

DIOSES NAUFRAGADOS

La ruta fenicia de Tiro a Málaga



Ifergan Collection
ancient art

Coordinación de la edición

Vicente Jiménez Ifergán

Editor científico y texto

Eduardo García Alfonso

Diseño y Maquetación

Carlos Guerrero García

Adrián Jiménez Millet

Ilustraciones gráficas

Julio Antonio Valero Postigo

Imágen de la cubierta

Terracota N° 135

Imágen de página contigua

Terracota N° 10

Impresión

Pinelo Artes Gráficas

www.ifergan-collection.com

ISBN: 978-84-09-47970-2

ESTUDIO DE ESPECTRORRADIOMETRÍA DE REFLECTANCIA DE UN LOTE DE TERRACOTAS FENICIAS DE LA COLECCIÓN IFERGÁN

Luis García del Moral¹ y Eduardo García Alfonso

En septiembre de 2019 tuvimos la oportunidad de estudiar un grupo de terracotas fenicias de la Colección Ifergán mediante la técnica de espectrorradiometría de reflectancia, con el uso de un equipo portátil, a fin de determinar variables dentro de la pasta arcillosa con la que se modelaron dichas figuras. Se eligieron una serie de piezas representativas de los diversos grupos iconográficos existentes, a fin de tener un muestreo lo más amplio posible que pudiese resultar esclarecedor a la hora de determinar la presencia de diferentes tipos de barros, lo que podría indicarnos variabilidad en el aprovisionamiento de materias primas. Esta premisa partía de la posibilidad de poder indicar una cierta correspondencia entre los diversos tipos de pasta y las diferentes iconografías, quizás también indicativa de la presencia de diferentes talleres dentro del centro productor de Tiro que pudiesen estar especializados en la fabricación de algunos tipos específicos. Eventualmente, también se sopesó la posibilidad de poder señalar la presencia de terracotas que pudieran estar espectrográficamente muy alejadas de otras, lo que quizás pudiera atribuirse a otros talleres de coroplastia.

En este sentido, la espectrorradiometría de reflectancia ya había sido usada por nosotros, junto con un equipo más amplio, en el estudio de las pinturas rupestres del abrigo de Laja Alta –Jimena de la Frontera, Cádiz– (Morgado *et al.* 2018) con excelentes resultados.

El muestreo de las terracotas de la Colección Ifergán sólo pudo ser realizado con 33 piezas (Fig. 166), dado que no toda la colección resultaba accesible en aquellos momentos. Pese a no ser completo, pensamos que esta selección sí ha sido lo suficientemente representativa para extraer una serie de conclusiones en el sentido expresado, que bien pudiera completarse con nuevos resultados en un futuro.

¹ Catedrático de Fisiología Vegetal. Departamento de Fisiología Vegetal, Instituto de Biotecnología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada.

1. FUNDAMENTOS DE LA ESPECTRORRADIOMETRÍA DE REFLECTANCIA

Cuando una radiación luminosa incide sobre una muestra puede ser absorbida, reflejada o transmitida, dependiendo de la propia estructura de la materia y de la longitud de onda de la radiación incidente. El estudio de la interacción entre la radiación y la materia se conoce como espectroscopia y el estudio de la radiación reflejada después de su interacción con la materia como espectroscopia de reflectancia. La luz reflejada por un material siempre posee dos componentes, llamados reflectancia especular y reflectancia difusa. En la primera, los rayos que inciden paralelos a la superficie se reflejan también paralelos unos con otros sin interactuar con la muestra, como ocurre en la superficie plana de un espejo, de forma que el ángulo incidente es igual al ángulo reflejado. En la segunda, la difusa, parte de los rayos incidentes interactúan con los componentes de la muestra y son absorbidos y difundidos dependiendo de la intensidad y composición espectral de la radiación, por lo que son reflejados en diferentes direcciones. Para la espectroscopia de reflectancia sólo es relevante la reflexión difusa, ya que en función de su composición química y propiedades ópticas, cada muestra va a devolver una curva de reflectancia característica denominada *signatura* o *huella espectral*.

Esta huella espectral va a depender de la absorción causada por los procesos vibracionales de las moléculas constituyentes de la muestra. Los enlaces en una molécula o una red cristalina se comportan como sistemas de muelles de los que cuelgan determinados pesos, de forma que al absorber energía radiante el sistema entero puede vibrar con una o varias frecuencias características llamadas *sobretonos*. La frecuencia de vibración va a depender de la elasticidad de cada enlace en la molécula y de la masa de cada elemento en esa molécula. Este mecanismo comprende dos tipos de eventos (Clark, 1999; Errera *et al.*, 2007):

1. Fenómenos de transición electrónica en los orbitales moleculares en el interior de la estructura atómica o entre los átomos. Se observan principalmente después del ultravioleta hasta cerca de 2500 nm.
2. Fenómenos de transición vibracional en las moléculas y los cristales. Se observan principalmente a partir de 1000 nm.

Para los minerales, una propiedad esencial es ser sensible a los procesos electrónicos de moléculas coloreadas (cromóforos), tales como el Fe^{2+} o Fe^{3+} de los óxidos de hierro presentes en pinturas rupestres, o el Cu^{2+} y Cu^{3+} , de moléculas fotosintéticas de algas y líquenes. Igualmente, son sensibles a los procesos vibracionales debidos a la absorción por H-OH, Al-OH, Mg-OH, Fe-OH, etc. y a los procesos rotacionales a escala atómica o molecular, y ello en todos los materiales sin tener en cuenta su estado sólido, líquido, gaseoso, cristalino o amorfo.

Para los minerales, el agua (H-O-H) y los OH (hidroxilos) poseen un interés particularmente importante para su diagnóstico, ya que los sobretonos del agua y de los OH ligados pueden detectarse en sus espectros de reflectancia. El primer sobretono debido a los OH de un mineral aparece a aproximadamente 1400 nm y el segundo sobretono, debido a la

