



Universidad de Jaén

Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Recursos naturales: Arcillas de uso cerámico

Alumna: Celia Martín Valenzuela

Julio 2014



Universidad de Jaén

Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Recursos naturales: Arcillas de uso cerámico

Alumna: Celia Martín Valenzuela

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la del estudiante Celia Martín Valenzuela, escrita sobre un fondo blanco.

Julio 2014

RESUMEN

Debido a la problemática que causa el alperujo, especialmente en la provincia de Jaén por la gran cantidad de aceite de oliva que cada año se produce, es importante encontrar nuevas utilidades para este tipo de residuo agroindustrial. Siendo Bailén uno de los principales núcleos de elaboración de cerámica, es importante relacionar ambas cosas. Este trabajo trata sobre la mezcla de arcilla con alperujo para la fabricación de cerámica, en este caso ladrillos. Diferentes cantidades de arcilla fueron sustituidas por alperujo y se analizó su composición mineralógica mediante las técnicas de difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido.

ABSTRACT

Due to the problem that the alperujo causes, especially in the province of Jaén by the large number of olive oil extracted each year, it is important to find new uses for this type of agroindustrial waste. As Bailén is one of the main production centers for the ceramic industry, it is important to link both of them. This paper deals with the clay-alperujo mixture for making ceramic bricks. Different amounts of clay were substituted for alperujo and their mineralogical composition was analyzed by the techniques of X-ray diffraction and scanning electron microscope.

ÍNDICE

1. Introducción	5
2. Materiales	9
3. Métodos	10
3.1 Preparación de las muestras	10
3.2 Difracción de rayos X	13
3.3 Microscopía electrónica de barrido	14
4. Resultados	16
5. Discusión	30
5.1 Viabilidad para la fabricación de piezas cerámicas	30
5.2 Problemas que pueden surgir de la composición mineralógica	31
6. Conclusiones	32
7. Bibliografía	32

1.INTRODUCCIÓN

España es el primer productor de aceite de oliva en el mundo. Según de la Casa et al. (2012) el contenido de aceite de una aceituna es del 20%. El 80% restante son residuos que hay que tratar. Los métodos de extracción del aceite de oliva son llamados de segunda fase o tercera fase. La diferencia entre ambos es el uso de agua añadida. En España más del 90% de las instalaciones operan bajo el procedimiento de extracción de segunda fase, el cual no añade agua.

Como dice La Cal Herrera (2013), el alperujo es el subproducto que se genera en las almazaras durante el proceso de elaboración de aceite de oliva. Éste contiene, según de la Casa et al. (2012), hueso triturado (15% en peso), pulpa de aceituna (20% en peso), agua (65% en peso) y una pequeña proporción de aceite residual.

Como España produce aproximadamente 5.000.000 de toneladas al año de alperujo, es necesario buscar aplicaciones para este tipo de residuo agroindustrial (de la Casa et al., 2009).

La utilización de disolventes orgánicos es el principal método de eliminación del alperujo. Se han propuesto otros métodos de eliminación, como su incorporación al suelo como enmienda o como biocida, pero algunos efectos tóxicos en plantas y microorganismos del suelo han limitado esta aplicación (de la Casa et al., 2012).

De la Casa et al. (2012) también han propuesto el uso del alperujo como materia prima para la producción de bioetanol, aunque debería estar integrado con la producción de otros productos de valor agregado debido al bajo contenido en xilano y glucano. Por ejemplo, las piezas de hueso presentes en el alperujo pueden ser usadas para la producción de furfural.

El compostaje es una de las alternativas más frecuentemente propuesta. La principal preocupación para esta aplicación es la consistencia física del residuo, debido a su alto contenido en agua y baja porosidad, junto con el gran volumen de compost que debe ser manejado (de la Casa et al., 2012).

Por último, se ha propuesto el uso de las aguas residuales de la extracción de aceite de oliva de dos fases (o alperujo) para la producción de ladrillos de arcilla cocida, como método de eliminación y valorización de las mismas (de la Casa et al., 2009 y de la Casa et al., 2012). Esto aliviaría los impactos medioambientales que ocasiona la industria de extracción del aceite y produciría un ahorro económico en la industria de ladrillos. La elaboración de un producto que posea propiedades tecnológicas similares a los ladrillos fabricados tradicionalmente es una aplicación que puede actuar como método de tratamiento para un gran volumen de aguas residuales de aceite de oliva (de la Casa et al., 2012).

Ya que la provincia de Jaén es la principal productora de aceite de oliva y Bailén es uno de los principales núcleos de producción de cerámica, es importante relacionar ambos procesos para potenciar el desarrollo económico.

Los productos cerámicos son los productos finales de un proceso industrial (proceso cerámico) en el que se transforman y endurecen los materiales de partida (materias primas) (Galán y Aparicio, 2005).

El proceso cerámico consta de cinco etapas: 1) la selección y preparación de las materias primas, 2) la preparación del cuerpo cerámico, que consiste en la preparación de la mezcla, homogenización y amasado, 3) el moldeado, que puede hacerse por varios procedimientos, 4) el secado, y 5) la cocción. Todas las etapas son importantes, pero es sin duda la cocción la más crítica e interesante porque en esta etapa se consigue realmente el producto cerámico final (Galán y Aparicio, 2005).

Según Galán (2003), la industria cerámica comprende las siguientes ramas industriales:

- Cerámica de construcción: ladrillos, tejas, gres, azulejos, baldosas y materiales refractarios.
- Cerámica fina: productos de alfarería, loza, gres fino, porcelana, electroporcelana y loza sanitaria.
- Cerámica técnica.

Las dos primeras constituyen la cerámica tradicional, y estos productos están preparados con materias primas naturales, que pueden ser según su función, plásticas o no plásticas. Las primeras son esencialmente arcillas. La arcilla es un sedimento formado por partículas muy finas ($>50\%$ es $<2\mu m$), que mezclada con agua es plástica, que endurece con el secado y calor, y que contiene mayoritariamente filosilicatos de tamaño de grano muy fino, los llamados minerales de la arcilla (tamaño de grano $<2\mu m$). También contiene minerales asociados (cuarzo, feldespatos, calcita, piritita) y ciertas fases asociadas no cristalinas, que pueden o no impartir plasticidad, además de materia orgánica. Las no plásticas pueden tener una función de "desgrasantes" (materiales que reducen la plasticidad permitiendo una mejor trabajabilidad y facilitando el secado), o ser elementos "fundentes" (los que facilitan una cocción a menor temperatura e introducen los elementos necesarios para la formación de nuevas fases) (Galán y Aparicio, 2005).

Por otra parte la cerámica técnica tiene un interés extraordinario para las nuevas tecnologías. Las materias primas utilizadas, a diferencia de las tradicionales, son un grupo de materiales no metálicos, que en la mayoría están formados por polvos de alta pureza a base de óxidos de Al, Si, Zr, Be, B y nitruros y boruros (Galán y Aparicio, 2005).

En general, las materias primas cerámicas mayormente utilizadas son silicatos y rocas silicatadas. Los principales minerales que entran en composiciones cerámicas son: cuarzo, feldespatos, nefelina, talco, magnesita, olivino, serpentina, sepiolita, vermiculita, wollastonita, cromita, grafito, andalucita/sillimanita/distena, cordierita, pirofilita, minerales de Li y B, zircón. Como rocas se usan: arcillas comunes (y margas), caolines y arcillas caoliníferas, pizarras, bauxitas y lateritas, areniscas y cuarcitas, basaltos, tobas, vidrios volcánicos, granitos y pegmatitas, diatomitas, y calizas y dolomías (Galán y Aparicio, 2005).

La industria cerámica de Bailén está basada, fundamentalmente, en la fabricación de ladrillos y bloques perforados. Las arcillas comúnmente utilizadas pertenecen a los materiales neógenos de la cuenca del Guadalquivir. (Vázquez y Jiménez-Millán, 2004). Estas materias primas son margas de color gris oscuro (barro

negro), arcillas margosas de color amarillento con algunas intercalaciones de limos y arenas (barro rubio) y margas arcillosas de color gris claro (barro blanco) (Vázquez, 2004). Los fabricantes usan estos materiales mezclados en diferentes proporciones con un bajo porcentaje en las arcillas pertenecientes a las Capas Rojas de la Cobertura Tabular (Vázquez y Jiménez-Millán, 2004).

Los materiales más frecuentemente utilizados, barro rubio y negro, tienen una composición compuesta por filosilicatos, cuarzo y calcita. La illita es el filosilicato más abundante y, en menores cantidades, aparecen la esmectita y clorita. Su composición mineralógica posibilita su uso como materia prima. Sin embargo el barro blanco tiene una composición excesivamente rica en carbonato por lo que no puede ser utilizado en la industria cerámica como materia prima principal (Vázquez, 2004).

