

Caracterización fisicoquímica de las arcillas utilizadas en la preparación de pastas cerámicas para la producción de los lotes de ladrillo tipo H-10 en la empresa Ladrillera Valledupar S.A.S. (Colombia).

Physicochemical characterization of the clays used in the preparation of ceramic pastes for the production of batches of brick type H-10 in the company Ladrillera Valledupar S.A.S. (Colombia).

Cristian Andrés Martínez-Contreras¹, Jesús Enrique Gómez-Jiménez², Diana Isabel Giraes-Puerta³,
Sandra Isabel Molina-Arenas⁴, Dino Carmelo Manco-Jaraba⁵
^{1,2,3,4}Fundación Universitaria del Área Andina, Bogota - Colombia
⁵Universidad de La Guajira, Rioacha - Colombia

Recibido: 25 de julio de 2020.

Aprobado: 31 de octubre de 2020.

Resumen— En la empresa Ladrillera de Valledupar S.A.S., localizada en la Vereda El Cielo, al sur oriente del municipio de Valledupar, departamento del Cesar (Colombia), se encuentran depósitos coluviales (Q-ca), aluviales y de llanura aluvial (Q-al) de edad cuaternaria, constituidas por arenas, limos y arcillas. Esta investigación tiene como objetivo, caracterizar fisicoquímicamente y cuantificar las arcillas utilizadas en la preparación de pastas cerámicas para determinar nuevas mezclas cerámicas en la producción de lotes de ladrillo tipo H-10 en la empresa Ladrillera Valledupar S.A.S. Con base a la información obtenida a través de las diferentes bases de datos científicas y del Servicio Geológico Colombiano se llevó a cabo una campaña de campo, cartografiando el área de estudio; además, se realizaron seis (6) apiques, se recolectaron tres (3) muestras y cálculo de recurso. A las muestras (A2-C1 Arcilla (N) Negra, A4-C1 Arcilla (T) Tierra y A1-C3 Arcilla (P) Parda) se les aplicaron ensayos de fluorescencia de rayos X (FRX-XRF). Las propiedades físicas fueron evaluadas con el índice de plasticidad de Attenberg, mediante Cazuela Casagrande, kit para determinar el límite líquido y ensayos de resistencia a la compresión y absorción de agua (NTC 4205-2 / 2009, NTC 4017 / 2018). Se determinó que las arcillas negras y pardas muestran composiciones químicas elementales similares en los compuestos SiO₂, Al₂O₃ y FeO₂, los cuales son predominantes, tanto que KO₂, MgO, CaO, Na₂O y TiO₂ no superan en conjunto el 10% de la arcilla parda y el 8% en la arcilla negra respectivamente, además presentan promedio % absorción de agua de 9.882 a 12.23 y promedio de resistencia a la compresión de 1.748 a 2.334 Kgf/cm² no superan en conjunto el 10% de la arcilla parda y el 8% en la arcilla negra respectivamente. La mezcla cerámica M3 (50% Arcilla Negra y 50% Arcilla Parda), es la más apropiada para implementar una nueva pasta cerámica para la fabricación de productos cerámicos en la empresa Ladrillera Valledupar S.A.S., debido a que cumplen con los lineamientos de la NTC 4017 / 2018 (métodos para muestreo y ensayos de unidades de Mampostería y otros productos cerámicos - segunda actualización) y NTC 4205-2 / 2009 (unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques Cerámicos. Parte 2: mampostería no estructural).

Palabras Claves: Arcilla, caracterización fisicoquímica, Ladrillera Valledupar S.A.S., pasta cerámica.

Abstract— In the company Ladrillera de Valledupar S.A.S., located in Vereda El Cielo, south east of the municipality of Valledupar, department of Cesar (Colombia), there are colluvial (Q-ca), alluvial and alluvial plain (Q-al) deposits of Quaternary age, consisting of sands, silts and clays. This research aims, physicochemically characterize and quantify the clays used in the preparation of ceramic pastes to determine new ceramic mixtures in the production of batches of type H-10 brick in the company Ladrillera Valledupar S.A.S., based on the information obtained through the different scientific databases and the Servicio Geológico Colombiano, a field campaign was carried out, mapping the study area; in addition, six (6) apiques were made, three (3) samples were collected and reserve calculation. To the samples (A2-C1 Clay (N) Black, A4-C1 Clay (T) Earth and A1-C3 Clay (P) Brown) were applied X-ray fluorescence tests (XRF-XRF). The physical properties were evaluated with the Attenberg plasticity index, using a Casagrande casserole, kit to determine the liquid limit and tests of resistance to compression and water absorption (NTC 4205-2 / 2009, NTC 4017/2018). It was determined that black and brown clays show similar elemental chemical compositions in the compounds SiO₂, Al₂O₃ and FeO₂, which are predominant, as well as KO₂, MgO, CaO, Na₂O and TiO₂ do not together exceed 10% in brown clay and 8% in black clay respectively, also have average% water absorption from 9.882 to 12.23 and average resistance to compression from 1.748 to 2.334 Kgf / cm² as a whole do not exceed 10% for brown clay and 8% for black clay respectively. The M3 ceramic mixture (50% Black Clay and 50% Brown Clay), is the most appropriate to implement a new ceramic paste for the manufacture of ceramic products in the company Ladrillera Valledupar S.A.S., due to the fact that they comply with the guidelines of NTC 4017/2018 (methods for sampling and testing of Masonry units and other ceramic products - second update) and NTC 4205-2 / 2009 (fired clay masonry units. Ceramic bricks and blocks Part 2: non-structural masonry).