N.º inv.	Descripción	Grupo y/o conjunto iconográfico
1	Figura masculina de pie y en actitud de plegaria o bendición	II.A
9	Figura masculina sedente, con ambos brazos levantados en actitud de protección	I
13	Figura masculina en actitud de plegaria.	II.E
22	Figura masculina en actitud de plegaria	II.G
23	Figura masculina en actitud de plegaria	II.D
26	Figura masculina en actitud de plegaria	II.D
53	Figura masculina en actitud de plegaria portando una ofrenda	III.B
57	Figura masculina levantando los dos brazos	II.D
86	Figura masculina, posiblemente con los dos brazos levantados	III.E
90	Figura masculina en actitud de plegaria, portando una ofrenda	III.B
96	Figura masculina con los dos brazos alzados	IV
127	Maqueta de embarcación de pequeño porte, con tripulantes y carga	XI
132	Tritón	XII
136	Figura femenina desnuda y embarazada, en actitud ritual	VI.A
137	Figura femenina desnuda y embarazada, en actitud ritual	VI.A
139	Figura femenina desnuda en actitud ritual	VI.A
140	Figura femenina desnuda con un recién nacido en sus brazos	VI.C
142	Figura femenina desnuda y embarazada	VI.D
148	Figura femenina desnuda, en actitud de plegaria y con un recién nacido en sus brazos	VI.C
150	Figura femenina desnuda y embarazada, en actitud ritual	VI.B
155	Figura femenina vestida en actitud de plegaria	VII.C
159	Figura femenina vestida	VII.B
162	Figura femenina vestida, en actitud de plegaria y petición	VII.C
163	Figura femenina vestida, en actitud de plegaria y portando un recién nacido.	VII.D
164	Figura femenina embarazada vestida, en actitud de plegaria y petición	VII.B
167	Figura femenina vestida, embarazada, en actitud de plegaria y petición	VII.B
170	Figura femenina embarazada, vestida, en actitud de plegaria y petición	VII.B
175	Figura femenina vestida, embarazada, en actitud de plegaria y petición	VII.B
178	Figura femenina vestida, en actitud de plegaria y posiblemente sosteniendo un neonato	VII.D
190	Grupo con escena de parto	IX
197	Figura femenina tocando probablemente un sistro	VIII.C
199	Figura femenina desnuda y embarazada, tocando la lira	VIII.B
201	Maqueta que representa el ritual de enterramiento de un cadáver	XIII

Fig. 166. Relación de las terracotas de la Colección Ifergán analizadas mediante espectrometría de reflectancia óptica.

combinación de agua (H-O-H) e hidroxilos (OH), alrededor de 1900 nm. Un tercer sobretono debido al agua se sitúa alrededor de 2400 nm. De esta forma, un mineral cuya huella espectral tenga una banda de absorción a 1900 nm contiene agua, pero si sólo aparece una banda a 1400 nm pero ninguna a 1900 ni 2400 nm, indica que sólo contiene hidroxilos. El ion hidroxilo tiene sólo una frecuencia de vibración y la posición de su longitud de onda depende del ion al cual está unido, por lo que es muy interesante para diagnosticar la existencia de determinados iones en el mineral estudiado. Además, el OH aparece bastante frecuentemente en múltiples sitios cristalográficos de un mineral específico y típicamente se une a los iones metálicos. Por lo tanto, puede haber más de un sobretono ligado al OH en un mismo mineral. Particularmente interesante para propósitos de diagnóstico es la vibración de los OH ligados a metales en la banda de 2200 a 2300 nm (Clark, 1999).

Con la espectrometría de reflectancia nos podemos acercar a la mayor o menor similitud entre los componentes de un material, lo que nos permite establecer relaciones o diferencias entre ellos. Permite determinar qué muestras se encuentran más próximas a nivel de su estructura molecular y cuáles están más alejadas entre sí. Mediante las agrupaciones podemos determinar conjuntos (*cluster*), susceptibles de ser interpretados mediante otras variables o por inferencias externas. Aplicada en las terracotas, la reflectancia no permite conocer sus componentes químicos, para lo que debemos aplicar otras técnicas, pero nos acerca a la mayor compatibilidad entre unas muestras y otras, indicándonos su grado de afinidad. Además,

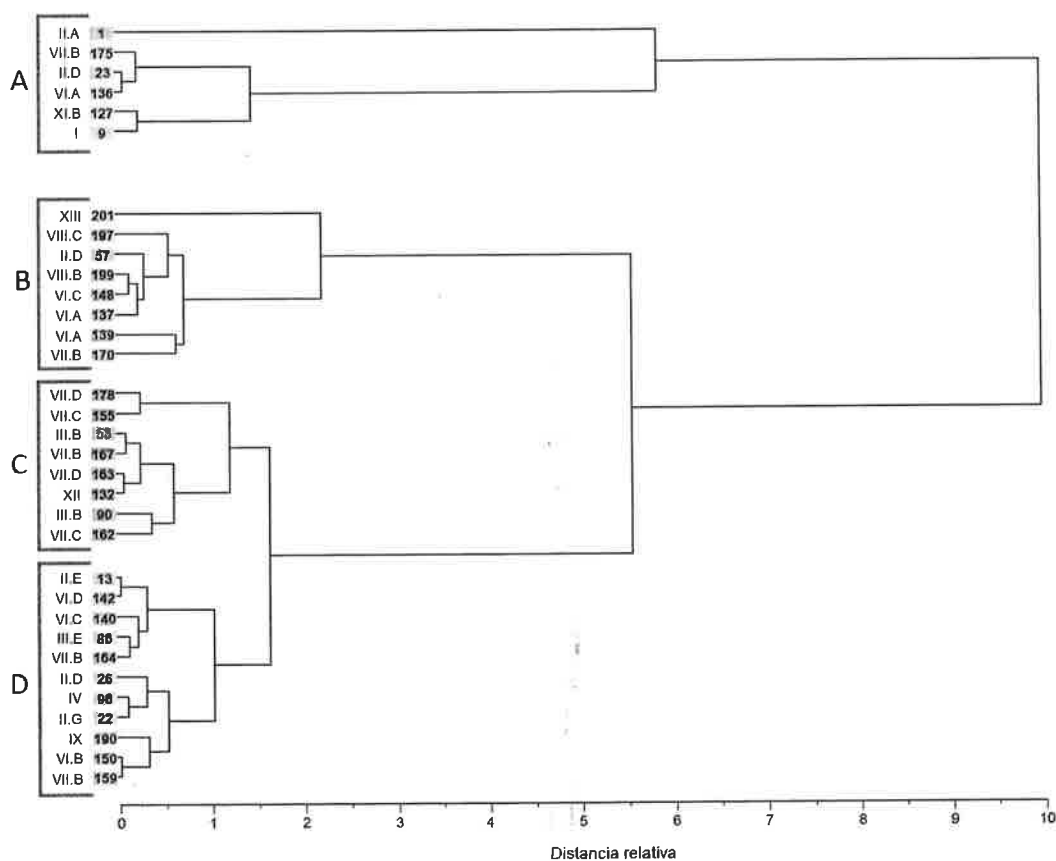


Fig. 167. *Cluster* obtenido para la reflectancia espectral. Método del vecino más próximo y distancias euclídeas al cuadrado.

es una técnica muy rápida, relativamente sencilla de manejar, con equipo portátil evitando así el transporte de las muestras al laboratorio, además de no ser invasiva ni destructiva para el material analizado.

