

Materias primas ricas en arcilla de las Capas Rojas Triásicas (Norte de Jaén, España) para fabricar materiales cerámicos de construcción

Clay raw materials from the Triassic Red Beds (Northern Jaén, Spain) for making ceramic construction materials

M. VÁZQUEZ*, J. JIMÉNEZ-MILLÁN

*Dpto. de Geología, Facultad de Ciencias Experimentales,
Universidad Jaén

Fecha de recepción: 17-I-03

Fecha de aceptación: 6-III-03

ESPAÑA

RESUMEN

En este trabajo se ha evaluado el uso de las Capas Rojas Triásicas de la Cobertura Tabular del Macizo Ibérico del norte de la provincia de Jaén para elaborar materiales cerámicos. Estos materiales tienen altos contenidos en filosilicatos (36-69%), aunque algunas muestras son ricas en cuarzo (hasta 54%) y feldespatos (hasta 21%). Los carbonatos presentes en las muestras son dolomita (<5-20%) y calcita (<7%). La illita es el principal filosilicato (96-74%), mientras que la caolinita y la clorita están presentes en bajos contenidos (<17%). Las muestras estudiadas tienen altos contenidos en sílice (39,2-74,8%) y alúmina (6,9-18,3%). La mayoría de estas arcillas tienen bajas concentraciones de CaO y MgO (<6%). Las fracciones granulométricas predominantes son la < 2 µm (64-36%) y la situada entre 2 y 20 µm (68-36%). La baja plasticidad para el moldeo por extrusión de las Capas Rojas Triásicas desaconseja su uso para fabricar ladrillos y tejas, por si mismas. Sin embargo, frecuentemente, los valores de absorción de agua y contracción lineal son apropiados para fabricar ladrillos. Sólo algunas muestras son apropiadas para manufacturar tejas, debido a la elevada contracción lineal. La mezcla de estos materiales con materias primas complementarias en diferentes proporciones podría permitir su empleo para fabricar baldosas cerámicas.

SUMMARY

The suitability of Triassic Red Beds from northern Jaén in the production of structural clay products has been evaluated. These materials have high phyllosilicate contents (36-69%), although some samples are enriched in quartz (<8-54%) and feldspars (<5-21%). Dolomite (<5-20%) and calcite (<7%) are present. Illite is the main phyllosilicate (96-74%), kaolinite values are rather low (<17%) and chlorite is present in low content (<14%). The studied samples have high silica (39,2-74,8%) and alumina (6,9-18,3%) content. Most of the samples have low CaO and MgO concentrations (<6%). < 2 µm (64-36%) and 2-20 µm (68-36%) are the predominant grain size fraction of the studied samples. Low plasticity for extrusion process of the Triassic Red Beds is not appropriated for making bricks and roofing tiles by themselves. However, water absorption and linear shrinkage values are often suitable for manufacturing bricks. A small number of samples are appropriated for making roofing tiles, due to its high firing shrinkage. Mixing of these materials with different proportions of complementary raw materials would allow to make porous bodies.

PALABRAS CLAVE: Bailén, ladrillos, materias primas cerámicas, Cobertura Tabular, Capas Rojas, propiedades tecnológicas, tejas.

KEYWORDS: Bailén, bricks, ceramic raw materials, Tabular Cover, Red Beds, technological properties, roofing tiles.

1. INTRODUCCIÓN

La industria cerámica de Bailén está basada, fundamentalmente, en la fabricación de ladrillos perforados. La producción en este núcleo cerámico es de aproximadamente dos millones de piezas por día (1). Las arcillas comúnmente utilizadas pertenecen a los materiales Neógenos de la cuenca del Guadalquivir. Estas materias primas son margas blancas, arcillas margosas de color amarillo con capas de areniscas y margas blancas con fósiles. 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. Algunos de los usos potenciales de estas materias primas y de sus mezclas con otros minerales y rocas han sido previamente estudiados (1-4). El objetivo de este trabajo es evaluar la aptitud de las Capas Rojas Triásicas del norte de la provincia de Jaén para fabricar cerámica estructural y nuevos materiales cerámicos no fabricados actualmente en la zona.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

Las Capas Rojas Triásicas de la Cobertura Tabular ocupan el borde meridional de la Meseta Ibérica en discordancia sobre los materiales paleozoicos del Macizo Ibérico. Estos materiales están fosilizados por materiales pertenecientes a dos unidades geológicas: a) calizas y dolomías Mesozoicas del Macizo Ibérico y b) materiales Neógenos de la cuenca del Guadalquivir (Figura 1). Estos materiales tienen una potencia visible de alrededor de 100 metros. Fernández y Gil (5) han distinguido las siguientes unidades litológicas: 1) la Unidad Basal Conglomerática constituida por cantos cuarcíticos en una matriz de arena arcillosa; 2) la Unidad Lutítica compuesta por lutitas con niveles de areniscas y carbonatos edáficos; 3) la Unidad Lutítica con bancos de areniscas, en la cual hay delgadas capas de areniscas depositadas en canales fluviales y delgadas capas de areniscas, carbonatos y lutitas depositadas en un ambiente de llanura de inundación

Las muestras estudiadas están tomadas de dos secuencias estratigráficas (TR-1 y TR-2) pertenecientes a la Unidad Lutítica al norte de Bailén. La potencia total de estas secuencias es menor de 30 m, y cada horizonte de lutitas presenta una potencia de hasta 10 m. Las muestras han sido seleccionadas en los horizontes de lutitas (VV-50 a VV-57 de TR-1 y VV-58 a VV-66 de TR-2). La secuencia estratigráfica TR-1 está compuesta por lutitas con algunos niveles de carbonatos hacia el techo y algunas capas de areniscas hacia la base. La secuencia estratigráfica TR-2 está caracterizada por un alto número de capas de areniscas y la presencia importante de capas de carbonatos hacia la base.

1. INTRODUCTION

The ceramic industry in the Bailén area is based on the manufacture of hollowed bricks. The production in the area amounts to nearly two million pieces per day (1). The clay utilised belongs to Neogene materials from the Guadalquivir basin. These raw materials consist of black marls, yellow marly clays with sandy beds and white marls with fossil remains. Manufacturers use these marls mixed in different proportions, with low additions of materials from the Triassic Red Beds from the Tabular Cover. Some potential uses of these raw materials and mixtures of them with other minerals and rocks have been previously studied (1-4). The objective of this work is to evaluate the suitability of the Triassic Red Beds from Northern Jaén in the production of structural clay products and to suggest the elaboration of new ceramic materials fabricated in the zone.

2. GEOLOGICAL AND STRATIGRAPHIC SETTING

The Triassic Red Beds of the Tabular Cover occur on the edge of the Spanish Meseta discordantly on the Palaeozoic materials of the Iberian Massif. They are fossilised by materials that belong to two different geological units: a) Mesozoic dolostone and limestone of the Iberian Massif and b) detrital Neogene materials from the Guadalquivir basin (Figure 1). These materials have a visible thickness of around 100 metres. Fernández and Gil (5) have distinguished the following lithological units from bottom to top of its sequence: 1) the Basal Conglomerate Unit is made of quartzitic pebbles in a clayed sand; 2) the Clay Unit is composed by clays with sandstone levels and pedogenic carbonates; 3) the Clay Unit with Sandstone Layers, in which there are thick layers of sandstone deposited in fluvial channels and thin beds of sandstones, carbonate and clays deposited in a flood plain.

The studied samples were taken from two stratigraphic sequences (TR-1 and TR-2) belonging to the Clay Unit from northern Bailén. Its overall thickness is lower than 30 m, and single clay horizons are up to 10 m thick. Representative samples were collected from the clay horizons (VV-50 to VV-57 from TR-1 and VV-58 to VV-66 from TR-2). The TR-1 sequence consists of clays with some carbonate levels at the top and some few layers of sandstones at the bottom. The TR-2 sequence is characterised by a higher number of sandstone layers and by the presence of important carbonates layers at the bottom.

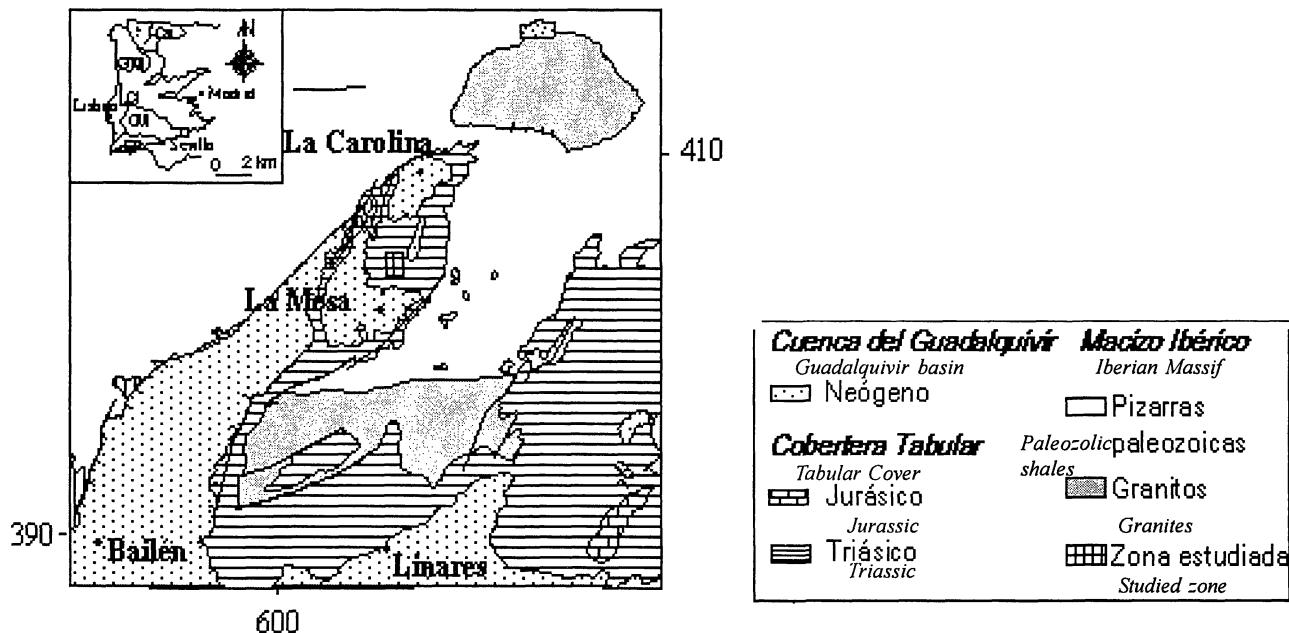


Figura 1.- Mapa geológico de Bailén. SP: zona Sudportuguesa; OM: zona de Ossa Morena; CI: zona Centro-Ibérica; GTM: zona de Galicia-Tras-Os-Montes; WAL: zona Astur-Leonesa; Ca: zona Cantábrica.

