



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE ADICIONANDO CENIZA DE CÁSCARA DE SANDIA AL 6%, 13%, 20% Y 27% EN DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN CANTA CALLAO-LIMA NORTE 2023”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Jose Robinson Osorio Javier

Asesor:

Ing. Neicer Campos Vasquez

<https://orcid.org/0000-0003-1508-6575>

Lima - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	JOSE LUIS NEYRA TORRES	21454204
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	ERICK HUMBERTO RABANAL CHAVEZ	42009981
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	NEICER CAMPOS VASQUEZ	42584435
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

REPORTE DE SIMILITUD

TESIS OSORIO JAVIER JOSE T

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	Submitted to University of Lincoln Trabajo del estudiante	1%
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	core.ac.uk Fuente de Internet	1%
6	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
7	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

Dedico mi tesis principalmente a mi DIOS, quien me dio la fuerza necesaria para lograr este objetivo. Gracias a mis padres y mi familia por su amor y por inspirarme a seguir adelante. Gracias también a mis hermanos por su apoyo moral en los días y noches que me tocó investigar. Gracias a mis padres, Santa y Juan, por estar conmigo en cada paso del camino en mi búsqueda por convertirme en una mejor persona y profesional. También se lo dedico a mis hijos, que me dieron las fuerzas para seguir adelante. A la mi esposa, hermanos y sobrinos, por su apoyo incondicional, espero que sirva de ejemplo de lo que se puede lograr con nuestras metas propuestas. Gracias a mi viejito Ñinco que me hizo reaccionar cuando pensé dejar los estudios y que no podía continuar, mil gracias, lo logramos mi viejo.

AGRADECIMIENTO

Tengo muchas personas a las que agradecer, pero antes que a todos a mi DIOS que nunca me abandonó. Hay tantas personas que me han ayudado a lo largo de los años que ciertamente no puedo nombrarlas a todas. Ellos saben quiénes son. Lo único que no quiero hacer es dejar de saludar a mis padres y mi familia. Me han apoyado todo el camino y sin ellos realmente no podría llegar a donde estoy hoy. Gracias a mi familia y padres ahora es mi turno de hacerlos sentir orgullosos. Finalmente, este período importante en mi vida ha terminado, fue un momento en el que estaba aprendiendo en clase, pero también de mis compañeros y maestros, que eran personas valiosas e interesantes de las que guardo buenos recuerdos. Quiero darles un pequeño agradecimiento y decirles que son los mejores y que nunca los olvidaré. Gracias por todas las experiencias. Mis años en estas aulas me prepararon para los desafíos que se avecinaban, pero sabiendo que lo hacía con mejores armas y un espíritu combativo, ningún desafío parecía imposible, gracias infinitas a todos.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
REPORTE DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
TABLA DE ECUACIONES	11
RESUMEN	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	41
CAPÍTULO III: RESULTADOS	59
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES	86
Referencias	88
Anexos.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Índice de Plasticidad de la Arcilla Norma ASTM	24
Tabla 2 Clasificación de Suelos según Tamaño de Partículas Norma ASTM D422	25
Tabla 3 Categorías de Sub-rasante.....	35
Tabla 4 Diseño de investigación experimental	44
Tabla 5 Muestra de calicatas	46
Tabla 6 Ensayo Químico.....	63
Tabla 7 Límites de Consistencia para la calicata 1	65
Tabla 8 Límites de Consistencia para la calicata 2	66
Tabla 9 Límites de Consistencia para la calicata 3	67
Tabla 10 Densidad Seca Máxima (gr/cm ³).....	72
Tabla 11 Óptimo Contenido de Humedad (%)	76
Tabla 12 CBR de la calicata 1.....	82
Tabla 13 CBR de la calicata 2.....	83
Tabla 14 CBR de la calicata 3.....	83
Tabla 15 Análisis de Precios Unitario de la ceniza de cáscara de sandía	87
Tabla 16 Presupuesto de la adición de ceniza de cascara de sandilla	88
Tabla 17 Variables de la investigación	99
Tabla 18 Prueba del supuesto de Normalidad para los LC	100
Tabla 19 Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para los LC	101
Tabla 20 Prueba de ANOVA de un factor para los Límites de Consistencia	102
Tabla 21 Prueba de post hoc de Tukey para el Límite Líquido de la Calicata 1	103
Tabla 22 Prueba de post hoc de Tukey para el Límite Plástico de la Calicata 1	103

