



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2025,
Volumen 9, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

EFFECTO DE CENIZA DE HOJAS DE PLÁTANO EN LAS PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE EN CARRETERAS

**EFFECT OF BANANA LEAF ASH ON ROAD SUBGRADE
PROPERTIES**

Jose Luis Benites Zuñiga
Universidad Nacional del Santa - Perú

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17149

Efecto de ceniza de hojas de plátano en las propiedades de la subrasante en carreteras

Jose Luis Benites Zuñiga¹2020812007@uns.edu.pe<https://orcid.org/0000-0003-4459-494X>

Universidad Nacional del Santa

Perú

RESUMEN

El objetivo general de esta investigación fue determinar el efecto de la incorporación de ceniza hoja de plátano en las propiedades de la subrasante. La metodología fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo, diseño experimental – cuasi experimental. la población es la carretera cuya longitud es de 2.801 km y la muestra en esta investigación fue de tres calicatas por ser una vía de bajo volumen de tránsito al corresponder 1 calicata por cada kilómetro y finalmente el muestro fue no probabilístico. Tuvo como resultados en referencia a la composición química de la ceniza hoja de plátano de 1.053% Óxido de Aluminio Al_2O_3 , 0.796% de Óxido de Hierro Fe_2O_3 , 29.923% de Óxido de Calcio CaO , 7.051% de Óxido de Magnesio MgO , 6.062% Óxido de azufre SO_3 y 15.385% de Óxido de Silicio, SiO_2 , destacando el óxido de calcio y óxido de silicio como propiedades que aportan significativamente al suelo de la subrasante por contener propiedades cementantes. Por otro lado al adicionar en 3%, 6% y 9% de ceniza de hojas de plátano influyo en las propiedades físicas (LL, LP, IP) el IP aumento de 11% a 15%, 18% y 22% respectivamente, por otro lado, en las propiedades mecánicas del suelo la DMS de disminuyó de 2.012gr/cm³ (suelo patron) hasta 1.826gr/cm³ con el 9% de ceniza hoja de plátano, así también el % de expansión del suelo disminuyó de 0.023% (suelo patron) a 0.014% con el 9% de ceniza hoja de plátano, por otro lado, la resistencia (CBR al 95% DMS) del suelo aumento de 10.20% (suelo patron) a 18.56% con el 9% de ceniza hoja de plátano. Finalmente se concluye que la ceniza hoja de plátano influyo en el índice de plasticidad y mejoró en la resistencia del suelo y el porcentaje de expansión se redujo, eso indica que se obtuvo resultados positivos.

Palabras clave: ceniza, hoja, plátano, resistencia, subrasante

¹ Autor principal.

Correspondencia: 2020812007@uns.edu.pe

Effect of banana leaf ash on road subgrade properties

ABSTRACT

The overall objective of this research was to determine the effect of incorporating banana leaf ash on subgrade properties. The methodology used was applied, with a quantitative approach and an experimental-quasi-experimental design. The population is the highway, which is 2,801 km long. The sample in this research consisted of three test pits, as this is a low-traffic road, corresponding to one test pit per kilometer. Finally, the sampling was non-probabilistic. The results in reference to the chemical composition of the banana leaf ash were 1.053% Aluminum Oxide Al_2O_3 , 0.796% Iron Oxide Fe_2O_3 , 29.923% Calcium Oxide CaO , 7.051% Magnesium Oxide MgO , 6.062% Sulfur Oxide SO_3 and 15.385% Silicon Oxide, SiO_2 , highlighting calcium oxide and silicon oxide as properties that significantly contribute to the subgrade soil by containing cementing properties. On the other hand, by adding 3%, 6% and 9% of banana leaf ash, it influenced the physical properties (LL, LP, IP) the IP increased from 11% to 15%, 18% and 22% respectively, on the other hand, in the mechanical properties of the soil the DMS decreased from 2.012gr / cm³ (pattern soil) to 1.826gr / cm with 9% banana leaf ash, as well as the % soil expansion decreased from 0.023% (pattern soil) to 0.014% with 9% banana leaf ash, on the other hand, the resistance (CBR at 95% DMS) of the soil increased from 10.20% (pattern soil) to 18.56% with 9% banana leaf ash. Finally, it is concluded that banana leaf ash influenced the plasticity index and improved soil strength, and the percentage of expansion was reduced, indicating that positive results were obtained.

