

Gráficos triangulares del comportamiento físico de arcillas utilizadas en la fabricación de productos de mampostería en Colombia

Triangular graphics of the physical behavior of clays used in the manufacture of masonry products in Colombia

MSc. Ricardo Andrés García-León¹, Ing. María Teresa Crespo-Guerra², MSc. Mario Grave-Capistran¹, & MSc. Adán Ruiz-Rios¹

¹ Instituto Politécnico Nacional. SEPI-ESIME, Zacatenco. Ciudad de México, México, <https://orcid.org/0000-0002-2734-1425>, <https://orcid.org/0000-0003-0911-4963>, <https://orcid.org/0000-0001-7935-3850>, Email: raqarcial@gmail.com, mariograveca@gmail.com, adan.ruiz.rios@gmail.com

² Universidad del área andina. Valledupar, Colombia, <https://orcid.org/0000-0002-5334-8903>, Email: mariate1896@gmail.com

Como citar: R. A. García, M. T. Crespo, M. Grave Y A. Ruiz, "Gráficos triangulares del comportamiento físico de arcillas utilizadas en la fabricación de productos de mampostería en Colombia", *Revista Ingenio*, vol. 16, n°1, pp. 50-55, 2019, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642x.2353>.

Fecha de recibido: 04 de julio de 2018
Fecha aprobación: 25 de octubre de 2018

RESUMEN:

Palabras claves:

Arcillas, Cerámica,
Ladrillos, Materia Prima,
Optimización.

En la presente investigación se llevó a cabo la construcción de gráficos triangulares de la prima utilizada en dos empresas dedicadas a la fabricación de ladrillos macizos en la región del Cesar y norte de Santander, Colombia. Inicialmente, se realizó el ensayo de granulometría a diferentes muestras de arcilla con los cuales se determinaron los porcentajes de arenas, limos y arcillas. Estos porcentajes fueron ubicados en el diagrama de Winkler para identificar los tipos de arcillas existentes según su textura y tipos de productos que se pueden fabricar. Los resultados de los gráficos triangulares muestran la influencia del comportamiento del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, con lo que se pudo predecir su comportamiento en extrusión. Con esta investigación se espera que las empresas puedan implementar estrategias y mejoras sobre la calidad de la materia prima que permita productos con óptimas propiedades mecánicas, con lo que evidentemente se mejoraran los recursos ambientales y económicos de las empresas.

ABSTRACT:

Keywords:

Clays, Ceramics, Bricks,
Raw Material,
Optimization.

In the present investigation, the ternary graphics of the raw material used in two companies dedicated to the manufacture of solid bricks in the Cesar and Norte Santander regions, Colombia, were carried out. Initially, the granulometry test was developed on different clay samples with which the percentages of sands, salts, and clays were determined. These percentages were plotted in the Winkler diagram to identify the types of clays that exist according to their texture and the types of products that can be manufactured. The results of the ternary graphs show the influence of the behavior of the liquid limit, plastic limit, and plasticity index, with which it was possible to predict its behavior in extrusion. With this research, it is expected that companies can implement strategies and improvements on the quality of the raw material that allow products with optimal mechanical properties, thereby evidently improving the environmental and economic resources of the companies.

1. Introducción

El proceso cerámico se compone principalmente de tres fases, que son; preparación de la pasta cerámica, moldeo y cocción del producto. En la primera fase del proceso la preparación, se modifica la composición y la plasticidad adicionando otras arcillas, con la finalidad de obtener una pasta cerámica homogénea, luego se moldea según la forma deseada a presión o extrusión. Una vez se ha obtenido el producto moldeado, se procede al secado, controlando la velocidad de evaporación de agua con el fin de evitar defectos en la pieza. Posteriormente, el producto se sinteriza; es decir, se somete al proceso de cocción con el fin disminuir la porosidad, aumentar la densidad y la resistencia mecánica [1-2-3].

