



Metodología de Conformación de lotes de arcilla para la industria cerámica del área metropolitana de cúcuta a partir de análisis fisicoquímicos y modelado de mezclas

Methodology for obtaining of batches of clay for the ceramic industry of the metropolitan area of cúcuta from physicochemical analysis and modeling of mixtures

Duvin Smith Blanco Meneses¹, John Freddy Gelves Díaz², Jorge Sánchez Molina³

¹Magister en ciencia y tecnología de materiales, ind.gestion@ceramicaitalia.com, Gestion Minera, Ceramica Italia S.A., Av. 3 Calle 23 AN Zona Industrial Sucursal principal: Cúcuta - Norte de Santander

²Doctor en Ingeniería-ciencia y tecnología de materiales, ORCID: 0000-0002-1238-6911, johnfgelveds@unilibre.edu.co, Facultad de ingenierías, Grupo de investigación en competitividad y sostenibilidad para el desarrollo, Universidad Libre Cúcuta, avenida 4 N° 12N-81 barrio el Bosque, Cúcuta-Colombia. Tel 5829810 ext 210.

³Doctor en avances en ingeniería de los materiales y energía, j_sanchezmolina@yahoo.es; Facultad de ciencias básicas, grupo de investigación en tecnología cerámica, Universidad Francisco de Paula Santander, avenida gran Colombia N° 12E-96 barrio Colsag, Cúcuta-Colombia. Tel 5776655 Ext 353

How to cite: D.S Blanco-Meneses, J.F Gelves-Díaz, J. Sanchez-Molina, “Metodología de Conformación de lotes de arcilla para la industria cerámica del área metropolitana de cúcuta a partir de análisis fisicoquímicos y modelado de mezclas”. *Respuestas*, vol. 25, no. S2, pp. 53-58, 2020.

Received on August 30, 2019; Approved on November 7, 2019

ABSTRACT

Keywords:

Extraction techniques,
homogenizing process,
raw material,
red clay,
traditional ceramics.

The metropolitan area of Cúcuta (Colombia) is characterized by the existence of several companies dedicated to the manufacture of ceramic construction materials. The existence of these companies is caused by the high availability of red clays of sedimentary type that abound in this territory. Due to the goodness of the clay in the region, many entrepreneurs do not carry out activities aimed at obtaining a homogeneous raw material to be used in the manufacturing process of tiles, roof tiles and masonry ceramics. Although this fact does not have major disadvantages for the production that is sold in the local and national market, the same does not happen for the sales abroad, due to the variability between production batches caused by lack of homogeneity of the raw material used. From this problematic the authors developed this study with the purpose of finding a methodology that allows to reduce the heterogeneity of the argillaceous raw materials. The work consisted in making a comparative analysis between the methodology of random cutting with cone type homogenization and the mechanized trench methodology. Chemical analysis was carried out by X-ray fluorescence, mineralogical characterization by means of X-ray diffraction and physical-ceramic characterization (sand percentage, firing shrinkage and mechanical resistance to flexion) based on the guidelines of the Colombian technical standard for this kind of materials. It was evidenced that the trench methodology allows greater homogeneity in the results of the technological variables evaluated.

RESUMEN

Palabras clave:

Arcilla roja,
cerámica tradicional,
materia prima,
proceso de homogenizado,
técnicas de extracción.

El área metropolitana de Cúcuta (Colombia), se caracteriza por la existencia de varias empresas dedicadas a la fabricación de materiales cerámicos de construcción. La existencia de dichas empresas se debe a la gran disponibilidad de arcillas rojas de tipo sedimentario que abundan en este territorio. Debido a las bondades de las arcillas de la zona, muchos empresarios no realizan actividades encaminadas a obtener una materia prima homogénea para ser utilizada en el proceso de fabricación de baldosas, tejas y mampostería. Aunque este hecho no trae mayores inconvenientes para la producción que se vende en el mercado local y nacional, no sucede lo mismo para las ventas en el extranjero, debido a la variabilidad entre lotes de producción ocasionada por falta de homogeneidad de la materia prima utilizada. A partir de esta problemática los autores desarrollaron este estudio encaminado a encontrar una metodología que permita reducir la heterogeneidad de las materias primas arcillosas. Para ello se realizó un análisis comparativo entre la metodología de corte al azar con homogenización tipo cono y la metodología por trinchera mecanizada. Se realizó análisis químico por fluorescencia de rayos X, composición mineralógica mediante difracción de rayos X y caracterización físico-cerámica (Porcentaje de arena, contracción de cocción y resistencia mecánica a la flexión) evidenciando que la metodología de trinchera permite mayor homogeneidad en los resultados de las variables tecnológicas evaluadas.

