



7th INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION Academic

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

Uso del Material de Residuo de la Fabricación de Ladrillo Cerámico como Alternativa para el Mejoramiento de Suelos Arcillosos de Alta Plasticidad

GALLARDO, R. J. ^a, MARTINEZ, C. A. ^{a*}, MUÑOZ, A. A. ^a

a. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

**Corresponding author, ciroandrey@gmail.com*

Resumen

A 2017 Colombia producía un estimado de 350.000 Toneladas de ladrillos al mes, el proceso de fabricación de este producto, además de generar grandes cantidades de contaminación, tiene cierto porcentaje de desperdicio, que varía con respecto al nivel de tecnificación de la empresa ladrillera, este residuo en general constituye un pasivo ambiental y el objetivo de este trabajo fue estudiar la implementación del residuo triturado de la fabricación de ladrillo, como agente estabilizador de suelos arcillosos de alta plasticidad. Se estudiaron las propiedades físicas y mecánicas del material del residuo al ser incluido a la masa de suelo en proporciones de 5%, 10% y 15% en peso, los resultados indicaron un incremento considerable de la resistencia del suelo, expresada en el valor del CBR que paso de un 6,7% en estado natural a un 12,7% para la mezcla del 15%, y una reducción del índice de plasticidad de 23,18% con respecto a la condición natural. Estos valores indican que el uso del material de residuo para la estabilización de suelo con problemas asociados a la alta plasticidad, constituyen una alternativa viable y ambientalmente amigable.

Palabras llave: Residuo, Material alternativo, Plasticidad, Estabilización, Ladrillo cerámico.

1. Introducción

En la transición hacia una sociedad ambientalmente amigable, se han aumentado esfuerzos en el campo de la ingeniería sostenible, se crean políticas y gestiones que apuntan hacia el desarrollo de producciones limpias, en esta medida, vemos una creciente preocupación por parte de organizaciones y empresas en el uso eficiente de los recursos naturales y la disminución del impacto ambiental. Se plantean nuevas alternativas con técnicas de gestión enfocadas a la minimización de residuos, hasta niveles económica y técnicamente factibles (Cardona, 2006).

Colombia produce un estimado de 350.000 Toneladas de ladrillos al mes (Rincón et al. 2017), de la fabricación de este producto se deriva una gran cantidad de agentes contaminantes, incluidos una gran cantidad de desperdicios. En el caso particular de la Ladrillera Ocaña, se producen alrededor de 21 mil ladrillos diarios, con un 3% de desperdicio, es decir un aproximado de 3 Toneladas diarias, Que se acopian en pilas dentro de las instalaciones, y al estar sometidas a procesos hidrometeorológicos, se genera un pasivo ambiental, con potencial contaminante de las fuentes hídricas cercanas. Es notorio como la industria ladrillera genera impactos ambientales considerables, con agentes contaminantes que afectan comunidades cercanas, y la dispersión de estos agentes esta principalmente determinado

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

Barranquilla - Colombia - June 21st and 22nd - 2018

por características topográficas y meteorológicas de la región (Hernández, 2010).

Con el fin de disponer del material de residuo, se plantea su uso como una alternativa a una problemática común en los suelos de la región, es específico en la vía que comunica al corregimiento de Pueblo Nuevo de Ocaña Norte de Santander, que en época de lluvia es imposible la transitabilidad, este problema está asociado al alto contenido de finos en la estructura del suelo y la alta plasticidad, que pueden causar daños a las estructuras por su potencial para reaccionar a cambios en el contenido de humedad (Phanikumar et al. 2013), y su potencial expansivo (Seco et al. 2011). Por lo cual es necesario realizar una estabilización que puede ser de tipo físico, químico o mecánico, la cual se busca que sea de bajo costo y fácil aplicación.

La estabilización consiste en el proceso de combinar y mezclar el suelo, con algunos materiales, con el fin de mejorar algunas propiedades, como la estructura y la plasticidad (Makusa, 2012) (Guver, 2018) además se logra mejorar las condiciones de resistencia y deformabilidad. Los principales métodos de estabilización para suelos arcillosos son de tipo físico y químico, que logran reducir los cambios volumétricos (Ivasuc et al. 2013).