De acuerdo a su capacidad de producción y desarrollo tecnológico las industrias ladrilleras se han clasificado en chircales, ladrilleras pequeñas, medianas y grandes [4]. Las mezclas de arcilla para la fabricación de ladrillos son de 60% de arcilla arenosa y 40% de arcilla plástica, a esta composición se le atribuye la mala calidad de los productos en términos de fisuras, mala cocción, falta de uniformidad en el color, entre otros factores que afectan el producto terminado. Estos defectos están asociados a los tamaños de las partículas de arenas y a la composición mineralógica de la materia prima [5-6-7].

La estadística es una herramienta comúnmente usada en este tipo de investigaciones a nivel

experimental; en Camboya, dos depósitos de arcilla fueron utilizados para el desarrollo de formulaciones de azulejos (Bloques) por medio del diseño estadístico de experimentos de mezclas y la adecuación de los modelos fueron confirmadas en laboratorio mediante análisis experimentales [8-9].

En la actualidad no se ha evaluado el comportamiento de las arcillas con diagramas triangulares, por lo que en la presente investigación se llevó a cabo la obtención de gráficos triangulares para analizar el comportamiento del límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP) sobre la influencia de las variables arena (A), limo (L) y arcilla (a). Lo anterior, con la finalidad de brindar una visualización global del comportamiento de las arcillas de diferentes regiones de acuerdo a su composición granulométrica y de esta manera predecir su comportamiento en extrusión.

2. Materiales y métodos

La investigación con profundidad descriptiva fue utilizada en el desarrollo del proyecto, la cual determina las variables más importantes que intervienen en la selección de la materia prima para la fabricación de productos de mampostería para la construcción (ladrillos macizos). La identificación de los efectos de las variables estudiadas, tuvo en cuenta un diseño experimental teniendo en cuenta la composición hidrométrica de las arcillas (Arenas – Limos – Arcillas).

Durante los trabajos de campo, se realizó un muestreo tipo canal para clasificar las arcillas de la cantera, con un tipo de investigación de tipo experimental; teniendo en cuenta que la recolección de las muestras de arcilla se realizó directamente en las minas de las dos ladrilleras mediante observación directa. Se realizaron ensayos de laboratorio con el fin de determinar las variables que fueron objeto de estudio, para identificar los porcentajes de arena, limo y arcilla [10]. Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó el procedimiento mostrado en la Figura 1:

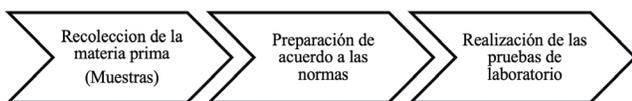


Figura 1. Metodología utilizada.

2.1 Caracterización física

El análisis físico se realizó teniendo en cuenta el procedimiento de la norma NTC 4630 y la INV.E – 125 y 126 [11-12-13]. Para el cálculo de los porcentajes de arenas, limos y arcillas, se llevó a cabo el análisis de retenido sobre tamiz e hidrometría, los cuales cuantifican la composición de la muestra según los

valores obtenidos, teniendo en cuenta que las partículas con diámetro entre 100 μm y 0.08 mm corresponden a gravas y arena, valores entre 0.08 mm y 0.005 mm correspondientes a limo y las partículas con diámetro entre 0.005 mm hasta 0 mm correspondientes a arcilla. Por otra parte, el cálculo del índice de plasticidad es necesario calcular el límite líquido y el límite plástico de las muestras (límites de consistencia o de Atterberg), el cual corresponde a la diferencia entre estos dos valores. Cuando el valor es igual a cero (0) o menor, se considera que el suelo es no plástico y, por lo tanto, difícil de extruir. Para actividades de construcción la condición ideal es un límite plástico (LP) elevado y un límite líquido (LL) bajo.

2.2 Gráficos triangulares

Estos gráficos triangulares, ternarios o tri-lineales se utilizan, para examinar las relaciones entre tres o más variables, las cuales representan componentes de una mezcla (es decir, las relaciones entre ellas están limitadas de tal manera que los valores de las tres variables se suman a la misma constante para cada caso). Una aplicación típica de este gráfico, es cuando la respuesta medida de un experimento depende de las proporciones relativas de tres componentes (arena, limo y arcilla) que se varían para determinar una combinación óptima de esos componentes y de esta forma controlar el proceso de producción. En las gráficas ternarias, los sistemas de coordenadas triangulares se usan para graficar tres variables y obtener una superficie de respuesta haciendo uso de un modelo estadístico predeterminado. Los gráficos fueron obtenidos haciendo uso del software estadístico Statistica con licencia educativa. Para generar este tipo de gráficos, las proporciones relativas de cada componente (dentro de cada caso) están obligadas a sumar el mismo valor. Cuando se produce el gráfico, las proporciones se vuelven a escalar para que sumen 1 o 100% en cada caso.

