MnO} + 7.363\% \text{K}_2\text{O} + 0.428\% \text{CaO} + 1.543\% \text{MgO} - 10.906$

- CUADRAS, C. M. (1981): «Métodos de Análisis Multivariante». Eunibar. Barcelona.
- DIXON, W. J., BROWN, M. P. (eds.) (1977): «Biomedical Computer Programs, p-series». Univ. of California Press.
- GRIMANIS, A. P., FILIPPAKIS, S. E., PERDIKATIS, B., VASSILAKI-GRIMANI, M., BOSANA-KOUROU, N., YALOURIS, N. (1980): *J. Archaeol. Sci.*, 7(3), 227-239.
- HATCHER, H., HEDGES, R. E. M., POLARD, A. M., KENRICH, P. M. (1980): *Archaeometry*, 22(2), 133-151.
- HERNANDIS, V., (1975): Tesis Doctoral. Valencia.
- JORNET, A. (1980): *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 60(2-3), 271-285.
- MAS, F. (1980): Tesis Doctoral. Alicante.
- MELLO, E., LUSUARDI, S., MELONI, S., ORDONE, M. (1982): *J. Radioanal. Chem.*, 69(1-2), 259-270.
- MESCHEL, S. V. (1974): «Archeological Chemistry. Advances in Chemistry Series». American Chemical Society, 138, 3-24.
- PEISACH, M., JACOBSON, L., BOULLE, G. J., GHIWALA, D., UNDERHILL, L. G. (1982): *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.*, 193(1-2), 337-341.
- PIKE, H. H. M., FULFORD, M. G. (1983): *Archaeometry*, 25(1), 77-86.
- SALA, J. V., HERNANDIS, V., CANALS, A. (1986): *Analyst*, 111, 965-968.
- SNOW, V. E. (1983): *Can. J. Chem.*, 61(4), 769-779.
- THUESEN, I., HEYDORN, K., GWOZDZ, R. (1982): *PACT*, 7(2), 375-381.
- TUBB, A., PARKER, A. J., NICKLESS, G. (1980): *Archaeometry*, 22, 153-171.