Keywords: ash, leaf, banana, resistance, subgrade

Artículo recibido 03 febrero 2025

Aceptado para publicación: 15 marzo 2025



INTRODUCCIÓN

El impacto de las fuertes lluvias en las carreteras de Colombia, especialmente durante el fenómeno de "La Niña". Se identifican 59 carreteras afectadas por deslizamientos de tierra y fallas en la superficie de rodadura. Las lluvias causan inundaciones y cierres de carreteras, especialmente en zonas con suelos inestables. El centro del país muestra el mayor número de incidentes. Antioquia, Cundinamarca y Santander son las regiones más afectadas, con 16, 11 y 11 vías afectadas respectivamente, mientras que Caldas y Huila tienen 6 y 3 vías afectadas (Vega, 2018). En la provincia de Huánuco, las carreteras están en condiciones intransitables, dificultando el tránsito vehicular. Provías Nacional y el gobierno regional son responsables del mantenimiento de carreteras locales y departamentales, respectivamente. Desde 2015, el Consorcio Vial de la Selva Central tiene la tarea de mantener las vías, pero estas están en pésimas condiciones. Durante la temporada de lluvias (diciembre-abril), las carreteras se vuelven peligrosas debido a la inestabilidad del suelo y la formación de baches, aumentando el riesgo de accidentes (Ahora, 2017). En la provincia de Chanchamayo, el 70% de los caminos vecinales no pavimentados están intransitables, afectando la comercialización de productos agrícolas y elevando los precios. En una reunión entre autoridades locales y agricultores, se expresó la necesidad de mejorar el mantenimiento vial, pues los agricultores dependen de estas vías para transportar sus productos.

Los pobladores denunciaron la falta de supervisión por parte del jefe del Instituto Vial y señalaron obras de rehabilitación iniciadas el año pasado pero abandonadas. También mencionaron derrumbes sin atención estatal y los problemas agravados por las lluvias, como deslizamientos y aniegos, exigiendo mayor acción por parte de las autoridades locales (Rpp, 2015).

El objetivo fue general determinar el efecto de la incorporación de ceniza hoja de plátano (CHP) en las propiedades de la subrasante y los objetivos específicos fueron determinar la composición química de la ceniza de hoja de plátano para su uso en la subrasante, determinar las propiedades físicas (porcentaje de humedad, tamaño de las partículas, porcentaje del índice de plasticidad) y mecánicas (Máxima densidad seca, contenido óptimo de humedad, resistencia y expansión) de la subrasante y finalmente determinar las propiedades físicas (porcentaje del límite líquido, porcentaje del límite plástico, porcentaje del índice de plasticidad) y mecánicas (Máxima densidad seca, contenido óptimo de humedad, resistencia y expansión) de la subrasante patrón con la incorporación de ceniza de hoja de

plátano en proporciones de 3%, 6% y 9%.

El otros estudios se evaluó el efecto de la ceniza de hoja de plátano (BLA) en proporciones de 2 %, 4 % y 6 % sobre suelos lateríticos para construcción de caminos. La BLA contiene principalmente óxidos de calcio (21.5 %), magnesio (4.84 %), y silicio (SiO_2). En el suelo patrón "A", la BLA redujo el límite líquido de 65.02 % a 55.65 % (con 2 % de BLA) y aumentó la resistencia (CBR) de 6.85 % a 10.23 % (con 4 % de BLA). En el suelo patrón "B", disminuyó el límite líquido de 63.98 % a 51.63 % y aumentó el CBR de 11.36 % a 22.73 % con 4 % de BLA. La BLA mejoró la resistencia y redujo la plasticidad de los suelos, lo que la hace viable para estabilizar suelos en caminos de manera sostenible (Adunoye et al., 2023). El estudio evaluó el efecto de agregar 5 %, 15 % y 25 % de ceniza de hoja de plátano (BLA) al suelo rojo para estabilizarlo y determinar su idoneidad en caminos, terraplenes, subrasantes y estructuras. Con un diseño experimental, se observó que el valor CBR del suelo aumentó de 12.6 % a 28.2 % al adicionar 15 % de BLA. Se concluyó que la resistencia del suelo mejoró significativamente con la incorporación de la ceniza (Sravan et al., 2023). En investigaciones al adicionar cenizas de cáscaras de coco (CCC) y cal en proporciones de 0%, 3%, 6% y 9%, y de cal se mantuvo en 2%, los resultados indicaron que la adición de CCC y cal mejoró la resistencia del suelo y aumentó los valores de CBR con 9% de CCC y 2% de cal, se alcanzaron los valores máximos de 35.50% para el CBR y 61.45% para la capacidad portante y concluyó, el uso de cenizas de cáscaras de coco junto con cal mejora significativamente la resistencia y capacidad de carga de suelos blandos, favoreciendo su estabilidad (Rangan, 2022). Otro estudio evaluó la idoneidad de las cenizas de bagazo y el polvo de piedra como estabilizadores de arcilla blanda mediante ensayos de compactación Proctor estándar y CBR, los resultados mostraron mejoras significativas en la compactación, permeabilidad, densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo, además se compararon con datos de estudios previos y finalmente, se analizó la viabilidad económica de su uso en terraplenes de transporte en Assam, India (Basack, 2021). Finalmente, el un estudio evaluó el efecto de la escoria de cemento Portland (CS) y la ceniza de bagazo (BA) en la estabilización de arcilla expansiva, determinando una mezcla óptima de 77.5% arcilla + 15% BA + 7.5% CS. Esta combinación redujo el hinchamiento y aumentó significativamente la resistencia, triplicando la compresión no confinada tras 28 días de curado y cuadruplicando el CBR empapado (13.2%). Además, la mezcla mostró mayor durabilidad en ciclos de humedecimiento-secado, lo que la