Tabla 23 Prueba de post hoc de Tukey para el Límite Líquido de la Calicata 2	104
Tabla 24 Prueba de post hoc de Tukey para el Límite Plástico de la Calicata 2	105
Tabla 25 Prueba de post hoc de Tukey para el Límite Líquido de la Calicata 3	106
Tabla 26 Prueba de post hoc de Tukey para el LP de la Calicata 3	107
Tabla 27 Prueba del supuesto de Normalidad para la DSM	108
Tabla 28 Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para la DSM	109
Tabla 29 Prueba de ANOVA de un factor para la DSM.....	109
Tabla 30 Prueba de post hoc de Tukey para la DSM para la Calicata 1	110
Tabla 31 Prueba de post hoc de Tukey para la DSM para la Calicata 2	111
Tabla 32 Prueba de post hoc de Tukey para la DSM para la Calicata 3	112
Tabla 33 Pruebas de normalidad.....	113
Tabla 34 <i>Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para el OCH</i>	114
Tabla 35 Prueba de ANOVA de un factor para el OCH.....	115
Tabla 36 Prueba de post hoc de Tukey para el OCH de la Calicata 1	115
Tabla 37 Prueba de post hoc de Tukey para el OCH de la Calicata 2	116
Tabla 38 Prueba de post hoc de Tukey para el OCH de la Calicata 3	117
Tabla 39 Prueba del supuesto de Normalidad para el CBR.....	118
Tabla 40 Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para el CBR.....	119
Tabla 41 <i>Prueba de ANOVA de un factor para el CBR</i>	119
Tabla 42 <i>Prueba de post hoc de Tukey para el CBR de la Calicata 1</i>	120
Tabla 43 Prueba de post hoc de Tukey para el CBR de la Calicata 2.....	121
Tabla 44 Prueba de post hoc de Tukey para el CBR de la Calicata 3.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Suelo arcilloso	23
Figura 2 Subrasante	26
Figura 3 Ángulo de Fricción Interna de diferentes Tipos de Suelos	36
Figura 4 Composición química de la harina de la cáscara de sandía.....	37
Figura 5 Contenido de Humedad.....	54
Figura 6 Proctor Modificado.....	58
Figura 7 CBR.....	60
Figura 8 Avenida Las Torres con avenida Canta - Callao.....	62
Figura 9: Media de Limite Liquido para la calicata 1	103
Figura 10: Media de Limite Plástico para la calicata 1	104
Figura 11: Media de Limite Liquido para la calicata 2	105
Figura 12: Media de Limite Plástico para la calicata 2	106
Figura 13: Media de Limite Liquido para la calicata 3	107
Figura 14: Media de Limite Liquido para la calicata 1	108
Figura 15: Media de Densidad Seca Máxima para la calicata 1	111
Figura 16: Media de Densidad Seca Máxima para la calicata 2.....	112
Figura 17: Media de Densidad Seca Máxima para la calicata 3.....	113
Figura 18: Media de Optimo Contenido de Humedad para la calicata 1	115
Figura 19: Media de Optimo Contenido de Humedad para la calicata 2	117
Figura 20: Media de Optimo Contenido de Humedad para la calicata 1	118
Figura 21: Media de CBR de la calicata 1	120
Figura 22: Media de CBR de la calicata 2.....	121

Figura 23: Media de CBR de la calicata 3..... 122

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Resistencia al corte de los suelos	35
Ecuación 2 Porcentajes de pesos retenidos en tamiz	49
Ecuación 3 Porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz	49
Ecuación 4 Porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz	50
Ecuación 5 Lecturas de hidrómetro corregidas por menisco	51
Ecuación 6 Cálculo del diámetro de las partículas (D).....	51
Ecuación 7 K.....	52
Ecuación 8 Porcentaje más fino	52
Ecuación 9 Calculo contenido de humedad	53
Ecuación 10 Contenido de humedad.....	55
Ecuación 11 Limite líquido a 25 golpes	55
Ecuación 12 Contenido de humedad.....	56
Ecuación 13 índice de plasticidad.....	56
Ecuación 14 índice de grupo.....	57

