

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

**Evaluación del mejoramiento de suelos lateríticos con cenizas
de productos orgánicos y cenizas volantes**

**Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Civil**

Por:

Michael Steven Arriaga Sandi
Lindaura Lizbet Palomino Salvatierra

Asesor:

Mg. Leonel Chahuares Paucar

Lima, septiembre 2020

DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Mg. Leonel Chahuares Paucar, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: "EVALUACIÓN DEL MEJORAMIENTO DE SUELOS LATERÍTICOS CON CENIZAS DE PRODUCTOS ORGÁNICOS Y CENIZAS VOLANTES" constituye la memoria que presentan los estudiantes Michael Steven Arriaga Sandi y Lindaura Lizbet Palomino Salvatierra para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Civil, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Lima a los 22 días del mes de septiembre del año 2020.



Mg. Leonel Chahuares Paucar

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a.....los.....18.....día(s) del mes de.....setiembre.....del año 2020... siendo las.....12:15.....horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):Ing. Ferrer Canaza Rojas....., el (la) secretario(a): Ing. Roberto Roland Yoctún Rios..... y los demás miembros: Ing. Fiorella Zapata Antezana.....y el (la) asesor(a)...Mg. Leonel Chahuares Paucar.....con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: "Evaluación del mejoramiento de suelos lateríticos con cenizas de productos orgánicos y cenizas volantes". de los (las) egresados (as):a).....**LINDAURA LIZBET PALOMINO SALVATIERRA**.....
.....b).....**MICHAEL STEVEN ARRIAGA SANDI**.....
conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en:

.....**INGENIERÍA CIVIL**.....

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): **LINDAURA LIZBET PALOMINO SALVATIERRA**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
APROBADO	16	B	BUENO	MUY BUENO

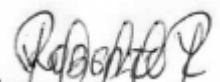
Candidato/a (b): **MICHAEL STEVEN ARRIAGA SANDI**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
APROBADO	16	B	BUENO	MUY BUENO

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó ... al.... candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Ing. Ferrer Canaza
Rojas

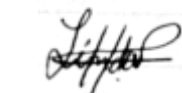


Secretario
Ing. Roberto Roland
Yoctún Rios

Asesor
Mg. Leonel Chahuares
Paucar

Miembro

Miembro
Ing. Fiorella Zapata
Antezana



Candidato (a)
Linda Laura Lizbet
Palomino Salvatierra



Candidato/a (b)
Michael Steven Arriaga
Sandi

Evaluación del mejoramiento de suelos lateríticos con cenizas de productos orgánicos y cenizas volantes

Arriaga Michael¹, Palomino Lindaura²

EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión
EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

Esta investigación se llevó a cabo con la finalidad de diferenciar las características de Relación de Soporte de California (CBR) y resistencia de Compresión Simple No Confinada (UCS) de suelos lateríticos con adición de cenizas. El trabajo se desarrolló en base a la procedencia de las cenizas como cenizas de cáscara de yuca, cáscara de arroz, hoja de bambú, bagazo de caña de azúcar, hoja de palma aceitera, estiércol de vaca y cenizas volantes. Para el CBR, los mejores valores corresponden a un aumento de 32.77% para un 6% de cenizas de hojas de bambú, el cual contiene 75.90% de SiO₂ y 7.47% de CaO, y 16.99% para un 6% de cenizas de bagazo de caña de azúcar, este contiene 70.99% de SiO₂ y 12.44 % de CaO. Para el UCS, los mayores aumentos corresponden a 458.01 kN/m² para un 6% de cenizas de cáscara de yuca, y 205.02 kN/m² para un 6% de cenizas de bagazo de caña de azúcar. Así mismo, las variaciones de CBR y UCS de cenizas volantes son 15.80% y 48.15 kN/m² respectivamente, estas cenizas tienen un contenido de 46.20% de SiO₂ y 1.78% de CaO. Por lo cual, las cenizas orgánicas y cenizas volantes pueden ser útiles para el mejoramiento de suelos lateríticos.

Palabras clave: suelos lateríticos; cenizas; CBR; compresión simple no confinada

Abstract

This research was carried out in order to differentiate the characteristics of California Bearing Ratio (CBR) and Unconfined Compressive Strength (UCS) of lateritic soils with ash addition. The work was developed based on the origin of the ashes such as cassava peel ash, rice husk, bamboo leaf, sugarcane bagasse, oil palm bunch, cow dung and fly ash. For CBR, the best values correspond to an increase of 32.77% for 6% of bamboo leaf ash, which contains 75.90% of SiO₂ and 7.47% of CaO, and 16.99% for 6% of bagasse ash. sugarcane, it contains 70.99% SiO₂ and 12.44% CaO. For the UCS, the highest increases correspond to 458.01 kN/m² for 6% of cassava shell ash, and 205.02 kN/m² for 6% of sugar cane bagasse ash. Likewise, the variations of CBR and UCS of fly ash are 15.80% and 48.15 kN/m² respectively, these ashes have a content of 46.20% of SiO₂ and 1.78% of CaO. Therefore, organic ash and fly ash can be useful for improving lateritic soils.

Key words: lateritic soils; ashes; portant capacity; CBR; unconfined compressive strength

¹Arriaga Sandi Michael Steven
Universidad Peruana Unión
michaelarriaga@upeu.edu.pe

²Palomino Salvatierra Lindaura Lizbet
Universidad Peruana Unión
lindaurapalomino@upeu.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Las necesidades de materiales adecuados para la construcción de carreteras urbanas y rurales, nos lleva a realizar investigaciones sobre las formas de mejorar las propiedades mecánicas y físicas de los suelos con baja resistencia. En las regiones tropicales (selva) se encuentran los suelos lateríticos que contienen una cantidad de sustancias minerales arcillosos que no garantizan su resistencia bajo el efecto de las cargas debido a la presencia de humedad. El contenido de minerales arcillosos en el suelo lateríticos genera la alta plasticidad del suelo que son las causantes de generar daños en las vías construidas. El mejoramiento del suelo se puede realizar mediante la modificación, estabilización o por ambas. La estabilización del suelo es el tratamiento que permite mejorar la capacidad portante, durabilidad y en la actualidad los materiales más conocidos para la estabilización del suelo son el cemento Portland, cal, materiales bituminosos y aditivos químicos. Algunas investigaciones muestran que las cenizas de productos orgánicos contienen dióxido de silicio, lo que las hace altamente puzolánica, por otra parte, las cenizas volantes son sub producto de la combustión del carbón pulverizado en las plantas generadores de electricidad que deben ser eliminadas cuidadosamente ya que este material es considerado un peligro ambiental que puede causar daños en la salud de las personas. Entonces, existe la necesidad de dar un uso adecuado a las cenizas volantes ya que se caracteriza por tener propiedades puzolánicas lo que le convierte en un material cementante que ayuda en la estabilización de los suelos lateríticos con baja capacidad portante. Mediante investigaciones realizadas por diferentes autores en busca de mejorar el suelo se presenta la estabilización de suelos mediante cenizas de productos orgánicos como son la cáscara de yuca, cáscara de arroz, bagazo de la caña de azúcar, hojas de bambú y ceniza volante, etc., lo cual nos permitirá realizar comparaciones con los diferentes valores de Relación de Soporte de California (CBR) y la Resistencia de Compresión Simple No Confinada (UCS) de las cenizas de productos orgánicos y ceniza volante, así se conocerá su comportamiento de estabilizador de las cenizas en los suelos lateríticos. El uso de las cenizas de productos orgánicos y ceniza volante nos permitirá mejorar el suelo para construir carreteras que conecten a las poblaciones, lo que regenerará el crecimiento económico del país.