hace viable para estructuras ligeras como pavimentos (Gandhi, 2021).

Las cenizas volantes son uno de los aditivos activos utilizados en la producción de cemento y hormigón (Rodríguez, 1988). El capote (hoja de plátano) está precedido por una bráctea sin flores (capotillo) y un remanente de brácteas (placenta). La vaina y la placenta se secan rápidamente, pero la vaina permanece verde hasta la cosecha, incluso si los tallos colapsan y las hojas cuelgan, un fenómeno conocido como agobio (Vargas, 2009). El mejoramiento también es considerado como la estabilización de un suelo por muchos ingenieros especialistas en la geotecnia, esto hace que las propiedades del suelo se alteren ya sea en campo o también considerando una economía baja para determinar los controles de calidad de los suelos (Braja, 2013). Las propiedades del suelo son materiales trifásicos compuestos por fases sólida, líquida y gaseosa, con partículas de distintos tamaños y organizaciones, lo que da lugar a diversas estructuras (Serrano y Padilla, 2019. p. 3). La Densidad máxima seca es la vinculación entre volumen y masa de materiales como si fuera completamente denso (sin poros) (Betancourt, 2017). Los contenidos de humedad (%) se refiere a la vinculación entre el peso de agua evaporada y el peso constante cuando la muestra total se seca (Alconz, 2006). Porcentaje (%) de Absorción: Es el incremento de peso del árido poroso seco: hasta alcanzar el estado de saturación de las superficies secas debido al ingreso de agua en sus poros permeables (Alconz, 2006). El CBR, este método de prueba se utiliza para estimar las resistencias potenciales de subrasantes y material base, integrado el material reciclado utilizado en pavimento de pistas y carreteras (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2017).

METODOLOGÍA

Se realizó 03 calicatas tal como se observa en la figura 1 y 2, las muestras fueron llevadas al laboratorio CENTAURO INGENIEROS para realizar las pruebas respectivas tanto del suelo patrón como del suelo con la incorporación de CHP. La adición de la CHP fue de 3%, 6% y 9% respectivamente con respecto al peso de la muestra y esto se aplicará en el material de una calicata.

Figura 1. Exploración de suelos



Figura 2. Traslado del material al laboratorio



En el laboratorio de suelos se realizó el ensayo granulométrico para determinar las dimensiones de las partículas tal como se observa en la tabla 1 y posteriormente conocer la clasificación del suelo de las 03 calicatas.

Tabla 1. Resultados del % de agregados del suelo

Item	Calicata	% de Humedad	Finos	Arena	Grava
1	C1	11.00%	46.18%	46.20%	7.62%
2	C2	18.00%	50.20%	40.37%	9.43%
3	C3	13.00%	39.76%	40.53%	19.71%

Con los datos del análisis granulometría y los límites de consistencia se determinó la clasificación mediante el método SUCS y AASTHO del suelo de las 03 calicatas, tal como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de suelos SUCS y AASTHO las calicatas

Item	Calicata	Clasificación S.U.C.S		Clasificación AASTHO	
		S.U.C.S	Interpretación	Interpretación	Clasificación como sub rasante
1	C1	SC	Arena arcillosa	Suelo Arcilloso	Regular a deficiente
2	C2	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad	Suelo Arcilloso	Regular a deficiente
3	C3	SC	Arena arcillosa con grava	Suelo limoso	Regular a deficiente