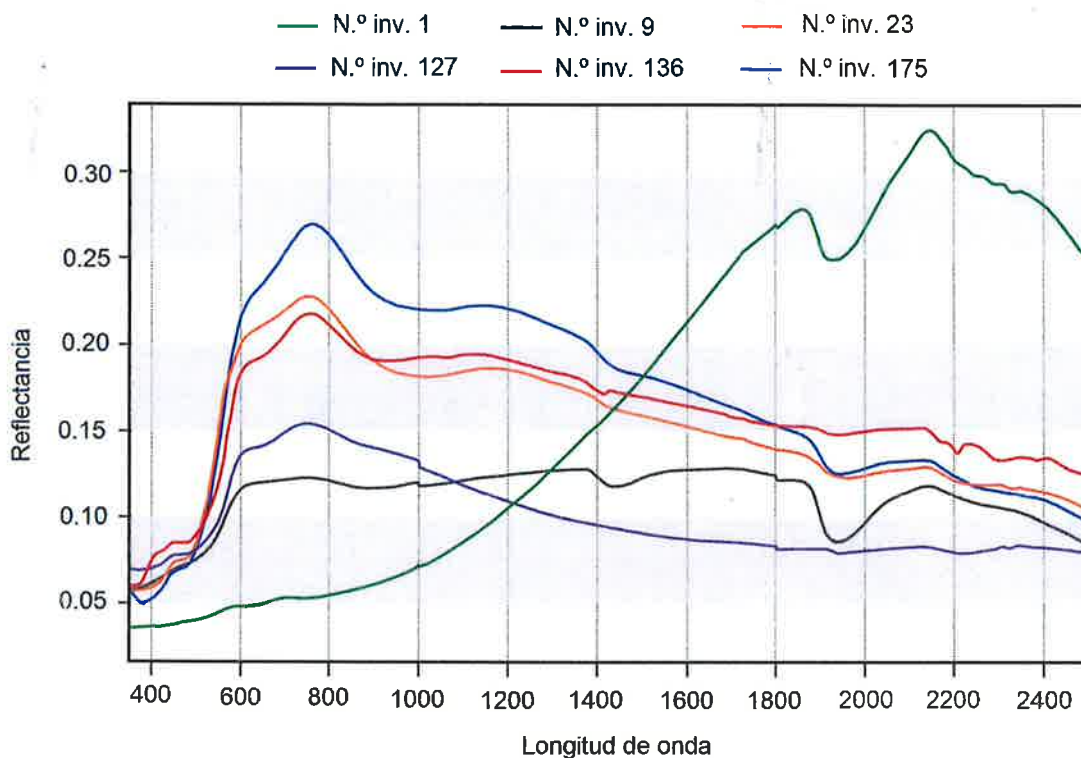


Fig. 168. Agrupación A. Resultados gráficos de la huella espectral.

2. LOS RESULTADOS OBTENIDOS SOBRE LAS TERRACOTAS

Como se ha dicho arriba, hemos obtenido un total de 33 huellas espectrales, que nos han permitido establecer cuatro *cluster* (o enjambres) principales que hemos denominado con las letras A, B, C y D (Fig. 167), que pasamos a analizar a continuación.

Primer cluster. Agrupación A

Se ha diferenciado este *cluster* principalmente porque las muestras presentan un color rojizo oscuro (600-900 nm) con escasa reflectancia a partir de 1400 nm (Fig. 168). La reflectancia media de la pieza n.º inv. 1 es 16,75% y la media del resto es de 13,87%.

El análisis discrimina claramente la terracota n.º inv. 1 del resto de ese *cluster* (n.º inv. 9, 23, 127, 136 y 175) (*vid.* Fig. 172). Se aprecia claramente que la n.º inv. 1 es muy distinta, de color muy oscuro hasta unos 900 nm, aumentando posteriormente la reflectancia hasta un máximo en alrededor de casi 2000 nm. Esta muestra contiene agua (H-O-H) e hidroxilos (OH) por su absorción a 1900 nm.

Es interesante destacar que las figuras n.º inv. 9, 23 y 129 presentan absorción a 1400 nm, lo que indica unión de un metal a OH. Igualmente, se detecta absorción a 2000 nm lo que indica agua ligada a los minerales de la arcilla. El programa separa ligeramente la n.º inv. 175 del resto por su mayor reflectancia, mientras que agrupa como muy semejantes a los n.º inv. 23 y 136, por un lado, y 9 y 127, por otro.

Como conclusión de este cluster, podemos determinar que la pieza n.º inv. 1 es totalmente distinta de todas las demás analizadas, las 32 restantes. Su única analogía es con las muestras n.º inv. 9, 23, 127, 136 y 175. Entre estas últimas, la n.º inv. 175 es ligeramente distinta, mientras que las n.º inv. 23 y 136 son las más semejantes entre sí.