Figure 1.- Geological map of the Bailén area. SP: South Portuguese zone; OM: Ossa Morena zone; CI: Central-Iberian zone; GTM: Galicia-Tras-Os-Montes zone; WAL: Western Astur-Leonese zone; Ca: Cantabrian zone.

3. TÉCNICAS EXPERIMENTALES

Se ha realizado una caracterización composicional de todas las muestras mediante análisis mineralógicos, químicos y granulométricos. La composición mineralógica ha sido determinada mediante el uso de difracción de rayos X (XRD, Siemens D-5000 con filtro de Ni, radiación Cu K α : 35 KV y 34 mA) y microscopía electrónica de barrido (SEM, Jeol JSM-5800) con microanálizador (EDS, Oxford Link). Los análisis mineralógicos cualitativos se han llevado a cabo en la muestra total molida y en la fracción < 2 μ m. La mineralogía de arcillas fue determinada en agregados orientados (natural, calentados a 550 °C durante 2 h y solvatados en etilenglicol y dimetilsulfóxido). Para los análisis semi-cuantitativos se ha usado los parámetros calculados para el difractómetro Siemens D-5000 de la Universidad de Jaén y datos de Barahona (1974) (6), Galán (1972) (7) y Nieto (1983) (8). Los análisis químicos de los elementos mayoritarios han sido realizados mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X (Philips PW 1404/10) en perlas de fusión. La distribución granulométrica fue obtenida con dispersión de rayo láser (Galai CSI-1) para la fracción situada entre 100 μ m y 0,5 μ m.

3. ANALYTICAL METHODS

All the samples were subjected to mineralogical, chemical and grain size analyses in order to characterise their composition. The mineralogical composition were determined using X-ray diffraction (XRD, Siemens D-5000 with Ni-filtered and Cu K α radiation: 35KV and 34 mA). The XRD qualitative mineralogical analyses were carried out on bulk rock powders and < 2 μ m fractions. The clay minerals were detected on oriented aggregates (natural, ethylene glycol, dimethyl-sulfoxide solvated and heated at 550 °C for 2h). The XRD semi-quantitative analyses were made using the standard method using parameters calculated for the Siemens D-5000 diffractometer of the University of Jaén and data from Barahona (1974) (6), Galán (1972) (7) and Nieto (1983) (8). The chemical analyses of major oxides were performed using X-ray fluorescence spectrometry (Philips PW 1404/10) on powder pellets. The granulometric analyses were carried out by laser ray dispersion (Galai CSI-1) for the fraction ranging between 100 and 0.5 μ m.

Teniendo en cuenta los resultados de estos análisis, 8 muestras han sido seleccionadas como representativas de las Capas Rojas Triásicas (VV-52, VV-53, VV-55, VV-57 de TR-1 y VV-59, VV-61, VV-63, VV-64 de TR-2), para llevar a cabo una caracterización tecnológica.

Desde un punto de vista tecnológico, los ensayos de laboratorio se han realizado simulando los procesos industriales habitualmente usados en la producción de ladrillos y baldosas cerámicas. El ciclo para ladrillos comprende los siguientes pasos: extrusión (20-38% agua), secado (48 h a temperatura ambiente) y cocción lenta en un horno eléctrico (24 h; de 800 a 1.000 °C). La contracción lineal, la absorción de agua (EN 99), la porosidad y la densidad aparente han sido medidas en las piezas cocidas. Para las baldosas cerámicas, el ciclo ha consistido en una molienda en seco (molino de anillos, HSM 100 por 1 minuto), tamizado a través de un tamiz de luz de malla < 100 µm, secado (24 h a 110 °C), desagregación y humectación (4-6% agua), prensado (300 kg/cm²), y cocción en un horno eléctrico (alrededor de 3 h, de 900 a 1.100 °C). También, la contracción lineal, la absorción de agua (EN 99), la porosidad y la densidad aparente han sido medidas en las piezas cocidas. La contracción lineal y los límites de Atterberg (límite líquido, LL, y límite plástico, PL, según UNE 7-377-75 y UNE 103-104-93, respectivamente) fueron medidos en las piezas secas. Además, han sido usadas XRD y SEM, con microanálisis EDS, para determinar las fases de alta temperatura en las piezas cocidas.

4. CARACTERÍSTICAS COMPOSICIONALES

4.1. Composición mineralógica

Los datos de XRD (Tabla 1) indican que en la mayoría de las muestras de las Capas Rojas Triásicas el contenido en filosilicatos es alto (36-69%). Sin embargo, las muestras VV-65 y VV-66 tienen un contenido en minerales de la arcilla bajo (16% y 22%, respectivamente). Algunas muestras son ricas en cuarzo (hasta 54%) y feldespatos (hasta 21%). Los contenidos en dolomita (<5-26%) son comúnmente mayores que los de calcita (<7%). Todas las muestras estudiadas tienen siempre contenidos menores de hematites. Por otra parte, la illita es el principal componente de la asociación de filosilicatos (96-74%). La mayoría de las muestras estudiadas tienen bajos valores de caolinita (<17%). Sin embargo, las muestras VV-56 y VV-65 tienen los valores más altos de caolinita (43 y 23%, respectivamente). Finalmente, la clorita está presente en bajos contenidos (<14%). La Figura 2 muestra la composición mineralógica a lo largo de las secuencias estratigráficas estudiadas. La secuencia TR-1 está caracterizada por el alto contenido en carbonatos en el

Taking into account the results of these analyses, 8 samples were selected as being representative of the Triassic Red Beds considered (VV-52, VV-53, VV-55, VV-57 from TR-1 and VV-59, VV-61, VV-63, VV-64 from TR-2). These 8 samples underwent a subsequent compositional and technological characterisation.

From a technological point of view, laboratory tests were performed simulating the industrial process currently used for bricks and tiles production. Brick elaboration cycle had the following steps: extrusion (20-38% water), drying (48 h at room temperature) and slow firing in a electrical furnace (24 h cold to cold; from 800 to 1000 °C). Linear shrinkage, water absorption (EN 99), porosity and bulk density were measured on the fired samples. For tiles, the experiments focused on: dry grinding (vibration grinder; HSM 100 for 1 minute), sieving through < 100 µm mesh, powder disaggregation and wetting (4-6% water), pressing with a hydraulic press (500 kg/cm²), drying (24h at 110 °C), and firing in a electric furnace (around 3h cold to cold; maximum temperatures from 900 to 1100 °C). Also, linear shrinkage, water absorption (EN 99), porosity and bulk density were measured on fired samples. The linear shrinkage and the Atterberg limits (liquid limit, LL, and plastic limit, PL, following UNE 7-377-45 and UNE 103-104-93, respectively) were both measured on dried samples. XRD and scanning electron microscopy (SEM, Jeol JSM -5800) with EDS microanalyser (Oxford Link) were performed on the ceramic pieces to determine the high-temperature phases.

4. COMPOSITIONAL FEATURES

4. 1. Composición mineralógica

XRD data (Table 1) indicate that in most of the Triassic Red Beds samples the phyllosilicate content is rather high (36-69%). However, VV-65 and VV-66 have a low clay minerals content (16% and 22%, respectively). Some samples are enriched in quartz (up to 54%) and feldspars (up to 21%). Dolomite content (<5-26%) is commonly greater than that of calcite (<7%). A minor amount of hematite is always present. Illite is the main component of the clay mineral assemblages (96-74%). Most of the studied samples have low kaolinite values (<17%). VV-56 and VV-65 have the highest kaolinite contents (43 and 23%, respectively). Finally, chlorite is present in low amounts (<14%). Figure 2 shows the mineralogical composition along the stratigraphic sequences. The TR-1 section is characterised by high carbonate contents at the top, while quartz, feldspar

TABLA 1/TABLE I

Composición mineralógica de las Capas Triásicas de la Cobertura Tabular del norte de la provincia de Jaén (% en peso)
Mineralogical composition of the Triassic Red Beds of the Tabular Cover of the northern Jaén (wt. %)

	Phy	Qz	Fds	Cc	Do	He	Ill	Chl	Kln
VV-50	56	8	<5	-	20	12	87	<5	8
VV-51	41	21	<5	5	26	<5	91	<5	<5
VV-52	70	13	<5	<5	8	<5	94	6	-
VV-53	69	17	<5	<5	<5	<5	89	7	<5
VV-54	68	19	6	-	<5	<5	92	6	<5
VV-55	51	19	8	<5	12	7	86	8	<5
VV-56	50	40	6	<5	-	<5	49	8	43
VV-57	59	26	<5	<5	-	8	72	10	17
VV-58	66	16	<5	<5	7	<5	96	<5	-
VV-59	63	17	<5	7	8	<5	96	<5	-
VV-60	42	20	9	<5	21	<5	90	10	-
VV-61	67	11	<5	<5	12	<5	95	<5	-
VV-62	64	14	<5	<5	13	<5	83	6	10
VV-63	69	19	<5	-	<5	<5	86	14	-
VV-64	36	41	12	-	<5	6	84	<5	11
VV-65	16	54	21	-	<5	<5	74	<5	23
VV-66	22	22	<5	5	47	<5	93	<5	<5

Phy = filosilicatos/phyllosilicates. Fds = feldespatos/feldspars. Qtz = cuarzo/quartz. Cc = calcita/calcite.