RESUMEN

En la realidad problemática de la subrasante del cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte, por lo que el objetivo de la presente investigación es estabilizar la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía, investigación es de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo, de diseño cuasi-experimental, población es el cruce de la avenida Las Torres con avenida Canta Callao 0 + 000 km hasta 3 + 470 km (en la avenida Las Torres) y la muestra vendría a hacer los 3 km del cruce de la avenida Las Torres con avenida Canta, Callao dado que esta última es pequeña. Se evaluó la influencia de diferentes niveles de cenizas de cáscara de sandía en las propiedades mecánicas de la subrasante de suelos SC en un cruce de Lima Norte. Aunque el ANOVA inicial no pudo aplicarse debido a supuestos no cumplidos, la prueba de Kruskal Wallis respaldó la hipótesis de que no hubo mejoras significativas en las propiedades mecánicas con la adición de cenizas. Se sugiere investigar más o considerar otras variables para obtener conclusiones sólidas. Sin embargo, el análisis de varianza mostró diferencias significativas en el CBR entre los diseños experimentales, respaldando la mejora del CBR con la adición de cenizas. Se propone un análisis de costos para evaluar el impacto económico de esta adición

PALABRAS CLAVES: Subrasante, ceniza y CBR.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.2 Realidad Problemática

En todo el mundo se pueden encontrar diferentes tipos de suelo en las zonas de carreteras, donde los elementos estructurales, como las bases de las carreteras, acabarán asentándose específicamente en Zaragoza, España existe una red de caminos rurales por los que circulan con frecuencia vehículos pesados, como maquinaria agrícola. Estas carreteras se distinguen por la abundancia de suelos arcillosos con una carga muy baja, lo que exige una estabilización eficaz. La investigación señala que los estabilizantes a aplicar se destinan a dos zonas, maximizando las características del suelo y su tiempo en la carretera. Es por ello que también subraya que, al utilizar restos de fabricación nocivos en determinados lugares, disminuye la contaminación global (Montalico, 2022)

Además, en América específicamente en Colombia se tiene un grave problema con la construcción basada en la calidad de los suelos. Se debe evaluar la dureza, conductividad, resistencia y riqueza de los suelos, y en algunos casos, los suelos de esa parcela en particular no son los mejores. En consecuencia, hay que buscar aditivos o componentes, así como procesos metodológicos, para mejorar el rendimiento de los suelos a fin de que cumplan los requisitos de uso necesarios (Montalico, 2022)

En el Perú, particularmente en la intersección de la Av. Las Torres y la Av. Canta Callao en Lima Norte, donde se presenta una variedad de suelos, incluyendo suelos SC, estos suelos también están presentes en las subrasantes de las carreteras nacionales, sectoriales y municipales y actúan como componente estructural del pavimento, ocasionando defectos en estas vías. Dicen

que la calidad no se corresponde con sus cualidades físicas y mecánicas porque, si no se aborda con prontitud la estabilidad del suelo SC, seguiremos teniendo carreteras en mal estado como resultado de los daños que se producen a lo largo de la carretera en relación con el orden de la subrasante. "Para un uso adecuado, estas consideraciones deben ser tenidas en cuenta, de lo contrario, se generan dificultades en forma de bajo tráfico de automóviles, bajo desarrollo económico de los residentes que elegirán otra ruta para llegar a su destino y aumento de los costos de mantenimiento de las carreteras" (Quispe, 2020)

Es bien sabido que la reacción ideal de un pavimento depende en gran medida de las características mecánicas y físicas del material (Instituto Mexicano de Transporte, Secretaría de Transporte - Mecánica de Materiales de Pavimento, 2002, p. 14). La ciencia de la ingeniería no se ha quedado de brazos cruzados en este campo, sino que ha buscado nuevas soluciones para abordar el problema de las carreteras de tierra batida y mejorar su capacidad de respuesta para los desplazamientos por carretera y transporte exterior.

La subrasante, que soporta las cargas, es un componente crucial de la construcción del pavimento. El paquete de pavimentación estructural se diseñará adecuadamente si se dispone de más información sobre la respuesta de la subrasante (Quispe, 2020)

Más que ninguna otra calabaza, la sandía tiene una gran demanda en todo el mundo, y representa el 6,8% de la superficie mundial de producción de hortalizas (Guner y Wenher, Goreta et al.) citado en (Soto, 2017). Con un rendimiento de unas 30 toneladas al año y una superficie de plantación de unas 3.000 hectáreas, la mayoría de las variedades en Perú son de polinización abierta, mientras que las variedades híbridas se plantan en parcelas más pequeñas.