La investigación que se plantea va enfocada a la aplicación de una estabilización de tipo física mediante la adición de un material del residuo, producto del triturado del desecho de la fabricación del ladrillo cerámico. Autores como Arulrajah et al. (2012) han trabajado con la incorporación de este material reciclado, en conjunto con agregados de concreto y rocas trituradas, obteniendo resultados positivos en el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Se realizaron mezclas de suelo-Residuo triturado en diferentes proporciones que posteriormente fueron sometidas a ensayos de laboratorio para establecer la variación en su comportamiento físico y mecánico.

2. Metodología

El material de residuo empleado para el desarrollo de la investigación provino de la Empresa Ladrillera Ocaña, ubicada en la vía hacia la vereda La Rinconada del municipio de Ocaña Norte de Santander. El residuo de ladrillo cerámico se recogió directamente de las pilas de acopio que se aprecian en la figura 1, las cuales se encuentran en espacios abiertos depositadas directamente sobre el terreno susceptible al arrastre por la escorrentía superficial en época de lluvia con destino final el río Catatumbo, y se componen principalmente por bloques con defectos de fabricación que se generan tras el proceso de cocción.



Fig. 1. Pilas de Acopio del material de residuo

El residuo seco se trituró usando un molino de esferas, y se realizaron una serie de ensayos para estimar el tamaño de partícula deseado, variando el número de revoluciones y la cantidad de esferas

de acero. En la figura 2 se puede apreciar las curvas granulométricas de las diferentes pruebas, en comparación con la curva obtenida con el molino de martillos, el cual asemeja el proceso vibratorio de un vibro compactador, que con fines prácticos, sería el equipo empleado para el procesamiento del material en la estabilización en campo.

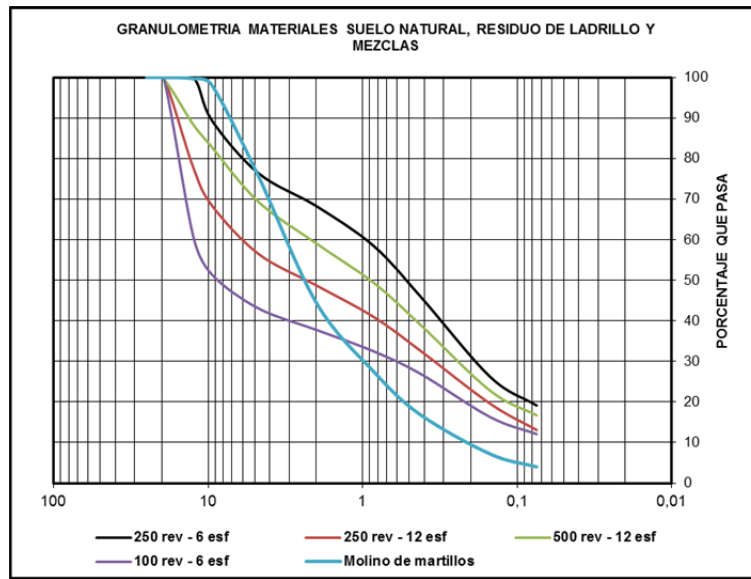


Fig. 2. Curvas granulométricas con diferentes condiciones de ensayo.

Las muestras de suelo se obtuvieron de la ruta de acceso hacia el corregimiento de Pueblo Nuevo en el PR 3+400, que se encuentra ubicado en la zona centro-occidente de la ciudad de Ocaña. Un estudio inicial sobre las características del suelo se puede apreciar en la tabla 1, que según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) el suelo en cuestión es un suelo limoso de alta plasticidad (MH) y según el sistema AASTHO A-7-5, y el valor de la gravedad específica es de 2,65 gr/cm³.

GRANULOMETRIA	Límites de Atterberg	Gravedad Especifica (gr/cm3)
% Grava	0,33 L.L	67,85 Prueba 1
% Arena	14,50 L.P	45,72 Prueba 2
% Finos	85,17 I.P	22,13 Prueba 3
		SC
		2,65

Tabla 1. Valores de la propiedades índice del suelo.