3. Resultados y discusiones

3.1. Granulometría.

El primer paso para determinar las variables que hacen parte de la composición de la pasta de cerámica, se llevó a cabo el análisis de granulometría por tamizado e hidrometría para encontrar los porcentajes de arena, limo y arcilla, de 7 y 8 muestras que son las utilizadas por las dos empresas de Ocaña y Valledupar respectivamente.

Los datos obtenidos fueron graficados en el diagrama de Winkler con la ayuda del software TripLop como se muestra en la Figura 2, en donde se ubicaron los puntos y logar visualizar el comportamiento de los porcentajes de arenas, limos y arcillas; además de comprobar si

son aptas para la producción actual que realizan las empresas seleccionadas [10-14-17], mostrando los tipos de productos que se pueden fabricar de acuerdo a la region; estos puntos estan identificados como (●) para la empresa de ocaña y (▲) para la empresa de valledupar.

Por otra parte, se puede identificar que para las muestras de Ocaña, solo 2 no cumplen para ser utilizadas como materia prima. Caso contrario se evidencia en las muestras de Valledupar que la mayoría se encuentra en la zona 2 y con buenas características para la fabricación de bloques perforados. La Figura 3 muestra las texturas de la arcilla, siendo en su mayoría suelos Franco-Areno-Arcillosos [15-18-19], teniendo en cuenta los resultados de granulometría.

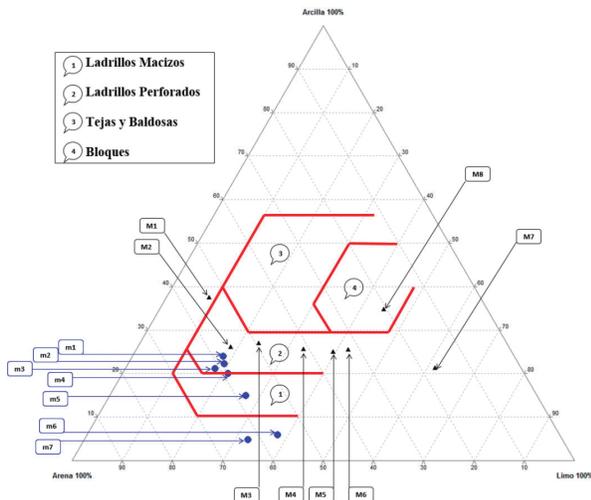


Figura 2. Diagrama de Winkler para el tipo de producto. Fuente: [16]

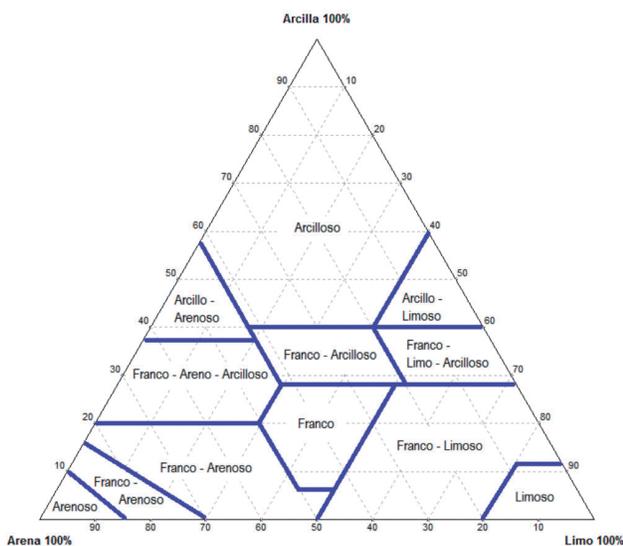


Figura 3. Diagrama de Winkler para tipos de textura. Fuente: [16]

3.2. Gráficos triangulares

Teniendo en cuenta los resultados de la Figura 2, se llevaron a cabo los gráficos triangulares, tomando como variables los porcentajes de arena (A), limo (L) y arcilla (a), y como superficie de respuesta el límite líquido (LL) (Figura 4), límite plástico (LP) (Figura 5) e índice de plasticidad (IP) (Figura 6).

