

Propiedades geotécnicas de laterita y su comportamiento como sustituto del agregado grueso en mezclas de concreto

Geotechnical properties of laterite and its behavior as a substitute for coarse aggregate in concrete mixes

Helberth I. Gómez Niño^{1*}, Hernando Salcedo Caldas¹

Resumen

La laterita se puede encontrar en diversos lugares del mundo, asociado principalmente a zonas tropicales con alta precipitación y altas temperaturas, es común encontrar manifestaciones de laterita en la Orinoquia colombiana, la cual es usada principalmente en la conformación de terraplenes y ocasionalmente como material de construcción. La determinación de las propiedades físicas de este material, es fundamental para evaluar el comportamiento mecánico y definir los posibles usos dentro de la ingeniería civil. El objetivo de la presente investigación fue determinar las propiedades geotécnicas de muestras recolectadas en campo de material laterítico del área de San Luis de Palenque - Casanare, y analizar el comportamiento mecánico del concreto a partir de la sustitución parcial y total del agregado grueso (grava) por laterita, teniendo como referencia la resistencia de una muestra de concreto convencional (100% de grava como agregado grueso). Como resultados importantes se obtuvo; el diagrama de fases de una muestra de laterita, con la cual se pudo determinar la porosidad (%n), humedad (%w), Peso específico (ρ), peso específico seco (ρ_d) y la relación de vacíos (e). Se resalta como resultado importante, que el material estudiado presenta una gravedad específica (Gs) alta. Con respecto a la resistencia de concreto realizada por el método ACI, y acorde a la dosificación de laterita como sustituto de la fracción gruesa, se demuestra que con la dosificación de concreto con un contenido del 100% de laterita como fracción gruesa, se obtiene una resistencia aproximada de 15.5 Mpa, la cual es inferior a la resistencia del concreto convencional, que está en el orden de 23 Mpa.

Palabras Claves: Concreto — Depósitos — Fracción gruesa — Laterita — propiedades geotécnicas — Resistencia mecánica — Ripio

Abstract

Laterite can be found in various parts of the world, mainly associated with tropical areas with high precipitation and high temperatures, it is common to find laterite manifestations in the Colombian Orinoquia, which is mainly used in the formation of embankments and occasionally as construction material. The determination of the physical properties of this material is essential to determine the mechanical behavior and define the possible uses within civil engineering. The objective of the present investigation was to determine the geotechnical properties of samples collected in the field of lateritic material from the San Luis de Palenque area, Casanare, and to analyze the mechanical behavior of concrete from the partial and total replacement of the coarse aggregate (Gravel) by laterite; taking as reference the resistance of a conventional concrete sample (100% gravel as coarse aggregate). As important results, he obtained the phase diagram of a laterite sample, with which the porosity (%n), humidity (%w), specific weight (ρ), dry specific weight (ρ_d) and ratio of empty (e). It is highlighted as an important result that the material studied has a high specific gravity (Gs). Regarding the resistance of concrete made by the ACI method, and according to the dosage of laterite as a substitute for the coarse fraction, it is shown that the dosage of concrete with a content of 100% of laterite as a coarse fraction, a resistance is obtained approximately 15.5 Mpa, which is less than the strength of conventional concrete, which is in the order of 23 Mpa.

Keywords: Concrete — Deposits — Coarse fraction — Laterite — Geotechnical properties — Mechanical resistance — Gravel

¹ Grupo de Estudios e Investigaciones de Ingeniería Civil en la Orinoquia – GEIICO, Unitrópico, Yopal, Colombia.

*Autor para correspondencia: helberthgomez@unitropico.edu.co

Introducción

Las lateritas son el producto de la meteorización intensa y duradera de suelos y rocas, que se intensifica por las altas precipitaciones y temperaturas (Budihal y Pujar, 2018). Estos agentes erosivos y de meteorización producen en un enriquecimiento de óxidos, hidróxidos de hierro y aluminio, en suelos que presenta un bajo contenido de sílice y ausencia de otros minerales comunes como (Ca, Mg, Na, K, etc.), para formar un material compacto poroso, cuya coloración varía de amarilla a roja y se forma en las áreas húmedas tropicales (Schellmann, 1986). Según menciona Suarez (2009), el movimiento cíclico de los niveles de agua conduce a la acumulación de óxidos de hierro formando una capa de suelos cementados, generalmente semipermeables. Estos materiales se van endureciendo en presencia del aire, formando suelos lateríticos, los cuales poseen una gradación que puede ir desde las gravas a las arcillas y una plasticidad de baja a intermedia. Hasta la fecha han sido diversos los lugares del mundo donde se han reportado lateritas. En muchos de ellos se explotan para extraer metales como el Fe, Al, Co y Ni. En la Figura 1, se presentan los principales depósitos lateríticos reconocidos en el mundo.