La investigación es de tipo aplicada porque se desarrollará con teorías existentes para solucionar el problema de la subrasante. Así también se determinó los resultados con estadísticas de manera cuantitativa. Esta investigación fue de diseño experimental porque se manipuló una de la variable independiente (ceniza de hojas de plátano) para ver el efecto en la variable dependiente (Subrasante). En esta investigación se realizará la mezcla de la muestra extraída de la calicata (sub rasante) con las CHP en tres dosificaciones de 3%, 6% y 9% para determinar la influencia en las propiedades de la subrasante del suelo, por lo que la variable independiente es (X1, X2 y X3) y la variable dependiente (Y1, Y2, Y3 y Y4).

Tabla 3. Relación entre las variables de investigación

V.I. (Ceniza de hoja de plátano)			V.D. (Propiedad de la subrasante)			
X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
0	0	0	Y _{1.-0.}	Y _{2.-0.}	Y _{3.-0.}	Y _{4.-0.}
3%	0	0	Y _{1.-x1.}	Y _{2.- x1.}	Y _{3.- x1.}	Y _{4.- x1.}
0	6%	0	Y _{1.-x2.}	Y _{2.- x2.}	Y _{3.- x2.}	Y _{4.- x2.}
0	0	9%	Y _{1.-x3.}	Y _{2.- x3.}	Y _{3.- x3.}	Y _{4.- x3.}

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química de la ceniza de hojas de plátano

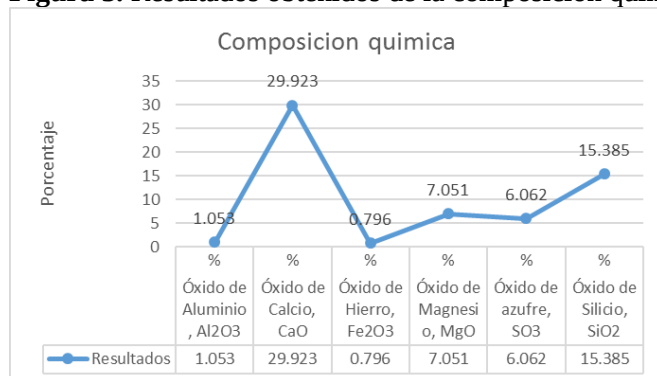
En la tabla 4 y figura 3 se observa que en la ceniza hoja de plátano existe 1.053% Óxido de Aluminio

Al₂O₃, 0.796% de Óxido de Hierro Fe₂O₃, 29.923% de Óxido de Calcio CaO , 7.051% de Óxido de Magnesio MgO, 6.062% Óxido de azufre SO₃ y 15.385% de Óxido de Silicio, SiO₂. Destacando el óxido de calcio y oxido de silicio como propiedades que aportan significativamente al suelo de la subrasante por contener propiedades cementantes.

Tabla 4. Composición química de la CHP

Parámetro	Unidad	Resultados
Óxido de Aluminio, Al ₂ O ₃	%	1.053
Óxido de Magnesio, MgO	%	7.051
Óxido de azufre, SO ₃	%	6.062
Óxido de Calcio, CaO	%	29.923
Óxido de Hierro, Fe ₂ O ₃	%	0.796
Óxido de Silicio, SiO ₂	%	15.385

Figura 3. Resultados obtenidos de la composición químico de la CHP



Con respecto a la composición química de la ceniza hoja de plátano existe 29.923% de Óxido de Calcio CaO, 7.051% de Óxido de Magnesio MgO y 15.385% de Óxido de Silicio, SiO₂. Se concuerda con la investigación de quienes obtuvieron como resultados en la composición química de la ceniza hoja de plátano Óxido de calcio (CaO) 21,5%; Óxido de magnesio (MgO) 4,84% (Adunoye et al., 2023).