Do = dolomita/dolomite.

Chl = Clorita/chlorite. Hm = hematites/hematites. Kln = caolinita/caolinite. Ill = illita/illite.

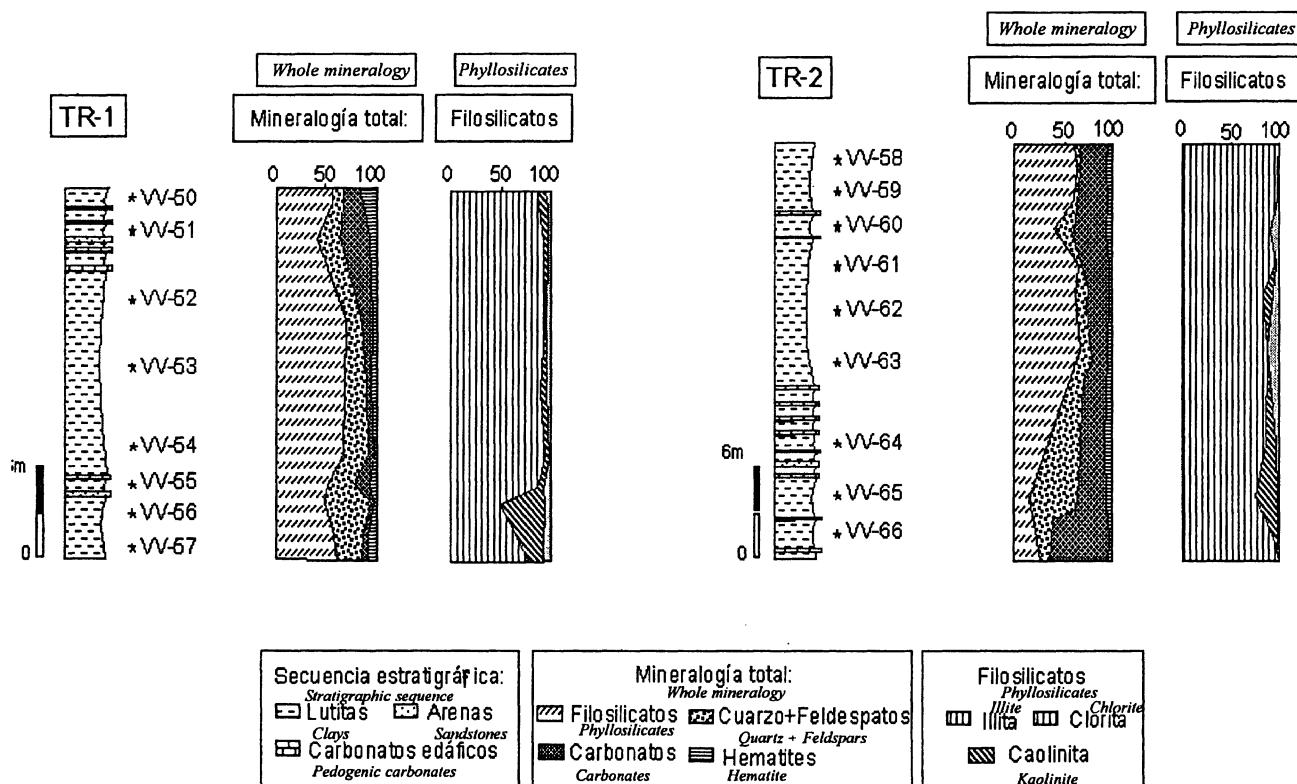


Figura 2.- Composición mineralógica de las Capas Rojas Triásicas de la Cobertura Tabular a lo largo de las secuencias estratigráficas estudiadas.

Figure 2.- Mineralogical composition of the Triassic Red Beds of the Tabular Cover in stratigraphic sequences studied.

techo, mientras que los contenidos en cuarzo, feldespatos y filosilicatos son mayores hacia la mitad y la base de esta secuencia. Por otra parte, la secuencia TR-2 presenta elevados contenidos de carbonatos, cuarzo y feldespatos hacia el muro, mientras el contenido en filosilicatos aumenta notablemente hacia el techo. En ambas secuencias, los valores más altos de caolinita están localizados en la base y el contenido en hematites permanece prácticamente constante.

La Figura 3 demuestra que las muestras estudiadas tienen una composición mineralógica similar a las materias primas usadas para la elaboración de productos estructurales italianos (9, 10). Las muestras localizadas en la base de la secuencia TR-1 (VV-55 a VV-57) y las muestras situadas a techo de la secuencia TR-2 (VV-59, VV-60 y VV-64) se proyectan dentro del campo delimitado para las arcillas usadas para la fabricación de ladrillos. También estos materiales han sido representados en el diagrama propuesto por Fiori *et al.* (11) para la producción de baldosas cerámicas (Figura 4). La composición de la mayoría de las muestras estudiadas se proyectan cerca del área establecida para las materias primas arcillosas usadas para la elaboración de piezas cerámicas de baja porosidad.

4.2. Composición química

Los análisis químicos mostrados en la Tabla 2 revelan el amplio rango del contenido en sílice (39,2-74,8%) y

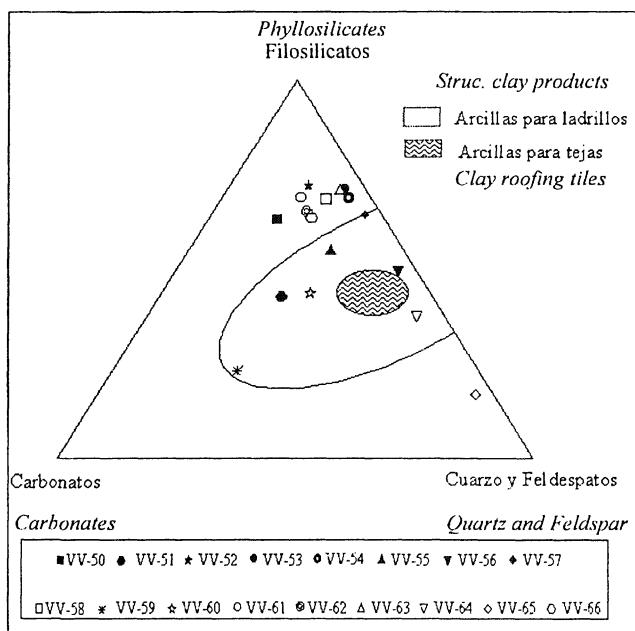


Figura 3.- Comparación de la composición mineralógica de las capas Rojas triásicas de la Cobertura Tabular con las arcillas usadas para la fabricación de productos cerámicos en Italia (9, 10).

Figure 3.- Comparison of the mineralogical composition of the Triassic Red Beds from northern Jaén with the clays used for ceramic products in Italy (9, 10).

and phyllosilicate contents are greater at the middle and the bottom of this sequence. The TR-2 sequence presents high carbonate, quartz and feldspar contents at the bottom, while the phyllosilicate content increase to the top. In both sequences, the highest kaolinite values are located at the bottom and the hematite content is rather constant.

*Figure 3 shows that the studied samples have a very similar mineralogical composition to the raw materials used for the Italian structural clay products (9, 10). Samples from the TR-1 bottom (VV-55 to VV-57) and the samples from the TR-2 top (VV-59, VV-60 and VV-64) plot into the field for structural clay products. Also, the studied samples have been plotted in the ternary diagram proposed by Fiori *et al.* (11) for Italian tile production (Figura 4). Most of the studied samples plot close to the area established for clay raw materials used to manufacture low porosity ceramic tiles.*

4.2. Chemical composition

The chemical analyses shown in Table 2 reveal a wide range of silica (39.2-74.8%) and alumina (6.9-18.3%)

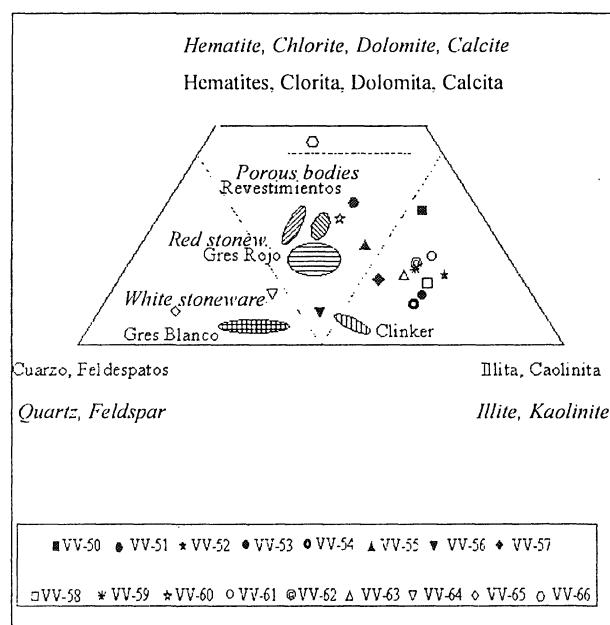


Figura 4.- Comparación de la composición mineralógica de las Capas Rojas Triásicas de la Cobertura Tabular con los campos tradicionales de baldosas cerámicas en Italia (11).