Como consecuencia de la preocupación que generan los grandes volúmenes de alperujo producidos en España y, concretamente en la provincia de Jaén, desde el punto de vista ambiental y teniendo en cuenta que en Jaén, además se cuenta con una importante industria ladrillera, en este trabajo se ha caracterizado la composición de materiales cerámicos, concretamente ladrillos para los que se ha empleado el alperujo en su fabricación. El objetivo es evaluar si el uso del alperujo, en unas proporciones y condiciones determinadas, es recomendable o no en la producción de ladrillos de arcilla cocida. El interés de esto es doble, ya que por un lado, si así fuera, su uso supondría un ahorro económico importante para la industria de ladrillos y, por otro, esta sería una vía para eliminar grandes volúmenes de aguas residuales. La caracterización composicional de los ladrillos se ha llevado a cabo mediante difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido.

2. MATERIALES

Las probetas cerámicas han sido preparadas y entregadas por Innovarcilla, el Centro Tecnológico de la Cerámica en Bailén. La materia prima consiste en la mezcla de arcilla rubia, arcilla negra y arcilla roja. Su composición mineral contiene 59% filosilicatos, (60% de illita, 35% de caolinita y 5% de pirofilita), 30% de cuarzo, 9% calcita y rastros de dolomitas y feldespatos.

En total, se han utilizado 18 probetas cerámicas (Figura 1), con dos probetas por composición y temperatura de cocción (Tabla 1), así para la composición 95% de arcillas RB y 5% de ceniza de alperujo lavada (RB95CAL5) cocida a 1000°C las probetas seleccionadas son la nº 303 y 304.

	PROBETAS Nº		
COMPOSICIÓN	1000°C	1025°C	1050°C
RB95CAL5	303 / 304	319 / 320	335 / 336
RB90CAL10	403 / 404	419 / 420	435 / 436
RB95CALM5	503 / 504	519 / 520	535 / 536

Tabla 1. Distintas probetas por composición y temperatura de cocción



Figura 1. Probetas cerámicas mezcla de arcilla y alperujo empleadas en este trabajo.

3. MÉTODOS

3.1 Preparación de las muestras

Las muestras han sido sometidas a un proceso de molienda. Para ello, primero se ha realizado una molienda gruesa con un mortero de hierro. Después parte de esta fracción se ha pasado por un mortero de ágata (Figura 2) para obtener polvo total.



Figura 2. Muestra 403 en el mortero de ágata

Una parte de la fracción fina de cada muestra fue guardada para su uso en el difractómetro de rayos X como polvo (Figura 3), y la otra parte fue utilizada para la obtención de agregados orientados (Figura 4). Los agregados orientados se preparan mezclando una fracción de muestra molida con agua en un tubo de ensayo. Esta mezcla, una vez agitada y transcurridos 15 segundos, se deposita en un portamuestras de vidrio para su sedimentación, dejándose secar a temperatura ambiente durante al menos 48 horas.



Figura 3. Muestras molidas para su uso en el difractómetro de rayos X.



Figura 4. Proceso de secado a temperatura ambiente de los agregados orientados.

Finalmente se preparó una lámina delgado-pulida de la muestra más representativa para su estudio en el microscopio electrónico de barrido (SEM). Su proceso de elaboración consta de tres fases: 1) tallado, 2) pegado y 3) recubrimiento.

El tallado consiste en la elaboración de "taquitos" de la muestra y su preparación para ser pegados en el portaobjetos. Para la obtención de estos "taquitos" se utiliza una cortadora. Su grosor es de 2 a 5 mm.

Una de las caras debe prepararse para ser pegada en el portaobjetos. Para ello, esa cara se pulimentará con Carborundo (Carburo de silicio), sustancia abrasiva con granulometría pre-establecida: grano F (300-400), grano 600 y grano 1000. A mayor índice, más fina es la granulometría del carborundo. Se comienza en las granulometrías más gruesas (F: 300-400) y se termina en las granulometrías más finas (1000).

Terminado el tratamiento con carborundo, la superficie tallada se lava con abundante agua hasta eliminar todo el carborundo. Para poder pegar el "taquito" en el portaobjetos, debe estar totalmente seco.

El portaobjetos debe esmerilizarse, ya que así se favorece la adherencia del "taquito" al portaobjetos. El esmerilado consiste en frotar la cara del portaobjetos sobre la que se pegará el "taquito" con carborundo de grano 600. Una vez esmerilado, se lava con agua abundante y se seca; por último se vuelve a lavar, esta vez con alcohol para disolver las posibles sustancias grasas que tuviera adheridas.

Para el pegado se utilizó una solución de estrátil que está compuesta por Estrátil A-116 (resina de poliéster), catalizador y acelerador o endurecedor. La cara pulida del "taquito" se embadurna con la solución de estrátil, luego se coloca encima el portaobjetos esmerilizado.

El secado durará unas 12 horas. Una vez pegada la muestra, hay que eliminar el exceso de pegamento.

Una vez pegada, la muestra se monta en la muela adiamantada y es llevada a transparencia, es decir, se reducirá su espesor hasta 3/10 - 5/10 mm. A continuación sobre las placas de vidrio impregnadas con Carborundo de diferentes granulometrías, se irán desgastando progresivamente hasta alcanzar un grosor de 30 μm aproximadamente.

El cubrimiento se realiza con una con solución de estráil sin cubreobjetos.

3.2 Difracción de Rayos X

Se ha utilizado un Difractómetro de rayos X para muestras pulverizadas Brucker-Siemens D5000, del Centro de Instrumentación Científico-Técnica de la Universidad de Jaén (Figura 5).

Con este equipo, entre otras aplicaciones, es posible la identificación mineralógica de materiales pulverizados.

El equipo dispone de un generador de rayos X fijo, con tubos con ánodo de cobre y de cobalto intercambiables, y un goniómetro unido a un soporte de muestra y a un detector de centelleo. El goniómetro es de geometría $\theta/2\theta$. El equipo está conectado a un ordenador de control que dispone del paquete del software "Diffrac Plus" para la adquisición de datos y "Diffplus Eval" para el tratamiento y evaluación de los datos de difracción.

El objetivo de analizar mediante difracción de rayos X polvo una sustancia, es identificar las fases cristalinas presentes mediante la comparación de los datos obtenidos con los tabulados.

Al incidir los rayos X en la muestra, estos son dispersados. Las direcciones privilegiadas en las que se produce la difracción están determinadas por la geometría de las redes cristalinas de las fases minerales presentes, es decir, por la celdilla unidad que las caracteriza. En el caso de material pulverizado, asumiendo que la orientación de todos los cristales que forman el polvo es perfectamente aleatoria, las direcciones privilegiadas forman superficies con forma de envolvente cónica con ángulos θ característicos, por lo que es suficiente con registrar la difracción en un solo plano, variando el ángulo que forman el haz de rayos X, la muestra y el detector.

Los datos se presentan como una gráfica de intensidad de señal recogida (rayos dispersados) frente al ángulo 2θ .

Todas las muestras han pasado por un barrido general de Cu $2-70^\circ 2\theta$ con una duración de 28 minutos.

Para cada muestra se han obtenido diagramas sobre las siguientes preparaciones:

- Polvo
- Agregado orientado total (AOT)



Figura 5. Difractómetro de rayos X Brucker-Siemens D5000, del Centro de Instrumentación Científico-Técnica de la Universidad de Jaén.

3.3 Microscopia electrónica

Se ha utilizado un microscopio electrónico de barrido de alta resolución (FESEM), MERLIN de Carl Zeiss, con capacidad analítica EDX y WDX de Oxford del Centro de Instrumentación Científico-Técnica de la Universidad de Jaén (Figura 6).

Es un sistema de ultra-alta resolución, que permite trabajar con todo tipo de muestras tanto en imagen como en análisis.

Consta de un cañón de emisión de electrones por emisión de campo de punta caliente. Permite obtener imágenes de electrones secundarios (SE) y de electrones retrodispersados (BSE).

El sistema de detección de electrones está formado por los siguientes detectores:

- Detector de electrones secundarios situado en la cámara de muestras.
- Detector de electrones secundarios de alta resolución.
- Detector de electrones retrodispersados situado en la cámara de muestras.
- Detector de electrones retrodispersados de alta resolución en la columna.
- Detector de catodoluminiscencia.

El software utilizado por el FE-SEM es SmartSEM basado en Windows, que permite controlar todos los parámetros del equipo así como obtener, almacenar y trabajar sobre las imágenes obtenidas.

El sistema de análisis químico (microanálisis), consta de los siguientes detectores

- Detector de rayos X, EDX
- Espectrómetro WDX. El sistema cubre un gran rango de análisis, incluyendo O y N.

Los sistemas de microanálisis EDX y WDX tienen el hardware y el software integrados a través de la plataforma Oxford INCA, y se controlan a través de un solo ordenador, permitiendo combinar ambas técnicas.