Figura 1. Distribución mundial de los principales afloramientos de lateritas. Nótese que los suelos residuales se concentra en el sector norte de América del Sur, Centroamérica, África, Australia, Oceanía y el sur de Asia. Los afloramientos principales están representados por los puntos amarillos. Modificado de Salinas (2016)

Se puede evidenciar que la mayoría de depósitos lateríticos, se encuentran en las zonas tropicales, lugar donde se dan las condiciones climáticas más apropiadas para la generación de estos suelos. Sin embargo, hay varios lugares en zonas más al norte o sur de los trópicos en donde también se han reportado depósitos lateríticos como en países del norte de Europa, Australia y la zona norte de Estados Unidos (Salinas, 2016).

Los depósitos de laterita, han sido investigados principalmente desde su composición mineralógica, debido a la alta concentración de minerales como el hierro, Níquel, Cobalto y Aluminio. Estos depósitos constituyen y representan reservas mundiales de minerales que son explotadas en la actualidad.

Al situarse Colombia en una región tropical; se presentan zonas con manifestaciones de afloramientos lateríticos de gran importancia económica, como las encontrados en Antioquia, Amazonia y en el departamento de Córdoba el cual presenta yacimientos

importantes en Cerro Matoso, Planeta Rica, y Uré; los cuales han sido estudiadas por Mejía y Durango (1981), debido a su potencial minero en Níquel. Existen otros depósitos de menor importancia; como los materiales que se extienden por la Orinoquia Colombiana, que han sido reportados por el Instituto Colombiano de Geología Y Minería (INGEOMINAS, 2009), hoy Servicio Geológico Colombiano S.G.C.

En Colombia las lateritas han sido mayormente estudiados para su uso en la minería, agronomía, agrología y la biología. Sin embargo, a través de estas investigaciones se han podido concluir algunas de las características más relevantes de ese tipo de materiales, como su composición y los factores que influyen en su proceso de formación, los cuales condicional su desempeño en las aplicaciones en la ingeniería.

La mayor parte de las teorías e investigaciones en el campo de la ingeniería civil, han tenido su origen en trabajos realizados sobre depósitos de suelos sedimentarios, especialmente en (arenas, gravas y arcillas), por lo tanto; estos materiales están condicionados al comportamiento mecánico de ese tipo de suelos. La aplicabilidad de las teorías y los criterios de diseño geotécnico que existen actualmente, podría no ser completamente válidos en el caso de suelos residuales de tipo lateríticos, debido a diferencias importantes que existen en su constitución, estructura y principalmente en las propiedades mecánicas, que dependen de factores como el clima, tipo de la roca parental y del grado de meteorización o laterización del suelo. Es común encontrar suelos residuales con baja resistencia mecánica hasta materiales con excelentes capacidades de soporte (Gidigasú, 1976).

La laterización por lo general actúa con fuerza en regiones planas sobre grandes llanuras, donde la disponibilidad de materiales para construcción tradicionalmente aceptados y estandarizados (obtenidos de canteras) es casi nula (Pérez, 2017). En países donde la presencia de materiales granulares con características óptimas para la construcción de estructuras de bases y subbases de pavimentos son escasos, se han visto en la necesidad de utilizar materiales provenientes de suelos tropicales y ajustar su aplicación para que cumplan con los parámetros de resistencia y durabilidad establecidos por los diseños.

A nivel de América del Sur, Brasil se destaca por realizar numerosos trabajos sobre la clasificación y uso de los suelos lateríticos, enfocando sus esfuerzos de investigación principalmente en el uso de este material para concretos (Cozzolino y Nogami, 1993).