Propiedades físicas de la subrasante con la adición de CHP

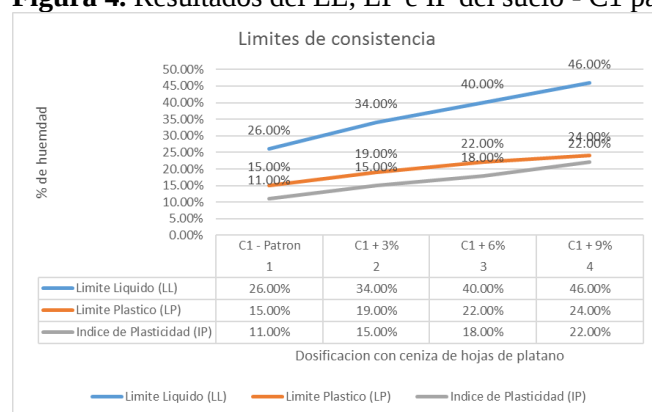
En la tabla 5 y la figura 4 se puede apreciar que el suelo (subrasante) patrón tuvo un 26% LL, 15% LP y un 11% IP, al incorporar el 3% de CHP se obtuvo un 34% LL, 19% LP y un 18% IP, incorporando el 6% de CHP se obtuvo un 40% LL, 22% LP y un 18% IP, finalmente al incorporar el 9% de CHP se

obtuvo un 46% LL, 24% LP y un 22% IP.

Tabla 5. LL, LP e IP del suelo - C1 patrón y con la adición de la CHP

Item	Calicata	Limite Liquido (LL)	Limite Plástico (LP)	Índice de Plasticidad (IP)
1	C1 - Patrón	26.00%	15.00%	11.00%
2	C1 + 3%	34.00%	19.00%	15.00%
3	C1 + 6%	40.00%	22.00%	18.00%
4	C1 + 9%	46.00%	24.00%	22.00%

Figura 4. Resultados del LL, LP e IP del suelo - C1 patrón y con la adición de la CHP



Con respecto a los resultados de las propiedades físicas del suelo tuvo un 25% límite líquido, 15% de límite plástico y el 11 %índice de plasticidad, así también las propiedades mecánicas de suelo tuvieron un contenido óptimo de humedad de 11.85%, máxima densidad seca de 2.012gr/cm³, resistencia al 95% y 100% de la DMS de 10.20% y 13.30% respectivamente, finalmente un porcentaje de expansión de 0.023%. Se concuerda con quienes obtuvieron resultados con respecto al suelo patrón “A” tuvo como LL 43.8%, LP 26.6%, IP 17.2%, OCH 28.2%, DMS 1624kg/m³ y un CBR de 12%, Mientras que los resultados del suelo patrón “B” un LL 64%, LP 26%, IP 38%, OCH 23.6%, DMS 1476kg/m³ y un CBR de 12% (Daramola et al., 2021). Con respecto al resultado de esta investigación, se observó que las propiedades físicas, el LL, LP e IP del suelo al adicionar las CHP en porcentajes de 3%, 6% y 9% el LL aumento a 34%, 40% y 46% respectivamente, así también aumento el LP a 19%, 22% y 24% respectivamente, finalmente el IP aumento a 15%, 18% y 22% respectivamente. Con respecto al LL se discrepa con quienes tuvieron como resultado al adicionar el 2% de ceniza hoja de plátano, el LL del suelo tuvo una disminución de 65.02% a 55.65% con respecto a la muestra “A”, del mismo modo

también al adicionar el 2% de CHP al suelo el LL disminuyó de 63.98% a 51.63% con respecto a la muestra “B”; así también el LP del suelo tuvo una disminución de 42.11% a 40.14% con respecto a la muestra “A”, del mismo modo también al adicionar el 2% de CHP al suelo el LP disminuyó de 37.38% a 32.60% con respecto a la muestra “B”; finalmente al adicionar el 2% de CHP, el IP del suelo tuvo una disminución de 22.91% a 15.51% con respecto a la muestra “A”, del mismo modo también al adicionar el 2% de CHP al suelo el IP disminuyó de 26.6% a 19.03% con respecto a la muestra “B”.

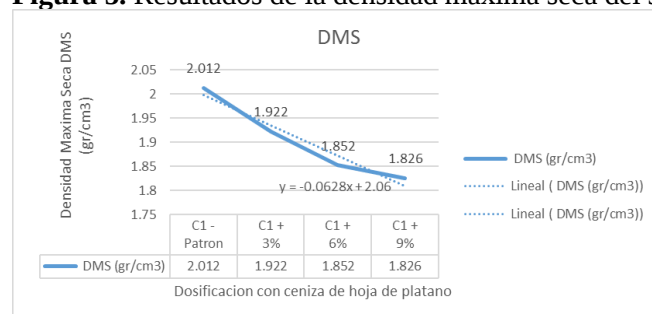
Propiedades mecánicas de la subrasante con la adición de CHP

En la tabla 6 y la figura 5 se puede apreciar que el suelo (subrasante) patrón tuvo una DMS de 2.212gr/cm³, al adicionar el 3%, 6% y 9% de CHP se obtuvo como resultados 1.922gr/cm³, 1.852gr/cm³ y 1.856gr/cm³ respectivamente.

