

Caracterización química y mineralógica de un grupo de sigillatas de la comarca de Valdeorras (Orense)

ADRIÁNGELA MENÉNDEZ LLORENTE

Universidade de Vigo

Resumen:

En este trabajo presentamos el resultado de los análisis químicos y cristalográficos efectuados sobre varias muestras de cerámica sigillata procedentes de la comarca orensana de Valdeorras, habiéndose llegado, a través de ellos, a conclusiones muy interesantes en relación a la procedencia de la materia prima y a la cronología de alguna de las piezas.

Summary:

In this work we present the results of chemical and cristalografic analysis of *Terra Sigillata* samples originating from Valdeorras (Orense). These results provide interesting conclusions related with the origin place and cronology of some samples.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En este trabajo presentamos los resultados obtenidos del análisis químico y mineralógico de una serie de sigillatas altoimperiales encontradas en la Comarca de Valdeorras.

Desde hace algún tiempo, nuestras investigaciones han venido centrándose en el estudio de la cerámica sigillata aparecida en esta comarca orensana. Y es dentro de este estudio donde se integra el presente trabajo.

La observación macroscópica¹ de la *Terra Sigillata* altoimperial de la Comarca de Valdeorras permitió establecer una serie de grupos cerámicos en base a las diferencias que presentaban de pasta y engobe.

De los doce grupos que caracterizamos sobresalían tres por sus peculiaridades técnicas y tecnológicas: el grupo F, el G y el H².

Los tres grupos parecían, en principio, de procedencia hispánica, pero el F y el G no parecían ser ni de *Tritium Magallum* ni de Andújar.

¹ El estudio macroscópico se realizó por medio de lupa binocular a 50x y dos lupas simples de 10 y 15x respectivamente.

² En este trabajo seguimos la denominación que se ha dado a estos grupos en: MENÉNDEZ LLORENTE, A. (en prensa b).

El grupo F presentaba una factura muy próxima a la de los productos de Montans, tanto por el color de su pasta y engobe, como por su textura; sin embargo, por su fractura ondulada y por la tipología de alguno de los vasos (ausencia de pie, presencia de moldura hispánica...) parecían piezas hispánicas de un momento avanzado del Alto Imperio (2.^a 1/2 - f.s. II d.C.). Las dudas que nos planteaba este grupo eran:

- a. si se trataría de piezas producidas en un taller desconocido
- b. si serían productos de *Trítium Magallum* que hubiesen sufrido un exceso de cocción.

El grupo G, aunque también presentaba una pasta blanquecina y un engobe oscuro, como el anterior, tenía una textura mucho más grosera y blanda, y un engobe mucho más poroso y peor adherido que el de los productos de Montans y que el de las piezas del grupo F. Tampoco se parecía a los productos de Andújar, al ser su pasta mucho más fibrosa y deleznable que la de estos talleres béticos.

El problema que suscitaba el grupo H radicaba en que los fragmentos de este grupo, por el color y textura de la pasta, parecían piezas altoimperiales de *Trítium Magallum*, sin embargo, su acabado, tipología y decoración eran, al menos en apariencia, "típicamente" bajoimperiales, ya que todos ellos pertenecían a la forma 37 tardía con decoración del llamado por Mayet "Primer Estilo" (1983)³.

El resto de los grupos establecidos (A.1, A.2, B.1, B.2, C.1, C.2, D, E) eran productos de *TrítiumJ Magallum*, provenientes de distintos talleres y, en el caso del grupo B.2 y E, las diferencias observadas estarían además en relación con su cronología más avanzada.

Como el estudio macroscópico no nos permitía llegar a conclusiones más concretas, decidimos someter algunas muestras representativas de estos grupos a un estudio arqueométrico, intentando, con ello:

a) obtener la composición química y mineralógica de la materia prima con la que estaban

elaboradas las cerámicas, para determinar su posible procedencia y cronología,

b) establecer relaciones entre unos grupos y otros, y obtener datos sobre la tecnología empleada en su fabricación.

Al no existir demasiados trabajos publicados sobre análisis realizados a sigillatas mediante Difracción de Rayos X ó por Microscopía Electrónica⁴, nos faltaban referencias que nos permitiesen comparar nuestros resultados con los obtenidos en otros lugares. De estos primeros análisis no esperábamos soluciones definitivas, sino resolver alguno de los problemas que el estudio del material valdeorrés nos había planteado, y, a la vez, ir creando datos de referencia a través de estas dos técnicas, que no sólo nos sirvan a nosotros como complemento y soporte para futuros análisis. sino que sean también un punto de apoyo para otros investigadores.

2. SELECCIÓN DE MUESTRAS Y PROCEDIMIENTOS APLICADOS

Se seleccionó, una muestra de cada uno de los grupos más representativos establecidos entre el material de *Trítium Magallum*, para comprobar en primer lugar si, efectivamente, se observaban diferencias en su composición química y cristalina que confirmasen nuestra hipótesis de que

³ La problemática de estos tres grupos cerámicos se tratan en: MENÉNDEZ LLORENTE, A. (en prensa a).

⁴ De hecho, nosotros sólo conocemos para yacimientos españoles los estudios realizados por Jesús M.^a Rincón sobre unas muestras de Cátulo (1985, 347-362) Y sobre otras de Arva (1994, 405-412); el que Cesáreo Pérez efectuó sobre unas piezas atribuidas al alfarero Terentius de Herrera de Pisuerga (1990, 225 y ss.), y las llevadas a cabo por M. Picón sobre varias piezas hispánicas de diferentes talleres peninsulares (1984, 303-317).

procedían de talleres distintos, aunque todos ellos perteneciesen a la misma comarca alfarera, y, en segundo lugar, para poder comparar estos resultados con los obtenidos en las muestras que presentaban dudas.

Se incluyeron igualmente cuatro muestras representativas del grupo F, dos del grupo G y tres el grupo H.

También se seleccionó una pieza de *Montans*, junto con cuatro muestras de sigillatas procedentes de varios yacimientos del antiguo *Conventus Asturum* (las nº 17, nº 18, nº 19 y nº 20), para utilizarlas como referente comparativo⁵.

Para los análisis se optó primeramente por el estudio mediante **D.R.X.**, combinando este método posteriormente con **Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)**. Se emplearon estas técnicas por las siguientes razones:

1. la D.R.X. es un método que permite conocer las fases cristalinas presentes en las muestras cerámicas y el análisis cualitativo y semicuantitativo de las mismas, algo esencial para determinar su composición mineralógica y, a través de ella, la posible temperatura de cocción de las arcillas,
2. no implica la necesidad de emplear grandes cantidades de material,
3. la Microscopía Electrónica es el complemento ideal de la técnica de D.R.X., ya que permite conocer los elementos químicos presentes en las muestras que, por su baja concentración, es imposible detectarlos por D.R.X. .

Los análisis de las muestras se han llevado a cabo en el Centro de Apoyo Científico Tecnológico a la Investigación (C.A.C.T.I.), de la Universidad de Vigo, con la colaboración y apoyo de la Dra. Carmen Serra, responsable de la sección de Microscopía Electrónica y del Dr. Jorge Millos, responsable de la sección de D.R.X.

2.1. Análisis cristalográficos: análisis por D.R.X.

2.1.1. *Fundamentos de la técnica*

La espectrometría de difracción de Rayos X estudia los materiales mediante las desviaciones que sufre un haz monocromático de Rayos X cuando incide sobre los mismos. Los ángulos de desviación están íntimamente relacionados con la distancia entre los planos de la red cristalina del material, por ello el diagrama de difracción de una sustancia es característico de la disposición u ordenación de los átomos que lo componen, por lo cual esta técnica proporciona un método cómodo y práctico para la identificación cualitativa de los compuestos cristalinos.