A consecuencia se propone que la ceniza de esta calabaza, que representa una parte importante de la producción en nuestro país, podría utilizarse como aditivo.

La carretera estudiada para esta tesis es una que se está construyendo actualmente en el Sector Callao de Lima Norte; se pueden observar fallas a lo largo de la carretera como resultado de la limitada capacidad portante de los suelos arcillosos.

Antecedentes

Antecedentes internacionales

En los trabajos previos que se ha investigado en relación con esta tesis, como primer antecedente a nivel nacional, tenemos:

CoCañar (2017), que realizó una investigación con el evaluar el comportamiento mecánico de los suelos arenosos finos y arcillosos después de estabilizarlos con cenizas de carbón, así como los resultados de los ensayos de resistencia al corte entre los dos tipos de suelos, se pudo destacar que la adición de cenizas de carbón tiene un efecto positivo en suelos expansivos como la arcilla porque forma una masa compacta, eleva el grado de compactación y, posteriormente, mejora su CBR y su resistencia al cizallamiento, con el fin de encontrar las circunstancias más ventajosas para su aplicación. Además, los resultados de los ensayos CBR en suelos arenosos finos revelan una mejora del porcentaje de resistencia que oscila entre el 15,0% y el 19,60% cuando se combina con un 25% de ceniza de carbón, lo que indica que puede utilizarse como subrasante. Por último, los resultados de las pruebas muestran que el uso de cenizas de carbón favorece más eficazmente a los suelos arenosos finos y satisface el objetivo fijado para el trabajo experimental.

Así mismo como segundo **antecedente a nivel internacional**, tenemos a De la Cruz (2022), realizó una tesis cuyo objetivo era evaluar la estabilización de suelos arcillosos adicionando ceniza de ladrillo en vías no pavimentadas, diseño experimental, muestreo intencional no probabilístico, investigación aplicada, nivel explicativo, la muestra fue de 360 kg de tierra de subrasante de la Av. Próceres. La cantidad de grava en el suelo aumenta de 13,79% a 26,60% (variación porcentual de 92,24%), mientras que el contenido de humedad disminuye de 10,73% a 9,24% (variación porcentual de -13,86%) cuando se añaden cenizas de ladrillo a los suelos arcillosos. Considerando un contenido de cenizas de ladrillo del 30%, el índice de plasticidad disminuye del 27,57% al 14,37% (variación porcentual de -47,88%), la cantidad de grava en el suelo aumenta del 13,79% al 26,60% (variación porcentual de 92,24%), y el equivalente de arena disminuye del 44,13% al 39,37% (variación porcentual de -9,44%)., además mejora considerablemente sus cualidades mecánicas, como demuestran los resultados, que muestran un aumento máximo de la densidad seca del 8,06%, de 1,86 g/cm³ a 2,01 g/cm³; El CBR al 95% aumentó de 4,60% a 20,83% (cambio porcentual de 352,90%), y el CBR al 100% aumentó de 4,93% a 22,87% (cambio porcentual de 363,51%), pero el contenido óptimo de humedad disminuyó de 11,11% a 9,38% (un cambio de -15,59%), esto ocurre cuando el peso seco del suelo es igual al 30% del contenido de ceniza de ladrillo. En conclusión, la adición de cenizas de ladrillo estabiliza los suelos arcillosos en carreteras sin pavimentar, mejorando las características físicas y mecánicas del suelo y permitiendo el uso del suelo como subrasante.

A su vez como tercer **antecedente a nivel internacional**, tenemos a Cobos, Ortegon, & Peralta (2019), fue realizada una investigación que tuvo el objetivo de evaluar el comportamiento geotécnico de suelos de origen volcánico estabilizados con ceniza proveniente cáscara de coco y cisco de café, Pudieron determinar que la alteración del método de estabilización aumentaba la

compactación del suelo y mejoraba rápidamente su capacidad portante, lo que indica que el suelo simplemente consolidado no tiene suficiente capacidad portante para resistir una carga determinada, concluyendo que añadiendo un 15% de biomasa, se alcanzan porcentajes medios de compactación cercanos y superiores al 100%, lo que indica que las cenizas de CCF y CCO funcionan como un material conglomerante que permite reforzar las cualidades de un suelo.