La preparación de las mezclas se realizó con la incorporación del porcentaje en peso del residuo triturado de ladrillo a la muestra de suelo, en porcentajes del 5 % 10 % y 15% que se establecieron a partir de experiencias del Msc. Alvaro Pedroza Rojas que desarrolló un *Estudio del comportamiento de tres aditivos para estabilizar arcillas expansivas. Cal, cenizas de carbón, colas de rocas fosfóricas.*

El tamaño máximo nominal de partícula para el residuo de ladrillo fue de $\frac{3}{4}$ de pulgada, y la incorporación al suelo en las diferentes dosificaciones se realizó en forma manual, los ensayos de granulometría se realizaron a partir de la norma I.N.V. E-123-07 con un arreglo de tamices cuadrados desde el $\frac{3}{4}$ hasta el 200. El límite líquido se determinó con muestra de material que pasa el tamiz N° 40 y utilizando la cazuela de Casagrande con el procedimiento descrito en la I.N.V E-125-07 y para el límite plástico e índice de plasticidad el procedimiento sigue las pautas de la I.N.V E-126-07 (INVIAS, 2013).

La determinación de la humedad óptima y la densidad máxima de compactación, se realizó con el método C de la norma I.N.V E-142-07, y la gravedad específica de la fracción fina y gruesa del suelo, corresponden al procedimiento de las normas I.N.V e-128-07 y I.N.V e-223-07 respectivamente. Finalmente la evaluación del índice de resistencia de los suelos se determinó con el ensayo de CBR descrito en la I.N.V E-148-07.

La determinación de la dosificación apropiada para la estabilización de suelos de alta plasticidad corresponde a aquellas que tras un análisis de los resultados muestra una mejora en las características del suelo, expresadas en la reducción de los límites de plasticidad y un incremento del CBR.

3. Resultados y discusión

3.1 Propiedades índices

La figura 3 Muestra la distribución granulométrica del suelo en condición natural, del residuo de ladrillo y las mezclas suelo-residuo de ladrillo en las dosificaciones del 5% 10% y 15% en peso. Es notorio el porcentaje de finos presentes en el suelo en condición natural, con un 85,17%, en cambio para el residuo de ladrillo, es solo un 12,1%.

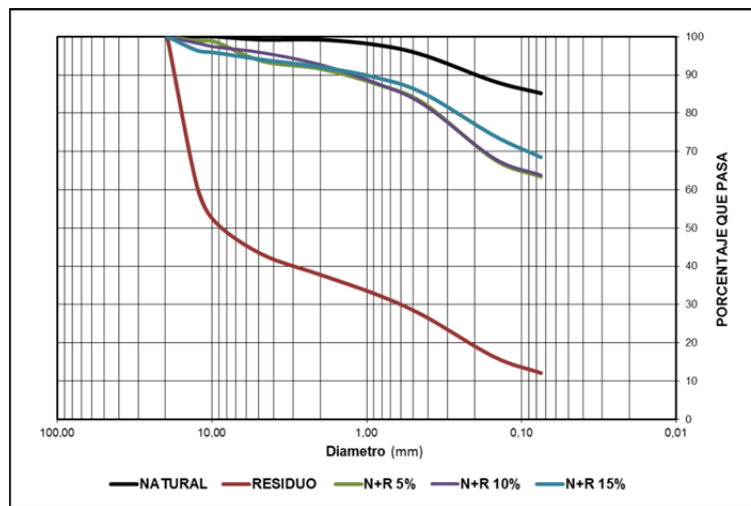


Fig. 3. Curvas granulométricas del suelo en estado natural, del residuo de ladrillo, y las diferentes mezclas de suelo-residuo.

Con la incorporación del residuo de ladrillo, como se esperaba se redujo el porcentaje de finos, logrando una mejora de la curva granulométrica al aumentar los porcentajes de arena y grava en la estructura del suelo, para las diferentes mezclas entre un 5,67% a 6,06% para la grava y entre 15,7% y 17,49% de arena, como se puede apreciar en la tabla 2 y el porcentaje de finos se redujo considerablemente entre un 16,65% y 21,76%.