Figura 6. Microscopio electrónico de barrido de alta resolución (FESEM), del Centro de Investigación de la Universidad de Jaén.

4. RESULTADOS

Los diagramas de difracción de rayos X obtenidos para todas las muestras en sus dos preparaciones (polvo y AOT) muestran que las probetas cerámicas están compuestas principalmente por cuarzo (Q), feldespatos (Fds), gehlenita (Gh) y hematites (Hem), y que no hay diferencias significativas con respecto a la diferente temperatura de cocción.

El cuarzo, los feldespatos y la hematites han sido identificados en ambos métodos, tanto en polvo como en AOT (Figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14). En el caso de la gehlenita no se ha podido identificar en todas las muestras, aunque tiene mayor presencia en los diagramas de polvo (figuras 7, 8 ,9) que en los de AOT (Figuras 11 y 14). El que la gehlenita no se haya identificado en todas las muestras puede ser debido a que no se barran todos los picos con los que se identifica o que no se vea favorecida su reflexión.

La brucita (Brc) sólo aparece en la muestra 319 (RB95CAL5 a 1025 °C) en agregados orientados totales (Figura 14).

Los picos del cuarzo son el 3.34, 4.26, 2.46 y 1.817; los picos del hematites 3.67, 2.69 y 2,69; y los de la gehlenita 1.75, 2.85 y 2.43.

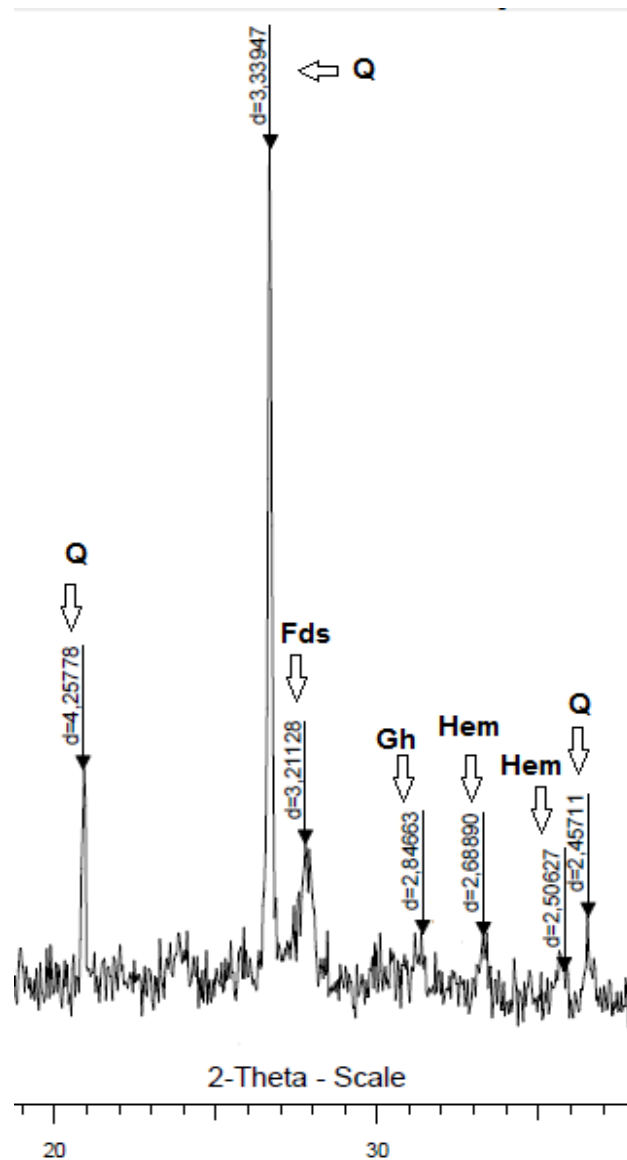


Figura 7. Diagrama de polvo de difracción de rayos X de la muestra 303 (RB95CAL5 a 1000°C). Q: Cuarzo, Fds: Feldespatos, Gh: Gehlenita y Hem: Hematites.

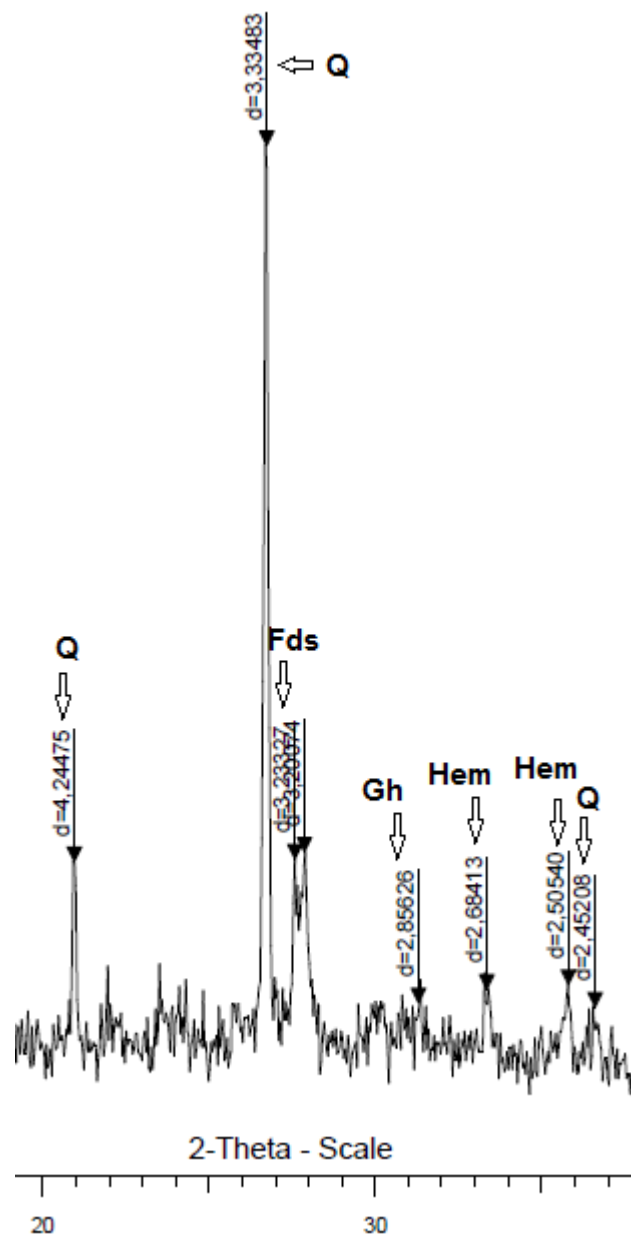


Figura 8. Diagrama de polvo de difracción de rayos X de la muestra 320 (RB95CAL5 a 1025 °C). Q: Cuarzo, Fds: Feldespatos, Gh: Gehlenita y Hem: Hematites.

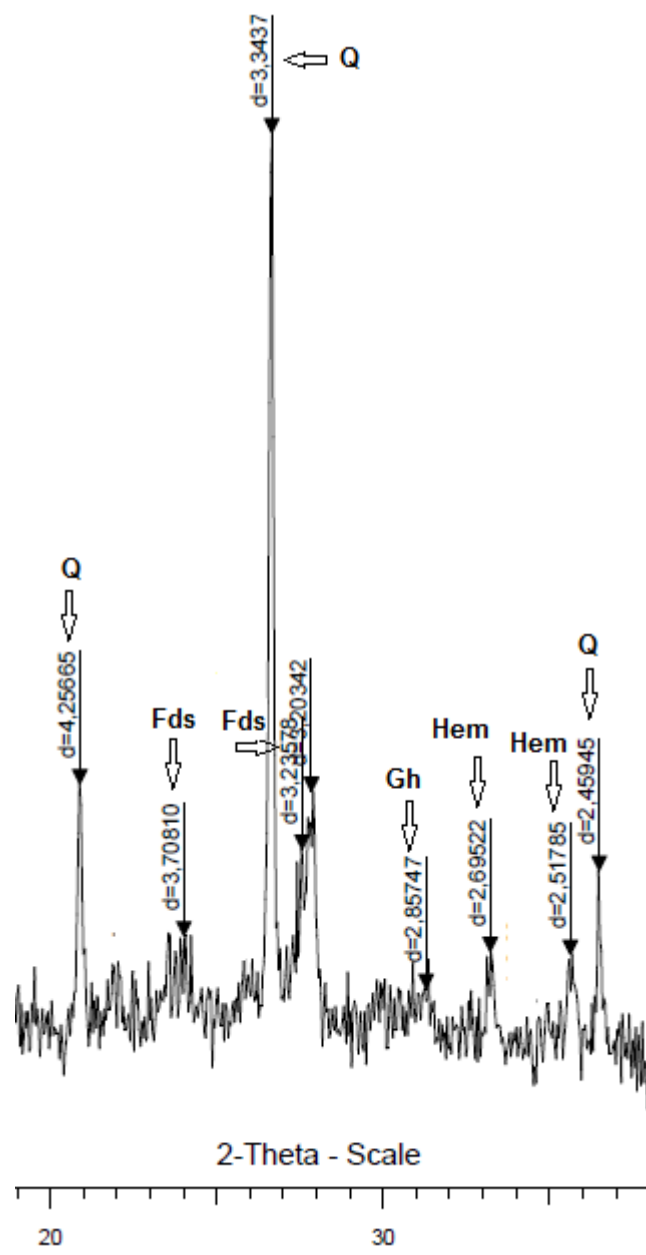


Figura 9. Diagrama de polvo de difracción de rayos X de la muestra 335 (RB95CAL5 a 1050 °C). Q: Cuarzo, Fds: Feldespatos, Gh: Gehlenita y Hem: Hematites.