DESARROLLO

Los suelos lateríticos se generan en las zonas tropicales, están altamente influenciados por factores que favorecen el proceso de meteorización mediante agentes meteorológicos, generando materiales con propiedades ingenieriles particulares, que difieren de las características del suelo (Fresneda et al., 2013).

Las cenizas se definen como el residuo inorgánico que se obtiene al incinerar la materia orgánica en un producto cualquiera (Tejada et al., 2014).

Los resultados de análisis de composición química de los diferentes investigadores indican que el componente predominante es el dióxido de silicio (SiO_2), independientemente del origen de la ceniza, es este el compuesto que predomina notoriamente. Diversos estudios mencionan al Sílice como elemento que determina las características cementantes de la puzolana, material antiguamente usado como material aglomerante y que actualmente se sigue usando parcialmente en la composición del cemento Portland, por lo tanto, al estar presente en las diferentes cenizas, proporciona características de consolidación entre las partículas del suelo.

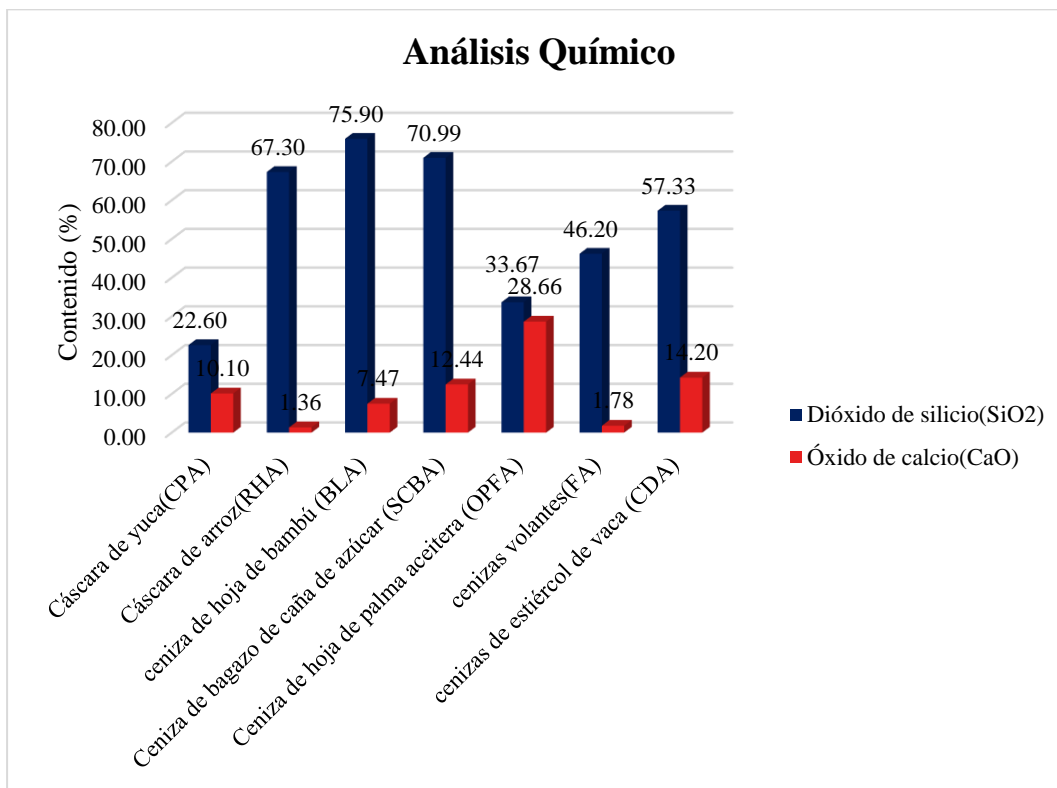


Figura 1. Contenido de compuestos cementosos Dióxido de silicio (SiO₂) y Óxido de calcio (CaO)

Los resultados obtenidos el 75.90% por ciento de sílice cementantes pertenece a la ceniza de hoja de bambú (BLA); al ser producida bajo combustión controlada permite que de la microestructura sea cristalina y no amorfa lo cual este permite mayor actividad puzolánica, 7.47% de óxido de calcio, también llamada como cal viva, son calificados como materiales que favorece a la estabilización de los suelos lateríticos (Olugbenga O. & Akinwole A., 2010). El 70.99% de sílice es de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar (SCBA), 12.44% de óxido de calcio y de la ceniza de la cascara de bagazo de la caña de azúcar (Amu et al., 2011), 67.30% de sílice lo tiene la cascara de arroz (RHA), y 4.90% óxido de calcio; también se caracteriza por ser un material con alto contenido de sílice (Alhassan, 2008a). Las cenizas volantes (FA) tienen 46.20% de dióxido de sílice y 1.78% de óxido de calcio (Pérez Collantes, 2012). Cenizas de racimo de palma aceitera (OPFA) cuentan con 33.67% de SiO₂ y 28.66% de óxido de calcio (Mendoza Paz, 2017). En el trabajo realizado con cenizas de cáscara de yuca (CPA) no se muestran datos de análisis químico (Bello et al., 2015), por lo que se recurrió a otra investigación que si dispone de esta información con la finalidad de dar una idea aproximada de la cantidad de SiO₂ y CaO que contienen estas cenizas. Los valores son considerablemente menores que otros, 22.60 y 10.10% de SiO₂ y CaO respectivamente (Baenla et al., 2019). Los resultados para las cenizas de estiércol de vaca (CDA) proporcionaron valores de 57.33 y 14.20% de SiO₂ y CaO respectivamente (Kumar Yadav et al., 2017).

Los gráficos de los resultados de los ensayos CBR se mostrarán por tipo de cenizas.