*Corresponding author:
E-mail: ad-j_sanchezmolina@yahoo.es (Jorge Sánchez Molina)



Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.
This is an article under the license CC BY-ND

Introducción.

La falta de control en el proceso de explotación y homogenización de las materias primas utilizadas por la industria cerámica puede traer consigo una gran cantidad de problemas que disminuyen la calidad del producto y la rentabilidad del negocio [1].

Debido a lo anterior las empresas cerámicas o los proveedores de arcilla deben garantizar que la materia prima sea lo más homogénea posible. Para ello se debe caracterizar adecuadamente el frente de explotación (minerales), realizar estudios físico-cerámicos y realizar procedimientos de mezclado [1].

En la región del área metropolitana de Cúcuta aflora la formación geológica León y el grupo Guayabo. Estas formaciones se caracterizan por la presencia de grandes depósitos sedimentarios de tipo arcilloso, cuya presencia ha permitido el establecimiento de un conglomerado de empresas dedicadas a la fabricación de materiales cerámicos de construcción [2,3].

Las arcillas de esta región son reconocidas por sus bondades para realizar el proceso cerámico tradicional, es decir permiten producir cerámicos de mampostería sin realizar tantos controles al proceso [3]. Sin embargo, a la hora de fabricar productos de mayor valor agregado como baldosas o querer llegar a mercados internacionales se hace necesario el tratamiento de las materias primas a fin de corregir los problemas propios de falta de homogeneidad propios del yacimiento minero.

Debido a las necesidades del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta en materia de innovación [4], resulta conveniente establecer una metodología que le permita a aquellos empresarios que aún no realizan un buen control en la preparación de las materias primas, poder sacar provecho de la metodología, como por ejemplo obtener cerámicos con propiedades tecnológicas muy similares entre lotes de producción, tener curvas de cocción estandarizadas e incluso llegar a reducir el porcentaje de rotura.

Por tanto, la finalidad del presente trabajo estuvo encaminada a comparar dos metodologías de extracción y homogenización a fin de establecer cuál de ellas contribuye en mayor forma a disminuir la variación en los valores

de las propiedades tecnológicas de un cerámico de construcción tipo baldosa.

Materiales y métodos

Para el desarrollo del estudio se seleccionó una mina de arcilla ubicada en el municipio de Los Patios, Norte de Santander. Geológicamente el frente de explotación hace parte del grupo guayabo [2].

Se comparó los resultados de dos metodologías de explotación/homogenizado. La primera de ellas (B) consiste en la conformación de lotes utilizando el corte de arcilla en sectores al azar y sin ningún tipo de caracterización en el frente minero, con homogenización de la arcilla explotada en el patio minero solo con retroexcavadora, moviendo el material de un lado a otro formando conos. Este tipo de metodología es la más común en la región. La otra metodología (A) consta de dos etapas, la primera de ellas consiste en la conformación de sublotes realizando el corte de arcilla sectorizado por medio de trincheras mecanizadas, espaciadas en diez metros cada una. Con homogenización por capas paralelas usando bulldozer y retroexcavadora. La segunda etapa consiste en la conformación del lote final a partir de la mezcla de los diferentes sublotes, aquí se hace necesario una caracterización del material de cada trinchera y el uso del software Statistica para el modelado de mezclas, en este caso se trabajó con un modelo simple reticular.

Del lote obtenido por la metodología “B”, se tomó una muestra representativa la cual fue caracterizada por difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X y análisis físico-cerámico el cual incluye el % contenido de arena, % de contracción de cocción y resistencia mecánica a la flexión. En el caso de la metodología “A” se realizó las mismas pruebas de caracterización, sin embargo, el proceso se hizo para cada trinchera y para el lote definitivo conformado.