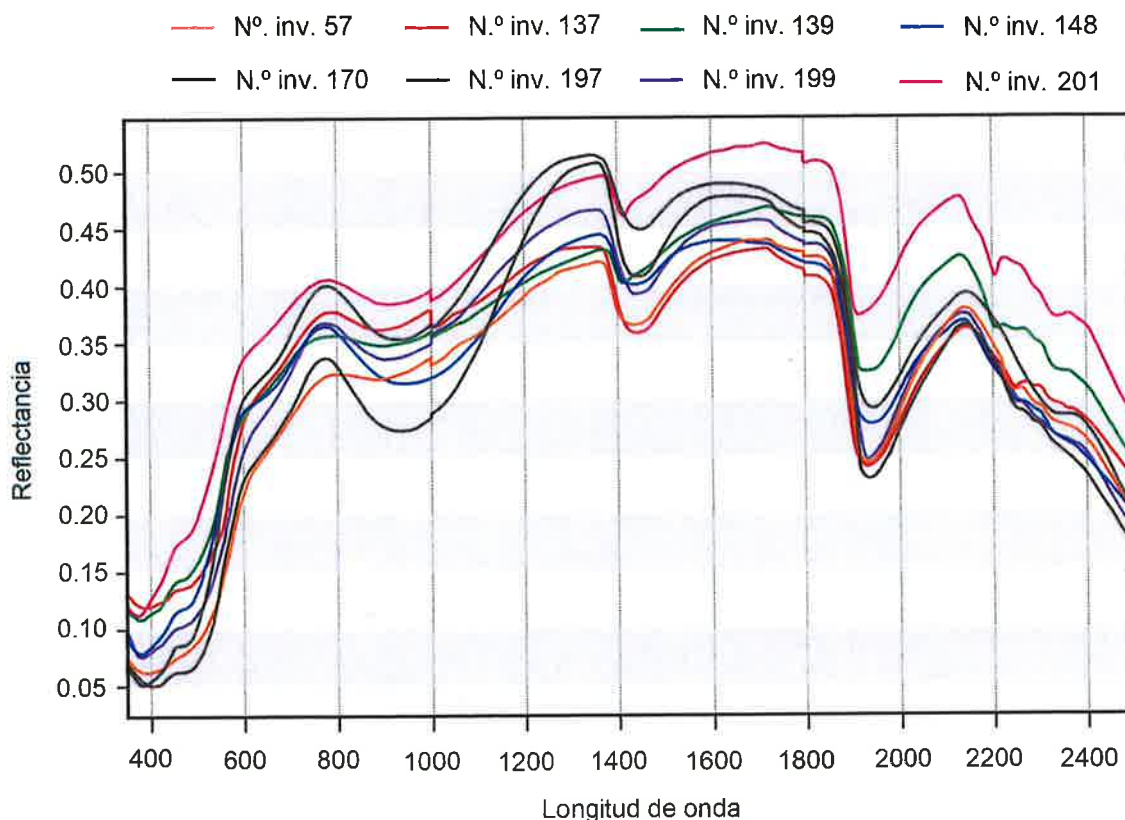


Fig. 169. Agrupación B. Relaciones internas de las terracotas por su espectrorradiometría.

Segundo cluster. Agrupación B

Esta agrupación la ha discriminado el programa porque, aun teniendo un color rojizo oscuro, presenta una mayor reflectancia media (34,74%) además de por presentar todas las muestras una absorción alrededor de 1400 y 2000 nm.

De nuevo, el análisis de *cluster* separa la n.º inv. 201 del resto (*vid.* Fig. 167 y Fig. 169), porque, aunque la signatura espectral es muy parecida en general, su reflectancia es bastante más alta a partir de 1400 nm. Esto lo que indica es una pasta más clara y con menor contenido de agua e hidroxilos.

En cuanto al resto, se separan los n.º 170 y 139 de las demás del *cluster*, que se agrupan más homogéneamente, en especial la pareja n.º 148 y 199 (*vid.* Fig. 173). El programa separa también a la n.º inv. 188 del resto, básicamente por una muy baja reflectancia espectral a 1000 nm.

Los correspondientes análisis de *cluster* y de componentes principales confirman este resultado. Es de resaltar que el resultado agrupa a las n.º 139 y 170 en el primer eje (PC-1) que explica el 70% de la variación, mientras que el PC-2 (que explica el 18%) tiende a separarlos, lo que se debe a discrepancias de reflectancia a partir de 1800 nm (*vid.* Fig. 169).

Como conclusión, de nuevo encontramos una pieza más diferente del resto del cluster, concretamente la n.º inv. 201, aunque participa de las características del resto de esta agrupación B. Igualmente, la n.º 197 también aparece ligeramente diferente del resto del clúster.

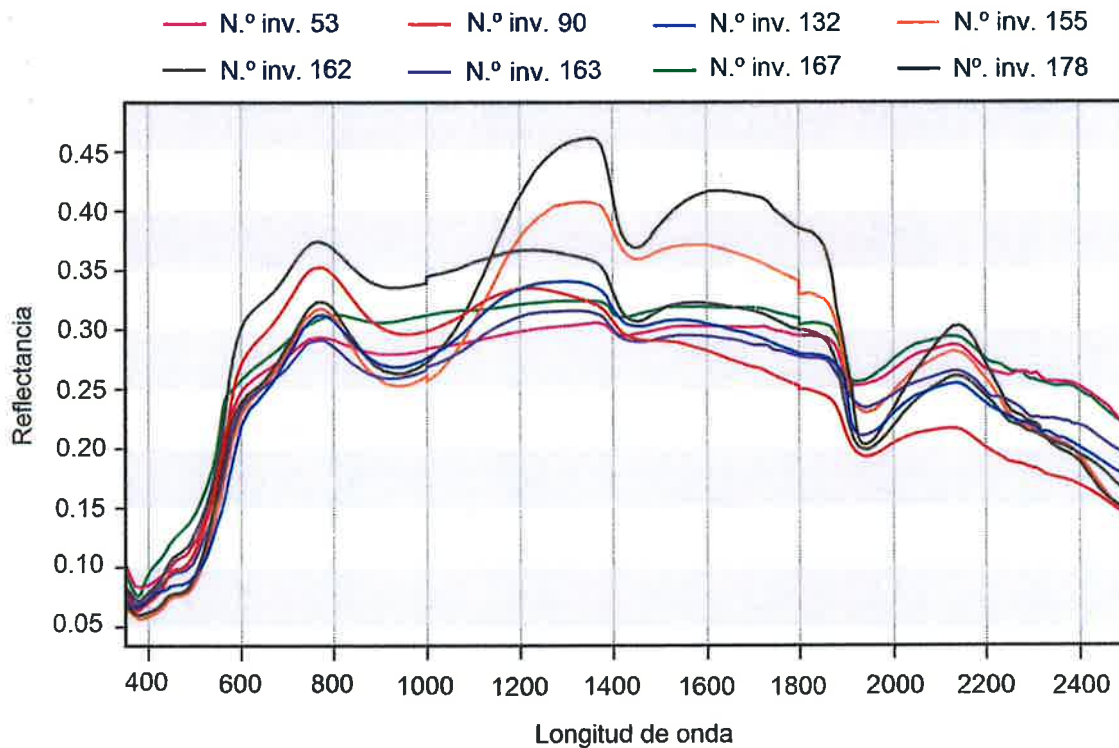


Fig. 170. Agrupación C. Resultados gráficos de la huella espectral.

Finalmente, la pareja formada por los n.º 148 y 199 parecen ser prácticamente idénticas.

Tercer cluster. Agrupación C

Aquí aparece de nuevo un color rojizo oscuro, pero a partir de 800 nm la reflectancia tiende a bajar progresivamente, con excepción de las muestras n.º inv. 155 y 178, que presentan picos de reflectancia entre 1200 y 1500 nm. Esta disminución hace que la reflectancia media de esta agrupación sea del 26,84% (Fig. 170).