La intensidad de las líneas de difracción está en función de la concentración de la sustancia, siendo de esta forma factible la realización del análisis cuantitativo, o, al menos, (como ocurre en nuestro caso), la estimación de su abundancia relativa.

La ventaja principal del análisis por difracción es que distingue compuestos o agrupaciones atómicas, no átomos individuales, con lo que se obtienen datos que sería difícil, o imposible, conseguir por otros métodos.

⁵ Las muestras 19 y 20 se incluyeron porque supuestamente eran piezas de *Tritium* pasadas de cocción, que presentaban una textura y un color de pasta y engobe semejante al de las piezas del grupo F.

2.1.2. *Equipo utilizado*

El equipo que se utilizó fue SIEMENS D-5000. Sus componentes son los siguientes:

- Goniómetro de dos círculos con movimiento independiente.
- Soporte informático para manejo del equipo, adquisición de datos y ejecución de los programas de ejecución, búsqueda, cuantificación, deconvolución y cálculo de distribución de tamaño cristalino y microtensiones mediante el método de Warren-Aberbach y de la línea simple.

2.1.3. *Presentación de los resultados obtenidos*

Se han realizado difractogramas sobre todas las muestras a estudiar, con la duración suficiente como para obtener señales significativas que permitiesen identificar los compuestos.

Se hizo uso de la librería JCPDS-ICDD en soporte CD- ROM para la búsqueda de datos sobre compuestos cristalinos.

De este estudio tan solo presentamos seis espectros, que consideramos son representativos de los grupos establecidos para los análisis, con el fin de evitar una longitud excesiva de este trabajo (Figs. 6-11).

Con los análisis por D.R.X. hemos podido conocer los minerales integrantes de cada una de las muestras y establecer, a modo de orientación, relaciones de proporcionalidad entre las diferentes fases cristalinas en cada una de ellas (Fig. 2).

2.2. **Análisis químicos: Análisis por Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)**

Se ha hecho también un estudio semicuantitativo de la composición química de las muestras, mediante el microanálisis por Rayos X, utilizando, para ello, un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), al que se le ha acoplado un detector de Rayos X por dispersión de energías EDS.

2.2.1. *Fundamentos de la técnica*

Si se desea determinar las relaciones entre los cambios estructurales y las variaciones en la composición química, es necesario completar la información morfológica con el análisis químico. De esta forma el microanálisis de Rayos X (análisis elemental de carácter no destructivo) conjuntamente con la obtención de imágenes de alta resolución constituye una técnica potencialmente eficaz para la caracterización de prácticamente cualquier tipo de material o muestra. El microanálisis de Rayos X se basa en el principio de que los átomos que componen nuestra muestra cuando interaccionan con el haz electrónico generan Rayos X que son característicos de los elementos que la componen: En consecuencia, los Rayos X debidamente detectados pueden usarse para identificar y cuantificar los elementos presentes.

El detector por dispersión de energías de Rayos X (EDS) permite el análisis cualitativo y semicuantitativo de los elementos que constituyen la muestra.

Dado que la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido es una técnica excelente por su poder de resolución (3,5 nm y 250.000x) unido a la gran profundidad de campo, y al efecto de sombreado, la hacen una herramienta de un elevado potencial para el análisis tridimensional de estructuras y morfología.

2.2.2. *Equipo utilizado*

Se ha empleado para los análisis:

- Un Microscopio Electrónico de Barrido Philips XL 30, con una resolución 3,5 nm y una tensión de aceleración entre 0,2 y 30 kv. Posee también: memoria de imágenes; sistema de fotografía por rollo de película; vídeo-printer. Lleva incorporado un detector de electrones retrodispersados que permite un contraste basado en el número atómico.

- Un sistema de análisis elemental por dispersión de energía de Rayos X (EDS), con detector Super Ultra Thin Window, el cual permite el análisis cualitativo y semicuantitativo de elementos a partir del nº atómico 5 (Boro). Incorpora un software de tratamiento de imagen que permite el mapeado de Rayos X por elementos y análisis de partículas.

2.2.3. *Presentación de los resultados obtenidos*

Se han obtenido espectros de todas las muestras bajo estudio.

Se ha tratado de mantener constantes todas las condiciones de análisis, intentando con ello que los resultados sean lo más fiables posible, y que en caso de estimarlo conveniente, puedan reproducirse en un futuro.

Las condiciones experimentales utilizadas fueron:

- Voltaje de aceleración: 20 kv.
- Inclinación de la muestra respecto al detector. 20°.
- Señal promedio: 3000 cps.

Se han realizado análisis semicuantitativos con un sistema EDS, acoplado a un Microscopio de Barrido. Y se ha procedido a la detección de un grupo de elementos: **Carbono, Oxígeno, Sodio, Magnesio, Aluminio, Silicio, Fósforo, Potasio, Calcio, Titanio, Hierro**. Los porcentajes atómicos que figuran son valores relativos, y no absolutos, de los elementos presentes en las muestra (Figs. 3 y 4).

Algunos elementos como el Carbono y el Oxígeno, debido, en un caso, a su baja concentración y, en otro, a factores exteriores que hacen dudar de su fiabilidad hemos optado por descartarlos. En el caso del Titanio, Sodio y del Fósforo presentan muy bajas concentraciones, junto al hecho de que el análisis por D.RX no ha descubierto ninguna fase cristalina asociada a estos elementos, por ello, hemos decidido también no incluirlos en la discusión de resultados.

2.3. **Discusión de resultados y conclusiones**

Mediante el análisis por D.R.X. se han detectado las siguientes fases cristalinas en las muestras: **Cuarzo, Anortita, Sanidina y Hematites**.

Ninguna de las muestras en estudio ha presentado todas las fases; de hecho se ha podido comprobar que aquellas muestras que presentan sanidina no contienen anortita. Esto podría explicarse, en cierta manera, si tenemos en cuenta la sanidina es un feldespatos mixto que se forma a elevadas temperaturas (cerca de los 1000°C), a partir de una ortoclasa (que es un feldespatos fundamentalmente potásico) y plagioclasa (que es un feldespatos fundamentalmente sódico); de ahí que cuando hay sanidina no exista anortita, puesto que la anortita es un feldespatos del grupo de las plagioclasas. Las únicas muestras que presentan sanidina son la nº 1 y la nº 11 .

La fase principal en todas las muestras es el cuarzo.

En las relaciones de proporcionalidad establecidas entre las diferentes fases cristalinas se ha observado que:

- a) en las muestras de *Tritium Magallum* (n° 1 al n° 5 y n° 17 al 20) la proporción calcita/cuarzo suele ser 1/4, aunque también puede ser de un 1/3 ó 2/4; la proporción de calcita/anortita suele ser 1/2; la de calcita/hematites es 1/1, 1/2 ó 2/1; Y la de cuarzo/anortita es 4/2.

Como puede verse, hay un claro predominio del cuarzo sobre el feldespato en todas las muestras, siendo, por tanto, pastas esencialmente cuarcíticas. La calcita se presenta en una proporción relativamente abundante, y la cantidad de feldespato es todavía apreciable.

A través de estos resultados, podemos decir que todas las muestras de este grupo están dentro de los parámetros comúnmente establecidos para las sigillatas de los alfares de *Tritium Magallum*, talleres cuyos productos se caracterizan por presentar una proporción de cuarzo mayor que la de feldespato (aunque conservan aún una cantidad no despreciable de feldespato), en contraposición a lo que sucede con las sigillatas itálicas y sudgálicas que se caracterizan por mostrar una mayor proporción de feldespato que de cuarzo.

- b) en cuanto a las muestras del grupo F (n° 6 al n° 10) se ha podido comprobar que la proporción calcita/cuarzo es generalmente 2/4 y 2/3; la proporción calcita/anortita es de 2/2; la de calcita/hematites es 2/1 y 2/2; Y la de cuarzo/anortita es 4/2.