Keywords: Clay, characterization, Ladrillera Valledupar S.A.S., ceramic paste.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: dinomancojaraba@gmail.com (Dino Carmelo Manco Jaraba).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad de Santander.

Este es un artículo bajo la licencia CC BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Forma de citar: C. A. Martínez-Contreras, J. E. Gómez-Jiménez, D. I. Giraes-Puerta, S. I. Molina-Arenas y D. C. Manco-Jaraba, "Caracterización fisicoquímica de las arcillas utilizadas en la preparación de pastas cerámicas para la producción de los lotes de ladrillo tipo H-10 en la empresa Ladrillera Valledupar S.A.S. (Colombia)", Aibi revista de investigación, administración e ingeniería, vol. 8, no. 3, pp. 54-59, 2020, doi: [10.15649/2346030X.850](https://doi.org/10.15649/2346030X.850)

I. INTRODUCCIÓN

En Colombia, existen empresas dedicadas a la producción de bloques H-10, que no cumplen con estándares adecuados de calidad en porcentajes admisibles de seguridad basados en la norma NTC 4017 y 4205, debido a que durante la etapa de mezclado y amasado del proceso productivo no se realiza una composición óptima de material cerámico, donde la arcilla debe poseer una plasticidad apropiada [1] [2] [3]. Adicionalmente, en varias empresas, el proceso productivo se realiza de forma rudimentaria, lo que no garantiza la efectividad del proceso [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10].

Las arcillas se definen como la materia prima principal utilizada en la fabricación de productos cerámicos [11], constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas félsicas con alto contenido de feldespato; con diferentes características fisicoquímicas, propiedades tecnológicas y distintas aplicaciones [12] [13] [14].

Una de las características más importantes a evaluar en las arcillas es la composición, dado que ella influye directamente en las propiedades de los cerámicos obtenidos [15] [16] [17] [18]. La distribución granulométrica es otra variable a tener en valoración, repercute en el grado de empaquetamiento de las partículas y, por lo tanto en las propiedades físico-mecánicas de los cerámicos (porosidad, absorción de agua, resistencia a la flexión, etc.), además permite predecir el carácter plástico o desgrasante de las arcillas, basándose que el material arcilloso tiene tamaños de partículas pequeñas, del orden de unas pocas micras, mientras que la fracción desgrasante o arenosa tiene tamaño de partículas mucho mayores [12] [19] [20].

El objeto de esta investigación es caracterizar fisicoquímicamente y cuantificar las arcillas utilizadas en la preparación de pastas cerámicas para determinar nuevas mezclas cerámicas en la producción de lotes de ladrillo tipo H-10 en la empresa Ladrillera Valledupar S.A.S., para establecer las mejores condiciones operacionales en la preparación de pastas cerámicas.

II. METODOLOGÍA O PROCEDIMIENTOS

Para el cumplimiento de los objetivos de la investigación se llevó a cabo una fase de revisión documental en las diferentes bases de datos científicas y académicas: Google Académico, Scielo, Researchgate, Science Direct, Springer-Link, Academia.edu, Scopus, bibliotecas institucionales nacionales e internacionales y el Servicio Geológico Colombiano; posteriormente una etapa de campo, donde se realizaron seis (6) apiques (Figura 1), se recolectaron tres (3) muestras representativas con un peso aproximado de seiscientos (600) gramos y cálculo de recurso utilizando el software AutoCAD Civil 3D. A las muestras (A2-C1 Arcilla (N) Negra, Arcilla (A4-C1) (T) Tierra y Arcilla (A1-C3) (P) Parda) se les aplicaron ensayos de fluorescencia de rayos X (FRX-XRF), para determinación de óxidos y elementos trazas, la técnica analítica se llevó a cabo con el espectrómetro de fluorescencia de rayos X, MagixPro PW – 2440 Philip, se empleó el software SemiQ5, haciendo 11 barridos con el fin de detectar todos los elementos presentes en la muestra, excluyendo H, C, Li, Be, B, N, O y los elementos transuránicos; Las propiedades físicas fueron evaluadas con el índice de plasticidad de Attenberg, mediante Cazuela Casagrande y kit para determinar el límite líquido, bajo los lineamientos de las normas y especificaciones 2012 – INVIAS (sección 100 – suelos) [21], haciendo énfasis en el método B – determinación del límite líquido a partir de un solo punto de ensayo (E-125) [22] donde se clasificó y se determinaron los puntos del límite líquido de las tres (3) muestras.