El concreto es una mezcla de gravas, arena, agua y cemento que al solidificarse constituye uno de los materiales de construcción más resistentes para ser empleado en obras civiles. Para hacer uso del concreto; se debe tener en cuenta que la fracción gruesa (grava), juegan un papel importante en su producción, ya sea desde un punto de vista económico o técnico, pues la grava ocupa hasta el 80% del volumen del concreto, influyendo significativamente en su resistencia mecánica, estabilidad dimensional y durabilidad (Carvalho et al., 2011). Algunos investigadores han obtenido resultados que fomentan el uso de concretos lateríticos como un agregado grueso alternativo para su fabricación (Rodríguez y Souza, 2020).

En Colombia uno de los usos más frecuentes que se les ha dado a los depósitos lateríticos es el destinado a la construcción de vías, como material de préstamo para terraplenes, con resultados no muy buenos principalmente en los departamentos del Vichada y Meta (Pérez, 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, el estudio del comportamiento de los depósitos lateríticos requiere en primera instancia, del conocimiento geológico y composición mineralógica del material; puesto que este hereda propiedades y características importantes de los materiales parentales como son la relación de vacíos y la granulometría. Por otra parte, al realizar la estimación del comportamiento mecánico se debe tener en cuenta que éste es muy variable incluso para un mismo estrato, ya que las características importantes como la granulometría, cementación y propiedades geotécnicas pueden cambiar en apenas unos pocos centímetros.

El uso de laterita como material de interés ingenieril, en los departamentos de Casanare y Vichada, está condicionado por la ausencia de material tipo cantera principalmente en algunas zonas; así como su uso para disminuir los costos de transporte. La laterita o ripio se está utilizando ampliamente para el mejoramiento de carretables y vías, debido a la ausencia de material petreo en estas zonas con desarrollos viales importantes, alejados a veces hasta más de 800 Km de una cantera con material propicio para este uso (Rodríguez, 2017).

En Casanare es común encontrar suelos lateríticos altos en hierro y aluminio, que se conoce comúnmente como Ripio o Arrecife, los cuales se proponen como alternativa económica de uso ingenieril como insumo para la construcción.

El uso de materiales alternativos en la construcción civil solo es posible cuando tienen estudios científicos y ventajas económicas que respaldan su uso. En este sentido los objetivos de la investigación, son determinar las principales propiedades geotécnicas de una muestra de laterita de Casanare, y evaluar el comportamiento de la resistencia mecánica, al sustituir total y parcialmente el agregado grueso en una mezcla para concreto de uso estructural.

1. Materiales y Método

De acuerdo a las líneas de investigación en el área de suelos y materiales, del Grupo de Estudios e Investigaciones de Ingeniería Civil en la Orinoquia (GEIICO), se ha realizado un reconocimiento geológico preliminar a muestras extraídas, de diversas áreas de Casanare, y se estableció como muestra a analizar, el material lateríticos extraído de la vereda Cabuyaro Municipio de San Luis De Palenque (Figura 2). La muestra fue extraída específicamente entre la siguiente coordenadas geográficas Latitud Norte $5^{\circ}19'54.9''$, Longitud Oeste $71^{\circ}45'38.43''$.

Las muestras fueron recolectadas en forma secuencial, de Techo a piso, mediante 4 apiques, con una profundidad de 0.80 m, distanciados entre si 100 m. Se recolecto un total de 50 Kg de material para su posterior análisis. Las técnicas utilizadas para los análisis, corresponden a los métodos establecidos en las especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