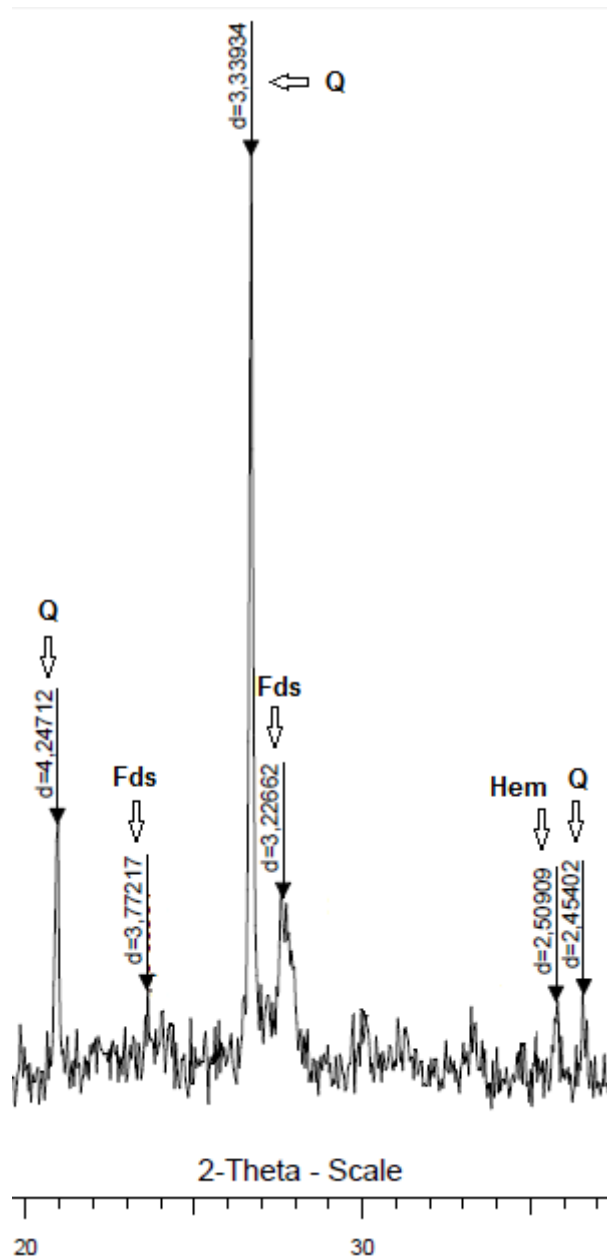


Figura 10. Diagrama de polvo de difracción de rayos X de la muestra 404 (RB90CAL10 a 1000 °C). Q: Cuarzo, Fds: Feldespatos y Hem: Hematites.

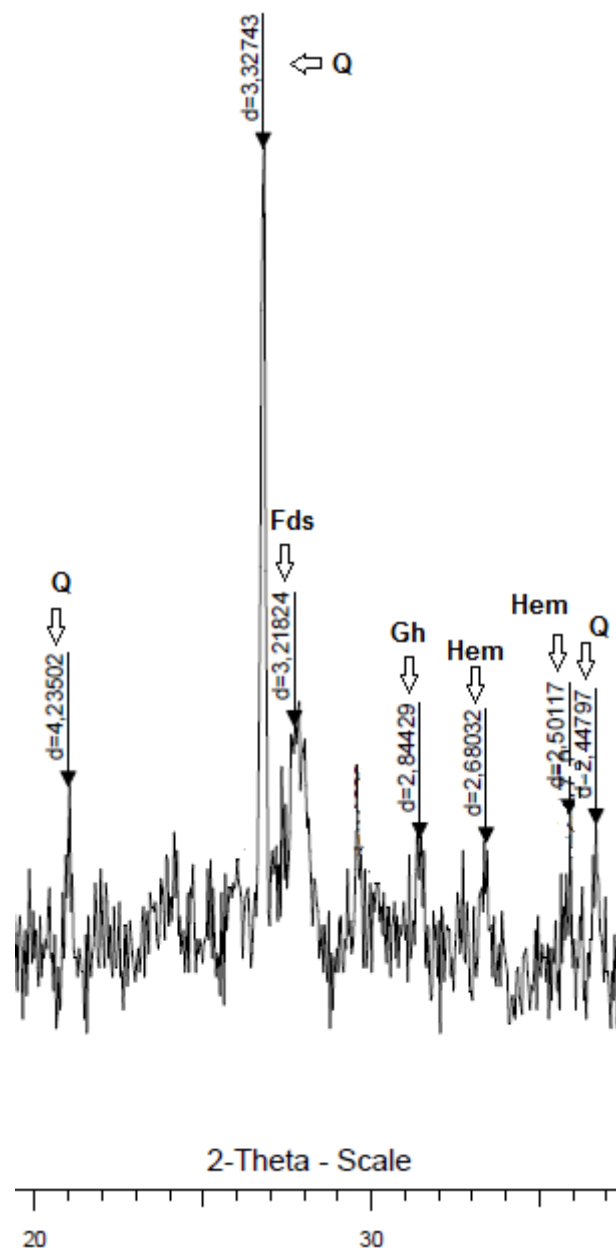


Figura 11. Diagrama de AOT de difracción de rayos X de la muestra 404 (RB90CAL10 a 1000 °C). Q: Cuarzo, Fds: Feldespatos, Hem: Hematites, Gh: Gehlenita.

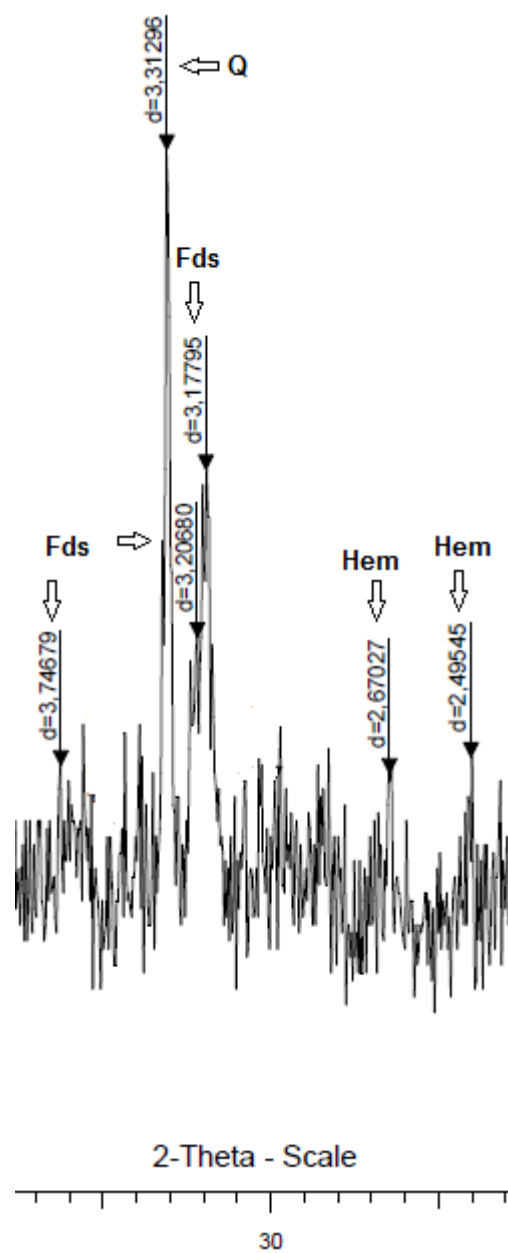


Figura 12. Diagrama de AOT de difracción de rayos X de la muestra 503 (RB95CALM5 a 1000 °C). Q: Cuarzo, Fds: Feldespatos, Hem: Hematites.