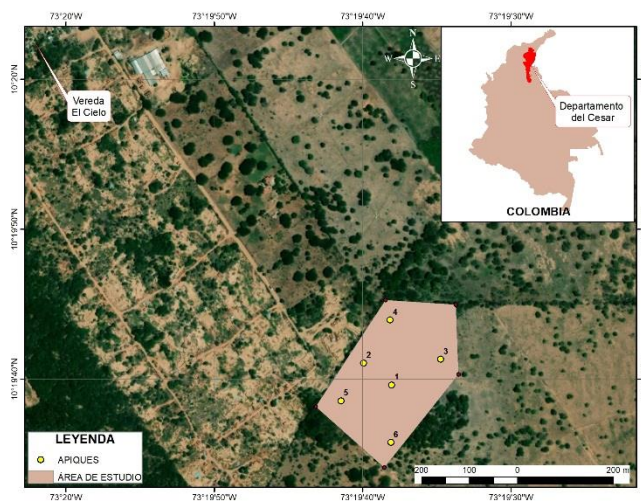


Figura 1: Área de localización y puntos de muestreo.
Fuente: Elaboración propia.

El límite plástico se realizó bajo las normas y especificaciones 2012 – INVIAS (sección 100 – suelos) [21], en el título límite plástico e índice de plasticidad de suelos (e-126) [23], y el kit para determinar el límite plástico de tres (3) muestras. La descripción de las arcillas fue ejecutada bajo la directriz de normas y especificaciones 2012 – INVIAS (sección 100 – suelos) [21], en el título “Determinación de los tamaños de las partículas de los 33 suelos” (E-123) [24], mediante lavado y tamizaje en seco para determinar contenidos porcentuales y estimar la granulometría de tres (3) muestras de arcilla seleccionada de las cinco (5) muestras recolectadas.

Los ensayos de resistencia a la compresión y absorción de agua a nuevos y actuales especímenes de producción, se evaluaron con base a las Normas Técnicas Colombianas NTC 4205-2 / 2009 (Unidades de mampostería de arcilla cocida. ladrillos y bloques cerámicos. Parte 2: Mampostería no estructural) [25] y NTC 4017 / 2018 (Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos cerámicos - Segunda actualización) [26].

III. RESULTADOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

a) Cálculo de Recurso

Se realizaron seis (6) apiques permitiendo realizar comparaciones entre superficies, horizontes o capas de un mismo terreno y perfiles geológicos; identificar cuatro (4) niveles arcillosos con espesores variables, en su techo arcilla (A4-C1) (T) Tierra y piso arcilla (A1-C3) (P) parda, destacando esta por ser el nivel arcilloso con mayor espesor (1.94 metros); y promediar espesores medidos (Tabla 1) (Figura 2).

Tabla 1: Cálculo de volumen de arcilla explotable.

NOMBRE	NIVEL	VOLUMEN ESPECIFICO
(A4-C1) ARCILLA (T) TIERRA	1	4.431,52 m ³
(A2-C1) ARCILLA (N) NEGRA	2	32.745,13 m ³
(A1-C2) ARCILLA (PC) PARDA CLASTOS	3	8.417,10 m ³
(A1-C3) ARCILLA (P) PARDA	4	82.854,43 m ³
VOLUMEN TOTAL		150.725,30 m³
AREA TOTAL		5.0064 hectáreas

Fuente: Elaboración propia.

En las labores o apiques realizados se identificaron principalmente cuatro (4) niveles arcillosos que se describen a continuación (figura 2):

- Un nivel constituido por material arcilloso, caracterizado por tener tonalidad marrón, moderadamente suelta y plástica, no presenta clastos de tamaño medible y no hay presencia de agua a este nivel.

- Un nivel conformado por material arcilloso, compacto, con una tonalidad gris oscuro, presenta una tonalidad negra con la presencia de agua. Altamente plástica en presencia de agua.