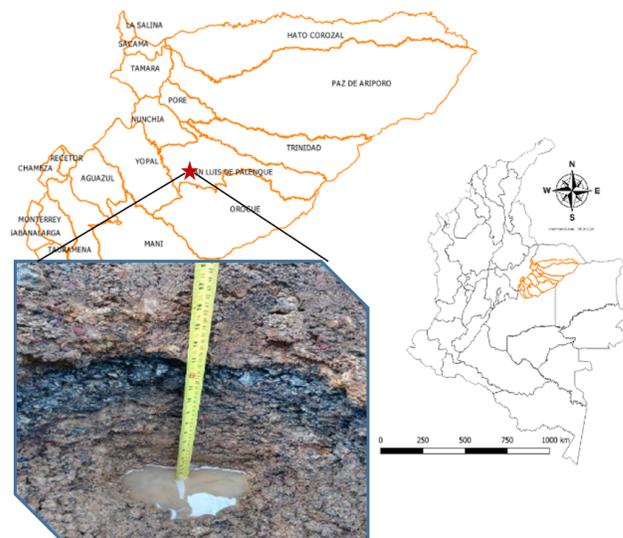


Figura 2. Localización geográfica del área de donde se extrajo la muestra de estudio. La estrella representa la localización sobre el río Guanapalo en el municipio de San Luis de Palenque. Nótese el afloramiento de una capa de laterita con alto contenido de hierro, que sobresale por su coloración oscura.

Para el análisis de propiedades físicas; Porosidad (n), humedad (w), relación de vacíos (n), Gravedad específica (G_s), peso específico (ρ), Peso específico seco (ρ_d), se realizó teniendo en cuenta los principios de las relaciones volumétricas y relaciones de fases, de la mecánica de suelos, a partir de una muestra cilíndrica de volumen y peso conocido, y de los resultados de laboratorio.

Para evaluar el comportamiento mecánico del concreto, se utilizó el material lateríticos en remplazo de agregado grueso (grava), el cual fue triturado y tamizado por el tamiz No 4, para alcanzar el tamaño de partículas como agregado grueso en una mezcla de concreto.

El concreto fue elaborado y dosificado de acuerdo al procedimiento establecido en la especificación técnica del Invías (I.N.V.E-402-13), y el método A.C.I (American Concrete Institute, por sus siglas en ingles). Para el análisis se elaboraron cuatro diferentes dosificaciones de mezcla de concreto, con la relación agua cemento en la misma cantidad para todas las muestras.

El porcentaje que se sustituye de grava por laterita en los ensayos fue seleccionado teniendo en cuenta el costo de los ensayos y debido a que es una investigación de desarrollo experimental, donde existe gran incertidumbre en el comportamiento de las variables independientes (Sampieri et al., 1991). Se tomó como rango extremo de comparación la mezcla correspondiente al remplazo del 100% de laterita como agregado grueso para el concreto. Se comparó la resistencia con una muestra de concreto convencional, los especímenes se evaluaron en periodos de tiempo correspondientes a 7, 14 y 28 días de fraguado. Las dosificaciones para el remplazo del agregado grueso se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Porcentajes de sustitución de la fracción gruesa (grava), por material laterítico. Como muestra patrón de la resistencia.

Muestras	% Grava	% Laterita
Concreto Convencional	100	0
Muestra 70-30	70	30
Muestra 50-50	50	50
Muestra 30-70	30	70
Concreto con laterita en un 100%	0	100

2. Resultados

Como resultado de la investigación que se ha adelantado en el departamento de Casanare acorde a las líneas de investigación de GEIICO. Se ha encontrado que el material lateríticos se halla principalmente en áreas de depósitos de planicies aluviales. Como resultados de la exploración y muestreo, se obtuvo muestras representativas de material lateríticos inalterado (Figura 3). El cual puede variar en su consistencia y coloración.