La Figura 4a y Figura 4b muestran el comportamiento de la materia prima sobre el limite liquido (LL) para las dos empresas, se puede observar que se tiene una tendencia diferente debido a los porcentajes de arenas, limos y arcillas, mostrando una tendencia diferente en la influencia sobre el LL, dado a que para las muestras de Ocaña son altamente arenosas, para las muestras de Valledupar se presenta con una tendencia ser muestras arcillosas.

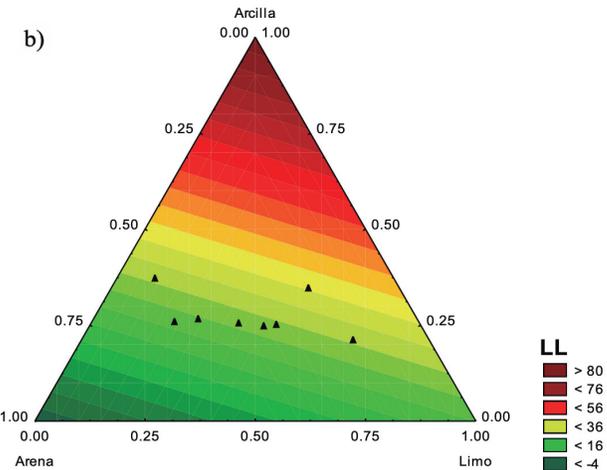
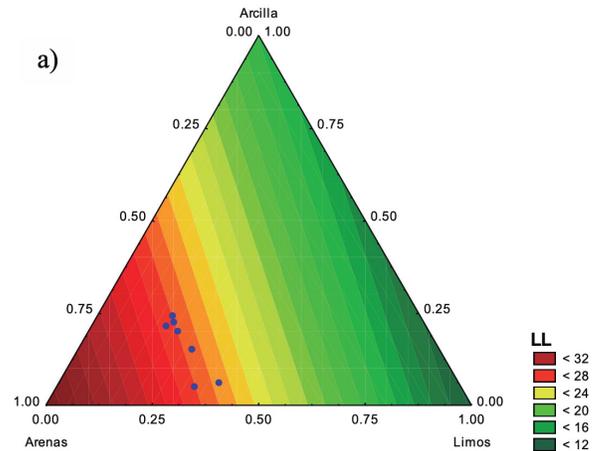


Figura 4. Grafico triangular para el LL. a) Empresa Ocaña, y b) Empresa Valledupar.

La Figura 5a y Figura 5b muestran el comportamiento de la materia prima sobre el limite liquido (LP) para las dos empresas. En este caso, se presenta que ambas muestras tienen una tendencia a estar influenciadas por los porcentajes de arcilla. Para la muestra de Ocaña, se observa que está influenciada por tanto de los porcentajes de arcilla y limo; mientras que para la empresa de Valledupar la influencia es solo por la arcilla.