El análisis de este *cluster* identifica tres grandes grupos (*vid.* Fig. 175). El primero está

constituido por las terracotas n.º 155 y 178 que, desde su espectrorradiometría, son prácticamente idénticas. Un segundo grupo está formado por las piezas n.º inv. 90 y 162, también muy parecidas espectrorradiométricamente. Finalmente encontramos un tercer grupo con el resto, donde podemos apreciar un cierto agrupamiento entre las terracotas n.º 53 y 167, por un lado, y las n.º 132 y 163, por otro, aunque todas ellas son bastante similares.

Estas agrupaciones se confirman también mediante el análisis de componentes principales.

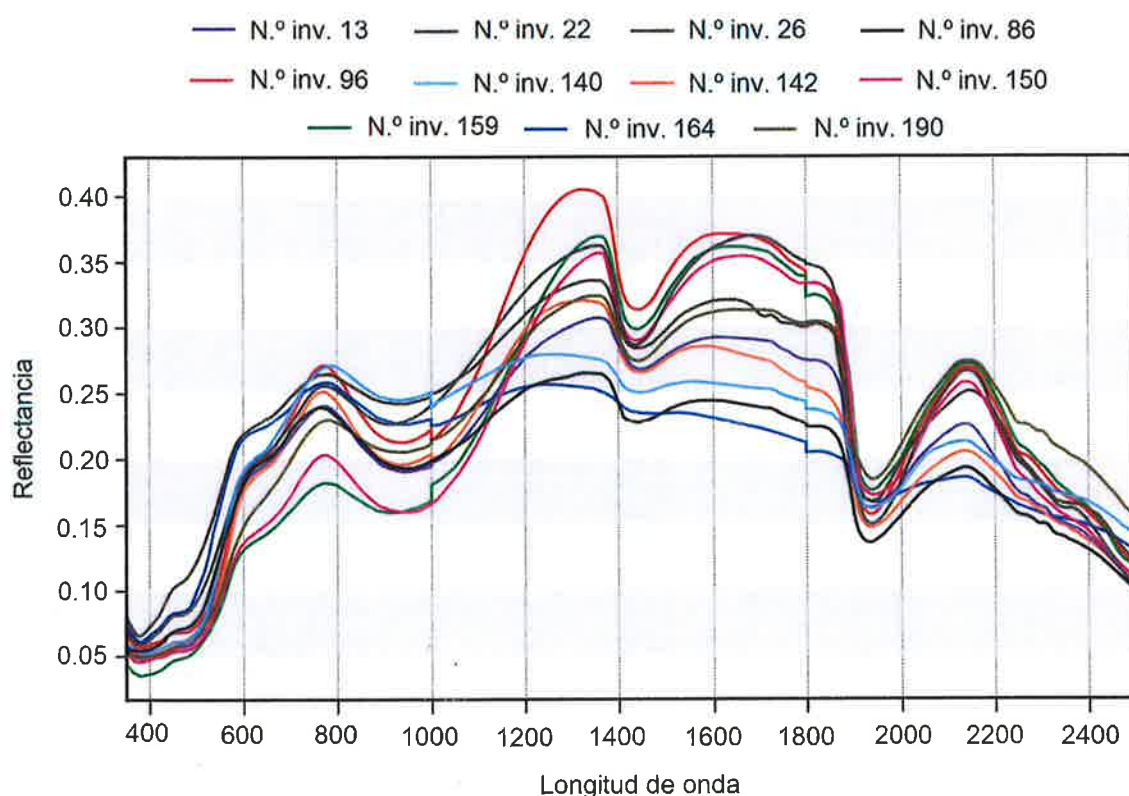


Fig. 171. Agrupación D. Relaciones internas de las terracotas del grupo por su espectrorradiometría.

Encontramos absorción condicionada por hidroxilos ligados a metal alrededor de 1440 y de nuevo como agua e hidroxilos a alrededor de 2000 nm.

Cuarto cluster. Agrupación D

Las muestras de este *cluster* son parecidas a las de las agrupaciones B y C en cuanto a la forma general de las huellas espectrales, pero se han separado como un conjunto diferente debido a una menor reflectancia media que es del 22,12% (*vid.* Fig. 167 y Fig. 171).

Aparecen cuatro *subcluster*, básicamente debido a sus diferentes reflectancias medias, separando claramente las n.º inv. 13 y 142 del resto. Por su parte, las n.º 22, 26 y 96 aparecen separadas por sus mayores reflectancias. Análogamente, las n.º 86, 140 y 164 se separan por sus menores valores de reflectancia, mientras que las terracotas n.º 150, 159 y 190 se separan por sus menores valores en el visible rojizo, es decir, son muestras con un color marrón más oscuro (*vid.* Fig. 175).

Al igual que en las agrupaciones B y C, en este clúster aparecen también fuertes absorciones debidas a uniones OH-metal a alrededor de 1440 nm y de agua-OHs a alrededor de 2000 nm.

De nuevo estas agrupaciones se confirman en el análisis por componentes principales, donde el eje PC-1 explica el 71% de la variación total, por lo que es el principal determinante de las agrupaciones encontradas.