Para el estudio en el que se utilizó cenizas de cáscara de yuca se obtuvieron los siguientes datos de CBR saturado:

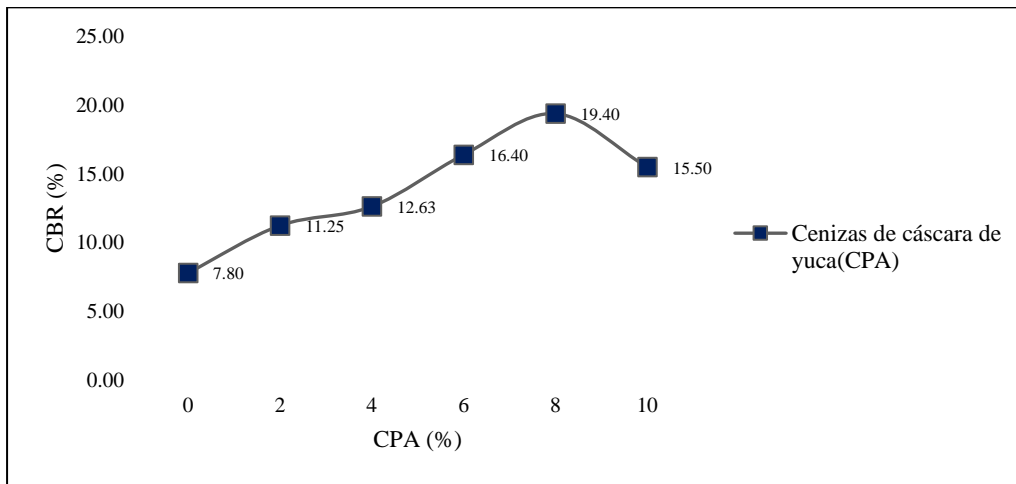


Figura 2. Relación de Soporte de California (CBR) para el suelo con adición de cenizas de cáscara de yuca

Siendo el valor más alto 19.40% para un 8% de cenizas de cáscara de yuca (CPA). Se encuentra en la categoría S2: Subrasante Buena, (MTC-Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) y la curva empieza a descender cuando se le agrega ceniza mayor al 8%, con 10 % se obtiene un CBR(%) de 15.50. La variación entre el estado natural y el máximo valor de CBR es 11.6%.

Para este mismo material se obtuvieron los siguientes valores de UCS:

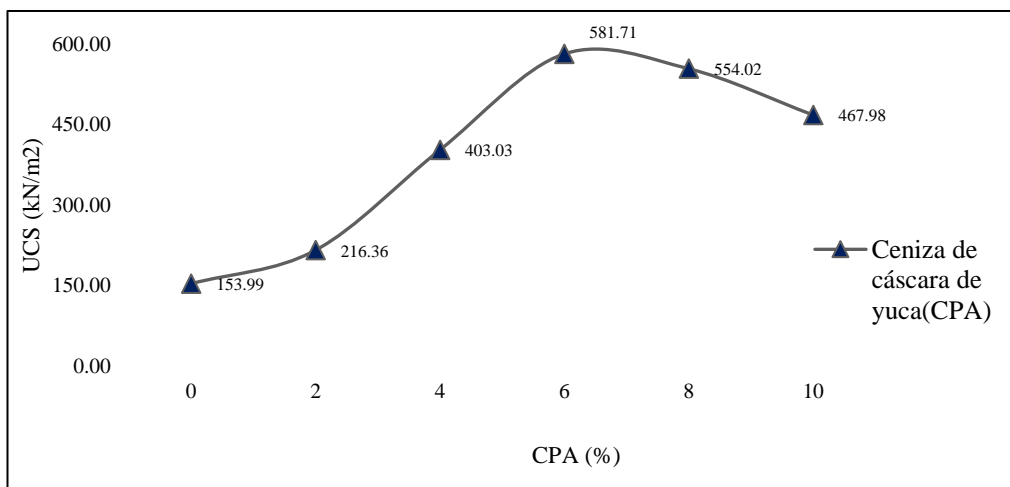


Figura 3. Resistencia Compresión Simple No Confinada (UCS) para el suelo con adición de cenizas de cáscara de yuca.

El gráfico se observa que el valor máximo del ensayo de compresión simple no confinada (UCS) es 581.71 kN/m² para un 6% de CPA (Bello et al., 2015). La variación entre el estado natural y el máximo valor del UCS es 466.88 kN/m².

Del estudio en el que se usó cenizas de cáscara de arroz se obtuvieron los siguientes valores aproximados de CBR, la aproximación de estos valores se debe ya que el artículo no proporciona datos exactos de los ensayos:

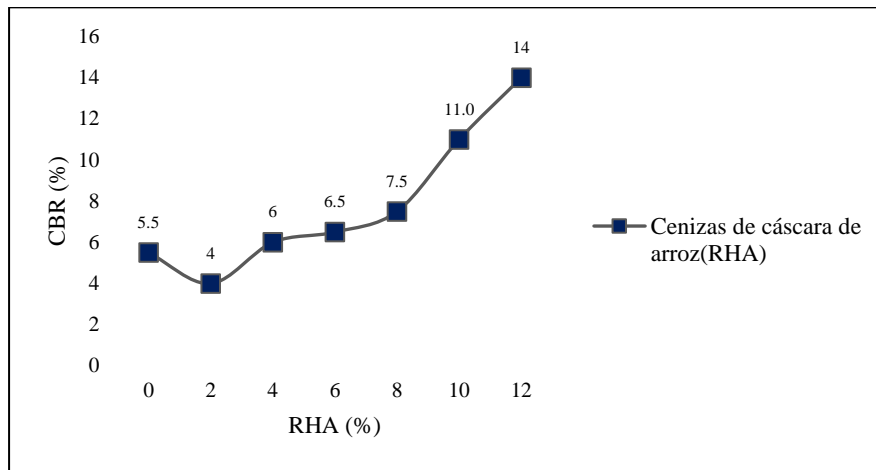


Figura 4. Relación de Soporte de California (CBR) para el suelo con adición de cenizas de cáscara de arroz.

El valor más alto bordea el 14% de CBR con un 12% de ceniza cascara de arroz, ubicándose dentro de la categoría S3: Subrasante Buena, (MTC-Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014), así mismo se nota que el CBR saturado aumenta constantemente después del 2% de adición de RHA, esta tendencia muestra que la presencia de agua (humedad) ayuda a promover la formación de compuestos cementosos entre el CaOH del suelo y el RHA puzolánica. La variación entre el estado natural y el máximo valor de CBR es 8.5%. Sin embargo, al no tener un punto de inflexión en el que se pueda mostrar o determinar un valor máximo, se desconoce si ese es el valor máximo alcanzable.