Figure 4.- Comparison of the mineralogical composition of the Triassic Red Beds from northern Jaén with the traditional field of ceramic tiles in Italy (11).

alúmina (6,9-18,3%) de las muestras estudiadas. Los máximos valores de CaO y MgO se localizan en las muestras VV-50 y VV-56, los cuales pueden ser explicados teniendo en cuenta su alto contenido en dolomita. Por otra parte, hay claramente más K₂O (2,5-6,7%) que Na₂O (<0,26), debido, principalmente, a la composición illítica de las muestras. El porcentaje de hierro varía en un amplio intervalo. Las muestras VV-50, VV-64, VV-65 y VV-66 están caracterizadas por tener los menores valores de Fe₂O₃ (<3,25%), debido a que los contenidos de clorita y hematites son bajos y los valores de caolinita son elevados. En el resto de las muestras, la concentración de Fe₂O₃ varía entre 5,8 y 8,7%. Respecto a la variación de la composición química a lo largo de las secuencias estratigráficas estudiadas (Figura 5), en TR-1 los contenidos de sílice y alúmina aumentan hacia la base

content. The highest CaO and MgO content are found in the VV-50 and VV-66 samples, which can be explained by the high dolomite content. There is clearly more K₂O (2.5-6.7%) than Na₂O (<0.26%), mainly due to the high illite content. Iron oxide percentage varies over a wide range. Samples VV-50, VV-64, VV-65 and VV-66 with low chlorite and hematite contents and high kaolinite contents are characterised by the lowest Fe₂O₃ content (<3.25%). In the rest of samples, Fe₂O₃ values ranges between 5.8 and 8.7%. Regarding the compositional variations along the stratigraphic sequences (Figure 5), in TR-1, an increase of the silica and alumina content and a decrease of the CaO and

TABLA 2/TABLE 2

Composición química de las Capas Triásicas de la Cobertura Tabular del norte de la provincia de Jaén (% en peso)

Chemical composition of the Triassic Red Beds of the Tabular Cover from northern Jaén (wt.%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	P.C.
VV-50	39,23	6,86	2,77	0,06	10,28	14,72	0,11	2,46	0,34	0,07	22,52
VV-52	51,42	14,99	6,18	0,10	3,88	6,19	0,20	4,90	0,74	0,13	10,85
VV-53	60,49	17,56	7,02	0,06	2,18	1,09	0,22	5,61	0,88	0,16	4,25
VV-55	53,00	18,80	8,65	0,12	3,16	2,17	0,20	5,77	0,83	0,20	6,58
VV-57	62,20	16,74	6,82	0,06	2,06	1,18	0,15	4,74	0,90	0,14	4,67
VV-58	46,91	18,30	8,16	0,17	4,57	4,08	0,26	6,34	0,68	0,17	9,92
VV-59	47,47	16,48	7,04	0,22	5,12	5,66	0,18	5,63	0,61	0,15	11,03
VV-60	55,20	14,21	5,82	0,16	4,22	4,67	0,21	5,69	0,65	0,12	8,37
VV-61	50,84	15,17	6,27	0,15	5,09	5,14	0,15	6,32	0,63	0,15	9,51
VV-62	52,59	15,57	6,88	0,12	4,48	4,39	0,17	5,66	0,72	0,12	8,86
VV-63	53,16	17,96	8,09	0,10	3,31	2,64	0,18	6,71	0,77	0,15	6,44
VV-64	74,87	11,46	3,25	0,03	1,03	0,65	0,15	5,08	0,50	0,13	2,57
VV-65	74,90	9,96	1,97	0,09	1,58	1,80	0,11	4,71	0,49	0,15	3,89
VV-66	45,98	7,99	2,91	0,18	8,65	11,65	0,05	3,13	0,33	0,07	18,75

L.O.I. perdida por calcinación/calcination loss (1.000 °C)

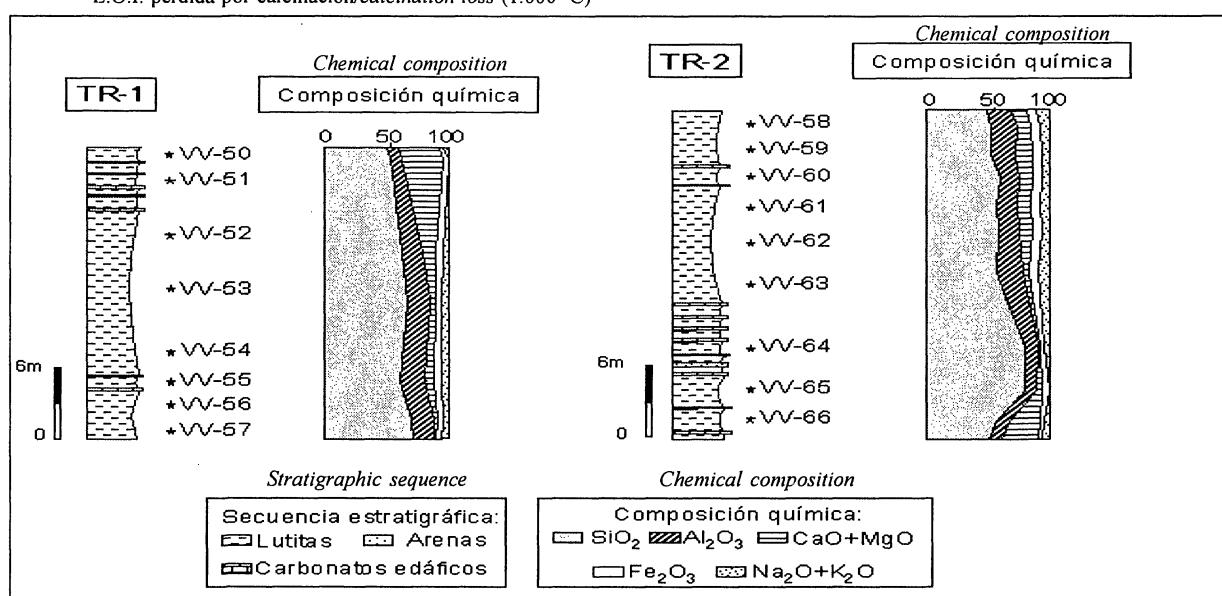


Figura 5.- Composición química de las Capas Rojas Triásicas de la Cobertura Tabular a lo largo de las secuencias estratigráficas estudiadas.
Figure 5.- Chemical composition of the Triassic Red Beds of the Tabular Cover in stratigraphic sequences studied.

de la secuencia, mientras que las concentraciones de CaO y MgO disminuyen. Los valores de Na₂O y K₂O permanecen prácticamente constantes en toda la secuencia y el contenido en Fe₂O₃ se incrementa significativamente hacia la base. Por otra parte, en la secuencia TR-2 los valores de sílice aumentan hacia la base hasta la muestra VV-65. Los valores más altos de CaO y MgO están localizados en la base de esta secuencia.

De acuerdo con el diagrama ternario elaborado para baldosas cerámicas (Figura 6) (12, 13, 14), la mayoría de las muestras estudiadas se proyectan dentro del campo delimitado para mayólica y cottoforte, mientras que las muestras VV-57 y VV-53 presentan una composición química similar a las arcillas utilizadas para la fabricación de gres rojo. Las muestras situadas en la base de la secuencia estratigráfica TR-2 (VV-64 y VV-65) presentan una posición cercana al campo delimitado para gres blanco, debido a su baja proporción de Fe₂O₃, MgO y CaO. Por otra parte, las muestras localizadas en el techo de TR-1 (VV-50) y en la base de TR-2 (VV-66) presentan valores excesivos de CaO y MgO para la fabricación de baldosas cerámicas.

4. 3. Distribución granulométrica

Las Capas Rojas Triásicas tienen elevados contenidos en la fracciones <2 μm (64-36%) y en la situada entre 2 y 20 μm (68-36%), mientras que la fracción granulométrica >20 μm es inexistente. La representación

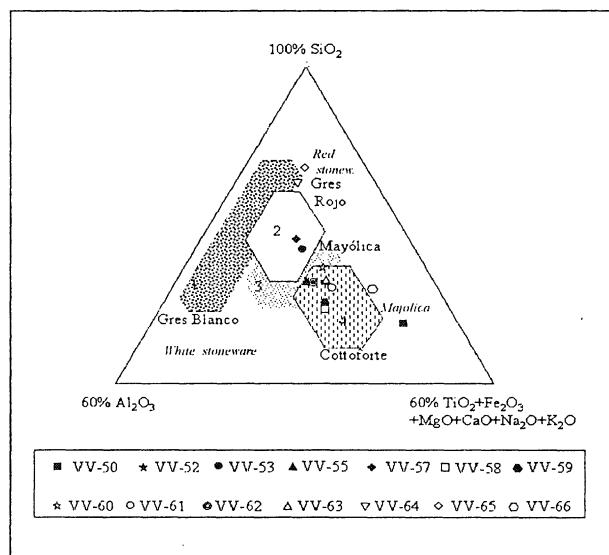


Figura 6.- Comparación de la composición química de las Capas Rojas Triásicas de la Cobertera Tabular con las materias primas utilizadas tradicionalmente en Italia (12, 13, 14).

Figure 6.- Comparison of the chemical composition of the Triassic Red Beds from northern Jaén with raw materials currently used by Italian tile-makers (12, 13, 14).

MgO content is observed toward the bottom of the sequence. Na₂O and K₂O content remain rather constant and Fe₂O₃ increases slightly toward the bottom. In the sequence TR-2, the silica increases toward the bottom up to VV-65 sample. The highest CaO and MgO are located at the bottom of this sequence.

According to the ternary diagram elaborated for the Italian tile production (Figure 6) (12, 13, 14), most of the studied samples fall into the field for majolica and cottoforte, while VV-57 and VV-53 plot into the field for red stoneware. The samples situated at the TR-2 bottom (VV-64 and VV-65) plot close to the field for white stoneware, due to the low concentration of Fe₂O₃, MgO and CaO. On the other hand, the samples located at the TR-1 top and TR-2 bottom (VV-50 and VV-66, respectively) have a CaO and MgO excess for manufacturing ceramic tiles.