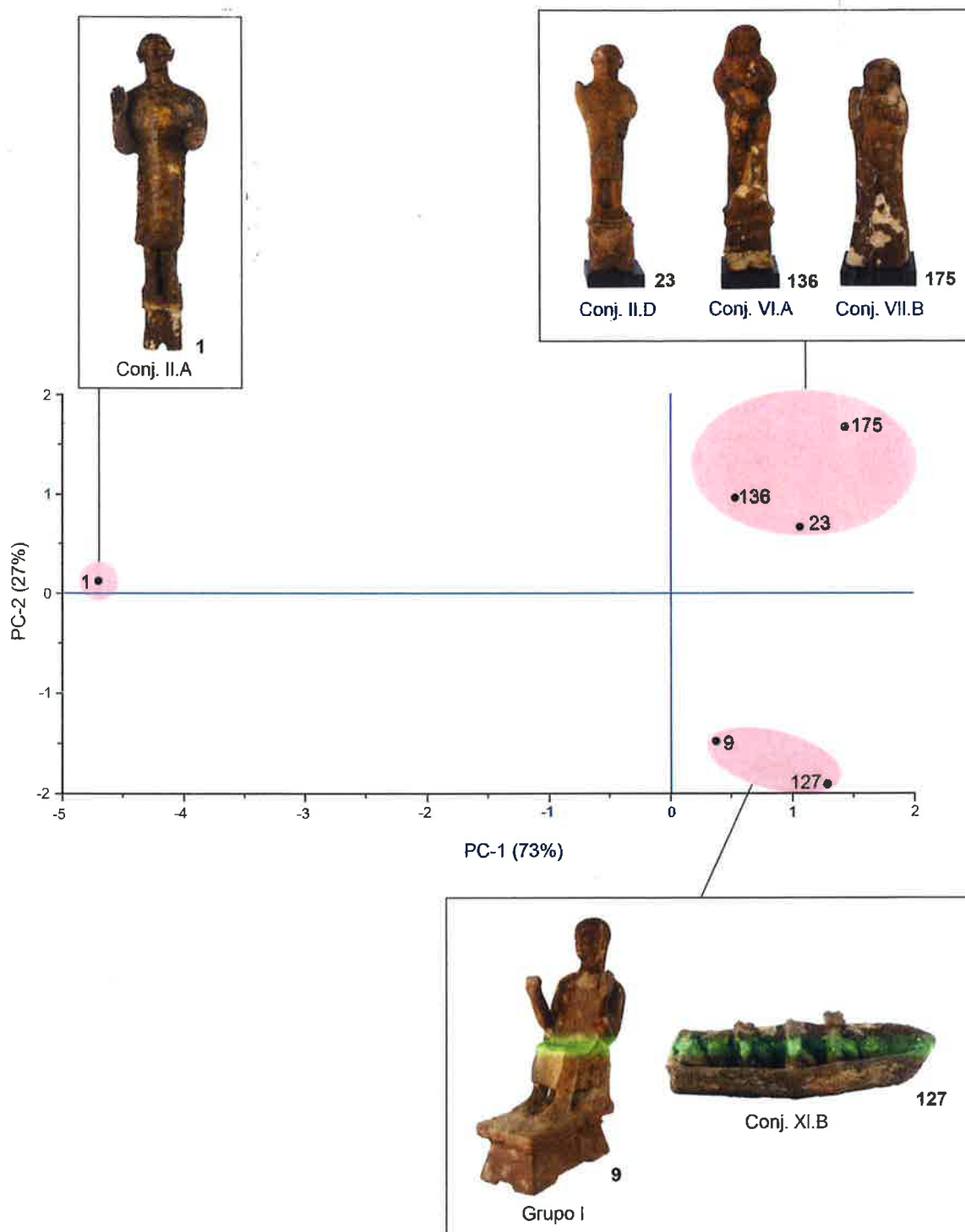


Fig. 172. Agrupación A. Resultados gráficos de la huella espectral.

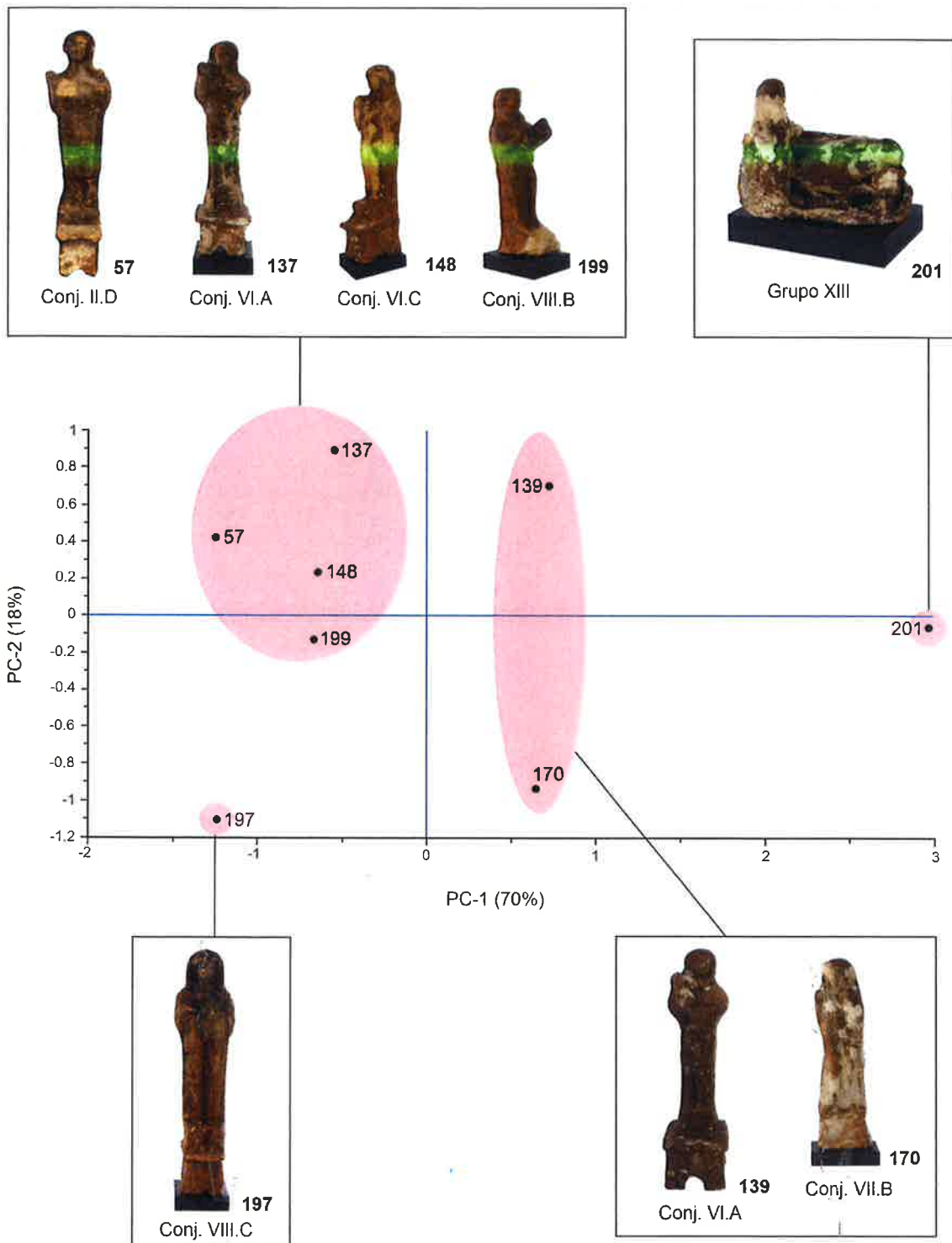


Fig. 173. Agrupación B. Relaciones internas de las terracotas del grupo por su espectrorradiometría.