- Un nivel presenta material arcilloso, característico con tonalidades gris claro con manchas naranja, compacta, matriz soportada, presenta clastos de tamaño medible entre 2 – 3 mm de diámetro, plástica. No hay presencia de agua a este nivel.

- Un nivel consta de material arcilloso, compacto, característico con tonalidades gris claro con manchas naranja, plástica, no presenta clastos medibles, sin presencia de agua.

Cabe resaltar que se descartaron las arenas finas, arenas y gravas encontradas en los apiques 4 y 5, dado que estas no son de interés en esta investigación, pero si son utilizables como recurso y material explotable para su uso como desgrasante en la producción de productos cerámicos.

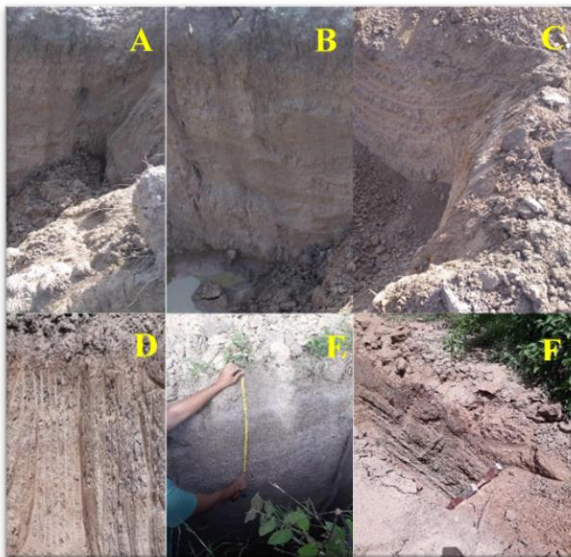


Figura 2: Apiques del área de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

b) Caracterización química

En la industria cerámica las arcillas que son consideradas para la fabricación de productos cerámicos deben tener un contenido de SiO₂ entre 50-60% y Al₂O₃ entre 20-30%. Dado a que de la cantidad de alúmina confiere resistencia mecánica y durabilidad a las piezas. En los resultados obtenidos se observa que las arcillas negras y pardas muestran composiciones químicas elementales similares en los compuestos SiO₂, Al₂O₃ y FeO₂, los cuales son predominantes, tanto que KO₂, MgO, CaO, Na₂O y TiO₂ no superan en conjunto el 10% de la arcilla parda y el 8% en la arcilla negra respectivamente, los resultados son expuestos en la Tabla 2.

La composición química de la muestra arcilla tierra A4-C1 por sí sola no es la más apropiada para fabricación de productos cerámicos, dada sus altas concentraciones de silice y bajas concentraciones de alúmina que sobrepasan el 70% y recaen en 16% respectivamente. Las concentraciones de alúmina en las tres muestras no supera el 30% de contenido elemental, por tal razón quedan descartadas como producto potencial para la fabricación de productos cerámicos semirefractarios.

Tabla 2: Análisis químico semicuantitativo de concentraciones elementales en arcillas.

Elemento y/o compuesto	CONTENIDO EN %		
	Arcilla parda A1-C3	Arcilla negra A2-C1	Arcilla tierra A4-C1
SiO ₂	58,67%	62,38%	70,25%
Al ₂ O ₃	22,04%	21,63%	16,10%
FeO ₂	8,91%	7,61%	4,85%
KO ₂	2,43%	2,50%	2,50%
MgO	2,38%	1,40%	0,87%
CaO	2,31%	1,70%	1,73%
Na ₂ O	1,28%	1,24%	0,97%
TiO ₂	1,15%	1,02%	2,01%
Pi ₂ O ₅	0,24%	0,13%	0,15%
MnO	0,19%	0,11%	0,13%
SO ₃	0,09%	0,08%	0,09%
Ba	900 ppm	500 ppm	900 ppm
Cl	500 ppm	300 ppm	800 ppm
Zr	500 ppm	300 ppm	800 ppm
Cr	400 ppm	200 ppm	400 ppm
Sr	300 ppm	200 ppm	300 ppm
V	200 ppm	100 ppm	100 ppm
Cu	100 ppm	96 ppm	97 ppm
Zn	100 ppm	81 ppm	90 ppm
Rb	97 ppm	80 ppm	62 ppm
Pb	66 ppm	50 ppm	61 ppm
Nb	19 ppm	20 ppm	33 ppm

Fuente: Elaboración propia.