	Mezclas suelo-residuo			
	Natural	5%	10%	15%
% Grava	0,33	6,39	4,23	6
% Arena	14,50	30,20	31,99	25,48
% Finos	85,17	63,41	63,78	68,52

Tabla 2. Porcentajes de Grava, Arena y Finos para el suelo en condición natural y las mezclas de Suelo-Residuo.

Los límites de atterberg para la condición natural del suelo como se observa en la tabla 3, tiene valores elevados, que son característicos en suelos altamente plásticos, y es precisamente este tipo de suelos, los que reúnen las características que hace pertinente aplicar algún tipo de estabilización, para reducir estas condiciones desfavorables. La tabla 2 muestras los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio para las mezclas suelo-residuo triturado de ladrillo, y se puede observar que el índice de plasticidad (IP) se reduce a partir de la incorporación del material.

Mesclas suelo-residuo				
	Natural	5%	10%	15%
L.L	67,85	66,2	62,8	60,8
L.P	45,72	48,2	46	43,7
I.P	22,13	18	17	17

Tabla 3. Valores de los límites de Atterberg para las diferentes mezclas

3.2 Capacidad de soporte del suelo

La grafica de la figura 4, muestra la curva que relaciona la densidad de compactación con respecto al contenido de agua. Para el suelo en condición natural, a partir de lo cual se observa que la densidad máxima es de 1,407 gr/cm³, que se logra con un contenido de humedad óptimo de 32,55%. Con la incorporación del residuo triturado de ladrillo como se aprecia en la figura 4 hay un incremento del valor de la densidad hasta un máximo de 1.489 gr/cm³ y las humedades varían entre 27,90% y 28,50%.

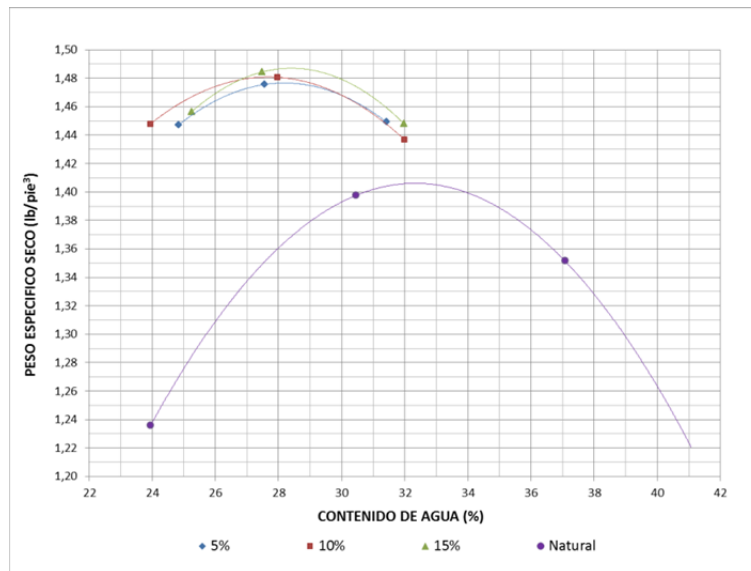


Fig. 4. Curva del peso específico con respecto al contenido de agua

La capacidad de soporte del suelo, medido mediante el ensayo de CBR como se indica en la tabla 4, presenta un incremento máximo de 2.7% para la mezcla del 10%, con el 90% de la densidad máxima, así mismo todas las mezclas muestran un incremento de este valor, con la incorporación del residuo.

	Cond. Natural	5%	10%	15%
γ_{dmax} (gr/cm ³)	1,407	1,477	1,418	1,489
CBR (95% γ_{dmax})	6,7%	9,0%	8,1%	8,4%
CBR (90% γ_{dmax})	5,1%	7,0%	7,8%	5,8%

Tabla 4. Valores del ensayo de CBR

3.3 Variaciones porcentuales

Para estimar el grado de variabilidad de las propiedades tanto físicas como mecánicas de los suelos, con la incorporación del residuo triturado de ladrillo cerámico, se realizó un análisis de las variaciones porcentuales, a fin de establecer en qué medida el porcentaje de residuo incorporado modifica la condición natural del suelo.