De igual forma, como cuarto **antecedente a nivel internacional**, tenemos a Morales (2015) realizó una tesis con el objetivo de evaluar como acciona el método de curado en el comportamiento mecánico de mezclas de suelo al añadir ceniza de carbón y activadas alcalinamente; Las mezclas de suelo de Urrao con concentraciones de CC y NaOH de 3,5 M obtuvieron las mejores condiciones a humedades superiores al 95% cuando se sometieron a una temperatura entre 40°C y 50°C, alcanzando 240 kPa, pero a humedad ambiente las mejores condiciones se produjeron cuando el suelo se sometió a una temperatura entre 20°C y 30°C, alcanzando 150 kPa. Este estudio pretende determinar las mejores condiciones para su uso en carreteras sin pavimentar. Se descubrió que, en las dos condiciones de humedad, la resistencia del UCS disminuía con el aumento de la adición de CC. La resistencia promedio de las muestras de suelo de Urrao con CC tamizado no es significativamente diferente de las muestras con CColtejer, como lo muestran los resultados obtenidos para CC tamizado comparado con CColtejer en los Gráficos 20, 21 y 22, y es posible lograr una resistencia similar tamizando a través de una malla tipo N°100 o mayor. Utilizando NaOH en solución como activador alcalino a 8M, es posible obtener calidades comparables de CC tamizado y CColtejer y, como se indica en la Tabla 34, alcanzar la resistencia requerida por la norma INVIAS para suelo cemento.

Por otro lado, como quinto **antecedente a nivel internacional**, tenemos a Ortiz (2012). Realizó la investigación cuyo objetivo es evaluar la resistencia de un suelo con adición de una

gente modificador denominado ceniza de cascarilla de café mediante compresión inconfiada respecto de un suelo virgen con las mismas características, dado que la CCC es un material no plástico y repele el agua, significa que cuando se añade al suelo fino, presenta una disminución de su densidad seca máxima y un aumento de su humedad óptima debido a la baja compresibilidad del aditivo. Se determinó que las propiedades físico-mecánicas del suelo con la adición de 15% de ceniza de cascarilla de café tienen un efecto positivo. La prueba de compresión no confinada también compara la resistencia del suelo virgen con la resistencia del suelo con adición de CCC y constata que hay un aumento de la resistencia con la adición del 28%; esto deja claramente abierta la posibilidad de seguir investigando y realizando pruebas con porcentajes más elevados de CCC en suelos finos. Según los cálculos realizados en los dos tipos de suelo, la resistencia del suelo fino es de 725,29 KN/m², pero cuando se añade ceniza de cascarilla, aumenta a 974,61 KN/m² en las tres muestras tomadas, lo que muestra un aumento de la resistencia de hasta el 28%.

Antecedentes Nacionales

Ahora como primer **antecedente a nacional**, tenemos a Terrones (2018), realizó una tesis de investigación con el objetivo de determinar cómo influye el añadir de ceniza de bagazo de caña de azúcar en 5%, 10% y 15% en peso de suelo seco para estabilizar suelos arcillosos y ha definido que tras realizar los experimentos necesarios para evaluar el impacto de las cenizas de bagazo de caña de azúcar, se determinó que la adición de los tres porcentajes sugeridos mejoraba las características mecánicas del suelo, sin embargo, la adición de un 15% de CBCA produjo mejores resultados en las alternativas de soporte. Esto puede observarse en los tres puntos de evaluación de la carretera, donde el suelo se consideró inicialmente inadecuado y se añadió un 15% de CBCA. Como resultado, el CBR en el km 0+011 aumentó de 1888% a 22,5%, en el km

1+524 de 1843% a 22,4%, y en el km 3+529 de 1739% a 21,9%, lo que demuestra que el CBCA aumentó el CBR del suelo en más de diez veces. Concluyendo que, mediante los resultados del estudio, podrían ser vistos como una mejora de una subrasante con un CBR promedio de 1,823% (subrasante muy mala) a un CBR promedio de 22,267% (subrasante muy buena), demostraron que la estabilización de suelos con cenizas de bagazo de caña de azúcar resulta en cambios favorables que permiten el uso del material a nivel de subrasante.