La arcilla tierra A4-C1, dada sus concentraciones químicas, no es recomendable para la fabricación de productos cerámicos, se probará su utilización en mezclas de pastas cerámicas en menos concentraciones con las arcillas parda A1-C3 y arcilla negra A2-C1, evitándose así la pérdida de materia prima (Tabla 2).

c) Composiciones físicas de las muestras

I. Análisis granulométrico

La muestra #1 (A4-C1) arcilla (T) Tierra presento valores de 0.9% de grava, 15.2% de arena y 83.9% de limos y arcillas. La muestra #2 (A1-C3) arcilla (P) parda presento valores de 4.5% de gravas, 23.7% de arena y 71.8% de limos y arcilla, y la muestra #3 (A2-C1) arcilla (N) negra presento valores de 0.3% grava, 7.1% de arena y 92.6% de limos y arcilla. Con estos valores y de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (USCS) y AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials), estos suelos son arcillosos (Tabla 3).

Tabla 3: Valores de los resultados granulométricos de las muestras #1 (A4-C1) arcilla (t) tierra, #2 (A1-C3) arcilla (p) parda y #3 (A2-C1) arcilla (n) negra.

Muestra	Grava (%)	Arena (%)	Pasante - 200 (%)
#1 (A4-C1) arcilla (t) tierra	0.9	15.2	83.9
#2 (A1-C3) arcilla (p) parda	4.5	23.7	71.8
#3 (A2-C1) arcilla (n) negra	0.3	7.1	92.6

Fuente: Elaboración propia.

II. Límites de atterberg e índice de plasticidad

Siguiendo la norma INV E-125 e INV E-126 [21-22], los valores que se determinaron con este método fueron: el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, valores que se indican en la Tabla 4.

Tabla 4: Valores de los diferentes límites correspondiente a las

Muestra	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
#1 (A4-C1) Arcilla (T) Tierra	36.2	22.5	13.682
#2 (A1-C3) Arcilla (P) Parda	33.9	23.6	10.288
#3 (A2-C1) Arcilla (N) Negra	41.0	24.7	16.31

Fuente: Elaboración propia.

La muestra #1 (A4-C1) arcilla (T) Tierra presentó valores de límite líquido 36.2% y límite plástico 22.5%, obteniéndose un índice de plasticidad de 13.682. La muestra #2 (A1-C3) Arcilla (P) Parda presentó un límite líquido de 33.9% y límite plástico de 23.6%, para un índice de plasticidad de 10.288, y la muestra #3 (A2-C1) Arcilla (N) Negra presentó valores del límite líquido 41.0% y límite plástico de 24.7% obteniéndose un índice de plasticidad de 16.31. Con estos valores y de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (USCS), estas muestras se pueden clasificar como material tipo CH, es decir, arcillas de alta plasticidad y se encontrarían por encima de la línea A en la carta de plasticidad.

III. Resistencia mecánica a la compresión

Bajo lineamientos físicos, químicos y económicos, se seleccionaron las mejores muestras (específicamente en la totalidad de recursos disponibles a explotar), siendo elegidas un número de cinco (5) mezclas cerámicas, determinadas como:

- Mezcla No.1 = 100% Arcilla Negra.
- Mezcla No.2 = 100% Arcilla Parda.
- Mezcla No.3 = 50% Arcilla Negra y 50% Arcilla Parda.
- Mezcla No.4 = 30% Arcilla Negra y 70% Arcilla Parda.
- Mezcla No.5 = 70% Arcilla Negra y 30% Arcilla Parda.

Se le realizaron ensayos de resistencia mecánica a la compresión a cinco especímenes (5 especímenes) por cada mezcla (5 mezclas), para un total de 25 especímenes (Tabla 5).

Tabla 5: Resultados a la resistencia mecánica a la compresión.

Mezcla No.1 - 100% arcilla negra					
Especímenes	M1-1	M1-2	M1-3	M1-4	M1-5
Mpa (kgf/cm ²)	1.84	2.1	2.3	1.95	2.005
Promedio (5) unidades	2.039				
Mezcla No.2 - 100% arcilla parda					
Especímenes	M2-1	M2-2	M2-3	M2-4	M2-5
Mpa (kgf/cm ²)	1.41	1.94	1.53	1.89	1.97
Promedio (5) unidades	1.748				
Mezcla No.3 - 50% arcilla negra y 50% arcilla parda					
Especímenes	M3-1	M3-2	M3-3	M3-4	M3-5
Mpa (kgf/cm ²)	2.55	2.26	2.33	2.11	2.42
Promedio (5) unidades	2.334				
Mezcla No.4 - 30% arcilla negra y 70% arcilla parda					
Especímenes	M4-1	M4-2	M4-3	M4-4	M4-5
Mpa (kgf/cm ²)	1.52	1.88	1.77	1.65	1.97
Promedio (5) unidades	1.758				
Mezcla No.5 - 70% arcilla negra y 30% arcilla parda					
Especímenes	M5-1	M5-2	M5-3	M5-4	M5-5
Mpa (kgf/cm ²)	2.2	2.1	1.99	1.95	1.97
Promedio (5) unidades	2.042				

Fuente: Elaboración propia.