Los valores de UCS se muestran en el gráfico siguiente:

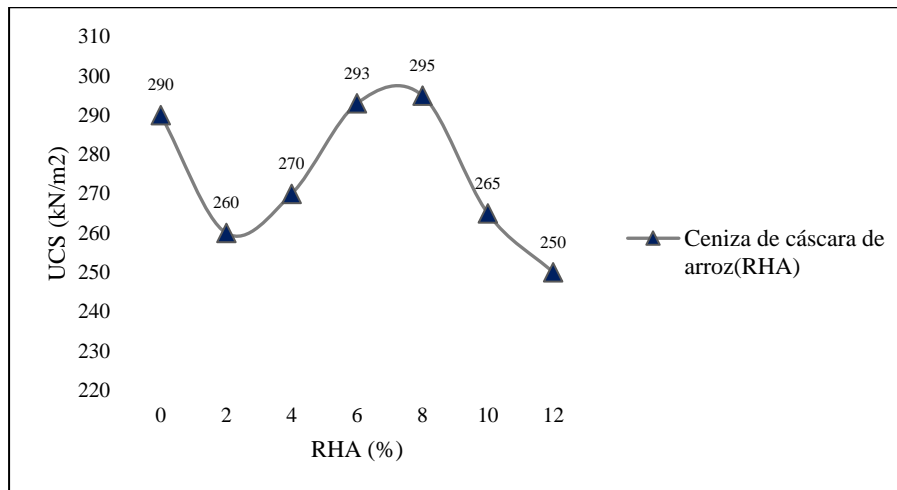


Figura 5. Resistencia Compresión Simple No Confinada (UCS) para el suelo con adición de cenizas de cáscara de arroz.

Se observa un decaimiento del valor de esfuerzo al adicionar el 2% de cenizas y posteriormente un aumento hasta llegar a un máximo de 295 kN/m² para un 8% (Alhassan, 2008). La variación entre el estado natural y el máximo valor del UCS es 5 kN/m².

Los ensayos de CBR saturado para el suelo lateríticos mezclado con ceniza de hoja de bambú (BLA) mostraron que la resistencia de las muestras que se mantiene de manera ascendente hasta el 6% de ceniza de hoja de bambú con un valor de CBR de 38.21% siendo el mayor valor y clasificándose dentro de la categoría S5: Subrasante excelente, (MTC-Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014), el valor a razón de 16.12% entre los valores de 2%; 4%; 6% y desciende a razón de un promedio de 15.93% entre 8% y 10%. Cabe resaltar que a pesar de que en el artículo mencionen el uso de hasta un 10% de cenizas, solo se muestran los resultados entre 2 a 8% de

adición de BLA incluyendo las muestras base (0%). La variación entre el estado natural y el máximo valor de CBR es 32.77%. El gráfico es:

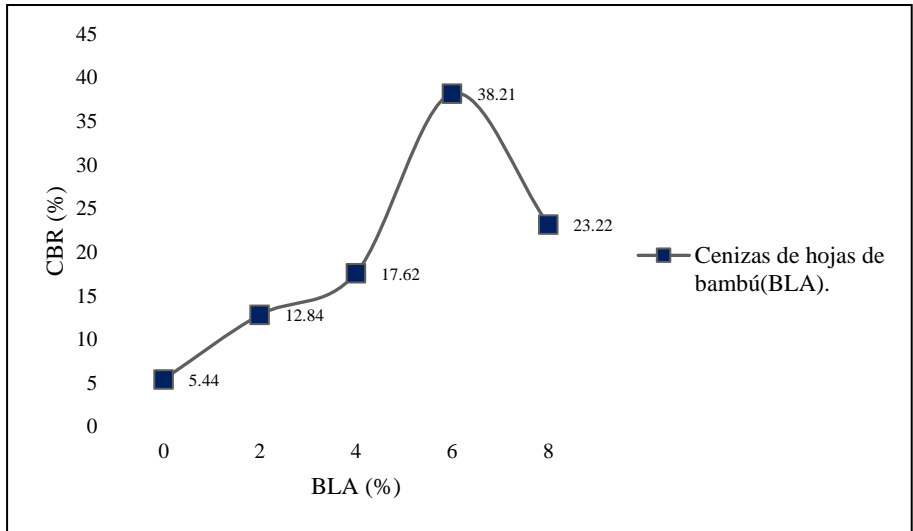


Figura 6. Relación de Soporte de California (CBR) para el suelo con adición de cenizas de hojas de bambú.

Los valores de UCS están en el gráfico mostrado a continuación:

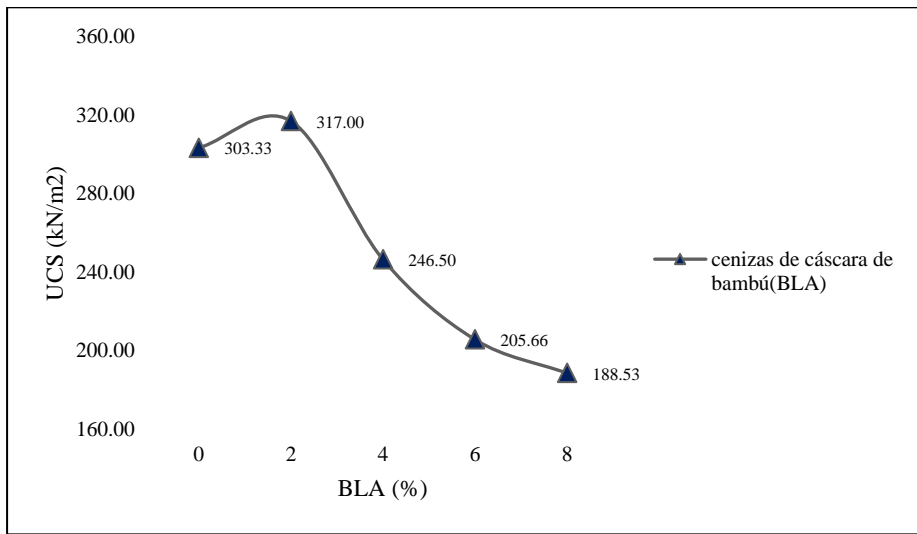


Figura 7. Resistencia Compresión Simple No Confinada (UCS) para el suelo con adición de cenizas de cáscara de bambú.

El valor más alto para la resistencia a la compresión simple no confinada le corresponde a un 2% de BLA con 317 kN/m² (Olugbenga O. & Akinwole A., 2010). La variación entre el estado natural y el máximo valor del UCS es 13.67 kN/m².

Los resultados de las pruebas preliminares del ensayo de CBR saturado del suelo lateríticos mezclado con ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA) nos muestra su máxima resistencia cuando se agrega el 6% de ceniza llegando a CBR 23.3%; clasificando dentro de la categoría de S4: Subrasante Muy Buena, (MTC-Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014). Se llega a tener una curva descendente cuando se le agrega el 2% con un CBR de 3.91% y luego empieza descender entre el 6% y 8%. La variación entre el estado natural y el máximo valor del CBR es 16.99%. Estos datos se muestran en el siguiente gráfico:

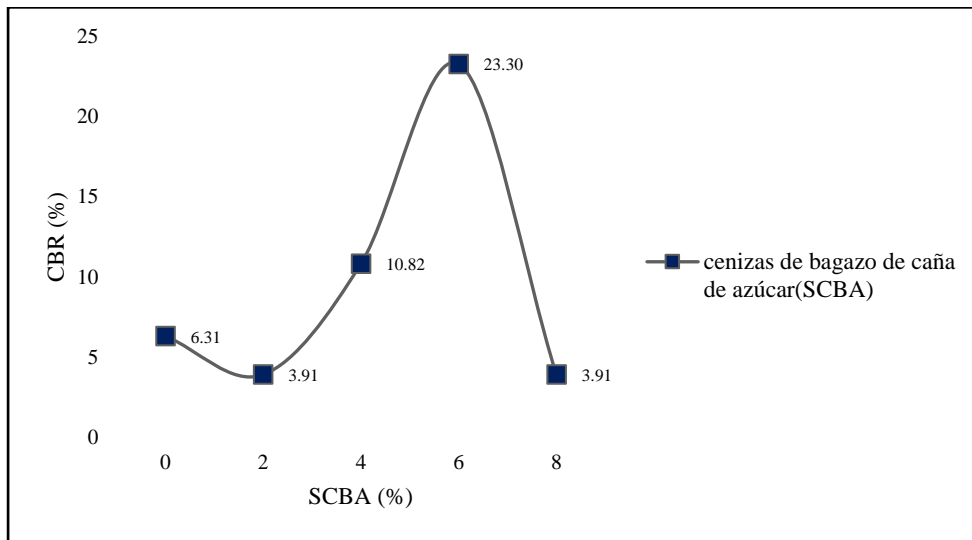


Figura 8. Relación de Soporte de California (CBR) para el suelo con adición de cenizas de bagazo de caña de azúcar

La resistencia a la compresión no confinada es el determinante fundamental de la consistencia de un suelo lateríticos.

Por otra parte, los resultados del ensayo de compresión simple no confinada (UCS); en el que se usaron las cenizas de bagazo de caña de azúcar, arrojaron los siguientes resultados:

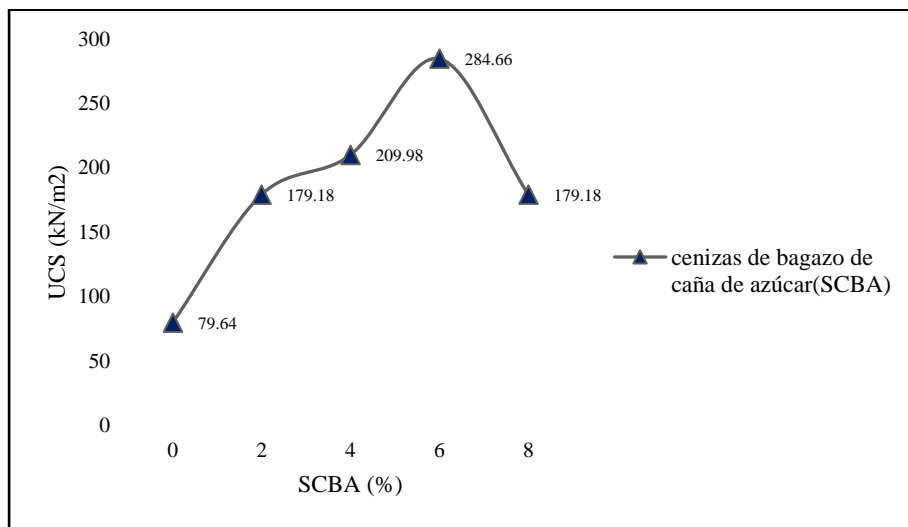


Figura 9. Resistencia Compresión Simple No Confinada (UCS) para el suelo con adición de cenizas de caña de azúcar.

Se puede observar un aumento constante de la resistencia hasta llegar a 284.66 kN/m² que es el máximo valor al que le corresponde un 6% de cenizas (O. Amu et al., 2011). La variación entre el estado natural y el máximo valor del UCS es 205.02 kN/m².

Para la investigación en la que dio uso a las cenizas de hojas de palma aceitera (OPFA) se obtuvieron los siguientes resultados de CBR:

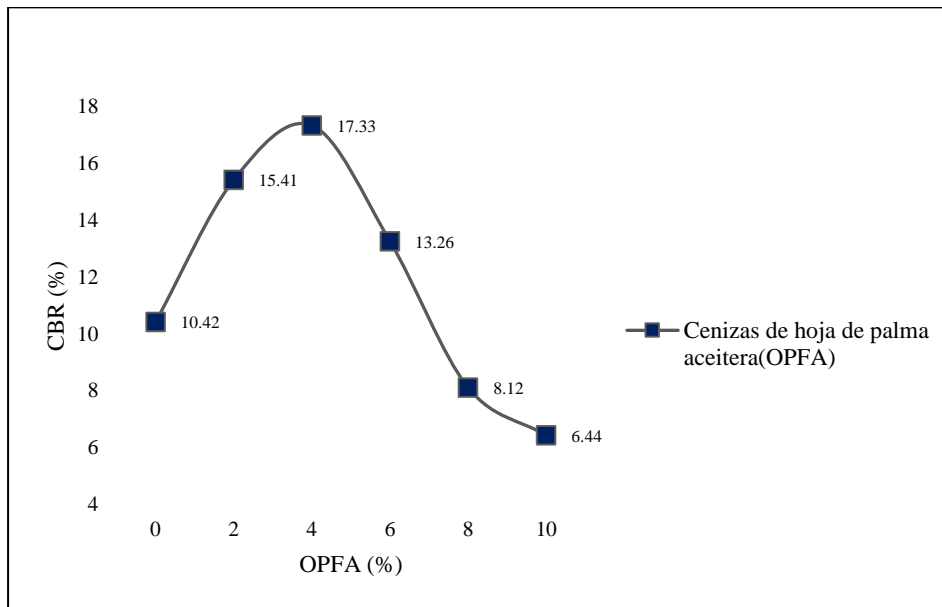


Figura 10. Relación de Soporte de California (CBR) para el suelo con adición de cenizas de hoja de palma aceitera

La resistencia más alta sucede al utilizar 4% de cenizas, al cual le corresponde 17.33% del CBR, clasificando dentro de la categoría de S3: Sub rasante Buena, (MTC-Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) los valores de CBR empieza disminuir cuando se le agrega el porcentaje de ceniza de Palma aceitera (OPFA) mayor de 4%, con 10% de OPFA se obtiene un valor menor por debajo que la resistencia natural del suelo. La variación entre el estado natural y el máximo valor del CBR es 6.91%.