4.3. Grain size distribution

The Triasic Red Beds are rich in <2 μm (64-36%) and 2-20 μm (68-36%) fractions, while the >20 μm fraction is absent. According to the diagram of Shepard (15)

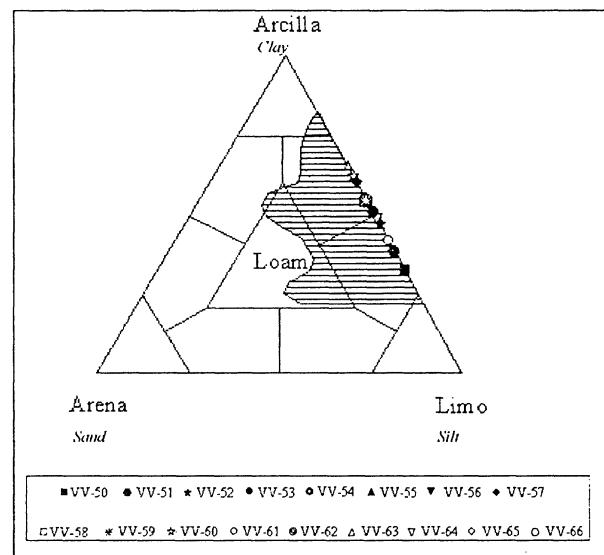


Figura 7.- Clasificación de las Capas Rojas Triásicas de la Cobertera Tabular basada en los ratios de arena-limo-arcilla (15). El área rayada representa la distribución granulométrica más frecuente de las materias primas italianas utilizadas para la fabricación de productos cerámicos estructurales (10).

Figure 7.- Classification of the Triassic Red Beds from northern Jaén based on sand-silt-clays ratios (15). Dashed area represents the most frequent grain size distributions of Italian raw materials for structural clay products (10).

de los datos granulométricos en el diagrama de Shepard (15) indica que la mayoría de las muestras de la sección TR-1 pueden ser clasificadas como limos arcillosos. Sin embargo, las muestras situadas en la base de esta secuencia (VV-55 a VV-57) y la mayoría de las muestras de TR-2 están caracterizadas por el predominio de la fracción $< 2 \mu\text{m}$, y pueden ser clasificadas como arcillas limosas (Figura 7). Esta figura revela también que las muestras estudiadas se proyectan dentro del área establecida para las materias primas italianas usadas frecuentemente en la elaboración de productos estructurales. Considerando el diagrama de Winkler (16) (Figura 8), la mayoría de estos materiales se encuentran dentro de los campos delimitados para tejas y productos ligeros.

5. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

5.1. Plasticidad y propiedades de moldeo

La plasticidad de las Capas Rojas Triásicas es bastante baja como indican las Figuras 9 y 10. De acuerdo con el

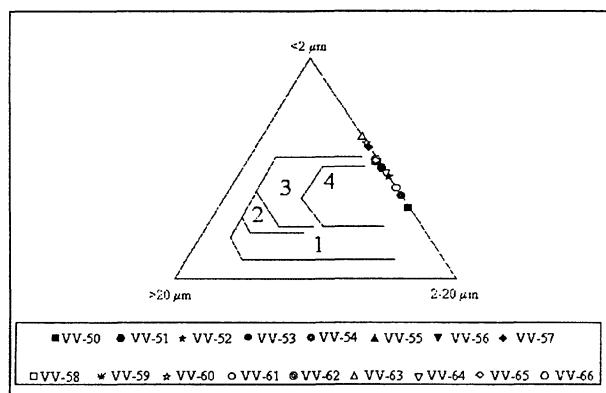


Figura 8.- Proyección de la distribución granulométrica de las capas Rojas Triásicas de la Cobertura Tabular en el diagrama de Winkler (16): 1) ladrillo común; 2) ladrillo perforado verticalmente; 3) tejas y bloques ligeros; 4) bloques y ladrillos delgados.

Figure 8.- Grain size distribution of the Triassic Red Beds studied samples in the Winkler (16): 1) common bricks; 2) vertically perforated bricks; 3) roofing tiles and lightweight blocks; 4) thin walled hollow blocks and thin-walled hollow bricks.

most of the studied samples from TR-1 can be classified as clayey silt. However, samples located at the bottom of this sequence (VV-55 to VV-57) and most of the samples collected from TR-2 are characterised by the predominance of the $< 2 \mu\text{m}$ fraction, and can be classified as silty clay (Figure 7). This figure also reveals that the studied samples plot into the area established for the Italian raw materials used to elaborate structural products. Considering the Winkler diagram (16) (Figure 8), most of these materials are distributed within the fields of roofing tiles, lightweight blocks and thin-walled hollow products.

5. TECHNOLOGICAL PROPERTIES

5.1 Plastic and moulding properties

Figures 9 and 10 reveal that the Triassic Red Beds have generally low plastic behaviour. According to the

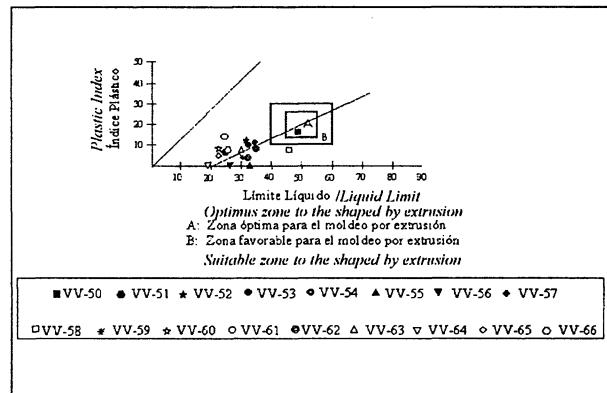


Figura 9.- Diagrama de Casagrande de las Capas Rojas Triásicas de la Cobertura Tabular.

Figure 9.- Casagrande chart for the Triassic Red Beds from northern Jaén.

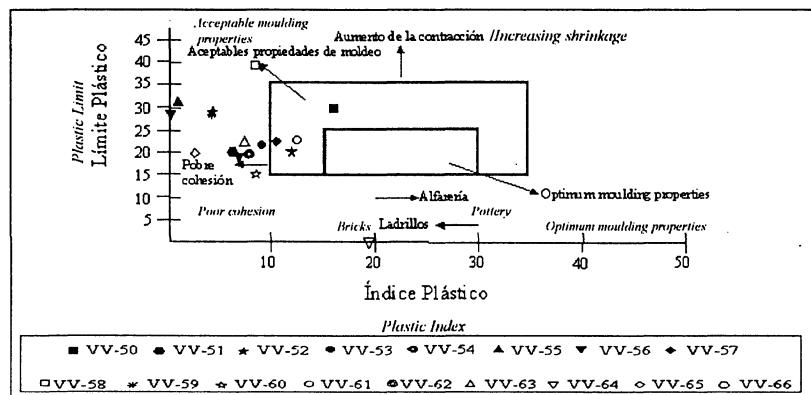


Figura 10.- Diagrama de manejabilidad de las Capas Rojas Triásicas de la Cobertura Tabular (17).
Figure 10.- Clay workability chart (17) for the studied samples from the Triassic Red Beds.

diagrama de Casagrande, la mayoría de las muestras son exclusivamente moldeables por presión. Sólo la muestra VV-50 se proyecta dentro del campo definido para el moldeo por extrusión, debido, principalmente, a su bajo contenido en cuarzo y feldespatos. También el índice plástico y el límite plástico de estos materiales han sido representados en el diagrama de manejabilidad de Bain y Highley (17), donde las muestras VV-50, VV-52, VV-57 y VV-61 caen en el campo de propiedades aceptables de moldeo (Figura 10). La buena plasticidad desarrollada en estas muestras está principalmente relacionada con el bajo contenido en minerales desgrasantes (VV-50, VV-52 y VV-61) y la alta proporción en la fracción arcilla (VV-57).

5.2. Comportamiento en el ciclo tecnológico para ladrillos y tejas

Las Capas Rojas Triásicas de la Cobertura Tabular no tiene un comportamiento uniforme en el ciclo tecnológico para la elaboración de ladrillos y tejas (Tabla 3). Estos materiales tienen una contracción en seco baja (1-7%). Por otra parte, se ha realizado una cocción lenta entre 800 y 1.000 °C, ya que, usualmente, las fábricas de ladrillos de Bailén cuecen alrededor de 900 °C. Hay claras diferencias en el comportamiento de las muestras ricas en silicatos y las ricas en carbonatos. A 1.000 °C, las muestras con contenidos bajos en carbonatos y ricas en K₂O presentan una absorción de agua baja (<9,1%) y una contracción lineal elevada (4-11%). El resto de las muestras presentan absorciones de agua elevadas (11,7-17,5%) y contracciones lineales bajas (<7%), lo cual está relacionado con la presencia de carbonatos (VV-52, VV-59, y VV-61), caolinita (VV-57) y cuarzo (VV-64).

Casagrande chart, most of these materials are just potentially suitable for shaping by pressing. Only VV-50 falls into the extrusion process field, mainly due to the low quartz and feldspar contents. The plastic index and plastic limit of the studied samples have been plotted in the workability chart of Bain and Highley (17), where samples VV-50, VV-52, VV-57 and VV-61 fall into the field of acceptable moulding properties (Figure 10). The good plasticity developed by these samples is mainly related to the low temper minerals content (VV-50, VV-52, VV-61) and the high < 2 µm fraction proportion (VV-57).

5.2. Behaviour in the technological cycle for bricks and roofing tiles

The Triassic Red Beds from the Tabular Cover do not have a uniform behaviour in the technological cycle to produce bricks and roofing tiles (Table 3). These materials have low wet-to-dry shrinkage values (1-7%). The slow firing were carried out at maximum temperatures between 800 and 1000 °C, since the Bailén brickworks usually fire around 900 °C. Strong differences between the behaviour of the silicate-rich and that of the carbonate-rich observed. At 1000 °C, carbonate-poor and K₂O-rich samples present low water absorption values (< 9.1%) and high firing shrinkage values (4-11%). The rest of the samples present higher water absorption values (11.7-17.54%) and lower firing shrinkage values (< 7%), which is mainly related to the presence of carbonate (VV-52, VV-59 and V-61), or kaolinite and quartz (VV-57 and VV-64).