IV. Absorción de agua

La relación existente entre la absorción de agua y la resistencia mecánica a la compresión en los especímenes ladrillos tipo H-10 de seis (6) huecos [27]. Del mismo modo, la absorción de agua tiene una relación directa con la porosidad, propiedades mecánicas, densidad aparente y compactación del producto final cerámico [27]. Esta característica se considera como un parámetro importante, que refleja la calidad del producto, y por esta razón, fue uno de los ensayos elegidos para determinar la calidad de los productos finales obtenidos mediante las pastas cerámicas establecidas (Tabla 6) [28].

En la Figura 3 se presenta la relación existente entre la absorción de agua y la resistencia mecánica a la compresión. Se observa que, en la medida que la absorción de agua aumenta, inevitablemente la resistencia mecánica a la compresión disminuye, ambos factores son inversamente proporcionales, debido a características ceñidas a la propiedad física como lo es la porosidad, a mayor porosidad se obtuvo una insuficiente compactación de la pasta cerámica durante el proceso de sinterización y tensiones internas que conllevan así a productos más frágiles (Tabla 7).

Tabla 6: Resultados de absorción de agua.

Mezcla No.1 - 100% arcilla negra					
Especímenes	M1-1	M1-2	M1-3	M1-4	M1-5
Ws (g)	5.000	5.000	4.990	4.998	5.002
Wsss (g)	5.500	5.500	5.490	5.498	5.502
Promedio específico unidades	10%	10%	10.02%	10%	9.99%
Promedio (5) unidades	10.02%				
Mezcla No.2 - 100% arcilla parda					
Especímenes	M2-1	M2-2	M2-3	M2-4	M2-5
Ws (g)	5.044	5.010	4.988	4.977	5.100
Wsss (g)	5.694	5.645	5.577	5.607	5.670
Promedio específico unidades	12.88%	12.67%	11.80%	12.65%	11.17%
Promedio (5) unidades	12.23%				
Mezcla No.3 - 50% arcilla negra y 50% arcilla parda					
Especímenes	M4-1	M4-2	M4-3	M4-4	M4-5
Ws (g)	5.034	5.067	4.996	4.968	5.056
Wsss (g)	5.534	5.567	5.492	5.464	5.558
Promedio específico unidades	10%	10%	9.92%	9.98%	9.92%
Promedio (5) unidades	9.964%				
Mezcla No.4 - 30% arcilla negra y 70% arcilla parda.					
Especímenes	M3-1	M3-2	M3-3	M3-4	M3-5
Ws (g)	4.995	5.002	5.040	5.003	5.056
Wsss (g)	5.615	5.635	5.610	5.573	5.666
Promedio específico unidades	12.41%	11.39%	11.30%	11.39%	12.06%
Promedio (5) unidades	11.71%				

Mezcla No.5 - 70% arcilla negra y 30% arcilla parda.					
Especímenes	M5-1	M5-2	M5-3	M5-4	M5 - 5
Ws (g)	5.045	5.023	4.988	4.978	5.056
Wsss (g)	5.541	5.519	5.476	5.473	5.554
Promedio específico unidades	9.98%	9.87%	9.78%	9.94 %	9.84%
Promedio (5) unidades	9.882%				
Actuales lotes de producción.					
Especímenes	M0 - 1	M0 - 2	M0 - 3	M0 - 4	M0 - 5
Ws (g)	5.067	5.088	4.966	4.977	5.078
Wsss (g)	5.627	5.676	5.576	5.565	5.701
Promedio específico unidades	11.05%	11.55%	12.2%	11.8%	12.2%
Promedio (5) unidades	11.76%				

Fuente: Elaboración propia.

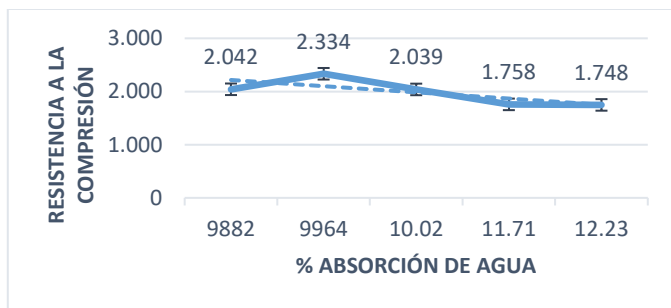


Figura 3: Ladrillo tipo H -10 / Resistencia a la compresión vs absorción de agua.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Ladrillo tipo H -10/ Resistencia a la compresión vs Absorción de agua.