Tabla 6. Densidad máxima seca del suelo - C1 patrón y con la adición de la CHP

Item	Calicata	DMS (gr/cm ³)	Variación %
1	C1 - Patrón	2.012	100%
2	C1 + 3%	1.922	96%
3	C1 + 6%	1.852	92%
4	C1 + 9%	1.826	91%

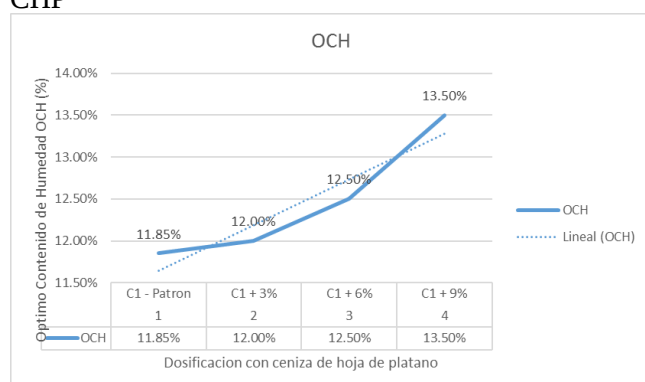
Figura 5. Resultados de la densidad máxima seca del suelo - C1 patrón y con la adición de la CHP



En la tabla 7 y la figura 6 se puede apreciar que el suelo patrón tuvo un OCH de 11.85%, al adicionar el 3%, 6% y 9% de CHP se obtuvo como resultados 12.00%, 12.50% y 13.50% respectivamente.

Tabla 7. Óptimo contenido de humedad del suelo - C1 patrón y con la adición de la CHP

Item	Calicata	OCH	Variación %
1	C1 - Patrón	11.85%	100%
2	C1 + 3%	12.00%	101%
3	C1 + 6%	12.50%	105%
4	C1 + 9%	13.50%	114%

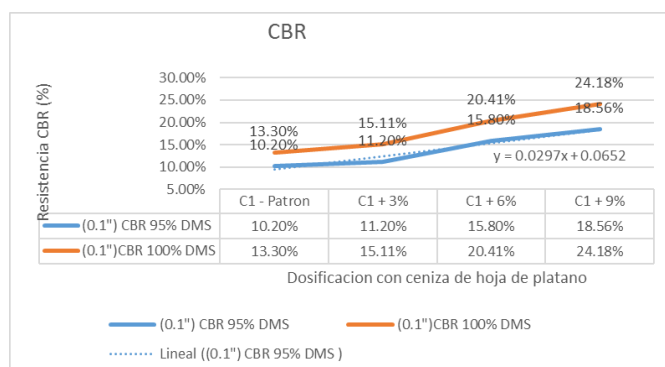
Figura 6. Resultados del óptimo contenido de humedad del suelo - C1 patrón y con la adición de la CHP

En la tabla 8 y la figura 7 se visualiza que el CBR al 95% de la DMS el suelo patrón tuvo una resistencia de 10.20%, al adicionar el 3%, 6% y 9% de CHP se los resultados fueron 11.20%, 15.18% y 18.56% respectivamente. Así también el CBR al 100% de la DMS el suelo patrón tuvo una resistencia de 13.30%, al adicionar el 3%, 6% y 9% de CHP los resultados fueron 15.11%, 20.41% y 24.18% respectivamente.

Tabla 8. Resistencia del suelo - C1 patrón y con la adición de la CHP

Item	Calicata	(0.1") CBR 95% DMS	(0.1") CBR 100% DMS	Variación % (CBR 95%)	Variación % (CBR 100%)
1	C1 - Patrón	10.20%	13.30%	100%	100%
2	C1 + 3%	11.20%	15.11%	110%	114%
3	C1 + 6%	15.80%	20.41%	155%	153%
4	C1 + 9%	18.56%	24.18%	182%	182%

Figura 7. Resultados de la resistencia del suelo - C1 patrón y con la adición de la CHP