TABLA 3/TABLE 3
Propiedades de cocción en el ciclo lento para productos cerámicos estructurales
Firing properties of the raw materials studied in the technological cycle for structural clay products

Muestra Sample	800 °C		900 °C		1.000 °C	
	C.L.(%)	A.A. (%)	C.L.(%)	A.A. (%)	C.L. (%)	A.A. (%)
VV-52	2.3	15.5	2.4	12.3	6.51	11.71
VV-53	5.6	14.8	2.4	11.5	5.90	5.96
VV-55	1.3	16.8	3.7	10.8	10.89	4.24
VV-57	4.8	15.9	0.6	15.6	0.98	12.68
VV-59	3.1	34.1	1.0	19.5	1.49	17.54
VV-61	4.0	18.5	2.6	17.7	2.24	15.97
VV-63	5.3	18.0	0.1	15.1	4.45	9.05
VV-64	1.0	16.5	3.0	18.1	1.11	17.15

C.L.= contracción lineal/linear shrinkage

A.A.= absorción de agua/water absorption

La rotura por caliche se ha observado sólo en las piezas de la muestra VV-51. El estudio de SEM revela la presencia de grandes núcleos de CaO formados por la descomposición de los cristales de calcita. Estos cristales reaccionan con la matriz formando un fino halo de reacción de gehlenita (Figura 11). La rotura por caliche está causada por la transformación de los núcleos de CaO a portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) en condiciones atmosféricas. Este proceso genera presiones de cristalización en los espacios confinados, dando lugar al desarrollo de fracturas (Figura 11). A la temperatura menor de este ciclo se produce la rotura catastrófica de la pieza cerámica, la cual puede ser explicada teniendo en cuenta que el carbonato cálcico cocido a bajas temperaturas produce óxidos de calcio menos densos y más reactivos que los formados a altas temperaturas. Además, los caliches formados a 800 °C aparecen en el interior de la pieza cerámica. Este efecto es menos evidente en el caso de la brucita (Figura 11).

5.3. Comportamiento en el ciclo tecnológico para baldosas cerámicas

El comportamiento de las Capas Rojas Triásicas en el ciclo tecnológico para baldosas cerámicas se muestra en la Tabla 4. Estos materiales presentan una baja contracción en seco (máximo 0,5%). La variación de las propiedades cerámicas durante la cocción entre 900 y 1.100 °C no es uniforme. En el rango de temperatura entre 900 y 1.000 °C hay moderados cambios en algunas propiedades cerámicas. Para este rango, la contracción lineal en las muestras VV-57 y VV-64 es inferior al 3% y la absorción de agua varía entre un 12% y un 19%, lo cual está probablemente relacionado con el bajo contenido en óxidos fundentes. Las muestras VV-59 y VV-61 presentan los mayores valores de absorción de agua (>25%) y valores bajos de

In the VV-51 sample, lime blowing has been observed. The SEM study reveals the presence of CaO nuclei formed by the decomposition of calcite grains. These calcite grains react with the matrix forming gehlenite rings (Figure 11). Lime blowing is due to the CaO nuclei transformation into portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) under atmospheric conditions. This process generates crystallization pressure in confined spaces, resulting in cracks development (Figure 11). The ceramic piece of VV-51 was disintegrated firing at the lowest temperature of this cycle. This can be explained by taking into account that the calcium carbonate fired at low temperature produces less dense and more reactive calcium oxides than those CaO nuclei produced at higher temperatures. Instead, at 800 °C in the sample VV-51, the CaO nuclei occur on the inside of ceramic piece. This effect is less evident in the case of brucite (Figure 11).

5.3. Behaviour in the technological cycle for ceramic tiles

The behaviour of the Triassic Red Beds in the technological cycle for tile is shown in Table 4. These materials present a low drying shrinkage (maximum 0.5%). The ceramic properties variation firing between 900 and 1100 °C is not uniform. In the thermal range between 900 and 1000 °C, there is a moderate change in some ceramic properties. For these temperatures, linear shrinkage of VV-57 and VV-64 is lower than 3% and water absorption varies between 12 and 19%, which is most probably related to the low flux oxide contents. VV-59 and VV-61 samples present the highest water absorption values (>25%) and the lowest linear shrinkage (< 3%), due to the porosity caused by the CO_2 , resulting of the carbonate grain decomposition. The rest of samples have lower water

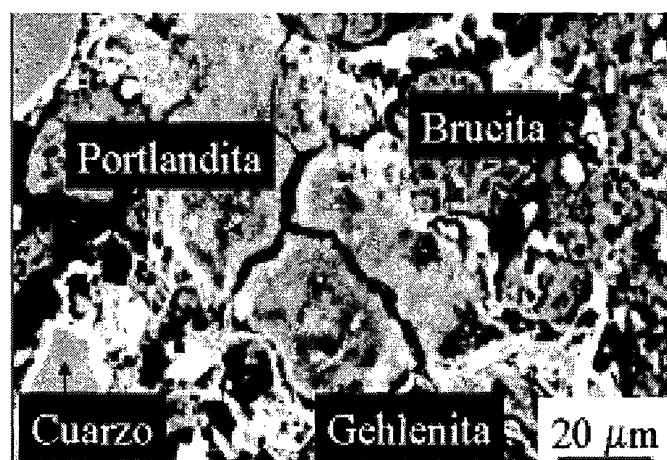


Figura 11.- Imagen de SEM-BSE de VV-51 cocida a 800 °C.

Figure 11.- BSE image of VV-51 fired at 800 °C.

TABLA 4/TABLE 4
 Propiedades de cocción obtenidas en el ciclo de cocción rápido
Fired properties of the raw materials studied in the technological cycle for ceramic tile

Muestra Sample	900 °C		950 °C		1.000 °C		1.050 °C		1.100 °C	
	F.S (%)	W.A (%)	F.S. (%)	W.A.(%)	F.S. (%)	W.A. (%)	F.S. (%)	W.A. (%)	F.S. (%)	W.A.(%)
VV-52	2.3	23.6	3.5	21.9	5.0	19.0	7.0	14.2	11.9	5.30
VV-53	2.3	21.2	4.9	17.0	8.2	10.8	11.6	6.3	16.0	0.13
VV-55	3.8	21.64	6.0	16.6	9.1	12.7	15.1	4.6	16.5	1.14
VV-57	0.6	16.1	1.6	15.5	2.9	12.3	4.3	10.1	9.7	2.25
VV-59	1.0	29.6	1.2	29.4	1.8	28.5	2.5	25.4	6.8	15.13
VV-61	1.4	29.9	1.8	26.6	2.8	25.2	4.3	21.0	12.1	7.52
VV-63	1.9	24.9	4.1	23.2	7.5	15.3	13.9	5.0	17.4	0.87
VV-64	0.0	20.7	0.2	20.3	0.7	19.3	2.3	10.5	6.1	10.52

C.L.= contracción lineal/*linear shrinkage*; W.A.= absorción de agua/*water absorption*

TABLA 5/TABLE 5
 Propiedades de cocción obtenidas en las mezclas de las capas Rojas Triásicas con
 materiales complementarios en el ciclo de cocción rápido
*Firing properties of mixing of the studied samples of Triassic Red Beds with
 commercial quartz and felspar*

Muestra Sample	900 °C		1.000 °C	
	C.L. (%)	A.A. (%)	C.L. (%)	A.A.(%)
VV-52+30Qtz	1.2	24.45	1.6	13.88
VV-53+30Qtz	0.5	25.00	1.5	22.30
VV-55+25Qtz+5Fds	0.7	25.25	2.5	22.23
VV-57	0.6	16.12	2.9	12.30
VV-59+30Fds	0.3	30.86	0.4	30.00
VV-61+30Fds	0.3	30.00	0.3	29.26
VV-63+25Qtz+5Fds	0.5	25.90	2.3	21.08
VV-64	0.0	20.68	2.3	16.28

C.L.= contracción lineal/*linear shrinkage*

A.A.= absorción de agua/*water absorption*

contracción lineal (<3%), debido posiblemente a la porosidad causada por el CO₂ formado por la descomposición de los carbonatos. El resto de las muestras tienen una absorción de agua baja (11 y 19%) y una alta contracción lineal (5 y 9,1%). A 1.100 °C, la mayoría de las muestras estudiadas presentan poca absorción de agua (7,52-0,13%) y alta contracción lineal (17,4-9,7%), lo cual refleja el alto grado de vitrificación. Por el contrario, las muestras VV-59 y VV-64 tienen valores altos de absorción de agua (15,13 y 10,52%, respectivamente) y contracciones lineales bajas (alrededor del 6%). El bajo grado de vitrificación alcanzado está relacionado con el alto contenido en carbonatos para la muestra VV-59 y el bajo contenido en óxidos fundentes para la muestra VV-64.

absorption values (11 and 19%) and higher linear shrinkages (5-9.1%). At 1100 °C, most of the studied samples present low water absorption (7.52-0.13%) and high linear shrinkage values (17.4-9.7%), reflecting high vitrification degree. However, the VV-59 and VV-64 have rather high water absorption (15.13 and 10.52%, respectively) and low linear shrinkage (around 6%). The lower vitrification degree is related to the high carbonate concentration for the VV-59 sample and the low content of flux oxides for VV-64 sample.

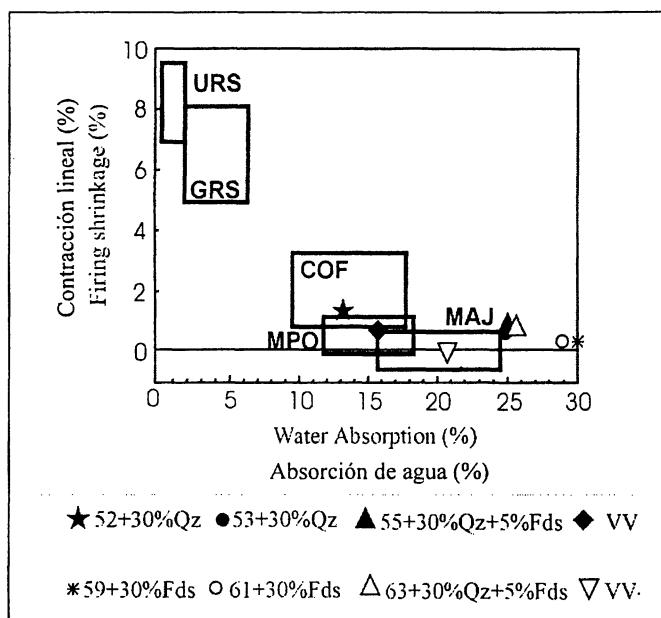


Figura 12.-Comparación de las propiedades de cocción obtenidas en las mezclas de las Capas Rojas Triásicas de Bailén, a 900-1.000 °C (9). MAJ: mayólica; COF: cottoforte, MPO: monoporosa; GRS: gres rojo vidriado; URS: gres rojo no vidriado.