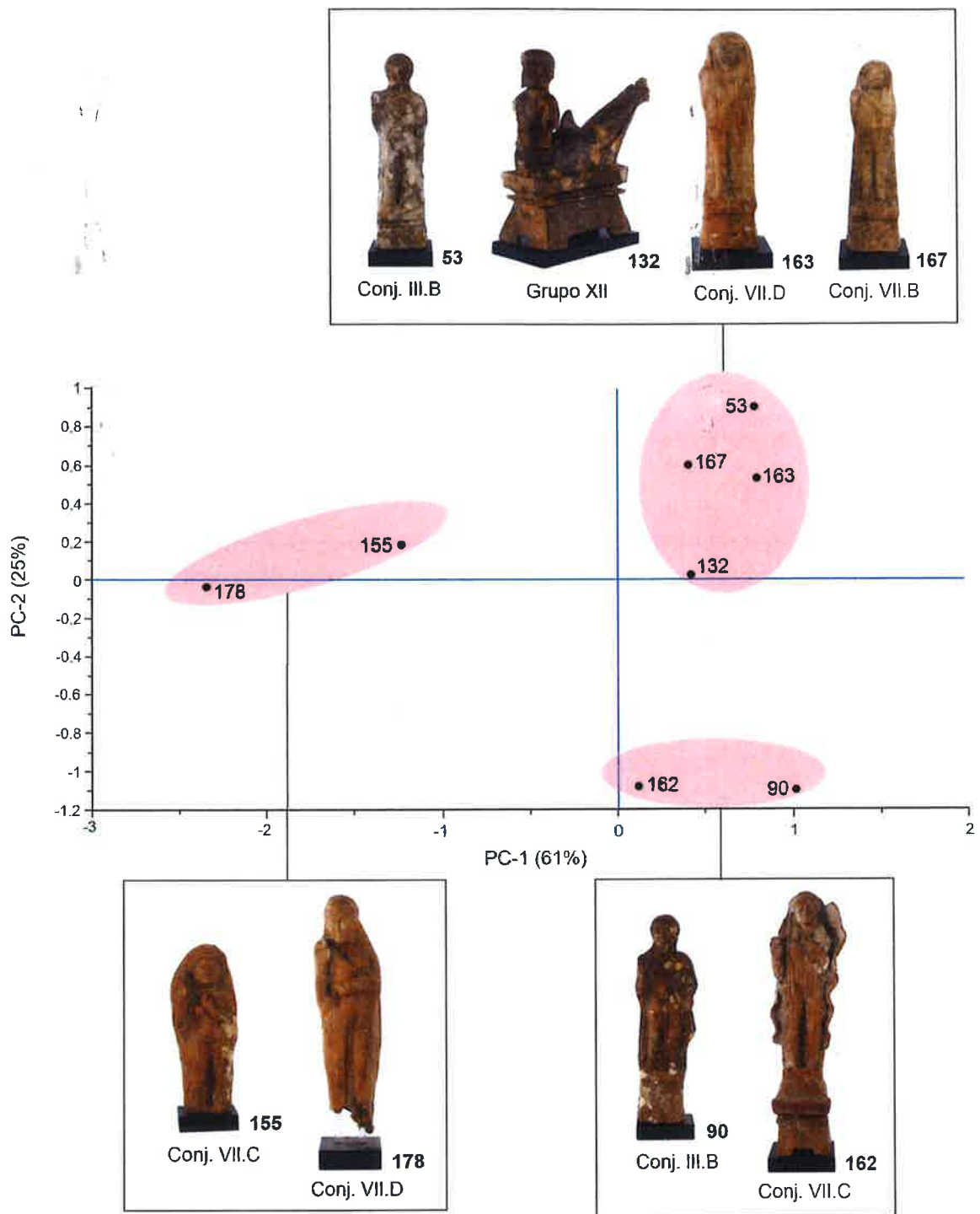


Fig. 174. Agrupación C. Resultados gráficos de la huella espectral.