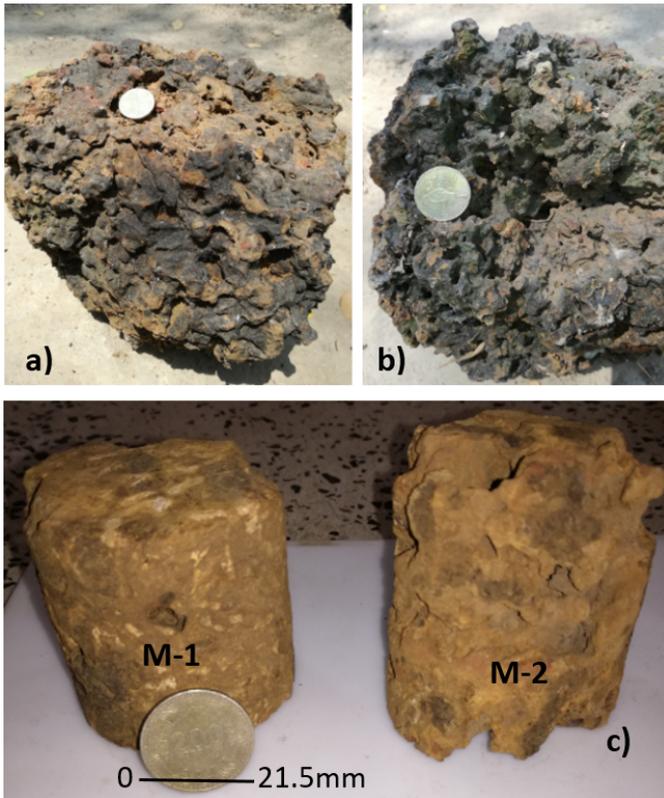


Figura 3. Se presenta 2 muestras inalteradas a) y b) de laterita; presentan coloración pardas amarillentas y colores rojizos oscuros, que indican presencia de óxidos de hierro. En la imagen c) se presentan 2 testigos cilíndricos (M-1, M-2) tomados de las muestras inalteradas para determinar propiedades geotécnicas. Nótese la escala referida.

En la Figura 4, se representan los resultados correspondientes a los datos obtenidos en laboratorio, para determinar las propiedades geotécnicas de las 2 muestras analizadas y mostradas en la Figura 3c.

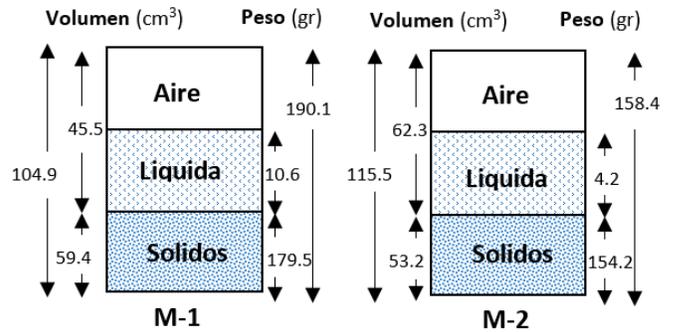


Figura 4. Propiedades geotécnicas, representadas mediante la relación de diagrama de fases volumétricas correspondientes a las muestras de lateritas M-1 y M-2.

En la Tabla 2, se presenta los resultados correspondientes a la solución de los diagramas de fases, que corresponden a las principales propiedades geotécnicas de las 2 muestras analizadas.

Tabla 2. Propiedades geotécnicas a partir del análisis de las relaciones de fases volumétricas correspondientes a las muestras M-1 y M-2.

Propiedades Físicas	M-1	M-2
Porosidad (% n)	43.4	54
Humedad (% w)	6	3
Peso específico (ρ) gr/cm ³	1.8	1.4
Peso específico seco (ρ_d) gr/cm ³	1.7	1.3
Gravedad específica (Gs)	3.2	2.9
Relación de Vacíos (e)	0.8	1.2

En la Figura 5, se presenta la comparación de resultados de la resistencia a la compresión axial de especímenes de concreto, según dosificaciones estudiadas. En donde se evidencia que el uso de laterita no aporta una resistencia igual a la que tiene un concreto de uso convencional fabricado con materiales pétreos de cantera. Se aprecia que que el aumento de porcentaje de mezcla de laterita disminuye la resistencia a la compresión del concreto.

Se resalta como resultado importante que el uso parcial en porcentajes del 30% de laterita como sustituto de fracción gruesa, presenta una resistencia en el orden de los 15 Mpa. Y para una sustitución total de fracción gruesa por laterita, su magnitud de resistencia en inferior, estando en el orden de 7 Mpa.

3. Discusión

La unidad de sedimentos asociados a costras y depósitos ferruginosos (lateritas), son depósito que se han formado a partir de suelos de tipo residual, que se extiende sobre la superficie en forma constante a irregular. Este tipo de depósitos se encuentran aflorando en gran parte del territorio del departamento de Casanare, Arauca y Vichada.

Existen ambientes favorables para la mineralización de hierro laterítico, en las cordilleras Oriental los prospectos que por el momento presentan mayor interés corresponden a Sabanalarga en Casanare (SGC, 2019).