Figure 12.- Comparison of firing properties values obtained of the mixing of Triassic Red Beds from Bailén area with complementary raw materials at 900-1.000 °C respect the requirements of the various types of ceramic tiles (9). MAJ: majolica; COF: cottoforte; MPO: monoporose; GRS: glazed red stoneware; URS: unglazed red stoneware.

Las muestras estudiadas han sido mezcladas con cuarzo y feldespatos comerciales para mejorar los valores de contracción lineal y de absorción de agua (Tabla 5). Las propiedades de cocción de las mezclas estudiadas han sido comparadas con las requeridas para varios tipos de piezas cerámicas (18) (Figura 12). La mayoría de las mezclas cocidas entre 900 y 1000 °C tienen contracciones lineales y absorciones de agua apropiadas para la fabricación de baldosas cerámicas. Sin embargo, los valores de absorción de agua de las muestras ricas en CaO y MgO (VV-59 y VV-61) son demasiado elevados para elaborar este tipo de producto.

5.4. Mineralogía de las muestras cocidas

Las piezas cocidas muestran diferentes asociaciones minerales dependiendo de la mineralogía de los materiales iniciales. Las muestras ricas en carbonatos (VV-59 y VV-61) presentan gehlenita, wollastonita, clinopiroxenos, anortita, forsterita, mullita, cuarzo y una fase vítrea. La Figura 13 muestra la evolución de la microtextura y las reacciones de los granos desgrasantes con la matriz filosilicatada, dando lugar a nuevas fases minerales a altas temperaturas. La gehlenita aparece a partir de los 850 °C como halos de reacción formados a partir de los núcleos de CaO (Figura 13A). El clinopiroxeno comienza a formarse a partir de los 950 °C entre los cristales de dolomita y cuarzo (Figura 13B). Según los datos de XRD, la mullita aparece a los 1.100 °C. Las imágenes de SEM revelan que la asociación mineral de la matriz está formada por mullita, feldespatos y una fase vítrea, la

Mixing of the studied samples with commercial quartz and feldspar improves linear shrinkage and water absorption (Table 5). The firing properties of the mixtures have been compared with the requirements of the various types of ceramic tiles (18) (Fig. 12). Most of the mixtures fired between 900 and 1.000 °C have linear shrinkage and water absorption values appropriated for manufacturing porous tiles. However, water absorption of CaO and MgO-rich samples (VV-59 and VV-61) is too high to manufacture this ceramic products.

5.4. Mineralogy of the fired samples

The fired samples show different phase composition depending on the mineralogy of the starting materials. The carbonate-rich samples (VV-59 and VV-61) contain gehlenite, wollastonite, clinopyroxene, anorthite, forsterite, mullite, vitreous phase and quartz. Figure 13 shows the evolution of the microtexture and the reactions of temper grains with the phyllosilicate matrix resulting in the formation of new phases at high temperatures. Gehlenite appears above 850 °C as rings around CaO nuclei (Figure 13 A). Clinopyroxene starts to form at 950 °C between dolomite and quartz grains (Figure 13 B). According to the XRD data, mullite appears at 1100 °C. SEM images reveal that the matrix mineral assemblages composed by mullite, feldspar and vitreous phase, should be formed according to the

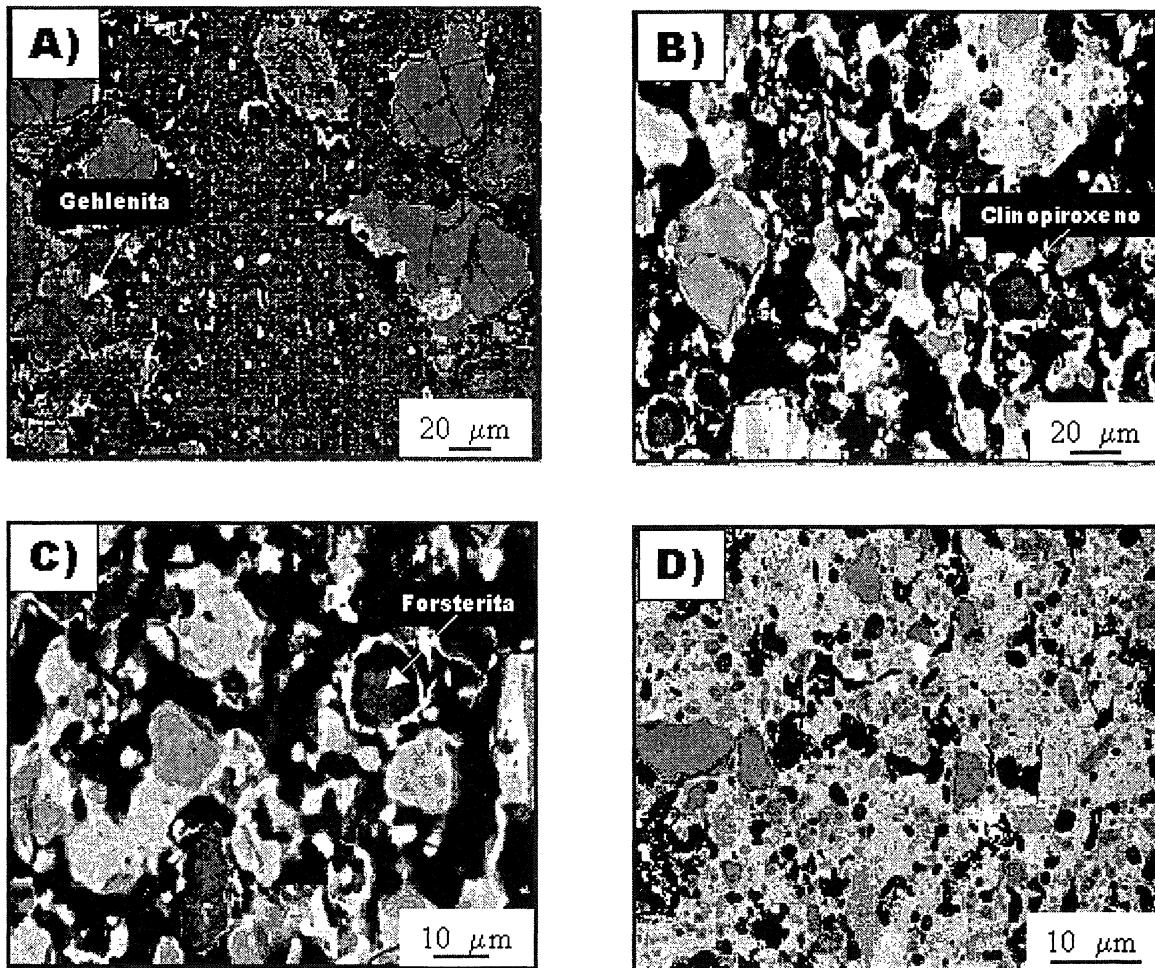


Figura 13.- Imágenes de BSE de la muestra VV-51: A) cocida a 800 °C; B) cocida a 900 °C; C) cocida a 1.000 °C y D) cocida a 1.100 °C.

Figure 13.- Images of carbonate-rich sample VV-51: A) fired at 800 °C; B) fired at a 900 °C; C) fired at 1.000 °C and D) fired at 1.100 °C.

cual podría estar formada de acuerdo con la reacción descrita por Brearley y Rubie (19). La forsterita cristaliza a partir de los 1.000 °C a expensas de la brúcita (Figura 13 C). El contenido en hematites decrece a partir de los 1.100 °C, debido a la incorporación de Fe^{3+} a las estructuras de la mullita y del clinopiroxeno. Este hecho fue descrito también por Kreimeyer (20). La alta vitrificación desarrollada a 1.100 °C (Figura 13 D) puede ser explicada por la presencia de pequeños cristales de moscovita en la matriz, los cuales tienen una fuerte tendencia a reaccionar para dar lugar a una gran formación de fundido (19). La anortita y la wollastonita son detectadas a partir de los 1100° C, cuando la gehlenita está ausente. De acuerdo a la posición de las muestras estudiadas en el diagrama de fases (Figura 14), la gehlenita y la wollastonita son fases en desequilibrio. La cristalización de gehlenita está relacionada con la presencia de núcleos de CaO (Figura 13A). La gehlenita se forma cuando los núcleos de CaO reaccionan con los filosilicatos (21). La wollastonita y la fase anortítica se forman a expensas de la gehlenita. Por otra parte, las muestras ricas en silicatos tienen una mineralogía de

reaction described by Brearley and Rubie (19). Forsterite crystallize above 1000 °C from brucite (Figure 13 C). Hematite content decreases from 1100 °C, due to the incorporation of Fe^{3+} to mullite and clinopyroxene structures. This fact was also described by Kreimeyer (20). The high vitrification developed at 1100 °C (Figure 13 D) can be explained taking into account the presence of fine muscovite grains in the matrix, which have a strong trend to react resulting in enhanced melt formation (19). The anorthite s.s. and wollastonite are detected at 1150 °C when gehlenite is absent. According to the position of these samples in the phase diagrams (Figure 14), gehlenite and wollastonite are not phases in equilibrium. The crystallization of gehlenite is due to the presence of CaO nuclei (Figure 13 A). Gehlenite is formed when CaO react with clay (21). Wollastonite and anorthitic phase are formed at expenses of gehlenite. On the other hand, the silicate rich samples have a simple firing mineralogy formed by quartz, hematite and, in some cases, mullite and a vitreous phase. A similar

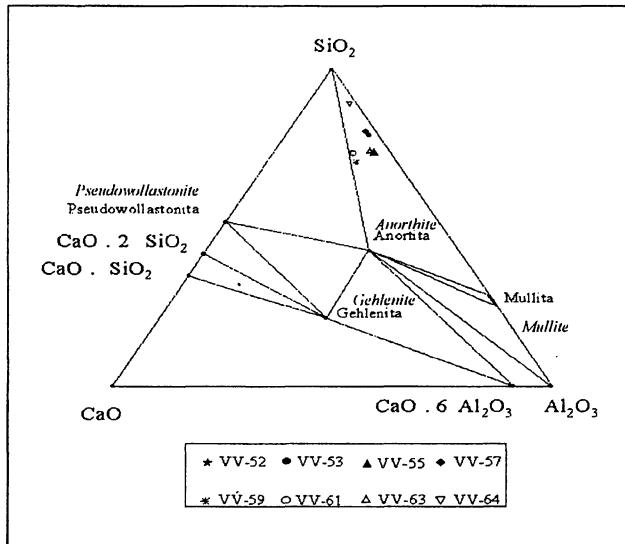


Figura 14.- Posición de las muestras de las Capas Rojas Triásicas de la Cobertura Tabular en el diagrama $\text{CaO}-\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Figure 14.- Projection of the Triassic Red Beds studied samples on the $\text{CaO}-\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ system.

cocción bastante simple formada por cuarzo, hematites y, en algunos casos, mullita y una fase vítreo. Una evolución mineralógica similar fue observada en las piezas cerámicas estudiadas por Vidal *et al.* (22).