La Figura 5 muestra la variación del límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad, destacando que en las dosificaciones de 10% y 15% se logra reducir el índice de plasticidad en un 23,18%, lo cual es un valor de reducción elevado con respecto al valor inicial del suelo en condición natural que fue de 22,13.

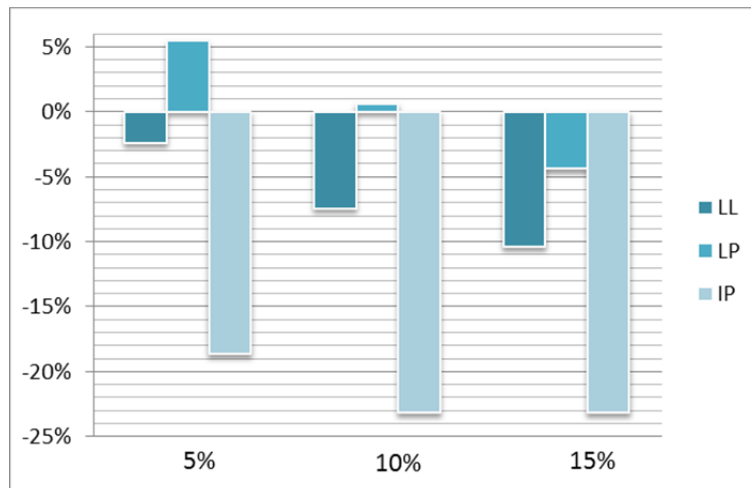


Fig. 5. Variación porcentual de los límites de Atterberg para las diferentes dosificaciones.

La variación con respecto al ensayo de proctor, se puede apreciar en la Figura 6, y se observa una reducción considerable en la humedad óptima de compactación del material, variando entre 12,44% y 14,29%, y más significativo aun es el incremento de la densidad máxima, que con respecto al valor del suelo en estado natural incremento en un máximo de 5,83% para la mezcla con el 15% de residuo de ladrillo cerámico.

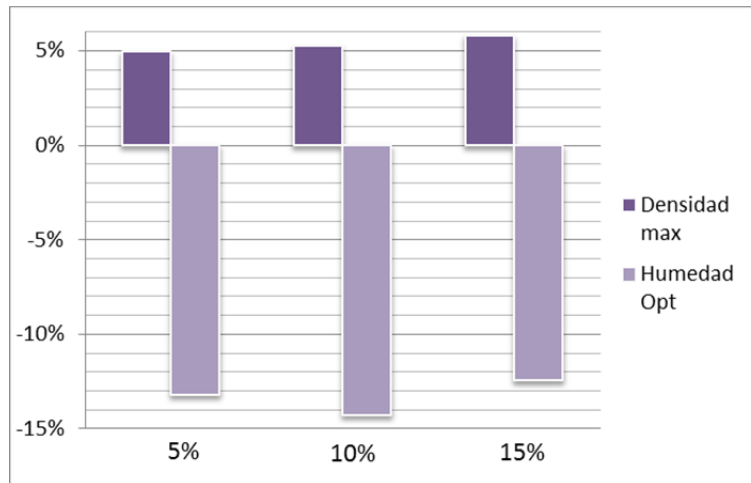


Fig. 6. Variación porcentual de la densidad y la humedad.

La Figura 7 muestra la variación porcentual del valor de CBR, se aprecia que en todos los casos un incremento de este valor, principalmente un aumento de 95,31% para la mezcla con el 15% de residuo triturado, con el 90% de la densidad máxima. Adicionalmente podría afirmarse según la tendencia de los datos, entre mayor sea el porcentaje de residuo incorporado a la masa de suelo, mayor será el valor del CBR, al menos en el caso del 95% de la densidad máxima.