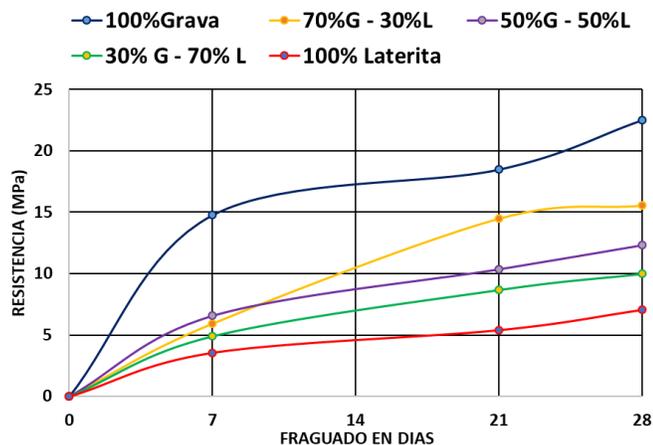


Figura 5. Comportamiento de la resistencia de concreto con fraguado a los 7, 21, 28 días. Cada curva presenta variación de dosificaciones en la fracción gruesa, la cual está indicada en la parte superior de la gráfica, el (%G), corresponde a Grava, (%L) corresponde a Laterita. La curva Azul corresponde a resistencia de concreto convencional es decir con 100% de grava.

De acuerdo a los resultados de las propiedades físicas, las muestras de laterita, presentan una porosidad alta, esto indica que la alteración en estos materiales ha sido intensa, y se asocia a procesos de desintegración química, principalmente por acción del agua, se ha detectado que en los suelos tropicales la humedad afecta sensiblemente su resistencia al corte (Voss, 2019).

El valor de relación de vacíos es alto, lo cual es asociado con zonas de alta precipitación, es un comportamiento similar a lo registrado en otras investigaciones donde se encontró que existe una dependencia directa de la relación de vacíos con la precipitación (Suárez, 1998). Al presentar una relación de vacíos alta, el material es más susceptible a proceso de consolidación.

Se evidencia valores altos en la Gravedad específica (Gs), lo cual concuerda con la presencia de óxidos de hierro y aluminio, emplazados como mineralizaciones en el material, además de actuar como agente cementante entre partículas.

De acuerdo al resultado de la Figura 5, se identifica un crecimiento en la resistencia con el tiempo de fraguado; pero no llega a la resistencia de diseño del concreto convencional (curva Azul %100 grava). De esta manera se podría suponer que al aumentar la dosificación en la cantidad de cemento pueda mejorar la resistencia del concreto. Sin embargo, es importante identificar que las resistencias bajas del concreto obtenidas a partir del remplazo de material laterítico, podrían orientar un posible uso en concretos no estructurales, como por ejemplo para pisos, andenes, sardineles y específicamente un uso alto para el mejoramiento de vías. Lo cual concuerda y confirman el buen desempeño que los concretos lateríticos presentan en edificios pequeños y tramos de vías utilizados por más de 30 años reportado por (Carvalho et al., 2011).

Vale la pena seguir investigando alternativas para mejorar la resistencia.

4. Conclusiones

Los suelos lateríticos de Casanare se presentan como depósito de origen residual, los cuales tienen coloración pardo amarillenta a rojizos y oscuros, lo cual es un indicador de la presencia de óxidos de hierro y aluminio.

El diagrama de fases, permite representar los cambios continuos en las magnitudes de las relaciones volumétricas de la laterita, y se puede definir cuantitativamente las propiedades físicas del material, como se observa en la Figura 5.

Las propiedades físicas de un mismo material, no necesariamente son iguales, debido a que esto es causado por diversos fenómenos geológicos y físicos posibles, mediante trayectorias de procesos diagenéticos de los suelos.

Los resultados referidos a las propiedades físicas, indican que el material no es homogéneo, y que puede variar en un mismo punto. Se presenta una alta Gravedad específica (Gs), debido al contenido de óxidos de hierro y aluminio, como agente cementante y como partículas mineralógicas, que constituyen la laterita.

La alta porosidad presente en los especímenes, se puede asociar a la hidrólisis, la cual consiste en la descomposición química de una sustancia por medio del agua, se produce como efecto de que el agua libre, de los climas tropicales de intensa pluviosidad, donde las rocas están formadas fundamentalmente de Silicatos y Óxidos de Fe y Al, el agua libre afloja la ligazón con estos elementos y provoca su descomposición.