La difracción de rayos X (DRX) fue usada para la caracterización mineralógica, se empleó el método de polvos. Inicialmente se tomó entre 3 y 4 gramos de muestra y se molturó en mortero de ágata, hasta obtener un pasante malla 400 ASTM (38 μ m). La prueba se realizó en un difractómetro de polvo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con geometría DaVinci bajo las siguientes condiciones: Voltaje 40 kV, Corriente 30 mA, Rendija de

divergencia 0,6 mm, Rendijas Soller primario 2,5°, Muestreo 0,01526° 2θ, Rango de medición entre 3,5-70° 2θ usando radiación Cu Kα1, filtro de níquel, un detector lineal LynxEye, tipo de barrido a pasos y un tiempo de muestreo por paso de 0,4 segundos. El análisis cualitativo de las fases presentes en la muestra se realizó mediante comparación del perfil observado con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD). El análisis cuantitativo de las fases encontradas en la muestra se realizó mediante el refinamiento por el Método de Rietveld.

La composición química fue realizada mediante el uso de fluorescencia de rayos X (FRX). Inicialmente la muestra fue molturada y tamizada de forma similar al tratamiento realizado para difracción de rayos X. Posteriormente la muestra se calcinó a 950 °C durante 2 horas a fin establecer las pérdidas por ignición (humedad, agua composicional, materia orgánica, descomposición de carbonatos). El material calcinado se colocó en un portamuestra de polímero de celulosa y se realizó la medición. Los análisis cuantitativos se realizaron mediante el método QUANT-EXPRESS (parámetros fundamentales) en el rango de sodio (Na) a uranio (U), en un espectrómetro secuencial de fluorescencia de rayos X de longitud de onda dispersiva de 4kW marca BRUKER modelo S8 TIGER. Para detectar los elementos pesados se utilizó un detector de Centelleo y para los elementos livianos un detector de flujo, la fuente de rayos X fue un tubo de Rodio (Rh) y el goniómetro utilizado fue de alta precisión para ángulos theta y 2 theta.

En relación al análisis fisicocerámico, la prueba de resistencia mecánica a la flexión y porcentaje de absorción de agua fueron realizadas bajo los parámetros de la norma técnica colombiana NTC 4321-4 y NTC 4321-3 [5,6], La cocción se realizó en un horno de rodillos industrial tipo monocanal marca SACMI, con ciclo de cocción de 34 minutos y temperaturas de quema igual a 1125°C. La contracción de cocción se realizó a partir de los lineamientos de la norma ASTM C326-03 [7]. Para el establecimiento del porcentaje de arenas se procedió así: se tomó en una bandeja metálica 230g de muestra. Se secó durante 3 horas a una temperatura de 120°C. Transcurrido el tiempo de secado se pesó 200g de muestra y se adicionó 500 ml de agua, la mezcla se dispersó durante 15 minutos. La muestra totalmente dispersada se tamizó

a través de la malla 230 ASTM (63µm). Finalmente, el retenido depositado sobre el tamiz se secó durante 1 hora a temperatura de 120°C y se calculó el porcentaje total correspondiente al peso de la muestra después de secado.

Resultados y análisis

Inicialmente se presentan los resultados de caracterización de las trincheras de la metodología A. La tabla I y II muestran los resultados del análisis físico-cerámico y de caracterización química y mineralógica.

Trinchera	% arena	% contracción de cocción	% de absorción de agua	Carga de rotura (N)	Presencia de corazón negro
1	7,75	4,25	7,45	631,0	No
2	8,00	5,36	6,27	734,0	Sí
3	5,86	4,25	8,01	811,0	No
4	6,36	4,32	7,56	683,0	No
5	5,97	3,67	8,79	557,0	No

Fuente: Autores

Tabla I. Resultados del análisis físico cerámico de las cinco trincheras de la metodología A