Por tanto, hay también un claro predominio del cuarzo sobre el feldespato y la calcita, aunque el cuarzo se muestra en una proporción ligeramente menor que en las muestras seguras de *Tritium*: ya que en el grupo F la proporción del cuarzo es sólo el doble de la de calcita (o, incluso, menos del doble), y en *Tritium* suele ser mucho más del doble de la proporción de cuarzo con respecto a la calcita; se observa, pues, que la cantidad de carbonato cálcico en estas muestras del grupo F es, por lo general, superior al que presentan las muestras de *Tritium* (la única muestra de *Tritiumque* presenta la misma cantidad de calcita es la n° 18).

En las muestras de este grupo también se ha observado un comportamiento homogéneo en todas sus fases cristalinas, mucho más que lo visto en las muestras de *Tritium*.

Las piezas del grupo F presentan una composición mineralógica idéntica a la de la pieza n° 19 (la pieza sobrecocida de Lancia), y más próxima a la de las piezas de *Tritium* que a la de *Montans*.

Sus proporciones pueden estar dentro de los parámetros que se han podido observar en las muestras de los grupos de *Tritium*, a pesar de que su porcentaje de carbonato cálcico sea superior al que presentan la mayoría de las piezas de los talleres riojanos.

- c) las muestras del grupo G (n° 11 y n° 12) presentan una relación de calcita/cuarzo de 2/4 ó 3/4; la de calcita/anortita de 2/0 y 3/3; la de calcita/hematites: 2/2 y 3/2; y la proporción cuarzo/anortita es 4/0 y 4/3.

Por tanto, las muestras de este grupo están más próximas en sus proporciones a la pieza de *Montans* que a *Tritium*, ya que presenta mayor porcentaje de calcita, hematites y anortita que las muestras de *Tritium*. No obstante, este grupo es muy poco homogéneo, existiendo entre sus muestras claras diferencias:

La muestra n° 11 presenta unas proporciones en sus fases cristalinas bastante alejadas de las de la pieza de *Montans* y de las de *Tritium*. Esta muestra revela la presencia de sanidina. La sanidina, normalmente, va asociada a piezas de buena calidad, y evidencia una temperatura de cocción elevada (cerca de 1000 °C), por lo que se deduce que ese aspecto deleznable de la pasta, así como el desconchamiento de su engobe, en principio, no parece deberse a bajas temperaturas de cocción, sino más bien a que ha sido atacada por la corrosión ácida del suelo⁶.

⁶ La sanidina puede llegar a formarse a 800°C, pero necesita unas condiciones de presión sumamente altas: 1000 Kg/cm², algo que, creemos, difícilmente se alcanzaría en los hornos cerámicos de esta época.

Sin embargo, la muestra nº 12, por su composición mineralógica, está mucho más próxima a la pieza de *Montans* que a las del grupo F.

Las materiales del grupo G, como el resto de los grupos, tienen una composición predominantemente cuarcítica; no obstante, la cantidad de feldespato en una de las muestras (la nº 12) es mayor que la que presentan las muestras del grupo F y las de *Tritium*.

- d) la muestra de *Montans* (nº 13) revela una proporción de calcita/cuarzo de 3/4; de calcita/anortita de 3/3; de calcita/hematites de 3/2; y de cuarzo/anortita de 4/3.

Así pues, hay un predominio del cuarzo sobre la anortita y la calcita, aunque el feldespato está en mayor cantidad que en las muestras de *Tritium*, pues presenta una proporción de cuarzo/anortita de 4/3 frente a la proporción 4/1 que presentan los grupos de *Tritium*.

Por tanto, el feldespato es más abundante en esta muestra que en las hispánicas; algo, por otra parte, normal, pues, como se sabe, la Terra Sigillata Sudgálica suele tener siempre una mayor proporción de feldespato que de cuarzo.

- e) El grupo H (nº 15 y nº 16) presenta una proporción de calcita/cuarzo de 1/4; de calcita/anortita de 1/3 y 1/2; de calcita/hematites de 1/2 y 1/1; y de cuarzo/anortita de 4/3, 4/2 o 3/2⁷.

Por ello, puede comprobarse que estas muestras presentan una composición cristalina semejante a la observada en las muestras de *Tritium Magallum*: conservan aún bastante calcita y anortita, estando, por tanto, totalmente alejadas de los productos bajoimperiales.

También hemos observado en este grupo un claro predominio del cuarzo sobre hematites, calcita y anortita, al igual que sucede en los demás grupos.

Así pues, a modo de recapitulación, diremos que los análisis por D.R.X. han revelado que las muestras altoimperiales son predominantemente cuarcíticas, presentando todavía una cantidad considerable de feldespato, y un contenido relativamente elevado de calcita.

Los análisis por Microscopía Electrónica han detectado los siguientes elementos químicos: **carbono, oxígeno, magnesio, fósforo, potasio, sodio, hierro, calcio, titanio, aluminio y silicio** (Fig.5)⁸.

Se ha observado que las muestras de los grupos de *Tritium* presentan bastante dispersión en el porcentaje atómico de los elementos químicos. Algo similar ocurre con el grupo G que también es muy poco homogéneo, dada la gran dispersión que se observa en alguno de los componentes de sus muestras. En cambio, el grupo F, fundamentalmente, y el grupo H presentan un comportamiento muy homogéneo en sus porcentajes.

Los componentes químicos que más homogeneidad presentan en todas las muestras altoimperiales analizadas son: el *silicio* (es el componente que presenta concentraciones más elevadas en todas las muestras, lo que está acorde con el tipo de pastas a las que pertenecen, pastas hispánicas, que son fundamentalmente cuarcíticas, como ya hemos dicho); el *aluminio* y la *calcita*, además del oxígeno, son los tres componentes que tienen mayor porcentaje en todas las muestras.

El estudio por Microscopía ha revelado que, por lo general, los engobes están enriquecidos con hierro (muestran un tanto por ciento más elevado de hierro que las pastas), mientras que las concentraciones de calcio son bastante más bajas.

⁷ Mantenemos el nº de catálogo que tienen las muestras en: MENÉNDEZ LLORENTE, A. (En prensa b).

⁸ Con el símbolo ~ se ha querido indicar la presencia del elemento en la muestra, pero, dado su bajo porcentaje su presencia no es significativa.

Por tanto, tras los estudios por D.R.X. y M.E.B. hemos comprobado que:

1. Como suponíamos a partir de los análisis macroscópicos, las piezas del grupo F son productos hispánicos alto imperiales con una composición química y mineralógica semejante a la que presenta la pieza de Lancia (nº 19). Esta pieza de Lancia, en cuanto a composición, está próxima a algunas muestras de *Tritium Magallum* analizadas (concretamente aquellas que contienen un mayor porcentaje de calcita). Por ello, parece posible que las muestras del grupo F proceden de *Tritium*. No obstante, dada la homogeneidad que presentan todas estas piezas siguen planteándonos dudas, que nos llevan, ahora, a barajar la posibilidad de que esa semejanza se deba, quizá, a que las piezas del grupo F y la pieza de Lancia formen un grupo aparte, con una procedencia diferente a la del resto de los grupos establecidos.

Ante estas dudas, creemos que es necesario seguir realizando análisis de otras piezas que presenten características semejantes a las del grupo F, para intentar encontrar respuestas más concretas.

2. En cuanto al grupo G, los análisis revelaron que, dada su composición estos materiales, no parecen proceder de los talleres riojanos, sino que su origen es distinto.

3. Igualmente se ha podido confirmar que, efectivamente, las muestras del grupo H son productos altoimperiales de *Tritium Magallum*.