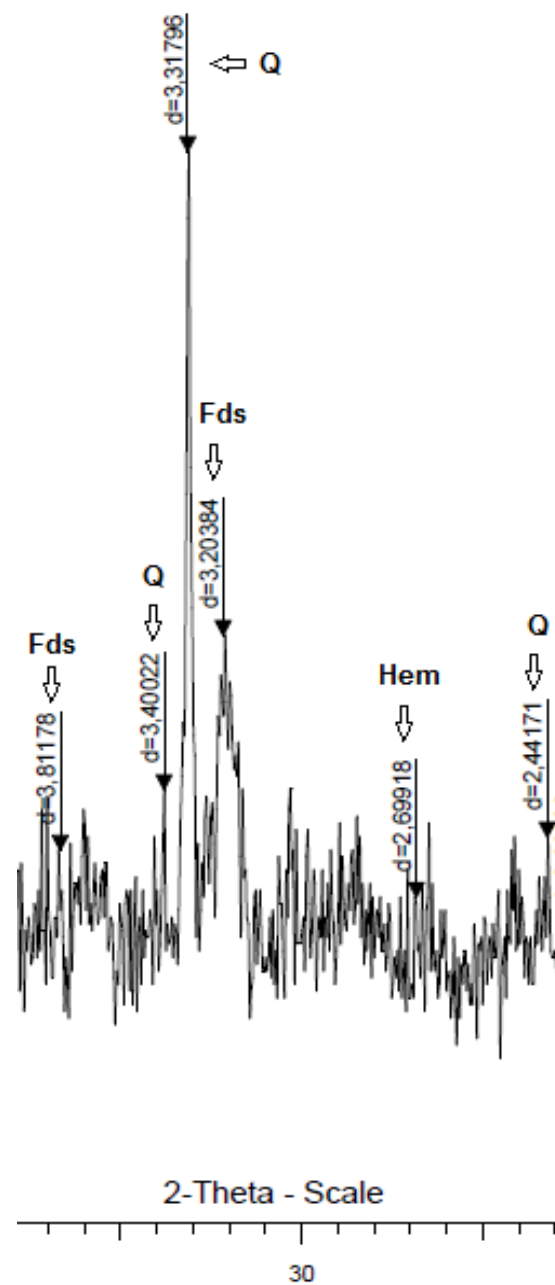


Figura 13. Diagrama de AOT de difracción de rayos X de la muestra 419 (RB90CAL10 a 1025 °C). Q: Cuarzo, Fds: Feldespatos y Hem: Hematites.

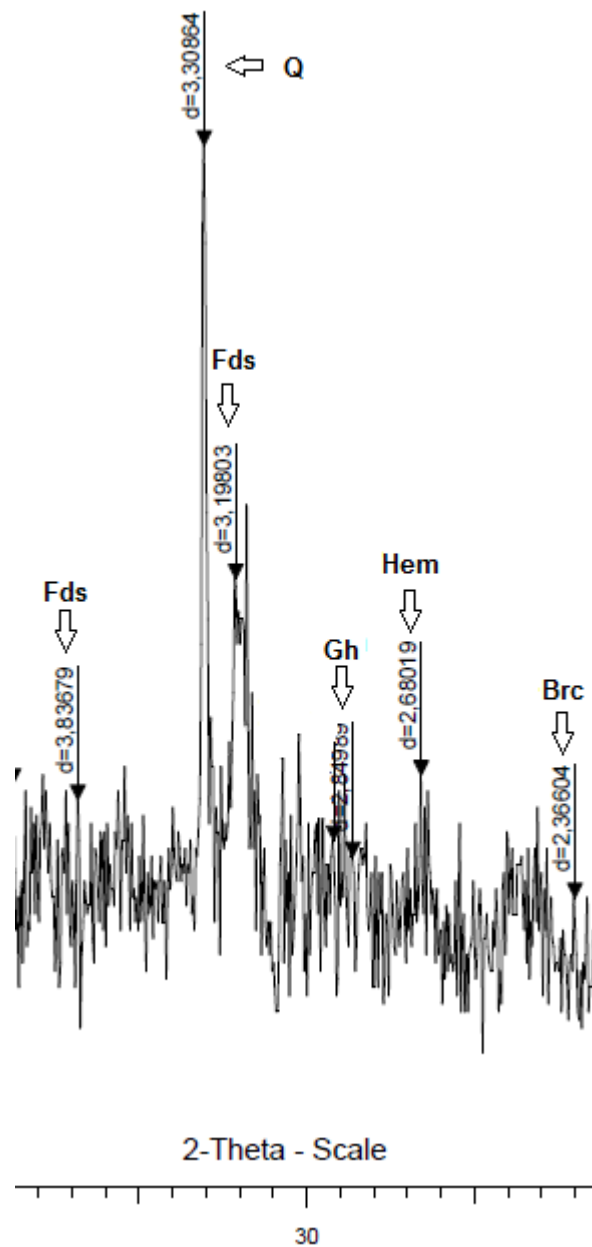


Figura 14. Diagrama de AOT de difracción de rayos X de la muestra 319 (RB95CAL5 a 1025 °C). Q: Cuarzo, Fds: Feldespatos, Hem: Hematites, Gh: Gehlenita y Brc: Brucita.

Las imágenes del microscopio electrónico de barrido, así como los diferentes espectros obtenidos (Figuras 16-23), correspondientes a las distintas fases minerales identificadas, han sido tomadas de la muestra 320. En estas imágenes, que son de electrones retrodispersados, se pueden observar las relaciones texturales de los minerales identificados mediante difracción de rayos X (Figura 15).

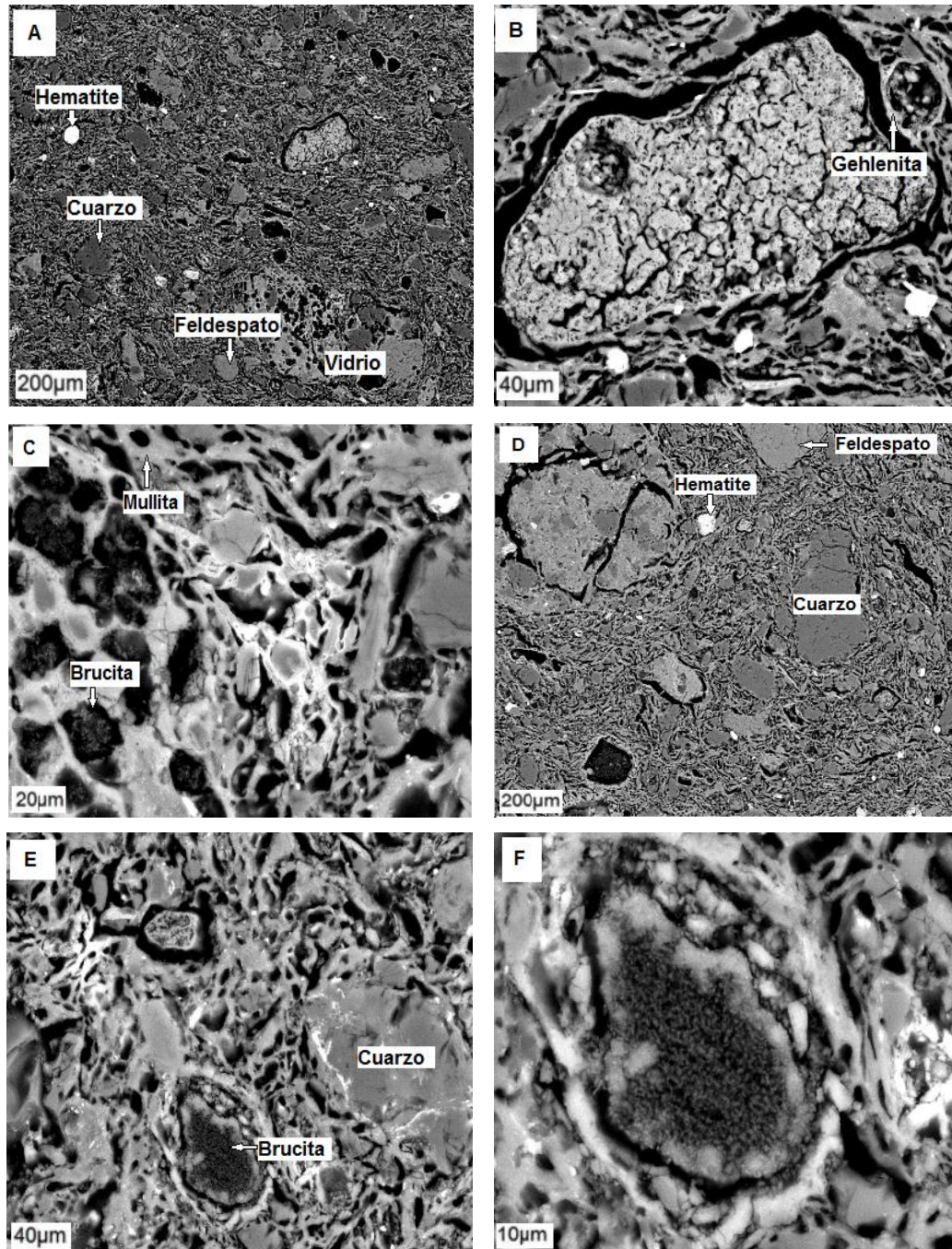


Figura 15. Imágenes del microscopio electrónico de barrido de la muestra 320 (RB95CAL5 a 1025 °C).