Trinchera	Composición mineralógica (DRX)		Composición química (FRX)	
	Fase	% másico aprox.	Oxido	% másico
1	cuarzo	57,2	SiO ₂	64,08
	caolinita	24,2	Al ₂ O ₃	20,23
	moscovita	15,4	Fe ₂ O ₃	5,00
	hematita	2,0	K ₂ O	1,83
	anatasa	1,3	TiO ₂	0,99
			MgO	0,57
			CaO	0,39
			Na ₂ O	0,31
			Pérdida calcinación	6,26
	2	cuarzo	52,7	SiO ₂
caolinita		26,0	Al ₂ O ₃	20,23
moscovita		16,9	Fe ₂ O ₃	6,43
hematita		3,1	K ₂ O	2,04
anatasa		1,4	TiO ₂	0,96
			MgO	0,56
			CaO	0,39
			Na ₂ O	0,29
			Pérdida calcinación	6,27
3		cuarzo	52,1	SiO ₂
	caolinita	25,7	Al ₂ O ₃	21,50
	moscovita	18,1	Fe ₂ O ₃	5,86
	hematita	2,6	K ₂ O	2,07
	anatasa	1,5	TiO ₂	0,97
			MgO	0,60
			CaO	0,39
			Na ₂ O	0,31
			Pérdida calcinación	6,55
	4	cuarzo	56,4	SiO ₂
caolinita		23,1	Al ₂ O ₃	19,72
moscovita		17,0	Fe ₂ O ₃	5,28
hematita		2,2	K ₂ O	1,99
anatasa		1,3	TiO ₂	0,95
			MgO	0,57
			CaO	0,39
			Na ₂ O	0,28
			Pérdida calcinación	6,07
5		cuarzo	56,8	SiO ₂
	caolinita	24,7	Al ₂ O ₃	19,46
	moscovita	15,0	Fe ₂ O ₃	5,14
	hematita	2,4	K ₂ O	1,68
	anatasa	1,1	TiO ₂	0,88
			MgO	0,51
			CaO	0,34
			Na ₂ O	0,34
			Pérdida calcinación	6,77

Fuente: Autores

Tabla II. Composición química y mineralógica de las cinco trincheras de la metodología A

Los resultados de la tabla I y II ponen de manifiesto que efectivamente es posible encontrar diferencias composicionales en el frente de explotación, en este caso el distanciamiento de solo 10 metros ya genera cambios importantes en los resultados del análisis físico-cerámico y composición mineralógica. Los resultados de la tabla I muestran que el material de la trinchera 2 favorece la resistencia mecánica del cerámico, sin embargo, también se evidenció la formación de corazón negro el cual puede asociarse a la reducción de especies de hierro en la zona central de la probeta o baldosa. El corazón negro puede llegar a generar defectos en el cerámico e incluso pérdida de resistencia mecánica en el material [1]. Este efecto podría ser causado por una rápida sinterización y vitrificación de las fases arcillosas presentes (en este caso la caolinita y la moscovita), la cuales sobresalen en masa respecto de la composición de las demás trincheras [8,9]. De igual manera la vitrificación de las fases arcillosas conlleva a que se aumente la contracción de cocción [8,9].

Por otro lado, es importante resaltar los resultados de la trinchera 5, la cual presenta los mas bajos valores de contracción de cocción y resistencia mecánica a la flexión. Este comportamiento podría asociarse con la alta concentración de cuarzo libre y la baja concentración de moscovita. EL cuarzo al actuar como desgrasante reduce el efecto de plasticidad de las fases arcillosas [1], mientras que, en el caso de la moscovita, su menor concentración trae consigo la reducción de contenido de óxidos fundentes (en este caso la presencia de potasio), con lo cual se ve desfavorecido los procesos de vitrificación a altas temperaturas, evidenciado así mayor porosidad y menor resistencia mecánica tal como se aprecia en la tabla I [8,9].

A parte del cuarzo, la caolinita y la moscovita existen algunas fases mineralógicas identificadas en menor concentración. La tabla II resalta la presencia de hematita y anatasa, la cuales están presentes en todas las trincheras, solo que en las trincheras 2 y 3 es más alta la concentración de hierro, lo cual podría favorecer los procesos de vitrificación y mayores aportes de color al material cerámico respecto al material de las trincheras 1,4 y 5 [1].

A partir del análisis realizado a la información de las tablas I y II se procedió a realizar el proceso de modelado de mezclas. Para ello se tuvo que tener en cuenta, información de parámetros de control de producción de

una empresa regional, cuya información es presentada en la tabla III. Los resultados del proceso de modelado permitieron establecer que el lote de la metodología "A" debe conformarse según la información suministrada por la tabla IV.