4. Las muestras analizadas de los grupos de *Tritium* presentan poca homogeneidad, lo que hace suponer un taller de origen ó una cronología diferente.

BIBLIOGRAFÍA

- MAYET, F. 1984: *Les céramiques sigillées. Contribution à l'histoire économique de la Péninsule Ibérique sous l'Empire Romaine*. 2 vols., C.N.R.S., París.
- MENÉNDEZ LLORENTE, A. 1995. En prensa a: "Sigillatas inéditas de la Comarca de Valdeorras (Orense)", *XXIII C.N.A.*, Elche.
- MENÉNDEZ LLORENTE, A. En prensa b: *La Comarca de Valdeorras en época romana: La cerámica sigillata*. Ed. Caixa Ourense y A. G. P., Orense.
- PÉREZ GONZÁLEZ, C. 1989: *Cerámica Romana de Herrera de Pisuerga (Palencia. España). La Terra Sigillata*. Universidad Internacional SEK, Santiago de Chile.
- PICÓN, M. 1984. "Recherches sur le composition des sigillées hispaniques, techniques de fabrication et groupes de production"; en: MAYET, F. 1983: *Les céramiques sigillées. Contribution El à l'histoire économique de la Péninsule Ibérique sous l'Empire Romaine*. Vol. 1; CNRS, París, pp. 303-317.
- RINCÓN, J. M. 1985: "Composición mineralógica y microestructural de cerámicas de "Terra Sigillata" de la Península Ibérica", *E.A.E.*, nº 140, Anexo VI, pp. 345-362.
- RINCÓN, J. M. 1994: "Investigación arqueométrica de materiales cerámicos de terra sigillata del yacimiento de Arva (Alcolea del Río, Sevilla)", *III R. A. C. H.*, Barcelona.

ABREVIATURAS EMPLEADAS

- C.N.A.: Congreso Nacional de Arqueología.
- C.N.R.S: Centre National de le Recherche Scientifique (París).
- D.R.X.: Difracción Difracción de Rayos X.
- E.A.E.: Excavaciones Arqueológicas en España. Microscopía Electrónica de Barrido.
- M.E.BH Microscopía Electrónica de Barrido.
- R.A.C.H: Reunió d'Arqueologia Cristiana Hispánica.

Nº MUESTRA	Nº CATÁLOGO (7)	GRUPO
1	12	A.1
2	126	A.2
3	58	B.2
4	26	C.1
5	136	C.2
6	76	F
7	77	F
8	78	F
9	74	F
10	79	F
11	83	G
12	63	G
13	1	Montans
14	147	H
15	150	H
16	149	H
17	No catalogada	Bedunia (León)
18	No catalogada	Magaz (León)
19	No catalogada	Lancia (León)
20	No catalogada	Bedunia (León)

FIG. 1. Muestras seleccionadas para analizar.

<i>Nº Muestra</i>	<i>Cuarzo</i>	<i>Sanidina</i>	<i>Anortita</i>	<i>Carb. Cálculo</i>	<i>Hematites</i>
1	xxx	xx	----	x	x
2	xxxx	----	x	-	x
3	xxxx	----	x	x	x
4	xxxx	----	xx	x	-
5	xxxx	----	x	x	-
6	xxxx	----	xx	xx	x
7	xxxx	----	xx	xx	-
8	xxxx	----	xx	xx	-
9	xxx	----	xx	xx	x
10	xxx	----	xx	xx	x
11	xxxx	xx	----	xx	x
12	xxxx	----	xxx	xxx	xx
13	xxxx	----	xxx	xxx	xx
14	xxxx	----	xxx	x	xx
15	xxxx	----	xx	x	x
16	xxx	----	xx	----	x
17	xxx	----	xx	x	x
18	xxx	----	xx	xx	x
19	xxxx	----	xx	xx	x
20	xxxx	----	xx	x	x

FIG. 2. Estimación de la abundancia relativa de las fases cristalinas encontradas en las muestras.

Nº	Carbono	Oxígeno	Sodio	Magnesio	Aluminio	Silicio	Fósforo	Potasio	Calcio	Titanio	Hierro
1	0,27	50,84	-	2,38	15,48	20,09	2,34	1,96	3,43	0,42	2,74
2	0,25	49,07	0,44	2,89	12,98	25,32	-	2,32	4,66	0,17	1,87
3	1,27	50,51	0,14	2,53	12,68	24,90	0,20	1,01	4,55	0,24	1,93
4	0,41	49,14	0,12	3,21	12,01	25,54	0,06	1,52	6,16	0,25	1,53
5	0,31	48,94	0,20	5,50	12,06	22,85	1,05	1,88	4,71	0,28	2,17
6	-	48,51	0,23	4,76	11,77	25,21	0,03	2,03	4,71	0,34	2,36
7	0,66	47,91	0,20	3,84	12,47	25,35	0,35	2,07	4,89	0,28	1,92
8	0,39	49,41	0,29	4,53	11,33	25,24	-	2,17	4,48	0,23	1,90
9	0,50	50,10	0,47	3,38	11,37	25,38	0,04	1,83	4,85	0,25	1,78
10	0,22	46,18	1,11	4,06	12,10	27,05	0,38	2,09	4,54	0,30	1,85
11	1,73	51,96	-	3,17	8,20	23,49	1,91	0,93	5,87	0,29	2,41
12	0,27	52,30	0,05	2,44	13,65	20,34	2,07	1,01	5,42	0,28	2,11
13	1,79	50,34	0,53	2,27	13,57	23,46	0,71	1,66	3,76	0,19	1,69
14	0,32	52,68	0,33	2,50	11,97	24,40	0,89	1,70	3,38	0,14	1,64
15	0,26	48,76	0,28	2,94	12,94	25,48	0,94	2,21	3,70	0,28	2,17
16	0,40	49,83	0,33	2,64	12,27	26,28	0,39	2,05	3,57	0,24	1,94
17	0,18	44,71	0,14	1,59	12,70	27,72	-	3,06	6,56	0,41	2,92
18	0,22	48,98	0,07	2,79	14,06	22,14	1,43	1,80	5,86	0,35	2,17
19	0,64	44,67	0,25	3,23	12,45	28,07	-	3,04	4,82	0,31	2,42
20	0,26	45,81	0,07	1,32	12,71	27,39	-	2,46	6,86	0,32	2,68

FIG. 3. Porcentaje atómico de los elementos químicos encontrados en las pastas.

Nº	Carbono	Oxígeno	Sodio	Magnesio	Aluminio	Silicio	Fósforo	Potasio	Calcio	Titanio	Hierro
1	0,27	50,09	0,24	1,84	18,58	20,42	-	3,52	0,27	0,21	2,52
2	7,62	64,83	1,00	1,95	11,55	12,01	-	0,73	0,23	-	0,60
4	4,51	58,60	1,21	2,52	12,95	17,16	0,23	1,61	0,53	0,05	0,54
6	4,01	53,02	0,64	1,59	14,86	19,24	0,71	1,79	1,81	0,23	2,05
8	3,10	52,53	0,60	2,41	12,59	22,03	-	3,08	1,64	0,12	1,84
10	2,57	52,55	0,20	2,32	14,35	19,88	0,22	3,03	1,22	0,42	3,14
13	4,80	52,81	0,39	1,88	15,28	18,66	0,25	2,05	1,65	0,13	2,05
14	2,04	54,25	0,65	2,08	13,69	21,77	0,07	2,23	1,30	0,12	1,74
15	1,52	48,01	0,39	2,08	14,77	24,97	0,30	2,91	2,06	0,24	2,75

FIG. 4. Porcentaje atómico de los elementos químicos encontrados en los engobes.