Especímenes	M1	M2	M3	M4	M5	Lote actual
Promedio mpa (kgf/cm ²)	2.039	1.748	2.334	1.758	2.042	1.888
Promedio % absorción de agua	10.02	12.23	9.964	11.71	9.882	11.76

Fuente: Elaboración propia.

IV. CONCLUSIONES

La composición química de la arcilla (A2-C1) (N) negra, es la más apropiada para la fabricación de productos cerámicos, tiene un reservas de 32.745,13 m³, por lo que está por sí sola no puede ser parte de un 100% en la preparación de las pastas cerámicas; sin embargo, los tres (3) niveles arcillosos poseen atributos específicos que pueden ser utilizados como recurso y materia prima, exceptuando la arcilla (A4-C1) (T) tierra, debido a sus altas concentraciones de sílice y bajas concentraciones de alúmina que sobrepasan el 70% y recaen en 16% respectivamente.

Las concentraciones de alúmina en las tres muestras no supera el 30% de contenido elemental, por tal razón quedan automáticamente descartadas como producto potencial para la fabricación de productos cerámicos semirefractarios.

La mezcla cerámica M3 (50% Arcilla Negra y 50% Arcilla Parda), es la más apropiada para implementar una nueva pasta cerámica para

la fabricación de productos cerámicos en la empresa Ladrillera Valledupar S.A.S., debido a que cumplen con los lineamientos de la NTC 4017 / 2018 (métodos para muestreo y ensayos de unidades de Mampostería y otros productos cerámicos - segunda actualización) y NTC 4205-2 / 2009 (unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques Cerámicos. Parte 2: mampostería no estructural).

V. REFERENCIAS

- [1] F. Álvarez-Blanco. "Lección 3. Propiedades de las arcillas.," Universidad de Oviedo, 2005. [En Línea]. Disponible en: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion3.PropiedadesArcillas.pdf.
- [2] C. Hernando, H. Sandoval, J. Carolina, G. Cristancho, Ó. Eduardo y P. Naranjo, "Caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio," Rev. Fac. Ing. UPTC., vol. 21, no. 32, pp. 21–40, 2012.
- [3] L. Duitama, C. Espitia y J. Mojica. "Composición mineralógica y química de las arcillas empleadas para cerámica roja en las zonas de Medellín" Rev. Acad. Colomb., no. 34, pp. 555–564, 2004.
- [4] R.G. León y R.B. León, "Caracterización hidrométrica de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos cerámicos en Ocaña, Norte de Santander," INGE CUC, vol. 13, no. 1 SE-Artículos, Jan. 2017.
- [5] N. Afanador, A.C. Ibarra y C.A. López, "Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander," Épsilon, n° 20, 2013.
- [6] E. Sepúlveda y J. Medina, "Caracterización de arcillas para la elaboración de ladrillos en el municipio de Tunja-Boyacá" L'esprit Ingénieur, Vol.9 no. 1, 2018.
- [7] R.A. García, E. Flóres y C. Acevedo, "caracterización térmica de mezclas de arcillas utilizadas en la fabricación de productos de mampostería para la construcción", Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol. 1, No. 31, 2018.
- [8] M.C. Martínez et al., "Caracterización de arcilla en las minas de Pomoca," Rev. Cuba. Química, vol. XX, no. 2, pp. 67–74, 2008.
- [9] J. Sánchez, "Estrategias para la competitividad del clúster de la cerámica del Área Metropolitana de Cúcuta", Trabajo de grado Maestría en Gerencia de Empresas, Mención Industria.
- [10] R.A. García-León, E. Flóres-Solano, M.M. Rodríguez-Castilla, "diseño de mezclas para la fabricación de productos de mampostería en la industria cerámica", Revista Politécnica, Año 14, vol. 14, no. 26, pp. 19-28, 2018. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v14n26a2>
- [11] A. Barba., V. Beltrán., C. Feliu., J. Gracia., F. Gines., E. Sánchez Y V. Sanz. Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas. Instituto de Tecnología Cerámica, Castellón, España, 1997.
- [12] J.D.S. Amado, P.Y.M. Villafrades y E.M.C. Tuta, "Characterization of clays and preparation of ceramic pastes for the manufacture of roofing tiles and bricks in the region of Barichara, Santander," DYNA, vol. 78, no. 167, pp. 50–58, 2011.
- [13] R.A. Muñoz-Meneses, J.A. Muñoz-Chaves, P. Mancilla y J.E. Rodríguez-Páez, "Caracterización fisicoquímica de arcillas del municipio de Guapi--Costa Pacífica Caucana (Colombia)," Rev. la Acad. Colomb. Ciencias Exactas, Fis. y Nat., vol. 31, no. 121, p. 537-544, May 2007.
- [14] J. Carriazo, R. Molina y S. Moreno. "caracterización de dos arcillas colombianas por difracción de rayos X y su relación con aspectos de origen y transformación", Boletín de Geología Vol. 26, No. 43, julio-diciembre de 2004. M. P. Moreno Quintero, Y. A. Pabón Acevedo, L. Cely Illera, and J. Cely Niño, "Influencia