Los resultados obtenidos de las muestras de concreto con los diferentes porcentajes (100% Triturado, 70% Triturado – 30% Laterita, 50% Laterita – 50% Triturado, 30% Triturado – 70% Laterita y 100% Laterita), y de acuerdo a la dosificación realizada por el método ACI, se demuestra que, a mayor contenido de fracción gruesa de laterita, es menor su resistencia. Esto también fue identificado en un estudio realizado en el Brasil donde se observó que el remplazo de la piedra triturada de basalto de agregado convencional por agregado de laterita en estado natural promovió una disminución en el valor de resistencia a la compresión simple (Rodríguez y Souza, 2020).

El concreto obtenido con laterita, no es viable usarlo en elementos estructurales tales como vigas y columnas; sin embargo, podría ser utilizado para pisos, andenes y sardineles entre otros usos.

Este trabajo contribuyó en la generación de nuevos aportes al conocimiento, sobre el comportamiento de laterita como insumos alternativos en usos de la ingeniería civil. Y servirá como aporte en futuras investigaciones que permitan establecer otros factores que inciden en el comportamiento de resistencia de los concretos con mayor precisión.

5. Agradecimientos

Los autores expresan el agradecimiento a los estudiantes que han estado vinculados al grupo de investigación GEIICO, en el área de suelos y materiales.

Referencias

- Budihal, R. y Pujar, G. (2018). Major and trace elements geochemistry of laterites from the swarnagadde plateau, uttar kannada district, karnataka, india. *Journal of Geosciences and Geomatics*, 1:12.
- Carvalho, D., Pompeu, B., Tetsuo, R., y Ferreira, M. (2011). Propriedades mecánicas de concreto laterítico com metacaulim. *Teoria e prática na Engenharia Civil*, 11:25.
- Cozzolino, M. y Nogami, S. (1993). Mct geotechnical classification for tropicals soils. *Soils and Rocks*, 16(4):77.
- Gidigasú, M. D. (1976). *Laterite Soil Engineering*. Oxford New York: Elsevier scientific Publishing.
- INGEOMINAS (2009). *Memoria explicativa de las planchas 162, 162 bis, 182 y 182 bis puerto Carreño, vichada*. Instituto Colombiano de Geología Y Minería - INGEOMINAS.
- Mejía, V. y Durango, J. (1981). Geología de las lateritas níquelíferas de cerro matoso s.a. *Boletín de Geología*, 15(29):99.
- Pérez, G. (2017). *Influencia de la succión en la deformación cortante de suelos lateríticos (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/61103/1/9434478.2017.pdf>.
- Rodríguez, P. (2017). *Evaluación del potencial de suelos lateríticos (ripio) para obras de infraestructura vial en el Vichada (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional, Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://bit.ly/2J9VBrs>.
- Rodríguez, P. y Souza, M. (2020). Concreto produzido com agregado graúdo laterítico em santarém, Pará. *Revista eletrônica de Engenharia Civil*, 16(1):60.
- Salinas, S. (2016). *Formación de la laterita de Caiman, XIV región Chile (Tesis de pregrado)*. Universidad de Chile, Santiago de Chile. Disponible en: <https://bit.ly/3dnRLsA>.
- Sampieri, C., Fernández, C., y Baptista, P. (1991). *Metodología de la investigación*. MacGraw Hill: Naucalpan de Juárez, Mexico.
- Schellmann, W. (1986). A new definition of laterite. in: Lateritisation processes, igcp-127. *Geological Survey of India, Memoirs*, 120:1.
- SGC (2019). *Recursos minerales de Colombia*. Servicio Geológico Colombiano - SGS. Disponible en: <https://bit.ly/31AAMjd>.
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda.* Bucaramanga, Colombia: División de publicaciones UIS.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos, Vol. I*. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda. Bucaramanga, Colombia: División de publicaciones UIS.
- Voss, F. (2019). *Estabilidad de taludes en zonas tropicales: antecedentes, métodos de análisis y la aplicación de la bioingeniería para el control de inestabilidades (Tesina de Diplomado)*. Centro Geotecnico Internacional. Disponible en: <https://bit.ly/2VEq5bz>.