Así mismo como segundo **antecedente a nivel nacional**, tenemos a Corrales (2021), cuyo objetivo es determinar la variación de la estabilización en la subrasante con la adición de ceniza de tallos de banano en la avenida Manu, Salvación, Madre de Dios 2021 , considerando que la investigación se realizó para conocer la variación de la estabilización en la subrasante con la adición de ceniza de tallo de plátano, que provocó la disminución de la plasticidad de acuerdo con su valor inicial (7,8%), y obtuvo una plasticidad máxima de 5,9% con la adición de 3% de ceniza de tallo de plátano, la plasticidad tiende a disminuir más a porcentajes más altos. Al añadir 3%, 5% y 7% de ceniza de tallo de plátano, respectivamente, la compactación cambia en la densidad seca máxima de 1,569 gr/cm³, 1,574 gr/cm³ y 1,545 gr/cm³, disminuyendo de su valor original (1,58 gr/cm³). Al añadir un 5% de ceniza, la densidad seca máxima se obtiene en 1,574 gr/cm³. Al aplicar 3%, 5% y 7% de ceniza de tallo de plátano, el contenido de humedad pasó de 22,90%, 23,60% y 24,40%, con un aumento perceptible del contenido de humedad. La cantidad de ceniza de tallo de plátano que proporcionó la mejor compactación fue del 5%; para valores distintos de éste, tiende a ser aún menos eficaz. El valor máximo de CBR (95% MDS) obtenido es de 8.3% cuando se adiciona 7% de ceniza de tallo de plátano, logrando un incremento con respecto al CBR inicial (3.9%). Por otro lado, la relación portante California bearing radio de la estabilización de la subrasante varía entre 5.2%, 6.0% y 8.3% para adiciones

de 3%, 5% y 7% de ceniza de tallo de plátano, respectivamente. Los porcentajes inferiores tienden a disminuir el CBR. Se concluye que la estabilización de la subrasante mediante la adición de porcentajes de ceniza de penca de plátano varía en la plasticidad, mostrando disminuciones notables, en la compactación, cambios mínimos con respecto a la densidad seca, y aumentos de humedad. También propone variaciones positivas en las propiedades CBR de la subrasante blanda, incrementando su resistencia, así como aumenta el módulo resiliente, determinando que la dosificación óptima se encuentra entre el 5% y 7% de adición de ceniza de tallo de plátano.

A su vez, como tercer **antecedente a nivel nacional**, tenemos a Ramírez (2020), en su investigación que tuvo por objetivo general determinar la influencia de la Incorporación de la Ceniza de Cabuya mejora las propiedades de Suelos Arcillosos, tramo de Yarumayo – San Pedro de Chaulán, Huánuco – 2020, donde la integración de ceniza de cabuya al 6%, 8% y 12% ayuda a reducir la expansión, lo que inhibe la entrada de agua, disminuye los cambios volumétricos del suelo expansivo y reduce la probabilidad de grietas y asentamientos. Además, la incorporación de ceniza de cabuya en porcentaje aumenta la capacidad portante del suelo natural en 8%, con valores que pasan de 13,2% con 6% a 17,5% con 12% de ceniza de cabuya, de acuerdo **con los resultados** del CBR en relación a la densidad seca máxima con penetración de 1" y 100% del MDS; cuando se utiliza en los porcentajes previstos, la ceniza de cabuya tiene un impacto notable, puede utilizarse como una excelente subrasante y cumple con las directrices del Manual de Carreteras del MTC. Por último, los impactos observados en los resultados del CBR en cuanto a su valor para mejorar la subrasante deben tenerse en cuenta a la hora de aplicar estos aditivos como estabilizantes en el campo.

Como cuarto **antecedente a nivel nacional**, tenemos a Hoyle & Rodriguez (2019), en la investigación que realizaron cuyo objetivo es determinar las propiedades físicas y mecánicas de la muestra patrón y la muestra con la adición de fibras del raquis de musa paradisiaca y ceniza hojas de Eucaliptus sustituyendo al 5%, 10% y 15% de la trocha carrozable en una proporción 1, dado que la celulosa es un biopolímero producido por las plantas, se descubrió que las fibras del raquis de Musa paradisiaca contienen un 33,6% de celulosa. También se descubrió que **los componentes** de las cenizas de las hojas de eucalipto son elementos cementantes, teniendo el óxido de calcio, el óxido de magnesio, el óxido de hierro y el óxido de sílice un porcentaje combinado del 47,34%. Dado que la celulosa es un biopolímero producido por las plantas, se descubrió que las fibras del raquis de Musa paradisiaca contienen un 33,6% de celulosa. También se descubrió que los componentes de las cenizas de las hojas de eucalipto son elementos cementantes, teniendo el óxido de calcio, el óxido de magnesio, el óxido de hierro y el óxido de sílice un porcentaje combinado del 47,34% y la cantidad óptima a usar es de 10% en una proporción 1:1.