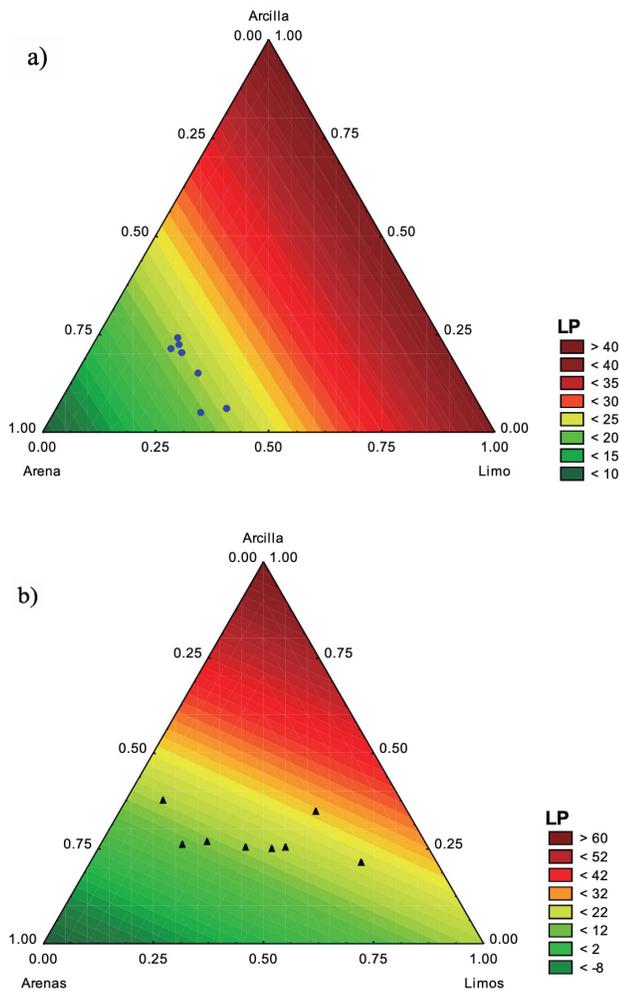


Figura 5. Grafico triangular para el LP. a) Empresa Ocaña, y b) Empresa Valledupar.

El comportamiento del índice de plasticidad (IP) se muestra en la Figura 6a y Figura 6b para la materia de las dos empresas. Para este caso se observa que la baja calidad de la materia prima de Ocaña está influenciada por los porcentajes de arenas y dado a esto la presentación de problemas en secado y cocción como fisuras y agrietamientos. Por otro lado, para la empresa de Valledupar este comportamiento no es tan influenciado por la arena, pero si por la arcilla,

brindando de esta forma un mejor comportamiento en extrusión al ser más plástica.

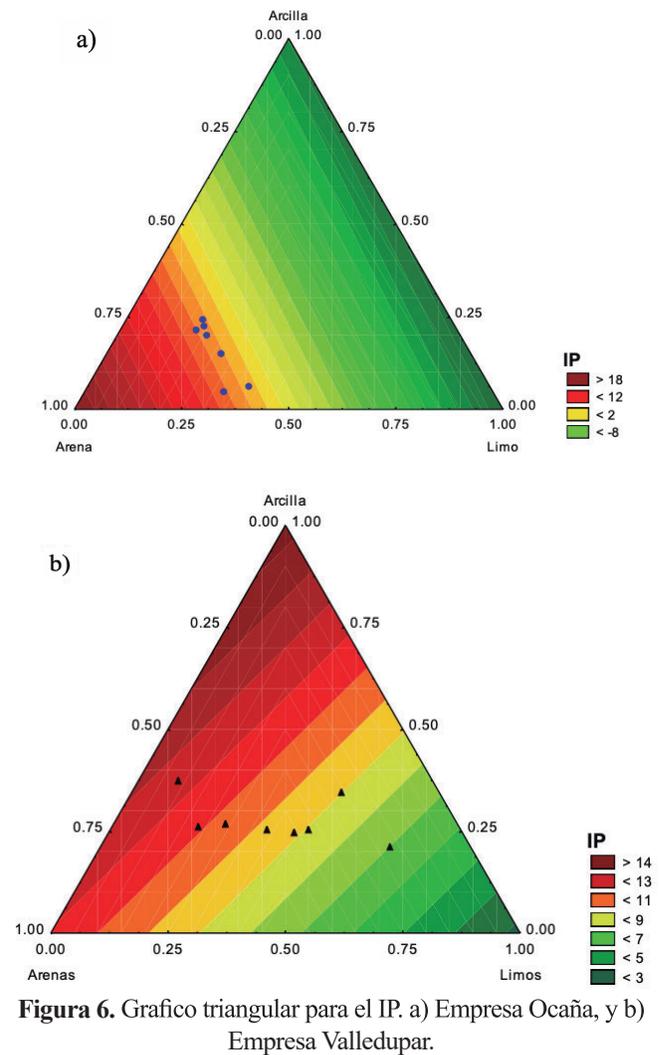


Figura 6. Grafico triangular para el IP. a) Empresa Ocaña, y b) Empresa Valledupar.