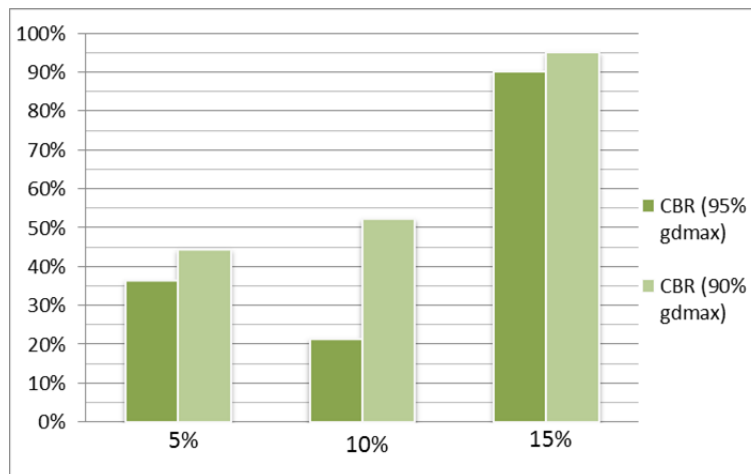


Fig. 7. Variación porcentual del Valor de CBR.

4. Conclusiones

La utilización del residuo de ladrillo como un material estabilizante de suelos arcillosos de alta plasticidad, es una alternativa con capacidad de explotación por parte de la industria ladrillera, y de ser implementada por la ladrillera Ocaña, con la correcta disposición de este desperdicio, en zonas apropiadas para su almacenamiento, se reduciría el riesgo ambiental por el arrastre de sedimentos a la parte alta de la cuenca del río Catatumbo.

El residuo triturado de la fabricación de ladrillo cerámico al ser incorporado en la masa del suelo, es una solución ventajosa técnica y ambientalmente correcta. El análisis de los resultados, indica un incremento de la estructura granular del suelo, y así mismo una reducción del porcentaje de finos. Estas variaciones en la estructura del suelo, conllevan una reducción de la plasticidad, expresada con la reducción del índice de plasticidad y límite líquido. Adicionalmente se obtuvo un incremento considerable de la densidad y el valor del CBR.

Con base en lo anterior, y entendiendo que el objetivo de la estabilización consiste en mejorar las características físicas y mecánicas del suelo, es posible afirmar que la incorporación del residuo de ladrillo cerámico, es una alternativa viable, al menos en las condiciones controladas de laboratorio, y en específico la dosificación que logro mejores resultados, fue la del 15%, reduciendo el porcentaje de fino en un 19,55% con respecto a la condición natural del suelo, e incrementando los porcentajes de arenas y gravas, el índice de plasticidad se redujo en un 23,18% con respecto al valor inicial, y la densidad máxima tiene un incremento del 28.50%. y finalmente el valor del CBR para esta dosificación del 15%, tiene un incremento considerable, para el 95% de la densidad máxima, pasando de un CBR de 6.7% a 12.7%.

5. Referencias

- Arulrajah, A., Piratheepan, J., Bo, M. W., & Sivakugan, N. (2012). Geotechnical characteristics of recycled crushed brick blends for pavement sub-base applications. *Canadian Geotechnical Journal*, 49(7), 796-811.
- Cardona Gallo, M. M. (2006). *Minimización de Residuos: una política de gestión ambiental empresarial*.
- Guyer, J. P. (Ed.). (2018). *An Introduction to Soil Stabilization for Pavements*. Guyer Partners. Pag.1
- Hernández Pérez, E. (2010). *Modelación de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por la industria ladrillera artesanal queretana (Doctoral dissertation)*.
- INVIAS, I. (2013). *Normas de Ensayo de materiales para carreteras*. INV E.
- Ivasuc, T., Olinic, E., Manea, S., & Soare, B. (2013). Studies on the stabilization of expansive soils treated with granular materials. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management*, 2, 403.
- Makusa, G. P. (2012). *Soil stabilization methods and materials in engineering practice*. Lulea, Sweden. Lulea University of Technology.
- Phanikumar, B. R., & Suri, S. (2013). *Expansive soils—problems and remedies*. LAP Lambert Academic Publishing, Poland Google Scholar.
- Rincón, C. D., Gil, J. C., Fabian, C. L., & Caro, C. A. (2017). Evaluación de la Sostenibilidad de la Producción de Ladrillo en la Región de Boyacá, Colombia. *L'esprit Ingénieux*, 7(1).
- Seco, A., Ramírez, F., Miqueleiz, L., & García, B. (2011). Stabilization of expansive soils for use in construction. *Applied Clay Science*, 51(3), 348-352.