Por otro lado, como quinto **antecedente a nivel nacional**, tenemos a Espinoza & Velasquez (2018), realizó una investigación con el propósito de determinar la estabilización de suelos arcillosos con el aumento de ceniza de caña de azúcar en el tramo de Pinar-Marian, distrito de Independencia 2018 la cual logro definir que, las pruebas Proctor modificadas en el Pozo de Pruebas 01 indican que la adición de un 10% de ceniza de caña de azúcar aumentó la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo del suelo arcilloso a 1,802 gramos por centímetro cúbico con un contenido de humedad óptimo de 8,708%, el 20% de CCA lo aumentó a 1,859 gramos por centímetro cúbico con un contenido de humedad de 9,567%, y el 30% de ceniza lo aumentó a 1,776 gramos por centímetro cúbico con un contenido de humedad de

8,321%, Estos **resultados** demuestran que la densidad seca máxima con adición superó la densidad seca de la norma, que suele ser de 1,656gr/cm³ con una humedad del 6,382%. Esto indica un aumento de las cualidades mecánicas del material debido a la compactación. Con relación al peso seco de la muestra de suelo y al contenido de humedad ideal, se determina que el suelo arcilloso se estabiliza con la adición de 20% de ceniza de caña de azúcar, alcanzando un CBR al 95% de 15,18%, en comparación con el CBR al 95% de 10% de ceniza de 11,56% y el CBR de 30% de 10,42%. Esto se debe a que el suelo de la fosa de prueba 01 presenta resistencia y capacidad portante, y se obtuvieron mejores resultados con la adición del 20% de ceniza. Por el contrario, el valor CBR de 4,81% y la baja resistencia hacen que la muestra estándar sea desfavorable.

Marco teórico

En todo tipo de obras, el suelo es un componente crucial. Cuando se construyen carreteras, el suelo debe ser lo bastante fuerte para soportar pesos como los de los coches, las personas y las estructuras del pavimento, incluso cuando hay humedad y agua presentes. Para mover convenientemente el agua que se acumula tanto dentro como fuera del pavimento, deben tener algo parecido a un conducto o canal (Pérez & Ribero, 2008)

El suelo puede utilizarse en su estado natural siempre que los estudios del suelo hayan obtenido las propiedades necesarias para su uso. Sin embargo, para la mayoría de los proyectos, el suelo debe mejorarse mezclándolo con suelos que tengan las mejores características de rendimiento o con aditivos y minerales. Cuando los suelos pobres se combinan con estos materiales, una reacción química crea un suelo fuerte con una excelente capacidad para soportar el tráfico (Nuñez, 2011)

En muchos casos, el suelo es incapaz de soportar la carga de tráfico y debe sustituirse por otro que tenga las cualidades adecuadas o estabilizarse. Con frecuencia, los materiales utilizados proceden de canteras cercanas al proyecto, pero no siempre tienen las cualidades necesarias. Por ello, se realizan estudios de materiales estabilizados para cada suelo, uno de los cuales incluye el uso de cenizas de carbón procedentes de diversos procesos de combustión. El material conocido como escoria está formado por los subproductos de la combustión seca del carbón y otros vegetales, incluidos las cenizas de madera vegetal y las cenizas volantes. (Pérez & Ribero, 2008)

Se ha estudiado mucho la utilidad de este tipo de contaminación porque la ceniza es una sustancia barata y de fácil acceso que se utiliza en la construcción prácticamente en todo el mundo. Las cenizas volantes tienen buena adherencia y pueden combinarse con arena no cohesiva para crear una mezcla rígida y compacta que aumente la masa y la resistencia del suelo al tiempo que mejora el soporte y la cohesión. (Pérez & Ribero, 2008)

Suelos Arcillosos

Muchos suelos arcillosos tienen un drenaje deficiente y se encuentran en lugares con fuertes precipitaciones. Estos suelos tienen una escasa resistencia in situ y un alto contenido de agua. Cuando varía la cantidad de humedad, la arcilla cambia frecuentemente de volumen (Kraemer, Pardillo, Rocci, Romana, & Sánchez, 2004)