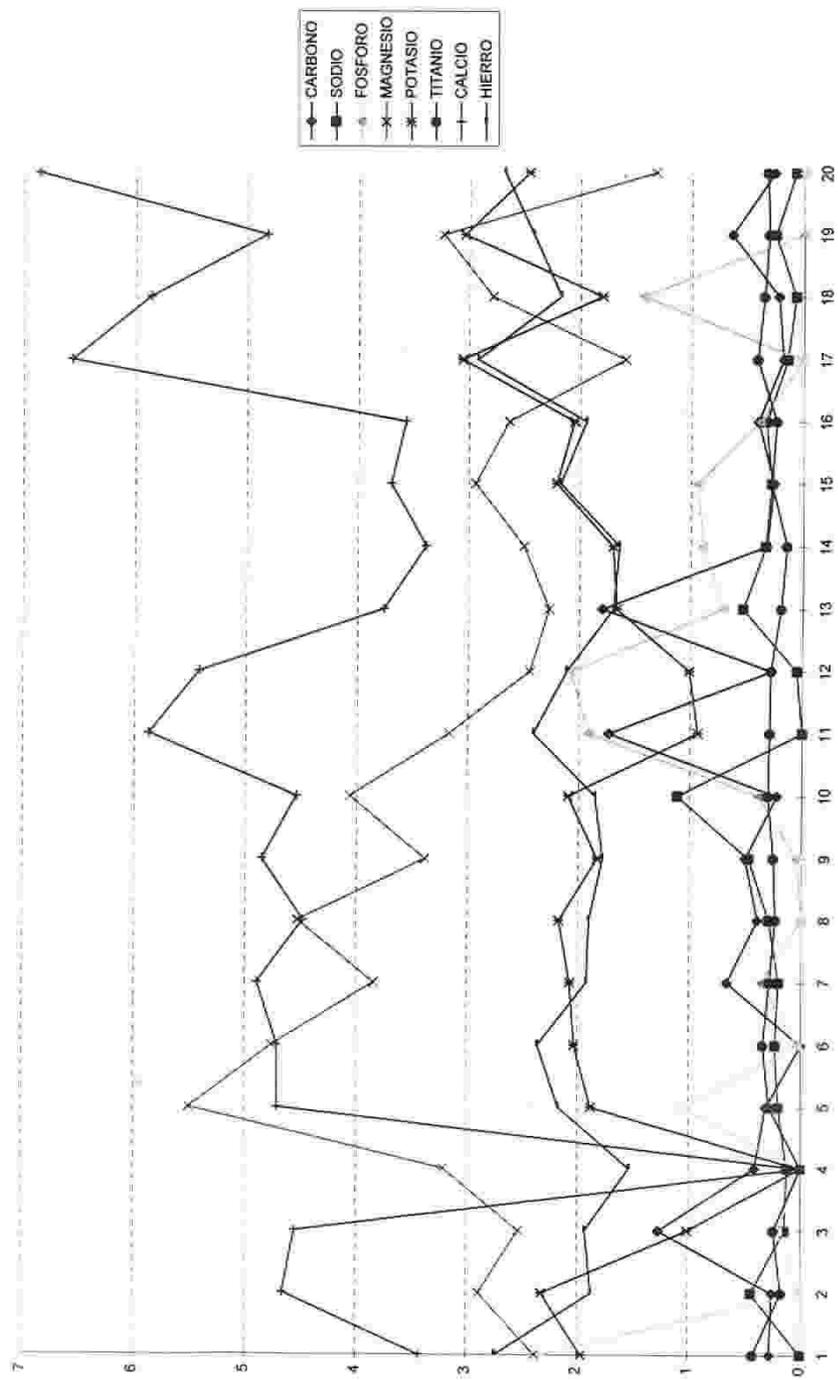


FIG. 5. Composición química de las muestras analizadas.

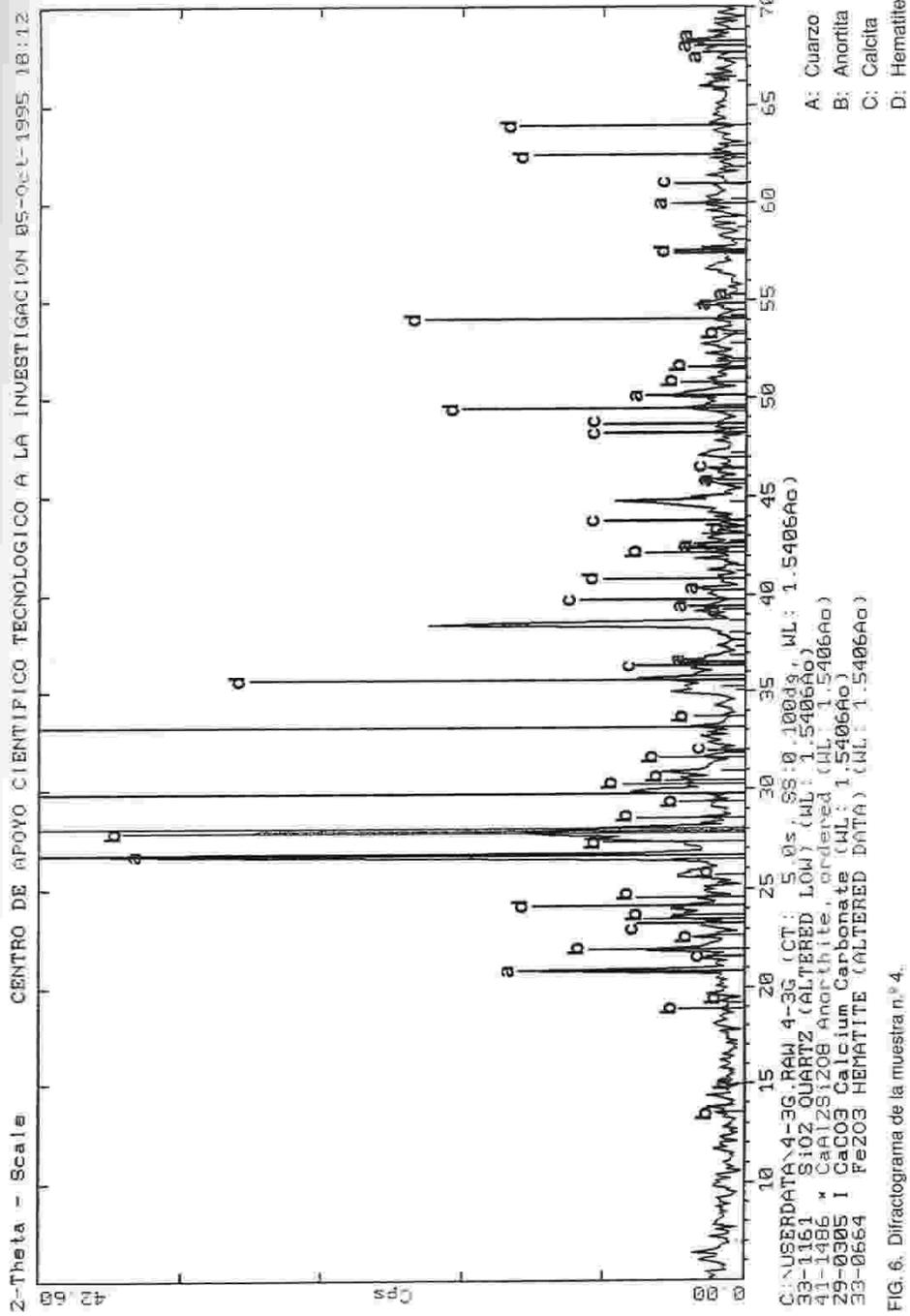


FIG. 6. Difractograma de la muestra n.º 4.