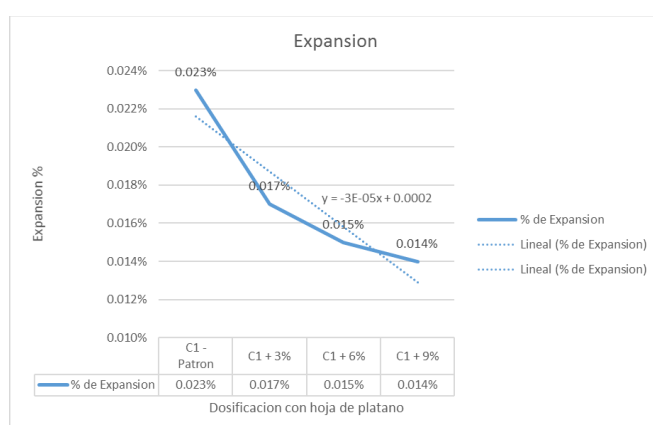


En la tabla 9 y la figura 8 se puede visualizar que el suelo (subrasante) patrón tuvo una expansión de 0.023%, al adicionar el 3%, 6% y 9% de CHP se obtuvo como resultados 0.017%, 0.015% y 0.014% respectivamente.

Tabla 9. Expansión del suelo - C1 patrón y con la adición de la CHP

Item	Calicata	% de Expansión	Variación %
1	C1 - Patrón	0.023%	100%
2	C1 + 3%	0.017%	74%
3	C1 + 6%	0.015%	65%
4	C1 + 9%	0.014%	61%

Figura 8. Resultados de la expansión del suelo - C1 patrón y con la adición de la CHP



Con respecto al resultado de esta investigación, se observó las propiedades mecánicas, como la densidad máxima seca del suelo al adicionar las cenizas de hojas de plátano en porcentajes de 3%, 6% y 9% las densidades disminuyeron hasta 1.826kg/cm³, los óptimos contenidos de humedad aumentaron hasta

13.50% y las resistencias aumentaron hasta 18.56% (Adunoye et al., 2023). Se concuerda con quienes tuvieron como resultado al adicionar el 4% de CHP al suelo la DMS disminuyó de 1.476 gr/cm³ a 1.478 con respecto a la muestra "B", se discrepa en el óptimo contenido de humedad que al adicionar el 4% de CHP al suelo el OCH disminuyó de 23.6% a 19% con respecto a la muestra "B", finalmente se concuerda en la resistencia que al adicionar el 4% de CHP al suelo la resistencia aumento de 12% a 30% con respecto a la muestra "B" (Daramola et al., 2021).

CONCLUSIONES

En síntesis, la composición química de la ceniza de hoja de plátano (29.923% de Óxido de Calcio – CaO, 7.051% de Óxido de Magnesio – MgO y 15.385% de Óxido de Silicio – SiO₂) presenta similitudes con la del cemento, lo que explica su influencia en las propiedades del suelo subrasante.

Los análisis de laboratorio determinaron que el suelo analizado es arcilloso y de calidad deficiente. Además, registró un contenido de humedad del 11% y, según los resultados granulométricos, estaba compuesto por un 46.18% de finos, 46.20% de arena y 7.62% de grava.

Tras realizar las pruebas comparativas entre el suelo patrón y aquel mejorado con la adición de ceniza de hoja de plátano (CHP), se observó que este aditivo impactó las propiedades físicas del suelo, incrementando los límites de liquidez (LL), plasticidad (LP) e índice de plasticidad (IP). De acuerdo con el Manual de Suelos y Pavimentos del MTC, la adición del 9% de CHP transformó el suelo de una plasticidad media (arcilloso) a una plasticidad alta (muy arcilloso). Asimismo, en términos de propiedades mecánicas, la adición de CHP redujo la densidad máxima seca (DMS) de 2.212 kg/cm² en el suelo patrón a 1.856 kg/cm² con el 9% de ceniza de hoja de plátano. También se incrementó el óptimo contenido de humedad (OCH) de 11.85% a 13.5%. En cuanto a la resistencia del suelo, el CBR al 95% de la DMS aumentó de 10.20% (suelo patrón) a 18.56% con el 9% de CHP, clasificándolo como un suelo de buena calidad según el Manual de Suelos y Pavimentos del MTC. De igual manera, el CBR al 100% de la DMS subió de 13.30% a 24.18%, lo que permitió que el suelo pasara de ser una "subrasante buena" a una "subrasante muy buena" con la adición del 9% de CHP.