Se puede observar la presencia de cuarzo (Figuras 15 y 18), feldespato potásico (Figura 17), feldespatos (Figuras 15 y 19), vidrio (Figuras 15 y 21), gehlenita (Figuras 15 y 22), hematites (Figuras 15 y 16), brucita (Figuras 15 y 20), mullita (Figuras 15 y 23) y piroxenos.

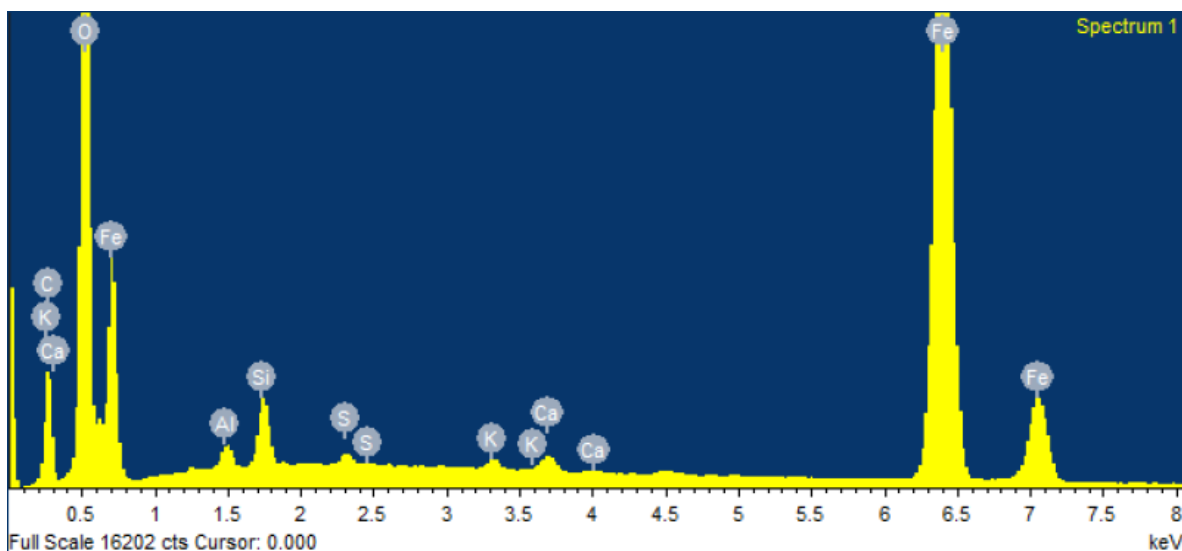


Figura 16. Espectro correspondiente a la hematites (óxido de hierro) de la figura 15.A