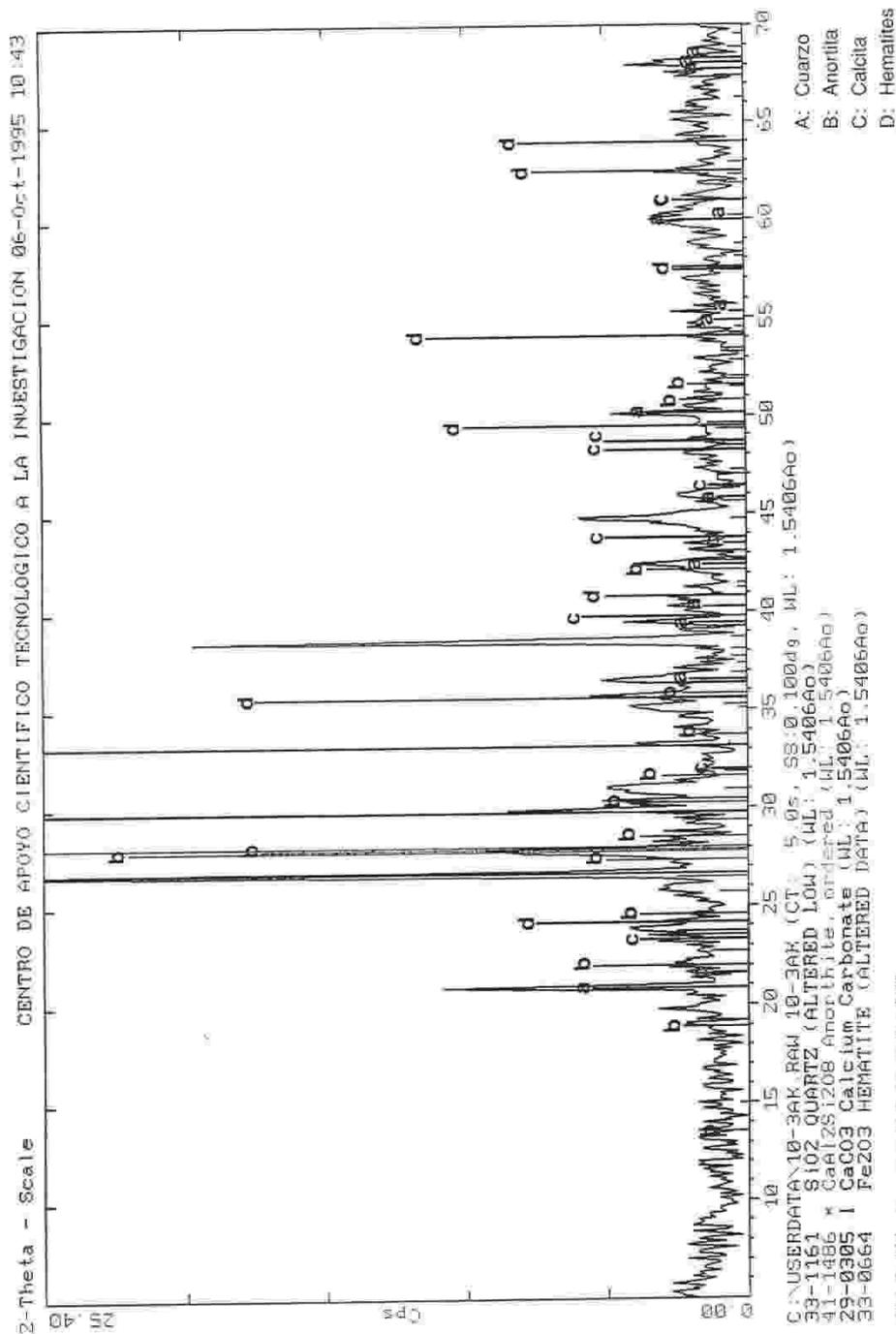


FIG. 7. Diffractograma de la muestra n.º 10.

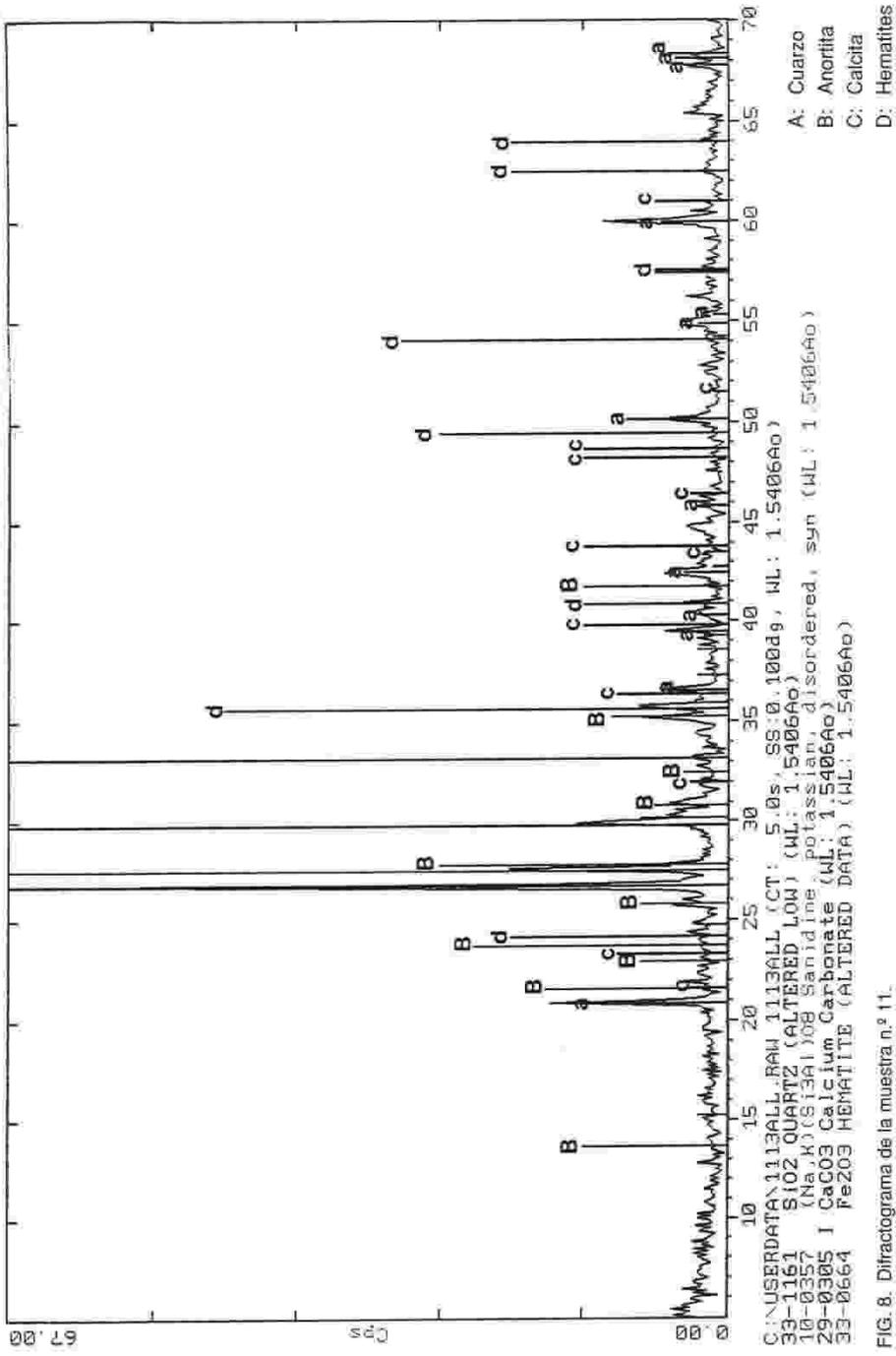


FIG. 8. Diffractograma de la muestra n.º 11.