- de la molienda húmeda en el comportamiento estructural y mecánico de productos cerámicos conformados por extrusión de una arcilla del Zulia (Norte de Santander, Colombia),” *Boletín la Soc. Española Cerámica y Vidr.*, vol. 58, no. 5, pp. 190–198, 2019.
- [15] I. Bernal, H. Cabezas, C. Espitia, J. Mojica y J. Quintero, “análisis próximo de arcillas para cerámica”, *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 27 (105): 569-578, 2003.
- [16] D.C. Alvarez-Rozo, J. Sánchez-Molina, F.A. Corpas-Iglesias y J.F. Gelves, “Características de las materias primas usadas por las empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta (Colombia),” *Boletín la Soc. Española Cerámica y Vidr.*, vol. 57, no. 6, pp. 247–256, 2018.
- [17] M. Ospina-García, S. Chaves-Pabón, L. Moreno-Anselmi, L. Patarroyo-Ariasy M. Pérez-Castro, “Analysis of Physical and Mechanical Properties of Mud Brick Enhanced with Asphalt Recycling”, *INGECUC*, vol. 16, no. 2, 2020.DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.16.2.2020.06>
- [18] H. Gutiérrez-Pulido y R. De-La-Vara-Salazar, *Análisis y diseño de experimentos.*, McGraw-Hil., vol. 1. Mexico, 2015.
- [19] M. Coronado, A.M. Segadães y A. Andrés, “Combining mixture design of experiments with phase diagrams in the evaluation of structural ceramics containing foundry by-products,” *Appl. Clay Sci.*, vol. 101, pp. 390–400, Nov. 2014.
- [20] J. Sánchez-Molina, J.A. Orozco-Cacique y L. Peñaloza-Isidro, “Evaluación de mezclas de arcillas para la fabricación de ladrillos refractarios que sirvan para la reconversión tecnológica de los hornos utilizados en Norte de Santander.” *Rev. Investig. - Univ. del Quindío*, vol. 26, no. 1, pp. 57–64, 2014.
- [21] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), “Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras”, Sección 100, p.798. Bogotá D.C, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-ynormas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>. [Accedido: 07-mayo-2020]
- [22] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), “Determinación del límite líquido de los suelos I.N.V. E – 125 – 07”, (s.f.). [En línea]. Disponible en: [file:///D:/MIS%20DOCUMENTOS/Downloads/Norma%20INV%20E-125-07%20\(1\).pdf](file:///D:/MIS%20DOCUMENTOS/Downloads/Norma%20INV%20E-125-07%20(1).pdf). [Accedido: 07-mayo-2020]
- [23] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), “Límite plástico e índice de plasticidad de suelos I.N.V. E – 126 – 07”, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <file:///D:/MIS%20DOCUMENTOS/Downloads/Norma%20INV%20E-126-07.pdf>. [Accedido: 07-mayo-2020]
- [24] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), “Análisis granulométrico de suelos por tamizado I.N.V. E - 123” (s.f.). [En línea]. Disponible en: <file:///D:/MIS%20DOCUMENTOS/Downloads/889-e-123.pdf> [Accedido: 07-mayo-2020]
- [25] ICONTEC, “NTC 4205, Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 2: Mampostería no estructural”. Bogotá D. C.: ICONTEC internacional, 2009.
- [26] ICONTEC, “NTC 4017 - Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla”. Bogotá D.C.: ICONTEC internacional, 2018 - segunda actualización.
- [27] S. Rozo, J. Sánchez y D. Alvarez, “Propiedades físico mecánicas de bloques H10 fabricados en el área metropolitana de Cúcuta,” *Cienc. e Ing. Neogranadina*, vol. 24, no. 1, pp. 67–78, 2014.
- [28] I. Díaz-García, “Estandarización de tejas y bloques del sector cerámico en Norte de Santander,” Cúcuta, Colomb. Conv. Univ. Fr. Paula Santander, Cámara Comer. Cúcuta e Induarcilla, 2012.