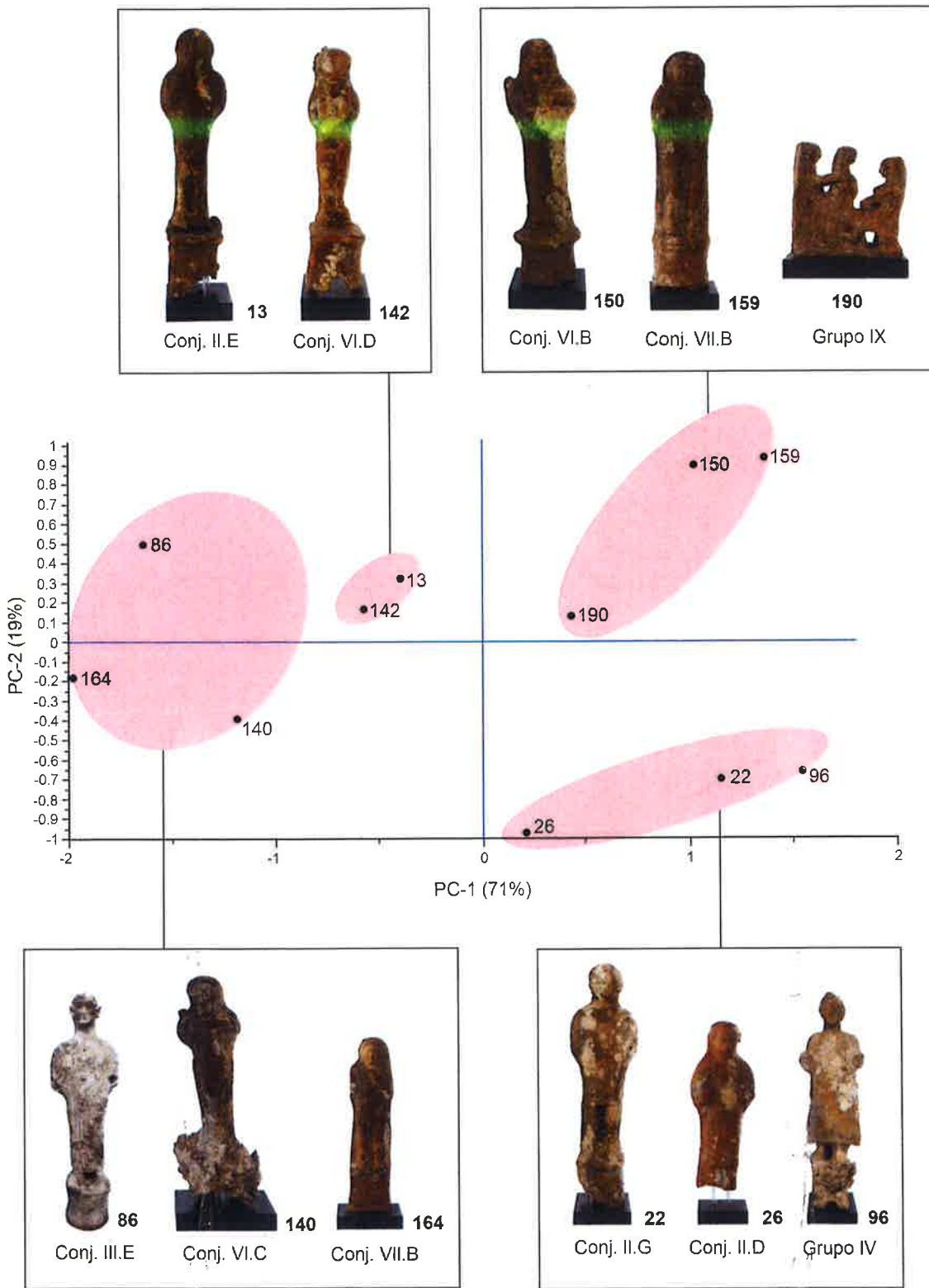


Fig. 175. Agrupación D. Relaciones internas de las terracotas del grupo por su espectrorradiometría.

3. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

Los resultados de la espectrorradiometría nos permiten apuntar una serie de hipótesis de trabajo que, por el momento, son absolutamente provisionales, dado la escasa representatividad del muestreo de estas 33 piezas, que constituyen un 17% del total de la colección. Igualmente, los resultados deberán en su momento, si resultase posible, ser comparados con la observación microscópica de la estructura de la pasta, análisis de la arcilla mediante métodos como difracción de rayos X y estudio petrográfico de clastos mediante lámina delgada.

Dentro del muestro de 33 terracotas sometidas a espectrometría, la n.º inv. 1 es completamente diferente del resto. De los resultados de la espectrometría podría concluirse que esta pieza se adscribiría a un taller distinto. Esta figura corresponde al conjunto iconográfico II.A que está formado por piezas de gran tamaño (más de 80 cm de altura), algunas de las cuales alcanzan más de 1 m, siendo las mayores de la Colección Ifergán. Este conjunto está formado por figuras de autoridad, que pueden ser sacerdotes de ciertos rangos. La diferencia a nivel espectrorradiométrico que se observa en esta pieza respecto a las demás podría interpretarse en el sentido de que puede que fuese producida en un taller específico, quizás vinculado a las necesidades litúrgicas de algún templo y de su clero, quizás dotado de un cierto carácter oficial. Este hipotético taller fabricaría estas piezas de gran tamaño, muy diferentes en altura al resto de la Colección (*vid.* Fig. 34). Ello nos lleva a considerar que, quizás, diferentes talleres de Tiro se especializaron en una clientela y en unos tipos de terracotas diferentes, lo que también podemos observar en otros *cluster*, aunque su afinidad sea mayor.

En gran parte del muestreo parece que pudiera haber tres orígenes diferentes de las piezas, que corresponden a las agrupaciones B, C y D. Una hipótesis se centraría en la posibilidad de que fuesen tres talleres diferentes, pero que utilicen la misma materia prima para trabajar, ya que su distancia espectral no es demasiado grande. Igualmente, otra hipótesis debería partir de que se trate del mismo taller, dada su similitud estilística, pero que se abastezca de barro de tres procedencias distintas, lo cual no sería nada extraño. Tampoco podemos descartar que esta variabilidad que se observa pudiera deberse a alteraciones posteriores de las piezas durante el tiempo que estuvieran sumergidas u otras causas, como pudiera ser el uso de desgrasantes diferentes a la hora de confeccionar la pasta, circunstancia que se observa también macroscópicamente. Estamos más por la hipótesis de que los *cluster* B, C y D pudieran corresponder a un mismo taller, que utilicen tres arcillas de diferente procedencia, dada la variabilidad interna de cada agrupación. No sería extraño que este taller se abasteciese de fuentes de suministro no excesivamente diferentes. Igualmente, también pudiera ocurrir que tipos de arcillas específicos se usasen para la fabricación de terracotas determinadas. Así vemos que, dentro del *cluster* B, la pieza n.º 201, correspondiente a una maqueta, es la que está más alejada del resto de esa agrupación. Igual ocurre con la n.º 197, con mucho, la más elaborada de todo este *cluster* (*vid.* Fig. 173).

A este respecto, el estudio podría indicar que el *cluster* A, muy posiblemente, procede de dos talleres distintos a los demás, dadas la diferencia de huellas espectrales y las medias de reflectancia a lo largo del espectro. Además hay que tener en cuenta la escasa o nula absorción por OH en la zona de 1400 y de agua en la de 2000 nm. En este sentido se observa que el resto del grupo, más allá de la pieza n.º inv. 1, es decir, el formado por las terracotas n.º 9, 23, 127, 136 y 175 (*vid.* Fig. 172) son compatibles, pero muestran una mayor variabilidad

que el resto del muestreo en total, comparada con lo que vemos en las agrupaciones B, C y D. Ello lo podemos interpretar como indicio de la presencia de lotes diferentes de arcilla, lo que podría explicarse de muy diversas maneras: desde eventuales dificultades para el suministro de materia prima, interrupciones en el funcionamiento del taller o larga perduración cronológica del mismo, que explicaría la necesidad de un abastecimiento diversificado.

En este sentido, y para ir finalizando, señalaremos que la cronología puede ser un factor esencial para determinar esta variabilidad que se observa. No sería nada extraño que a lo largo del lapso temporal en que se fechan las terracotas de la Colección Ifergán, que abarca tres siglos, se pusieran en funcionamiento varios talleres en una ciudad como Tiro, algunos de los cuales estuviesen activos paralelamente o se produjesen diacronías entre ellos. En la espectrorradiometría observamos como todas las piezas muestreadas de influencia griega se encuentran juntas en el cluster C, a excepción de las n.º 137 y 197, que pertenecen al B. Por tanto, como conclusión final, la espectrorradiometría de reflectancia realizada sobre las terracotas, sin olvidar que se trata de un muestreo relativamente pequeño, apunta hacia un origen diverso de las piezas analizadas. Con las necesarias reservas, estaríamos pues, ante un lote que fue producido, posiblemente, en varios talleres, los cuales pueden presentar diferencias cronológicas notables entre ellos, a lo que también apunta su iconografía. Todo ello debe tenerse en cuenta, siempre a la espera de un estudio más detallado y de una investigación científica exhaustiva sobre el terreno, para conocer con detalle y bases firmes cómo fue su producción.