El comportamiento de cada una de las figuras anteriores, está regido por cada una de las siguientes ecuaciones como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones del comportamiento de los gráficos triangulares.

Variable	Empresa	Ecuación
LL	Ocaña	$R=(35.7886 \times A)+(11.7642 \times L)+(16.943 \times a)$
	Valledupar	$R=(6.9232 \times A)+(20.1015 \times L)+(83.2547 \times a)$
LP	Ocaña	$R=(9.2494 \times A)+(39.5864 \times L)+(41.0864 \times a)$
	Valledupar	$R=(-18.8343 \times A)+(17.3791 \times L)+(67.815 \times a)$
IP	Ocaña	$R=(26.5393 \times A)-(27.8222 \times L)+(24.1435 \times a)$
	Valledupar	$R=(11.9111 \times A)+(2.7224 \times L)+(15.4397 \times a)$

Finalmente, se llevó a cabo el cálculo del comportamiento en extrusión de las muestras, de lo que se obtuvo la Figura 7. Mostrando que las arcillas son altamente arenosas para la empresa de Ocaña, lo que dificulta el proceso de extrusión, caso contrario para la empresa de Valledupar, se observa que las arcillas presentan una tendencia a ser bastante arcillosas por lo que su comportamiento en extrusión es aceptable.

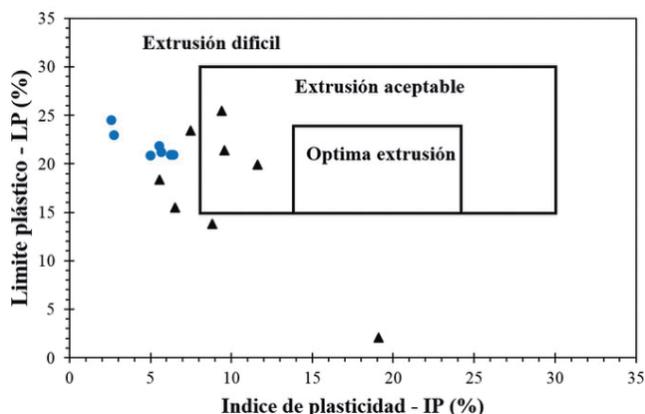


Figura 7. Diagrama de Winkler para tipos de textura.
Fuente: [16]

La calidad del producto final puede ser evaluada teniendo en cuenta los estándares colombianos de calidad como la norma NTC 4017 y NTC 4205, con la finalidad de obtener productos que cumplan con las condiciones de seguridad en su aplicación de mampostería en la construcción.

4. Conclusiones

Se logró evidenciar que la arcilla presenta una gran influencia sobre el comportamiento plástico para la fabricación de productos de mampostería para la construcción, y por lo tanto en su comportamiento en las etapas del proceso productivo, lo que mejora de las propiedades mecánicas del producto final.

Los resultados de los ensayos de granulometría indican que la mayoría de las muestras poseen un índice de 45% de arena fina; el cual es de gran importancia para la fabricación de las pastas cerámicas, debido a que permite clasificar las muestras como materiales de baja compactación, baja plasticidad, que no deben usarse solos como una pasta de producción por que tendrán baja resistencia en seco y en cocido, como también alta absorción de agua. Asimismo, la arena es necesaria para la extrusión de productos de mampostería para la construcción, debido a que ayuda a disminuir el tiempo de secado y evita la formación de grietas en las piezas.

Es importante controlar los porcentajes de arena, lo cual indica que las arcillas necesitan mayor temperatura para poder cerrar los poros en la cocción, por lo cual, a bajas temperaturas de cocción darán altas absorciones de agua y bajas resistencia en cocido. Como también pulverizar estas partículas a tamaños inferiores a 1 milímetro.