Finalmente, se evidenció una reducción en la expansión del suelo, disminuyendo del 0.023% en el suelo patrón a 0.014% con la incorporación del 9% de ceniza de hoja de plátano.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adunoye G.O., Akanbi O.T., Oyeniyi O.M., Ogunbeku O.D. (2023) Stabilisation of Lateritic Soil for Road Construction Using Banana Leaf Ash, International Journal of Civil Engineering, Construction and Estate Management, Vol.11, No.1, pp.14-21, doi: <https://doi.org/10.37745/ijcecem.14/vol11n11422>
- Ahora (2017). Las carreteras a provincias en pésimo estado de transitabilidad. Diario Ahora. <https://www.ahora.com.pe/las-carreteras-a-provincias-en-pesimo-estado-de-transitabilidad/>
- Alconz I. (2006) Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura materiales de construcción (guía de las prácticas de campo y normas de calidad. [Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Simón]. Universidad Mayor de San Simón. <https://pdfcoffee.com/universidad-mayor-de-san-simon-facultad-de-ciencias-y-tecnologia-quot-material-de-apoyo-didactico-para-la-enseanza-y-aprendizaje-de-la-asignatura-materiales-de-construccion-guia-de-las-practicas-de-campo-y-normas-de-calidad-quot-pdf-free.html>
- Basack. (2021). A comparative study on soil stabilization relevant to transport infrastructure using bagasse ash and stone dust and cost effectiveness. Civil Engineering Journal (Iran), 7(11), 1947–1963. <https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091771>
- Betancourt R. (2017). Materiales para la construcción. Editorial Feijóo. ISBN: 978-959-312-357-0. <https://es.scribd.com/document/510644793/Betancourt-R-Sergio-2017-Materiales-Para-La-Construccion-Universidad-Central-Marta-Abreu-de-La-Villa-Noviembre-2017-Santa-Clara-Cuba>
- Braja M. (2013). Fundamentos de ingeniería geotécnica (4ta ed.). Cengage Learning Editores, S.A. de C.V. ISBN: 978-1-111-57675-2. https://www.academia.edu/37854899/Fundamentos_de_Ingenieria_Geotecnica_Braja_M_Das
- Daramola T., Olaniregun E., Adunoye G. (2021). Experimental Study on the Geotechnical Properties of Soils Treated with Banana Leaf Ash. New York Science Journal, 14(1):32-37. <https://doi.org/10.7537/marsnys140121.06>
- Gandhi. (2021). Durability study of expansive clay treated with bagasse ash and cement slag. Innovative Infrastructure Solutions, 6(2). <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00494-0>



- Ministerio de transportes y comunicaciones (2017). Manual de suelos geología, geotecnia y pavimentos ensayos de materiales. R.D. N°18-2016-MTC/14.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- Rangan. (2022). Influence of coconut shell ash and lime towards CBR value and subgrade bearing capacity. AIP Conference Proceedings, 2391. <https://doi.org/10.1063/5.0079014>
- Rodriguez S., J. (1988). Empleo de cenizas volantes en la fabricación de los hormigones. Revista de obras públicas, 49-51.
https://quickclick.es/rop/detalle_articulo.php?registro=2342&anio=1988&numero_revista=3270
- Rpp (2015). Chanchamayo: agricultores reclaman mantenimiento de vías vecinales. Radio Programa de Perú. <https://rpp.pe/peru/actualidad/chanchamayo-agricultores-reclaman-mantenimiento-de-vias-vecinales-noticia-761080>
- Serrano Rodríguez, E., & Padilla González, E. (2019). Análisis de los cambios en las propiedades mecánicas de materiales de subrasante por la adición de materiales poliméricos reciclados. Revista Ingeniería Solidaria, 25(1). <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2019.01>
- Sravan Rao T., Lokesh U., Suresh K., Ranadeep B. y Thangamani K. (2023). Strength properties of soil stabilization with banana leaves ash, Materials Today: Proceedings, Volume 92, Part 2, 955-959.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.558>
- Vargas A. (2009). Comportamiento y características de la hoja capote durante el desarrollo del racimo de banano. Agronomía Costarricense 33(2): 193-203. ISSN:0377-9424 / 2009.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43613279005>
- Vega B. (2018). Las vías que suman más derrumbes por lluvias están en Antioquia y Cundinamarca. La república. <https://www.larepublica.co/infraestructura/las-vias-que-suman-mas-derrumbes-por-lluvias-estan-en-antioquia-y-cundinamarca-2731208>