Para los resultados del ensayo de compresión simple no confinada se obtuvo el siguiente gráfico:

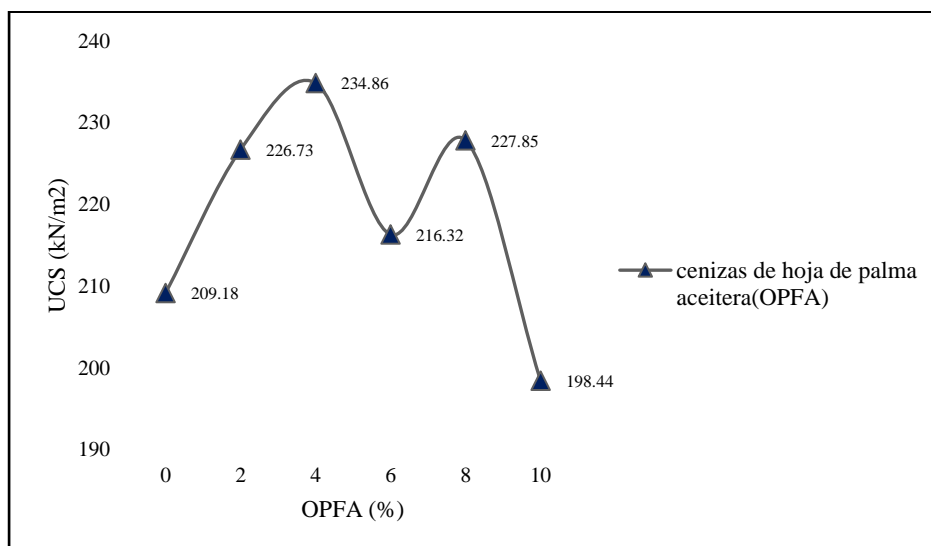


Figura 11. Resistencia Compresión Simple No Confinada (UCS) para el suelo con adición de cenizas de hoja de palma aceitera.

Se puede apreciar que el valor máximo es 234.86 kN/m² correspondiente a un 4% de OPFA, así mismo y a diferencia de la gráfica de CBR, se muestra una variación atípica para por la existencia de 2 puntos altos, siendo el segundo 227.85 kN/m² con un 8% de cenizas (Nnochiri & Aderinlewo, 2016). La variación entre el estado natural y el máximo valor del UCS es 25.68 kN/m².

En el gráfico siguiente se muestran los valores de CBR del estudio en el que se utilizó cenizas de estiércol de vaca, se muestran solo los valores máximos y su correspondiente porcentaje de cenizas utilizado siendo estos 4.87% de CBR saturado y 13.67% de CBR no saturado para 7.5% de CDA. El valor de CBR en su estado natural fue de aproximadamente 3%. La variación entre el estado

natural y el máximo valor del CBR es 1.87%. Esta es la información disponible en el artículo fuente. Es válido mencionar que el CBR de diseño que utilizamos en nuestro país es el CBR saturado, por lo cual es el que se tomará en consideración para la interpretación final.

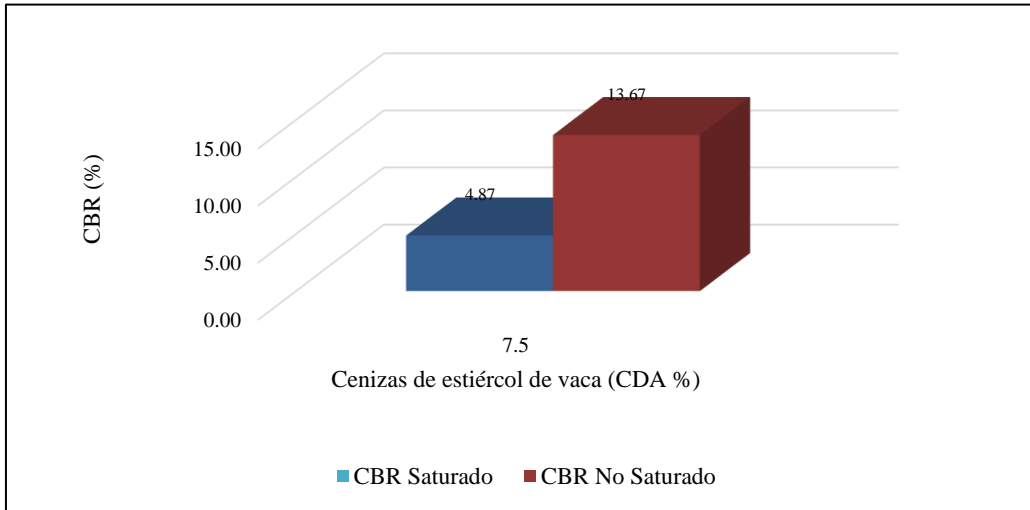


Figura 12. Relación de Soporte de California (CBR) máximo para el suelo con adición de cenizas de estiércol de vaca.

El máximo valor de UCS es de 201.04 kN/m² también para un 7.5% de cenizas y el valor para el suelo en estado natural es 145.14kN/m² (Kumar Yadav et al., 2017). La variación entre el estado natural y el máximo valor del UCS es 55.90 kN/m².

En un estudio con cenizas volantes y cal realizado en Colombia se muestran resultados de ensayo de compresión simple no confinada a un suelo arcilloso, específicamente el caolín, sin embargo, la información de CBR está ausente.

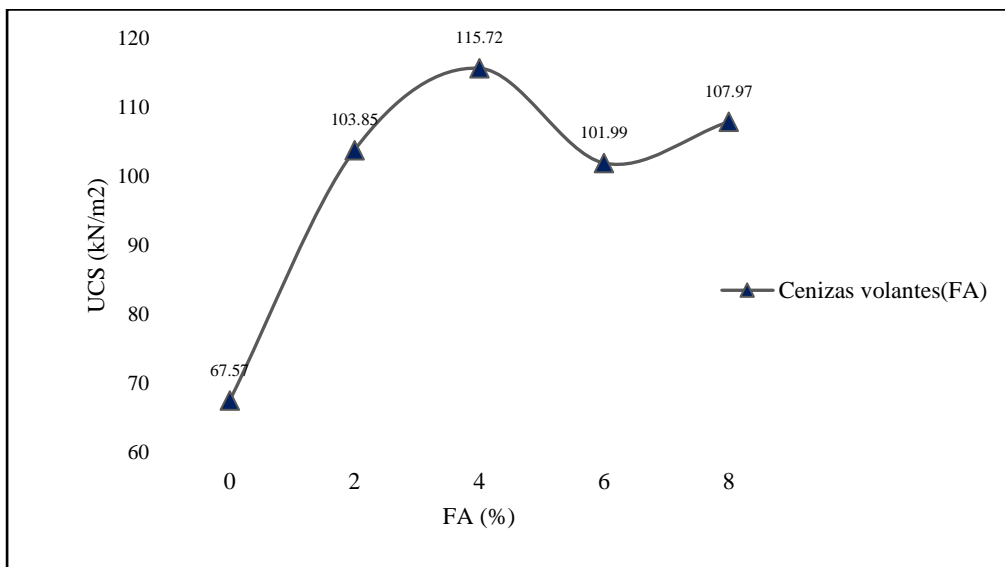


Figura 13. Resistencia Compresión Simple No Confinada (UCS) para el suelo con adición de cenizas volantes.

La resistencia más alta conseguida en este ensayo es 115.72 kN/m² correspondiente a un 4% de cenizas volantes (Parra Gomez, 2018). La variación entre el estado natural y el máximo valor del UCS es 48.15 kN/m².