5. Referencias

- [1] R. A. Muñoz, J. A. Muñoz, P. Mancilla, and J. E. Rodríguez, "Caracterización fisicoquímica de arcillas del municipio de Guapi- costa pacífica caucana (Colombiana)," *Química*, vol. 31, pp. 537–544, 2007.
- [2] R. A. García-León and E. Flórez Solano, "Determinación de la ventana del proceso productivo en la fabricación de bloques H-10 en Ocaña Norte de Santander y la región," *Ingenio UFPSO*, vol. 9, no. 2011–642X, pp. 35–43, 2016.
- [3] R. A. García-León, R. Bolívar, and E. Flórez, "Validación de las propiedades físico-mecánicas de Bloques H-10 fabricados en Ocaña Norte de Santander y la región," *Ingenio UFPSO*, vol. 10, no. 2011–642X, pp. 17–26, 2016.
- [4] R. A. García-León, E. Flórez-Solano, and Y. Medina-Cárdenas, "Caracterización física de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos de mampostería para la construcción en Ocaña Norte de Santander," *Espacios*, vol. 39, no. 53, pp. 1–6, 2018.
- [5] H. Gutiérrez Pulido and R. De La Vara Salazar, *Análisis y diseño de experimentos.*, McGraw-Hil., vol. 1. Mexico, 2015.
- [6] M. Coronado, A. M. Segadães, and 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.
- [7] J. Sánchez, J. A. Orozco, and L. Peñaloza, "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.
- [8] B. K. Ngun, H. Mohamad, K. Katsumata, K. Okada, and Z. A. Ahmad, "Using design of mixture experiments to optimize triaxial ceramic tile compositions incorporating Cambodian clays," *Appl. Clay Sci.*, vol. 87, pp. 97–107, Jan. 2014.
- [9] R. A. García-León, E. Flórez-Solano, and M. M. Rodríguez-Castilla, "Diseño de mezclas para la fabricación de productos de mampostería en la industria cerámica," *Rev. Politécnica*, vol. 14, no.

- 26, pp. 19–28, 2018.
- [10] R. A. García-León and R. Bolívar, “Caracterización Hidrométrica de las Arcillas Utilizadas en la Fabricación de Productos Cerámicos en Ocaña , Norte de Santander,” INGE CUC, vol. 13, no. 1, pp. 53–60, 2017.
- [11] ICONTEC, “NTC-4630. Metodo de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos.,” Norma Técnica Colomb., pp. 1–10, 1999.
- [12] INV.E-125, “Determinación del límite líquido de los suelos,” Normas Invias, vol. 1999, pp. 1–13.
- [13] INV.E-126, “Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos,” Normas Invias, pp. 1–7, 1999.
- [14] J. García, H. Medina, and D. Núñez, “El método del hidrómetro: influencia de los tiempos de lecturas en el cálculo de la distribución del tamaño de partículas en suelos de la Habana,” *Cultiv. Trop.*, vol. 29, no. 2, pp. 21–26, 2008.
- [15] J. S. S. Román, “Diagramas triangulares,” Dpto. Geología. Universidad de Salamanca. España, Salamanca., pp. 1–2, 2014.
- [16] L. Mintec Ceramic, “Resultados Caracterización Tecnológica de Materias Primas Honduras y Desarrollo de Nuevas Alternativas de Pastas de Producción,” 2015. [Online]. Available: <http://mintecceramic.com/mintecceramic/>.
- [17] G. Guerrero-Gómez, E. Espinel-Blanco, & T. Velásquez-Pérez, “Análisis isocinético y corrección a condiciones de referencia en horno a cielo abierto en el municipio de Ocaña, Norte de Santander”, *Revista Ingenio*, vol. 14(1), pp. 43–51, jul. 2017. Doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2194>
- [18] A. A. Rosado-Gómez, “Consolidación de indicadores institucionales utilizando bodega de datos”, *Revista Ingenio*, vol. 11(1), pp. 53–63, dic. 2016. Doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2094>
- [19] R. A. García-León, Alvaro Avendaño-Quintero, & S. A. Suarez-Castrillón, “Diseño de un prototipo de sembrador mecánica de granos, alternativa agrícola”, *Revista Ingenio*, vol. 12(1), pp. 33–40, ene. 2017. Doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2122>