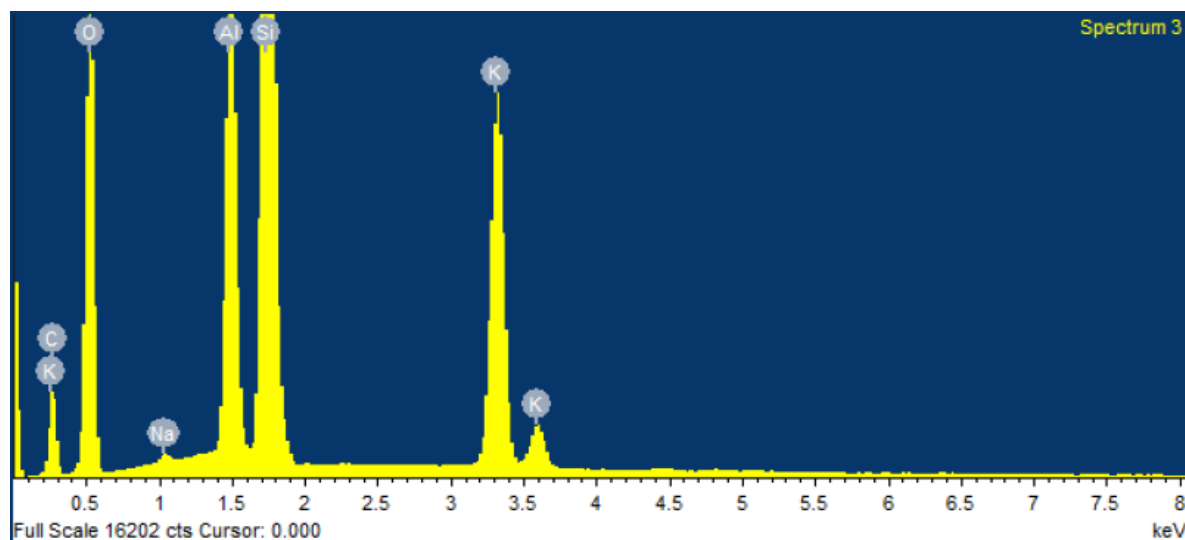


Figura 17. Espectro correspondiente al Feldespato potásico de la figura 15.A

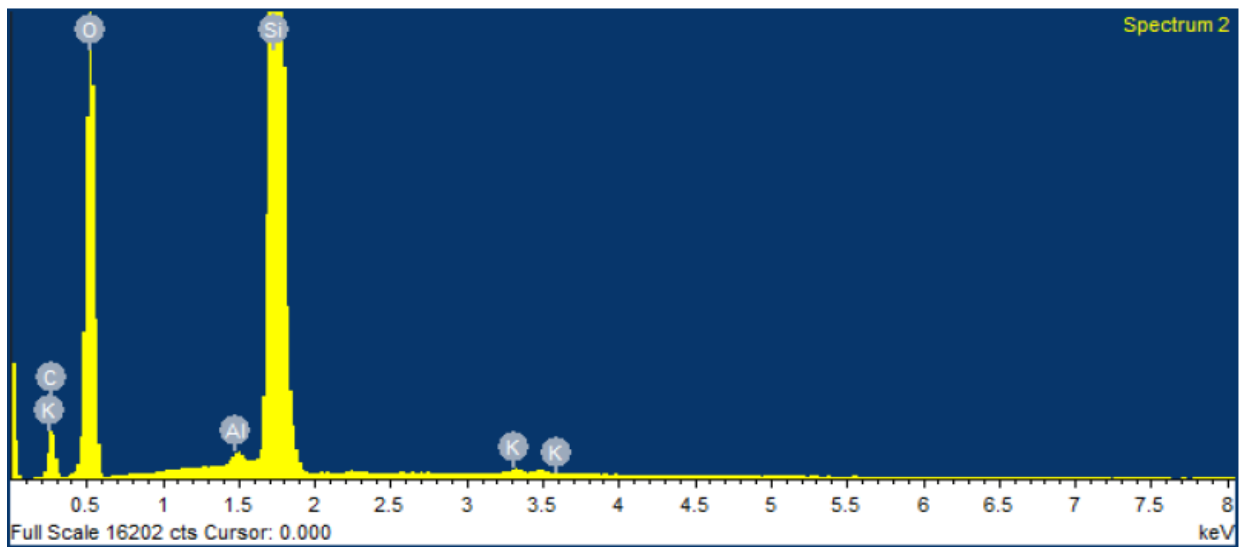


Figura 18. Espectro correspondiente al Cuarzo de la figura 15.A

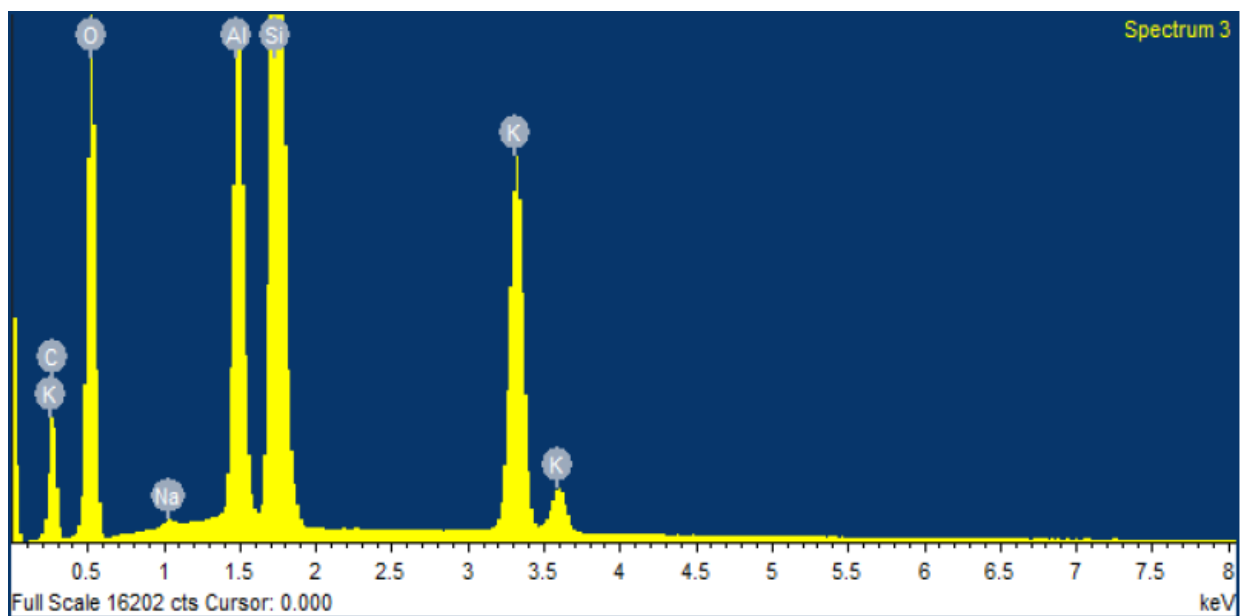


Figura 19. Espectro correspondiente a los Feldespatos de la figura 15.D

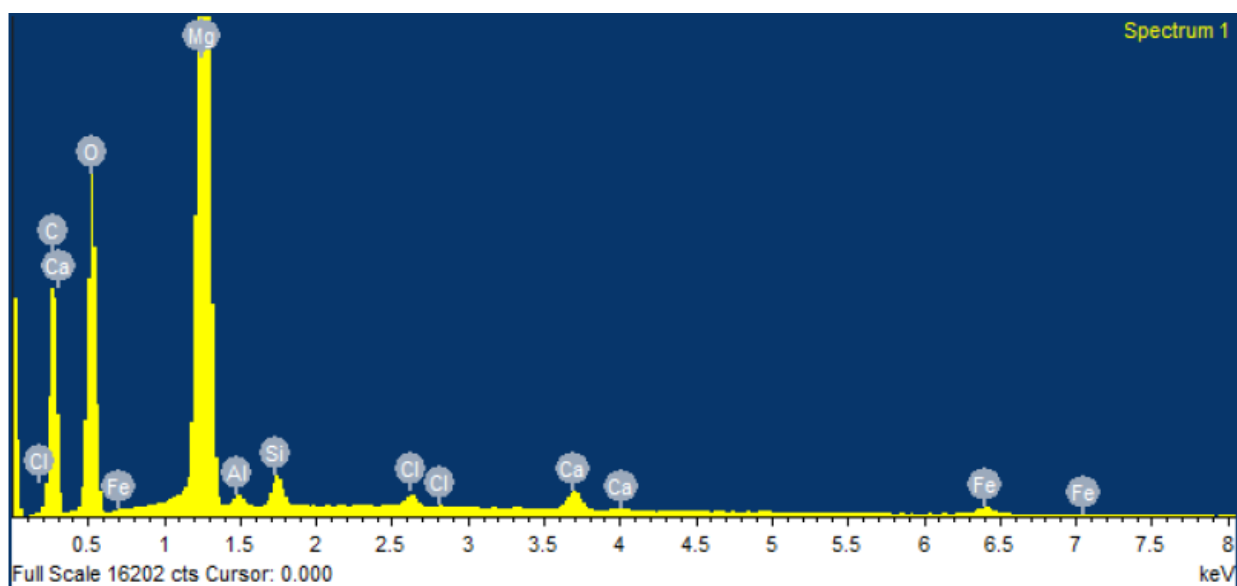


Figura 20. Espectro correspondiente a la Brucita de la figura 15.E

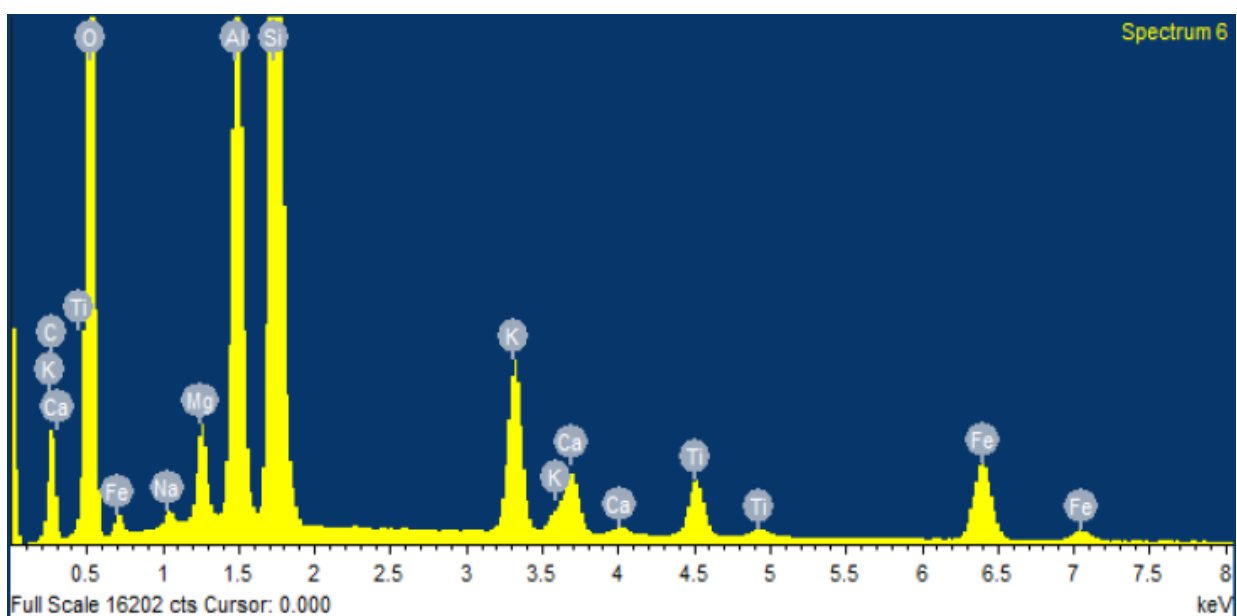


Figura 21. Espectro correspondiente al vidrio de la figura 15.A

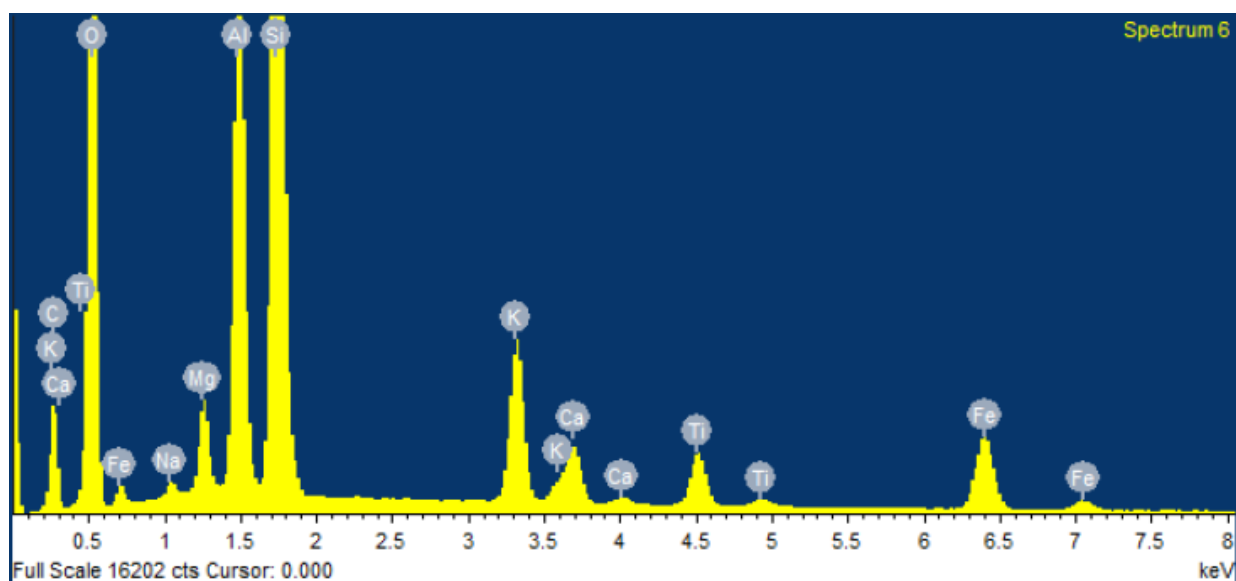


Figura 22. Espectro correspondiente a la gehlenita de la figura 15.B

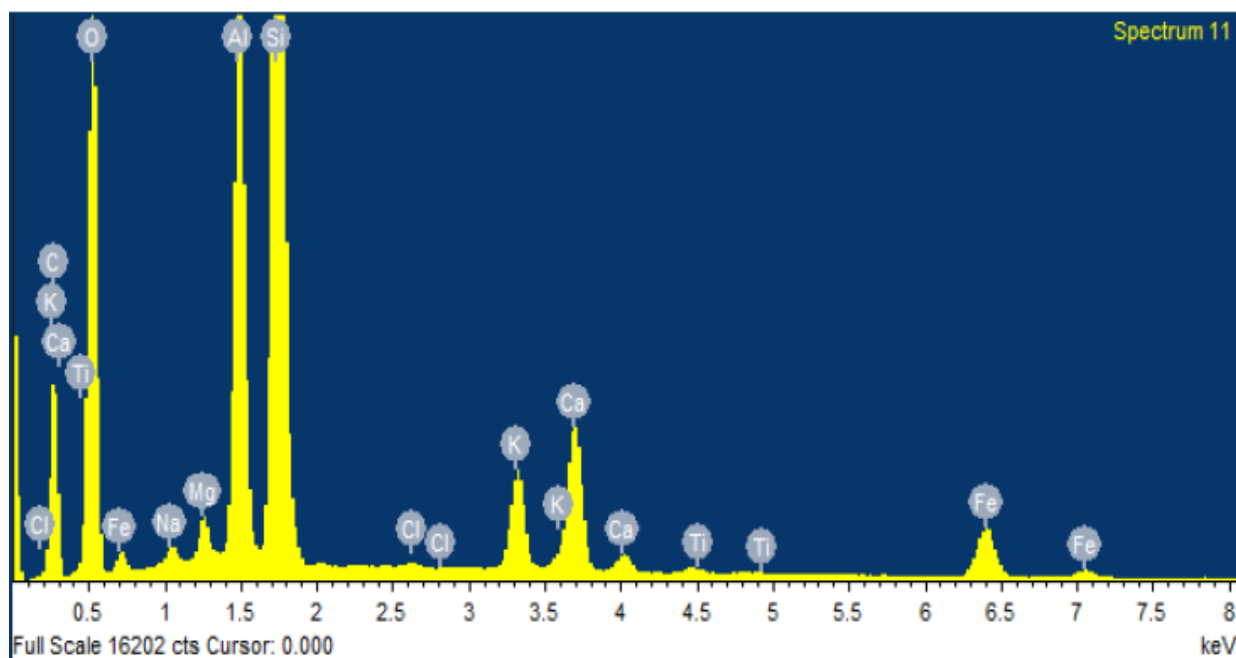


Figura 23. Espectro correspondiente a la mullita de la figura 15.C

Tanto los resultados de difracción de rayos X como los de microscopía electrónica de barrido muestran que hay diferencias entre el material de partida y el material obtenido, ya que se han producido diferentes reacciones minerales en el proceso de cocción y que no quedan algunos de los minerales iniciales.

5. DISCUSIÓN

Durante el proceso de cocción han tenido lugar una serie de reacciones minerales que tienen como resultado una composición mineralógica distinta de la muestra original.

La muestra original contiene filosilicatos (illita, caolinita y pirofilita), cuarzo, calcita, dolomías y feldespatos, mientras que el nuevo material está formado principalmente por cuarzo, feldespatos, gehlenita y hematites, además de brucita, mullita y vidrio.

5.1 Viabilidad para la fabricación de piezas cerámicas

Según de la Casa et al. (2012) el alperujo se comporta como un aditivo en la arcilla, es decir, no cambia las propiedades físico-químicas de las piezas a nivel microscópico, como sí lo hace la sustitución de materias primas.

El contenido en materia orgánica desaparece con la cocción.

La muestra 320 (RB95CAL5 a 1025 °C) presenta morfologías en forma de filamento que son debidas al enfriamiento rápido de la muestra (Figura 15). Estas morfologías son características del vidrio. El hecho de que la muestra presente un buen grado de vitrificación es de gran interés ya que hace que ésta sea compacta y útil para las piezas cerámicas.

El cuarzo proporciona dureza y resistencia mecánica a los productos cerámicos, y los feldespatos contribuyen a reducir notablemente la temperatura a la

que comienza la vitrificación de la materia prima durante los procesos de cocción (Vázquez, 2004).

La presencia de feldespatos debe de estar relacionada con la reacción de las micas (illita fundamentalmente) presentes en el material arcilloso de partida y, es un indicador de que ha habido una buena cocción.

La anortita y la wollastonita son detectadas cuando la gehlenita está ausente y a altas temperaturas. Este hecho ha sido descrito por Vázquez y Jiménez-Millán (2004). Esto explica la ausencia tanto de la anortita como de la wollastonita en las muestras estudiadas. La cristalización de la gehlenita está relacionada con la presencia de núcleos de CaO.

La presencia de Bario puede ser explicada porque el fabricante se lo añadiese a las muestras para evitar fluorescencias.

5.2 Problemas que pueden surgir de la composición mineralógica.

Un exceso de óxidos o feldespatos puede producir deformaciones en los productos elaborados (Vázquez, 2004).

Según la tesis de Vázquez (2004) algunos minerales de la materia prima pueden generar problemas durante la elaboración de los productos cerámicos o en su uso posterior. Por ejemplo la calcita, que durante el proceso de cocción puede producir óxido de calcio, el cual puede rehidratarse con facilidad, favoreciendo el agrietamiento del producto.