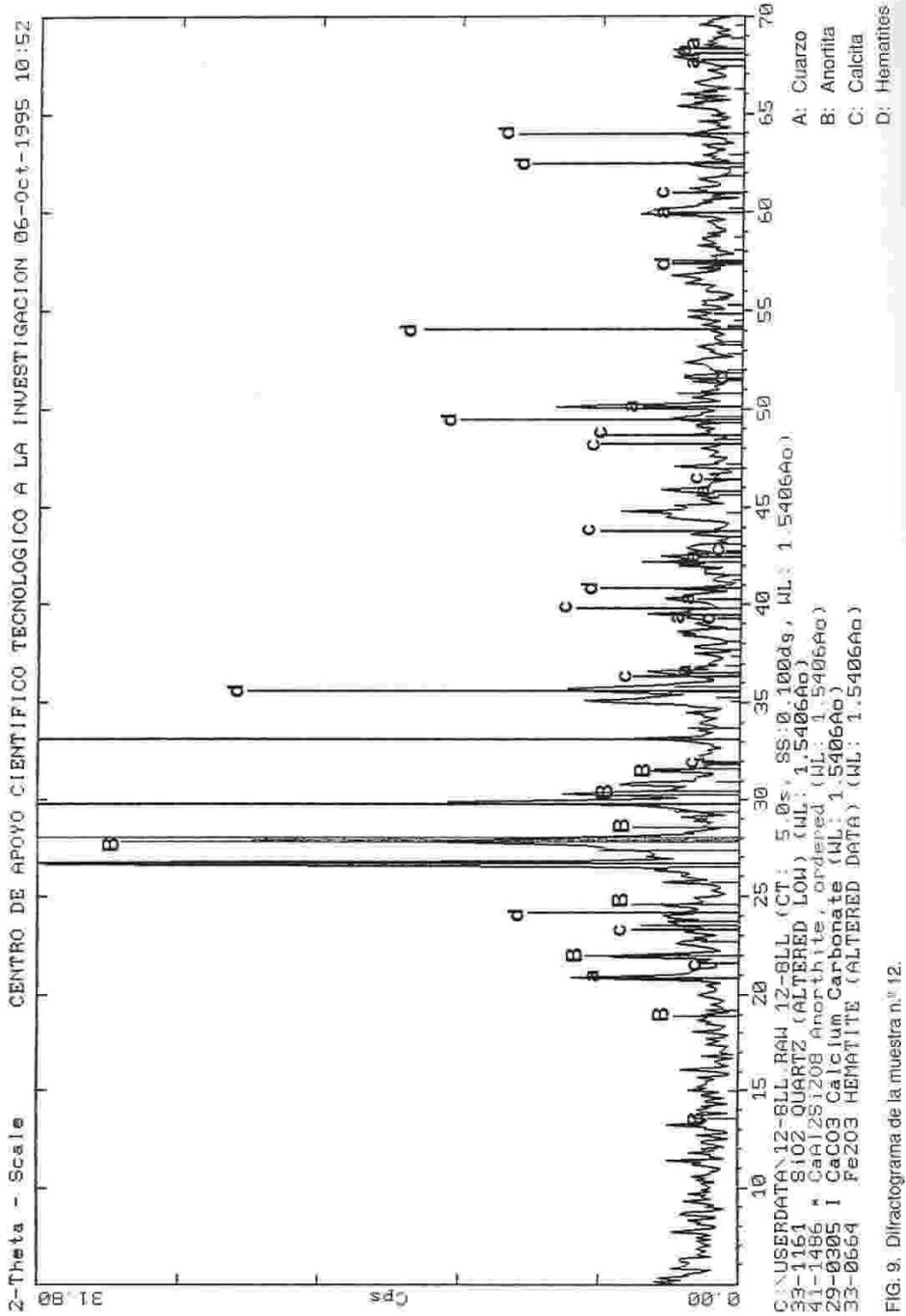


FIG. 9. Difractograma de la muestra n.º 12.

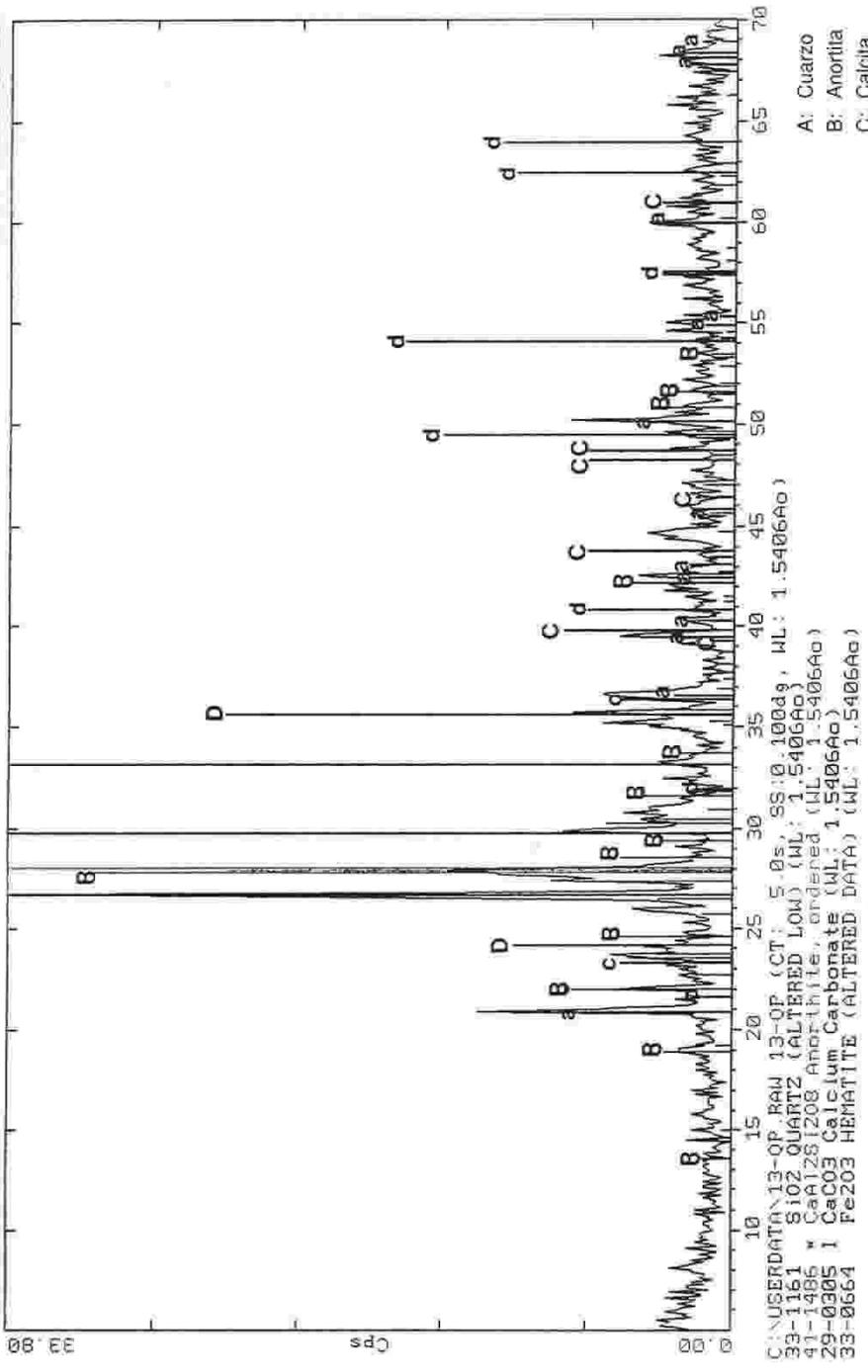


FIG. 10. Difractograma de la muestra n.º 13.