6. CONCLUSIONES

Las Capas Rojas Triásicas del área de Bailén tienen una composición similar a las materias primas usadas para la fabricación de cerámica estructural.

Desde un punto de vista tecnológico, las Capas Rojas Triásicas no son generalmente apropiadas para la elaboración de ladrillos y tejas por sí mismas. Las muestras estudiadas presentan generalmente baja plasticidad para el moldeo por extrusión. Respecto a las propiedades de las muestras estudiadas en el ciclo de cocción lento, los valores de contracción lineal y de absorción de agua son frecuentemente adecuados para la fabricación de ladrillos en el rango de temperaturas comprendido entre 800 y 900 °C. Sin embargo, pocas muestras son apropiadas para la elaboración de tejas, debido a su elevada contracción lineal. En conclusión, las arcillas estudiadas deben ser mezcladas con otras arcillas utilizadas en la industria cerámica de Bailén, especialmente para aumentar su plasticidad y reducir su contracción lineal para la fabricación de ladrillos y tejas. Finalmente, la rotura por caliche podría inhibirse mediante la adición de 0,5 a 1,0% de sal común y la inmersión en agua, para disolver y eliminar el óxido de calcio o la portlandita existente en las piezas cerámicas (23).

mineralogical evolution was observed in the ceramic tiles studied by Vidal *et al.* (22).

6. CONCLUSIONS

The Triassic Red Beds from the Bailén area (southern Spain) have a similar composition to that of the raw materials used for manufacturing structural ceramic pieces as construction materials.

From a technological point of view, the Triassic Red Beds are generally not suitable for the production of bricks and roofing tiles by themselves. They have generally low plasticity but appropriated wet-to dry shrinkages for the extrusion process. With respect to the properties of the slow fired samples, firing shrinkage and water absorption are often suitable to manufacture bricks between 800 and 900 °C. However, few samples are appropriated for making roofing tiles, due to the high firing shrinkage. In conclusion, these clays must be mixed with others clays used in the Bailén area such as black clays, especially to increase its plasticity and reduce its firing shrinkage in the manufacture of common bricks and roofing tiles. Finally, the lime blowing could be inhibited by the addition of 0.5-1.0% of common salt and water immersion to dissolve and eliminate existing CaO or Ca(OH)_2 , (23).

En cuanto al sector de revestimientos cerámicos, las características compositionales de las Capas Rojas Triásicas parece ser compatible solamente con la composición de las piezas cerámicas porosas, debido principalmente a los elevados contenidos en Fe_2O_3 , K_2O , CaO y MgO . Las propiedades tecnológicas de estos materiales revelan que pocas muestras son apropiadas para la formulación de piezas porosas y gres. Sin embargo, la mayoría de las mezclas cocidas entre 900 y 1.000 °C presentan valores de absorción de agua y contracción lineal apropiadas para la fabricación de baldosas cerámicas, concretamente, mayólica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores han obtenido la financiación para llevar a cabo este trabajo a través de la *Junta de Andalucía* (Grupo de investigación RNM-800) y la *Excelentísima Diputación Provincial de Jaén* mediante el proyecto de Investigación «Posibilidades de uso cerámico de los minerales y rocas industriales de la provincia de Jaén».

BIBLIOGRAFÍA

- (1) I. González, E. Galán, A. Miras, P. Aparicio: New uses for brick-making clay materials from the Bailén area (southern Spain). *Clay Minerals*, Vol. 33, nº 3, (1998), pp. 453-465.
- (2) I. González, E. Renedo, E. Galán: Clay materials for structural clay products from the Bailén area, Southern Spain. *Symposium Clay Minerals in the Modern Society*, Uppsala (1985), pp. 77-90.
- (3) I. González, M. León, E. Galán: Assessment of the ceramic uses of clays from southern Spain from compositional, drying and forming data. *Geologica Carpathica. Series Clays*, Vol. 2 (1992), pp. 97-100.
- (4) J. Jiménez Millán, J.M. Molina, P.A. Ruiz-Ortiz: Mineralogical and sedimentological characterization of clay raw materials and firing transformations in the brick-making industry from the Bailén area (southern Spain). In: M. Ortega, A. López Galindo, I. Palomo (eds), *Advances in Clay Minerals* (1996), Univ. Granada, pp. 230-232.
- (5) J. Fernández, A. Gil: Interpretación sedimentaria de los materiales triásicos de facies buntsandstein en las zonas externas de las cordilleras Béticas y en la cobertura tabular de la meseta (España). *Rev. Soc. Geol. España*, Vol. 2 (1989), pp. 113-124.
- (6) E. Barahona: Arcillas de ladrillería de la provincia de Granada. Ph. D. Thesis, Granada, Spain, 1974.
- (7) E. Galán: Caolines españoles: Geología Mineralogía y Génesis. Ph. D. Thesis, Public. Soc Esp. Ceram. Vidrio, 1972.
- (8) F. Nieto: Las cloritas de la Cordillera Bética. Ph. D., Thesis, Univ. Granada, Spain, 1983.
- (9) M. Dondi, B. Fabbri, R. Laviano: Characteristics of the clays utilized in the bricks industry in Apulia and Basilicata (southern Italy). *Miner. Petrogr. Acta*, Vol. 35A (1992), pp. 179-189.
- (10) B. Fabbri, M. Dondi: La produzione del laterizio in Italia. Faenza Editrice. p. 160, 1995.
- (11) M. Dondi, B. Fabbri, S. Vicenzi: Raw materials for the heavy clay industry in Emilia-Romagna and Marche (central-northern Italy). *Geol Carpathica Clays*, Vol. 2 (1992), pp 83-90.
- (12) B. Fabbri, C. Fiori: Clays and complementary raw materials for stoneware tiles. *Mineral. Petrol. Acta*, Vol. 29-A (1985), pp. 535-545.
- (13) C. Fiori, B. Fabbri, F. Donati, I. Venturi: Mineralogical composition of the clay bodies used in the Italian tile industry. *Appl. Clay Sci.*, Vol. 4 (1989), pp. 461-473.
- (14) M. Dondi, B. Fabbri, M. Marsigli: Caratteristiche delle argille usate dall'industria dei laterizi in Lazio e Campania. *Ind. Laterizi.*, Vol. 22 (1993), pp. 234-245.
- (15) F. P. Shepard: Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *J. Sediment. Petrol.* Vol. 24 (1954), pp. 151-158.
- (16) H.G. F. Winkler: Bedeutung der Korngrößenverteilung und des Mineralbestandes von Tonen für die herstellung grobkeramischer Erzeugnisse. *Ber. Dtsch. Keram. Ges.*, Vol. 31, nº10, pp. 337-343.
- (17) J. A. Bain, D.E. Highley: Regional appraisal of clay resources. A challenge to the clay mineralogist. *Proc. Int. Clay Conf. AIPEA*, Oxford, (1966), pp.437-447.
- (18) M. Dondi: Clay materials for ceramic tiles from Sassuolo District (Northern Apennines, Italy). Geology, composition and technological properties. *Appl. Clay Sci.* Vol. 5, nº 15 (1999), pp. 337-366.
- (19) A. J. Bearly, D.C. Rubie: Effects of H_2O on the disequilibrium breakdown of muscovite + quartz. *J. Petrol.*, Vol. 31, nº 4 (1990), pp. 925-956.
- (20) R. Kreimeyer: Some notes on the firing colour of clay bricks. *Appl. Clay Sci.*, Vol. 2 (1987), pp. 175-183.
- (21) P. Tjerk: Simple device to avoid orientation effects in X-ray diffractometer samples. *Noreko Rep.* Vol. 17, nº2 (1970), pp. 23-24.
- (22) M. M. J. Vidal, T. S. Montolio, C.D. Cullell: Influence of temperature and composition in the mechanical resistance and porosity of ceramic pieces. *Mater Construcc.*, Vol. 51, nº 261, (2001), pp. 5-20.
- (23) R. T. Laird, P. Worcester: The inhibition of lime blowing. *Trans. J. Br. Ceram. Soc.*, Vol. 55 (1956), pp. 545-563.

In the tile sector, the composition of the Triassic Red Beds seems to be only compatible with the composition of porous bodies, mainly due to the high Fe_2O_3 , K_2O , CaO and MgO contents. The technological properties of these materials reveal that few samples are suitable for the formulation of porous and stoneware bodies. However, most of the mixtures of the studied samples with complementary raw materials fired between 900 and 1.000 °C have firing properties suitable for the manufacture of porous tile, specifically majolica.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors obtained the financial support to carry out this work from the "Junta de Andalucía" through Research Group RNM-325 and the "Excelentísima Diputación Provincial de Jaén" through the Research Project «Ceramic uses of the industrial minerals and rocks fro Jaén province».