Variable	Límite inferior	Límite superior
% de arena	7,0	8,9
% contracción de cocción	3,3	5,0
Carga de rotura (N)	700	735

Fuente: Autores

Tabla III. Límites estadísticos de control de una empresa cerámica regional

Composición del lote a partir del modelado de mezclas	
Trinchera	% aporte a la mezcla
T1	10,3
T2	22,3
T3	10,3
T4	10,4
T5	46,7

Fuente: Autores

Tabla IV. Composición del lote final de la metodología "A" a partir del modelado de mezclas

De la información presentada en la tabla IV se puede resaltar la participación porcentual de las trincheras 2 y 5, puesto que ellas fueron las que presentaron los resultados mas extremos en el análisis físico-cerámico individual. Esta formulación fue realizada en campo y posteriormente se tomó muestras representativas (5 puntos de muestreo) para realizar el proceso de caracterización del mismo. Los resultados son presentados en las tablas V y VI.

Composición mineralógica (DRX)		Composición química (FRX)	
Fase	% másico aprox.	Óxido	% másico
cuarzo	58,2	SiO ₂	66,12
caolinita	22,2	Al ₂ O ₃	18,77
moscovita	16,4	Fe ₂ O ₃	5,02
hematita	2,1	K ₂ O	1,85
anatasa	1,1	TiO ₂	0,89
		MgO	0,54
		CaO	0,36
		Na ₂ O	0,33
		Pérdida calcinación	5,89

Fuente: Autores

Tabla V. Composición química y mineralógica del lote obtenido por la metodología A

Punto de muestreo	Espesor (m)	% arena	% contracción de cocción	% de absorción de agua	Carga de rotura (N)	Presencia de corazón negro
1	1	6,5	4,0	7,3	710,0	No
2	1	5,9	4,2	7,0	732,0	No
3	1	6,5	4,3	6,5	700,0	Si
4	1	7,1	4,2	7,3	720,0	No
5	1	7,0	4,4	8,4	705,0	No
Promedio		6,6	4,2	7,3	713,0	No
Desviación estándar		0,48	0,15	0,70	12,8	No aplica

Fuente: Autores

Tabla VI. Resultados del análisis físico cerámico del lote final de la metodología A

Los resultados presentados en la tabla V, muestran como en la mezcla obtenida se incrementó el contenido de sílice (asociado al mayor contenido de cuarzo), se disminuyó el contenido de caolinita y se niveló el contenido de moscovita para garantizar un contenido de óxido de potasio inferior al 1,9% (p/p).

Producto de estos cambios en la mineralogía y por ende de la composición mineralógica se evidencia en la tabla VI como se disminuye la dispersión de los datos respecto a los obtenidos en forma individual para las trincheras, especialmente en las variables de contracción de cocción y resistencia mecánica a la flexión, dando así cumplimiento a los parámetros de control establecidos en la tabla III.

Al igual que con la metodología “A”, se realizó el proceso de caracterización para el lote conformado por la metodología tipo “A” (tradicional). En este caso se tomó tres puntos de muestreo del lote. Los resultados de caracterización obtenidos se presentan a continuación en las tablas VII y VIII.

Composición mineralógica (DRX)		Composición química (FRX)	
Fase	% másico aprox.	Oxido	% másico
cuarzo	55,2	SiO ₂	64,13
caolinita	25,0	Al ₂ O ₃	20,19
moscovita	16,4	Fe ₂ O ₃	4,94
hematita	2,1	K ₂ O	1,83
anatasa	1,2	TiO ₂	0,93
		MgO	0,55
		CaO	0,38
		Na ₂ O	0,29
		Pérdida calcinación	6,37

Fuente: Autores

Tabla VII. Composición química y mineralógica del lote obtenido por la metodología B

Punto de muestreo	Espesor (m)	% arena	% contracción de cocción	% de absorción de agua	Carga de rotura (N)	Presencia de corazón negro
1	1,0	8,02	1,57	8,20	350,0	Si
2	1,0	5,02	7,00	6,30	700,0	Si
3	1,0	5,00	6,50	5,30	814,0	Si
promedio	1,0	6,07	5,02	6,60	621,0	Si
Desviación estándar	1,0	1,42	2,45	1,20	197,4	No aplica