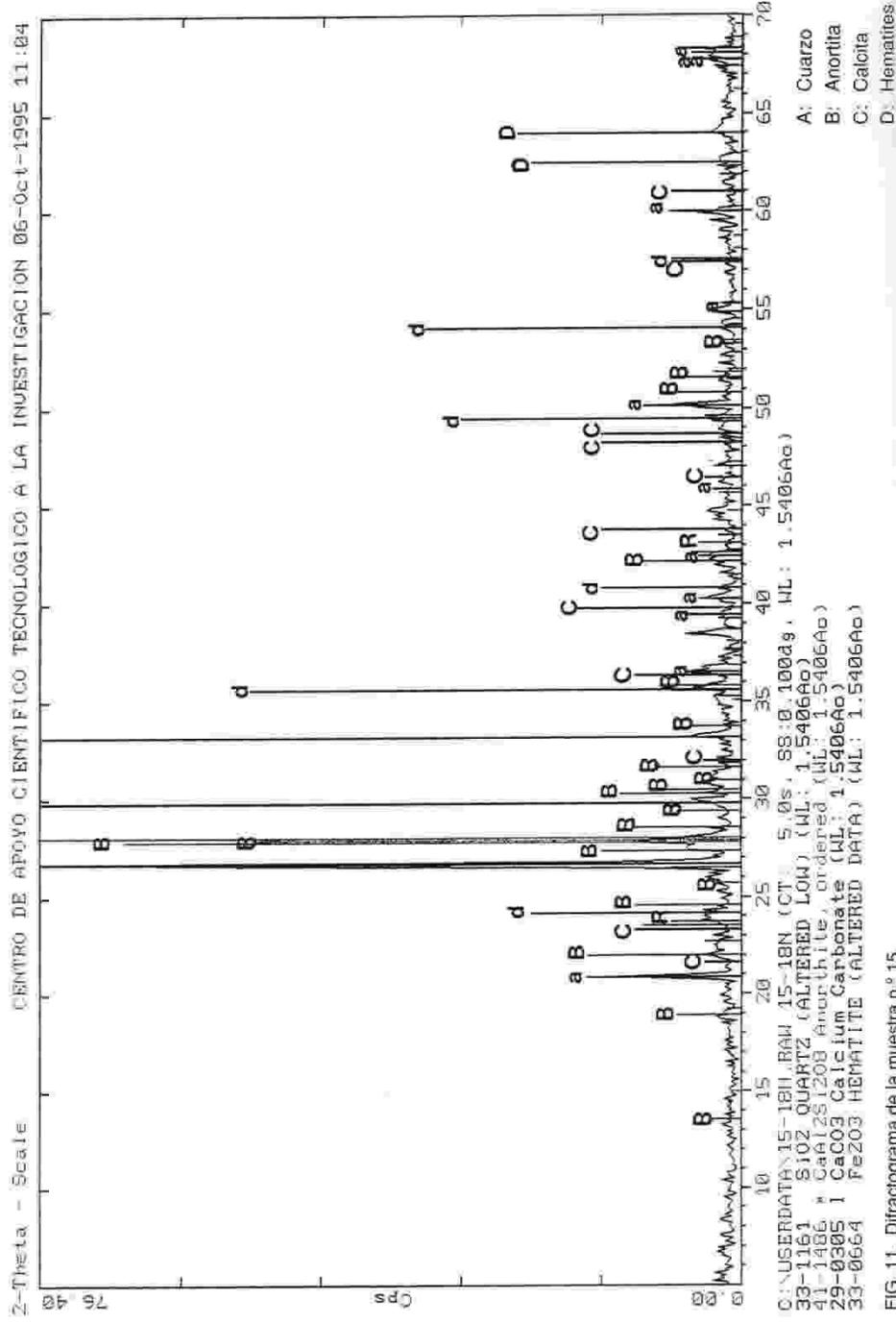


FIG. 11. Difractograma de la muestra n.º 15.

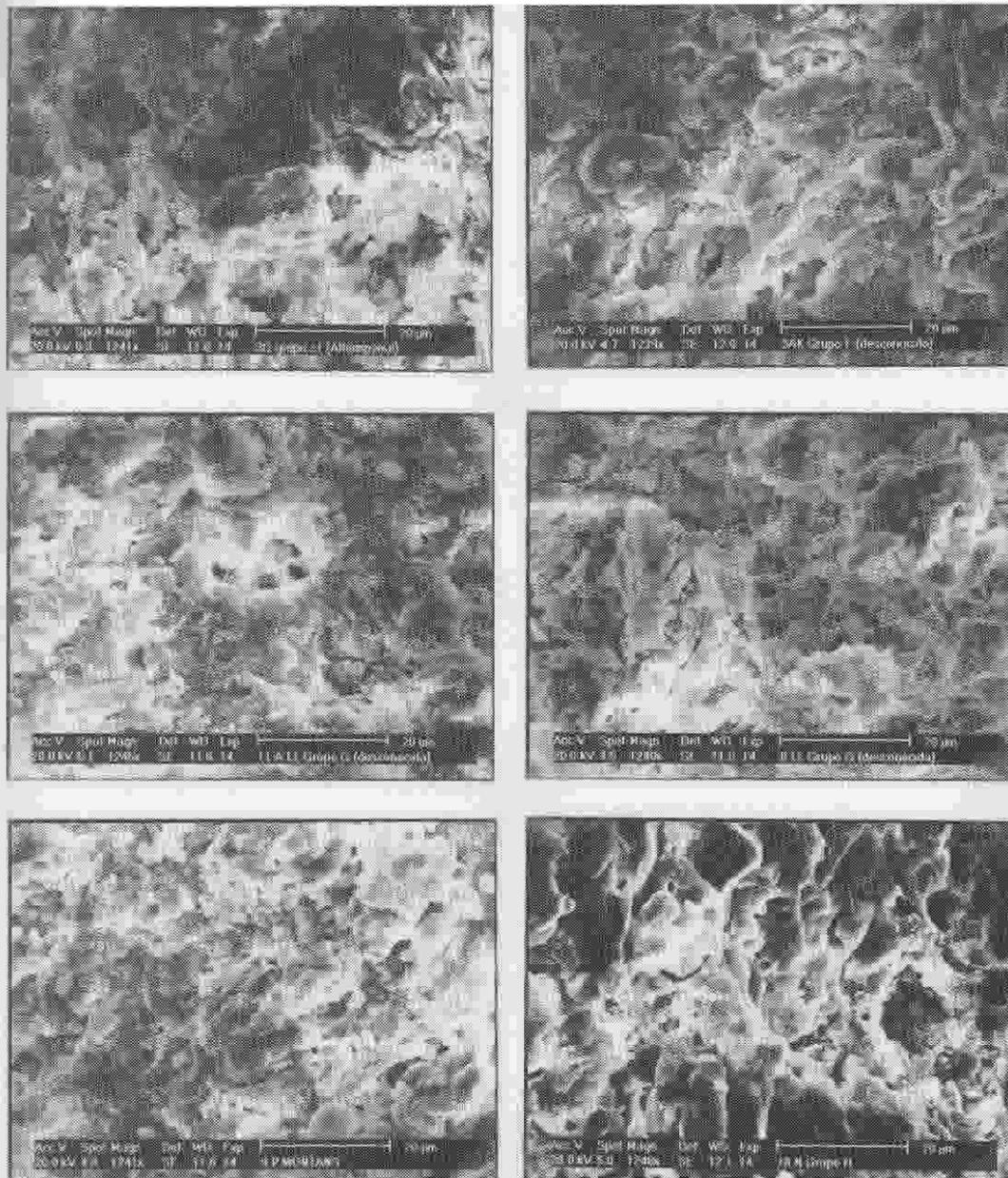


FIG. 12. Fotografías obtenidas del estudio por Microscopía Electrónica de las muestras n.º 4, 10, 11, 12, 13 y 15.