Así mismo, en un estudio realizado con suelos arcillosos mezclado con cenizas volantes y cemento en Perú, se muestran datos de CBR mas no de compresión simple no confinada (UCS). Las cantidades de ceniza volante utilizadas son del 20 y 40%. Los datos se muestran a continuación:

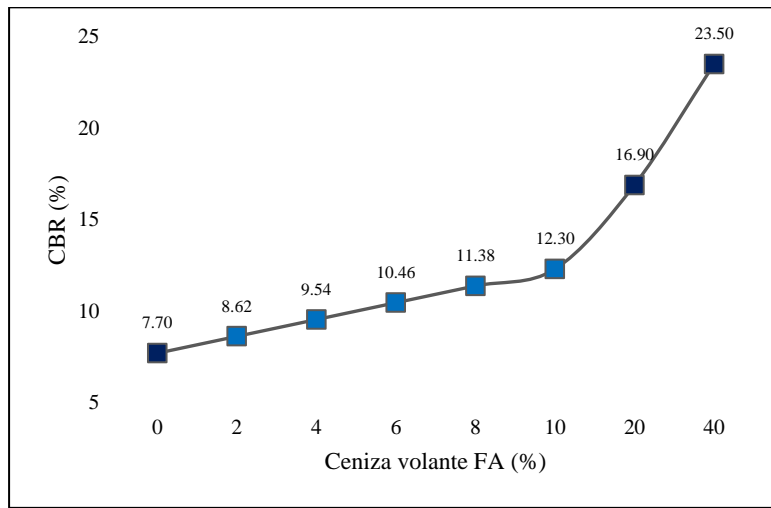


Figura 14. Relación de Soporte de California (CBR) para el suelo con adición de cenizas volantes.

Como se mencionó, el estudio utilizó mezclas de 20% y 40% de cenizas a los que les corresponde 16.90% y 23.50% respectivamente y 7.70% para la muestra patrón (sin mezcla), los valores mostrados entre 2 y 10% de FA se realizaron por interpolación lineal por cuenta propia con la finalidad de poder realizar una comparación con los otros estudios. (Pérez Collantes, 2012) Como se puede observar con el 40% de ceniza se obtiene 23.50%, que es el mayor valor concebido de CBR, el cual estaría dentro de la categoría S4: Subrasante Muy Buena (MTC-Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Finalmente, se muestran un par de gráficos con todos los valores de CBR y UCS de los estudios en los que se utiliza cenizas de origen orgánico.

Resultado porcentaje de Relación de Soporte de California CBR (%) de los suelos lateríticos mejorados con ceniza de productos orgánicos, cáscara de arroz (RHA), ceniza de hoja de bambú (BLA), ceniza cáscara de yuca (CPA), Ceniza de hoja de palma aceitera (OPFA), Ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA), cenizas de estiércol de vaca (CDA).

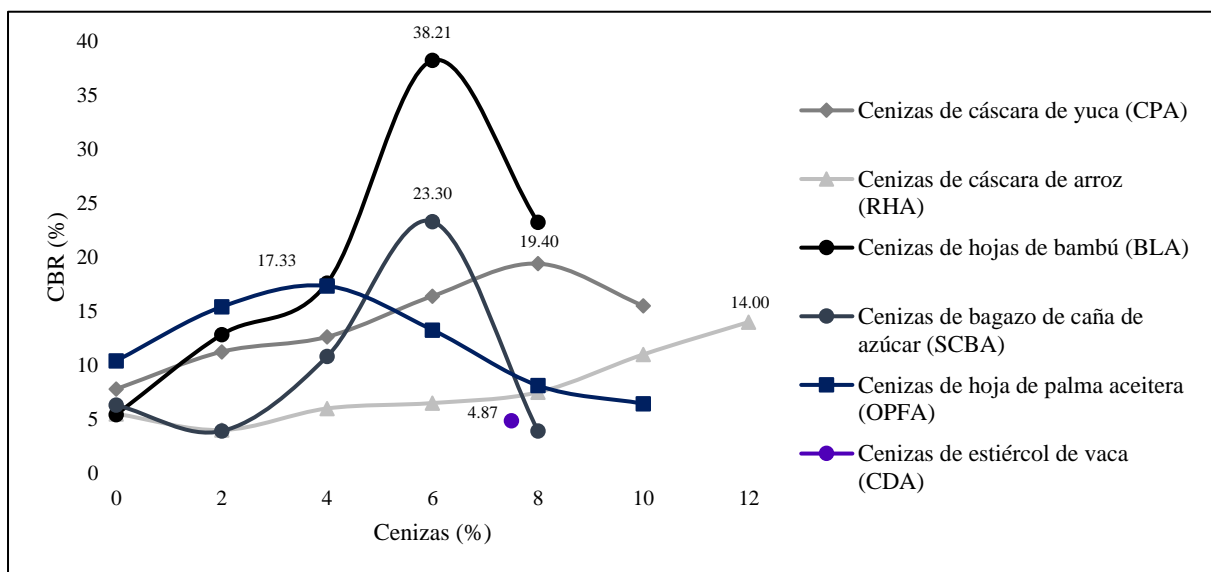


Figura 15 Resumen de variaciones de ensayos de Relación de Soporte de California (CBR) para los suelos con distintas cenizas.

La ceniza de hoja de bambú y ceniza de bagazo de caña de azúcar llegan a tener resultados máximo agregando el 6% de ceniza en los suelos lateríticos, de los tipos de ceniza orgánica la que más variación de valor ascendente tiene es la ceniza de la hoja de bambú con 38.21% de CBR. Para el suelo con ceniza de bagazo de caña de azúcar, la variación entre el valor máximo y del suelo en estado natural de CBR es de 16.99%. La variación para la mezcla de suelo con cenizas de cáscara de yuca es de 11.60%. Para la mezcla con ceniza de hoja de palma aceitera la variación es de 6.91% y, con cenizas de estiércol de vaca la variación, es de 1.87%.