Fuente: Autores

Tabla VIII. Resultados del análisis físico cerámico del lote obtenido por la metodología B

Los datos composicionales de la tabla VII pueden ser comparados con los obtenidos con los presentados para la metodología A en la tabla V. Se aprecia que las diferencias desde el punto de vista mineralógico se dan para el contenido de cuarzo y caolinita, y que estas diferencias encontradas en la mineralogía parecen tener influencia en la mayor dispersión de los valores de las variables físico-cerámicas que fueron presentadas en la tabla VIII.

Al comparar los resultados de las tablas VI y VIII se puede evidenciar que efectivamente la metodología “A” ofrece un mayor acercamiento al cumplimiento de los parámetros de control utilizados en este trabajo. Los datos de desviación estándar obtenidos para los puntos de muestreo de cada lote dan respaldo a la afirmación anteriormente planteada.

Acorde con lo anteriormente expuesto, se evidencia que efectivamente el uso de la metodología de trincheras ofrece mejores resultados para la preparación de materias primas para el sector cerámico. Aunque el costo de implementación puede llegar a ser más elevado comparado con la metodología tradicional, su implementación si permite obtener lotes de producción más homogéneos, cuyos beneficios pueden ser reflejados en el ingreso a mercados internacionales muy exigentes y en un mejor control de las operaciones relevantes del proceso de producción, especialmente en la etapa de cocción.

Conclusiones

Los resultados de composición mineralógica ponen de manifiesto la presencia de cuarzo, caolinita y moscovita como fases cristalinas predominantes en las arcillas de la zona.

Se logró evidenciar que entre la metodología de corte al azar y la de trincheras, ésta última permite obtener menos variabilidad en los valores de las propiedades tecnológicas evaluadas en este trabajo.

Aunque la metodología de extracción y conformado por trinchera, bajo el modelo de mezclas planteado en este trabajo llegué a ser más costoso respecto al de corte al azar, es muy probable que este sobrecosto sea recuperado con creces durante el desarrollo del proceso cerámico en fabrica.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por la Universidad Francisco de Paula Santander en especial al personal del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos. De igual forma se agradece el apoyo brindado por la empresa cerámica para el desarrollo de las pruebas en el horno industrial.

Referencias

- [1] M. Fernández Abajo. Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos. Igualada: Laboratorio Técnico Cerámico, 2000.
- [2] Jeskar Ltda. Inventario Geológico Minero, Ambiental, Tecnológico y Empresarial de los Minerales no Energéticos del Norte de Santander. San José de Cúcuta, 2000.
- [3] J. Sánchez, J. Gelves y Y. Romero, “Caracterización tecnológica y del talento humano de las empresas fabricantes de cerámica roja ubicadas en el área metropolitana de Cúcuta”, *Respuestas*, 17(2), pp. 71-80, 2012.
- [4] P. Delgado. Planteamiento estratégico para el desarrollo de la innovación tecnológica en el sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta. San Cristóbal, Venezuela: Universidad Nacional Experimental del Táchira, 2010.
- [5] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. NTC 4321-4 Baldosas cerámicas. Parte 4: Método de ensayo para determinar el módulo de rotura y la resistencia a la flexión. Bogotá D.C.: Editorial ICONTEC, 2005.
- [6] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. NTC 4321-3 Baldosas cerámicas. Parte 3. Método de ensayo para determinar la absorción de agua, porosidad aparente, densidad relativa aparente y densidad aparente. Bogotá D.C.: Editorial ICONTEC, 2005.
- [7] American Society for Testing and Materials. ASTM C326-03. Standard test method for drying and firing shrinkages of ceramic whiteware clays. West Conshohocken, PA, EE.UU.: ASTM International, 2003.
- [8] D. Álvarez et al., “Características de las materias primas usadas por las empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta (Colombia)”, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 57(6), pp 247-256, 2018
- [9] D. Alvarez, J. Sanchez y J. Gelves, “Influence of raw materials and forming technique in the manufacture of stoneware ceramic”, *Ingeniería y competitividad: revista científica y tecnológica*, 19(2), pp 89-101, 2017.