La gehlenita se forma cuando los núcleos de CaO reaccionan con los filosilicatos (Vázquez y Jiménez-Millán, 2004). Muchas muestras presentan gehlenita, por lo que el óxido de calcio puede producir que la pieza cerámica se agriete.

El desarrollo de núcleos de óxidos e hidróxidos de Mg en las muestras estudiadas pudiera estar relacionado con la descomposición durante la cocción de cristales de dolomita de la materia prima. El proceso de hidratación de estos óxidos en condiciones ambientales pudiera producir aumentos de volumen y generación de fracturas en las piezas cerámicas.

6. CONCLUSIONES

Una vez analizados los resultados, se ha determinado que la utilización de alperujo, obtenido mediante la extracción de aceite de oliva de dos fases, es recomendable en la fabricación de ladrillos. El uso de alperujo, en proporciones y condiciones determinadas, no afecta a la composición mineral de las muestras de arcilla usadas en el estudio, y la textura es similar a la de la arcilla sin alperujo.

El problema ambiental relacionado con los grandes volúmenes de alperujo, generados en el proceso de elaboración de aceite de oliva, se solventaría, en parte, con el uso del mismo como aditivo en el proceso de fabricación de ladrillos, ayudando así a reducir las grandes cantidades generadas de este tipo de residuo agroindustrial. Por otro lado, su uso conllevaría una reducción de los costes de fabricación de ladrillos, lo que supondría un ahorro económico importante en la industria.

No obstante para asegurar el uso del alperujo en la industria cerámica, serían necesarios estudios de consistencia, de contracción lineal y absorción de agua.

7. BIBLIOGRAFÍA

Centro de instrumentación científico-técnica (2014). *DX01- Difractómetro de Rayos X polvo*. Universidad de Jaén. (Consultado el 17 de Junio de 2014). Disponible en: <http://www10.ujaen.es/conocenos/cict/me03-microscopio-electronico-de-barrido-2>

De la Casa, J.A; Lorite, M; Jiménez, J y Castro, E (2009). Valorisation of wastewater from two-phase olive oil extraction in fired clay brick production. *Journal of Hazardous Materials*, 169, 271-278.

De la Casa, J.A; Romero, I; Jiménez, J y Castro, E (2012). Fired clay masonry units production incorporating two-phase olive mill waste (alperujo). *Ceramics International*, 38, 5027-5037.

González Díez, I (2003). Arcillas cerámicas de construcción y cerámica fina. Impacto ambiental provocado por su extracción. En: *Mineralogía Aplicada* (Emilio Galán Huertos, ed.). Sociedad española de mineralogía, 83-104. Madrid: Síntesis S.A.

Galán E. y Aparicio P. (2005). Materias primas para la industria cerámica. En: *Utilización de rocas y minerales industriales* (MA García del Cura y JC Cañaveras eds.). Seminarios de la Sociedad Española de Mineralogía, 2, 31-48.

La Cal Herrera, JA (2013). *Viabilidad de la integración de una planta de gasificación de biomasa*. Jaén: Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Jaén (inédito), 368pp

Universidad de Jaén (2014). *ME03 Microscopio electrónico de barrido 2*. (Consultado el 12 de Julio de 2014). Disponible en: <http://www10.ujaen.es/conocenos/cict/me03-microscopio-electronico-de-barrido-2>

Vázquez Vílchez, M (2004). *Posibilidades de uso cerámico de los minerales y rocas industriales de la provincia de Jaén*. Jaén: Departamento de Geología, Universidad de Jaén. Jaén: Unión Gráfica, 242pp

Vázquez, M y Jiménez-Millán, J (2004). Materias primas ricas en arcilla de las Capas Rojas Triásicas (Norte de Jaén, España) para fabricar materiales cerámicos de construcción. *Mater Construcc*, 54, 5-20.