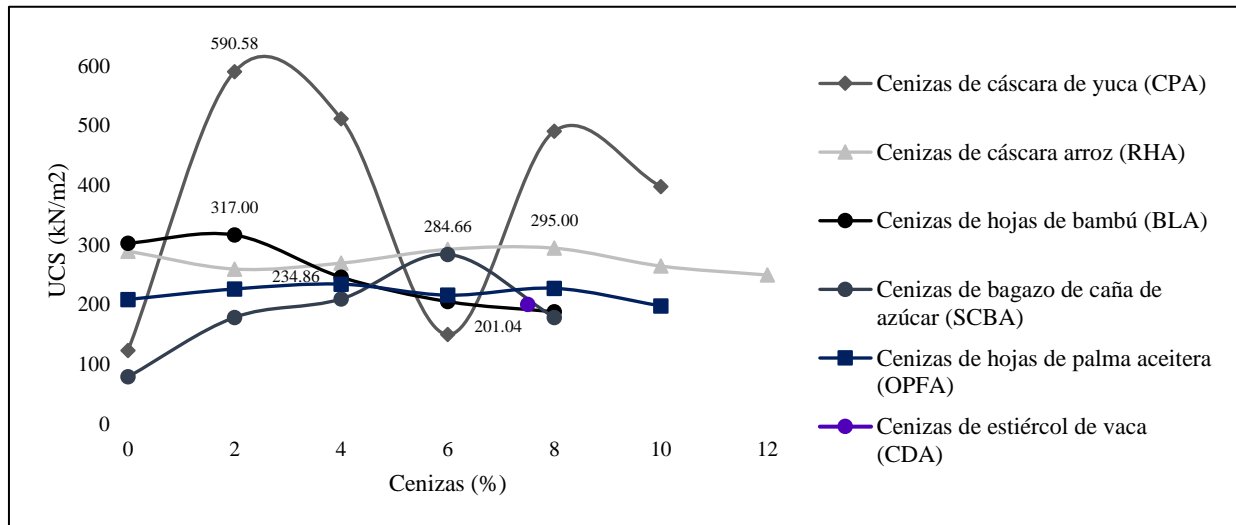


Figura 16. Resumen de variaciones de ensayos de Resistencia a la Compresión Simple No Confinada (UCS) para los suelos con distintas cenizas.

La ceniza de cáscara de yuca con 2% llega a obtener una resistencia de 590.58 kN/m², esta ceniza orgánica tiene una variación mucho mayor a diferencia de las otras cenizas orgánicas; con 2% de ceniza de hoja de bambú se obtiene una resistencia de 317.00 kN/m² con una variación de 13.67 kN/m², con 8% de cenizas de cáscara de arroz (RHA) llega a 295 kN/m², su valor de variación es de 5 kN/m², con 6% de ceniza de bagazo de caña de azúcar se obtiene una resistencia de 284.66kN/m² y una variación existente de 205.02 kN/m², ceniza de hoja de palma aceitera con 4% se llega a una resistencia de 234.86 kN/m² y variación de 25.68 kN/m², el máximo valor de UCS es de 201.04 kN/m² para un 7.5% de cenizas de estiércol de vaca, consiguiéndose una variación de 55.90 kN/m² con respecto a la resistencia del suelo en estado natural.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados del estudio, se realiza las siguientes conclusiones en relación con los objetivos del estudio:

Se demostró que las cenizas de productos orgánicos y la ceniza volante mejoran las cualidades de las muestras de suelo; lo cual se muestra al aumentar considerablemente los valores de CBR y la resistencia a la compresión no confinada (UCS). Por lo que se puede concluir que las cenizas de productos orgánicos tienen el potencial para la estabilizar efectivamente los suelos lateríticos para la construcción de carreteras.

Las cenizas de productos orgánicos de hoja de bambú (BLA) y ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA) cuentan con mayor componentes químicos cementante por lo que muestran mayor variación de resistencia en Relación de Soporte de California CBR (%), en los suelos lateríticos con adición de ceniza de hoja de bambú de 6% resulta una variación de 32.77% de CBR y ceniza de bagazo de caña de azúcar 6%. una variación de 16.99% de CBR. Y los valores bajan debido al exceso porcentaje de cenizas orgánicas introducido en el suelo lateríticos, por lo que forman enlaces débiles entre el suelo y los componentes cementantes formados.

Los ensayos de compresión simple no confinada (UCS) da mejores resultados con la adicción de las cenizas de productos orgánicos y la ceniza volante; obteniendo los más altos valores con la ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA) 6 % se obtiene una variación de resistencia de 205.02 kN/m², ceniza de hoja de palma aceitera (OPFA) tiene una variación de resistencia 55.90 kN/m² y con la ceniza de cáscara de yuca (CPA) una variación de 466.88 kN/m² desde su estado natural hasta lograr la máxima resistencia, por ser materiales que componen con mayor componente cementante.

Para los suelos lateríticos mejorado con ceniza volante los resultados obtenidos fueron que a mayor porcentaje de ceniza los valores de la Relación de Soporte de california CBR (%) aumenta con una variación de 15.70 kN/m². Y en el ensayo de compresión simple no confinada (UCS) el resultado máximo es de 115.72 kN/m² correspondiente a un 4% de ceniza volante y teniendo variación de 48.15 kN/m² en la curva de los valores, siendo un material adecuado para la estabilización o mejoramiento de los suelos lateríticos con baja de capacidad portante.

REFERENCIAS

- Alhassan, M. (2008). *Potentials of Rice Husk Ash for Soil Stabilization* (Vol. 11, Issue 4, pp. 246–250). https://mospace.umsystem.edu/xmlui/bitstream/handle/10355/49217/Divyateja_Sarapu-RHA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Amu, O., Ogunniyi, S., & Oladeji, O. (2011). Geotechnical properties of lateritic soil stabilized with sugarcane straw ash. *American Journal of Scientific and Industrial Research*, 2(2), 323–331. <https://doi.org/10.5251/ajsir.2011.2.2.323.331>
- Baenla, J., Bike Mbah, J. B., Djon Li Ndjock, I. B., & Elimbi, A. (2019). Partial replacement of low reactive volcanic ash by cassava peel ash in the synthesis of volcanic ash based geopolymer. *Construction and Building Materials*, 227, 116689. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116689>
- Bello, A., Ige, J., & Ayodele, H. (2015). Stabilization of Lateritic Soil with Cassava Peels Ash. *British Journal of Applied Science & Technology*, 7(6), 642–650. <https://doi.org/10.9734/bjast/2015/16120>
- Fresneda, C., Navarro, S., & Valencia, Y. (2013). Caracterización geotécnica de un suelo tropical laterítico. *Inge-Cuc*, 9(1), 219–230.
- Kumar Yadav, A., Gaurav, K., Kishor, R., & Suman, S. K. (2017). Stabilization of alluvial soil for subgrade using rice husk ash, sugarcane bagasse ash and cow dung ash for rural roads. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10(3), 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.02.001>
- MTC-Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *MANUAL DE CARRETERAS MC-05-14 Seccion Suelos y pavimentos* (p. 305).
- Nnochiri, E., & Aderinlewo, O. (2016). Geotechnical Properties of Lateritic Soil Stabilized With the Ashes of Oil Palm Fronds. *Stavební Obzor - Civil Engineering Journal*, 25(4). <https://doi.org/10.14311/cej.2016.04.0022>
- Olugbenga O., A., & Akinwole A., A. (2010). Characteristics of Bamboo Leaf Ash Stabilization on Lateritic Soil in Highway Construction. *International Journal of Engineering and Technology*, 2(4), 212–219. <https://doi.org/10.9744/ced.17.1.22-28>
- Parra Gomez, M. G. (2018). *Estabilización de un Suelo con Cal y Ceniza Volante*. Universidad Católica de Colombia.
- Pérez Collantes, R. del C. (2012). *Estabilización de Suelos Arcillosos con Cenizas de Carbón para su Uso como Subrasante Mejorada y/o Sub Base de Pavimentos* [Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1313>