Los minerales activos, principalmente montmorillonita y poco o nada de clorita y vermiculita, son los que determinan la composición de la arcilla. La caolinita y la illita son ejemplos de minerales no reactivos, aunque pueden influir en las características de expansión del suelo si están presentes en cantidades suficientes. Las características físicas que influyen en los

cambios de volumen son significativas tanto en el campo como en el laboratorio (Fonseca & Montejo, 2006)

Figura 1

Suelo arcilloso



Fuente: Sanchez, 2019

Las dimensiones de sus partículas de acuerdo a la norma: Asociación Americana de Ensayos de Materiales (ASTM D422), se lo puede observar en la Tabla 1.

Su peso específico oscila entre 2,60 y 2,75 gramos por centímetro cúbico. Cuanto más sólido y compacto es el suelo, mayor es su resistencia a la erosión (Ruano , 2012)

Un suelo arcilloso puede pasar del estado sólido al líquido debido al aumento de agua en su interior, lo que provoca una rápida disminución de las fuerzas de cohesión y la aparición de fluidez en sus partículas. Su porosidad y humedad tienden a cambiar a medida que aumenta la saturación. Los suelos arcillosos presentan una elevada cohesividad, que en ocasiones puede superar el rango anteriormente indicado y oscila entre 0,25 kilogramos por centímetro cuadrado y 1,5 kilogramos por centímetro cuadrado (Ruano , 2012)

Tabla 1

Índice de Plasticidad de la Arcilla Norma ASTM

INDICE DE PLASTICIDAD	CARACTERISTICA
IP > 20	Suelos muy arcillosos
20 > IP > 10	Suelos arcillosos

$10 > IP > 4$

Suelos poco arcillosos

$IP = 0$

Suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual de Carreteras, Suelos y Pavimentos. Biblioteca Nacional del Perú. Pg. 27. Lima 2014

Suelos Arenosos

Estos provienen de las arenas de playa que requieren una manipulación especial para ser estudiadas porque tienen proporciones de sales y materia orgánica. También hay suelos arenosos de origen volcánico que se obtienen en zonas cercanas a volcanes, y su color es negro. Éstos proceden de la erosión de rocas, minas, que se depositan en el interior del terreno de color azul, rosa y gris (Ruano , 2012)

Según su granulometría, las arenas presentan diversas variedades. Las más comunes son:

Las arenas que atraviesan una malla de 2 mm y son retenidas por una malla de 0,2 mm se consideran gruesas.

Una segunda malla de 0,05 mm se utiliza para retener las arenas finas que atraviesan la malla de 0,2 mm.

Tabla 2

Clasificación de Suelos según Tamaño de Partículas Norma ASTM D422

Tipo de Material	Tamaño de las partículas
Grava	75 mm - 2 mm
Arena	Arena gruesa: 2 mm - 0.2 mm
	Arena fina: 0.2 mm - 0.05 mm
Limo	0.05 mm - 0.005 mm
Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Manual de Carreteras, Suelos y Pavimentos. Biblioteca Nacional del Perú. Pg. 27. Lima 2014

Cenizas de Carbón

Aunque las cenizas de carbón son comparables a un aglutinante puzolánico, su comparación con el cemento y la cal es muy pobre, ya que necesitan mezclarse con agua y una cantidad ínfima de un activador o catalizador, como la cal. Esta clasificación revela que los distintos tipos de ceniza varían en función de la planta minera (Kraemer, Pardillo , Rocci, Romana, & Sánchez , 2004)

La combustión de diferentes tipos de troncos y tallos produce cenizas orgánicas, las más populares de las cuales son las cenizas de troncos, las cáscaras de arroz y las cenizas vegetales, que, cuando se exponen al agua, adquieren las características de materiales puzolánicos debido a su alto contenido en dióxido de silicio y óxido de aluminio. Reaccionan químicamente con el agua y adquieren cualidades similares a las del cemento (Pérez & Ribero, 2008)

Ceniza

Polvo gris claro que queda tras la combustión completa y que suele contener sílice, óxidos metálicos, sales alcalinas y térreas.

Ceniza de cascara de sandia

Una vez seca la cascara de la sandía, es el resultado de la combustión o quemado de la misma.

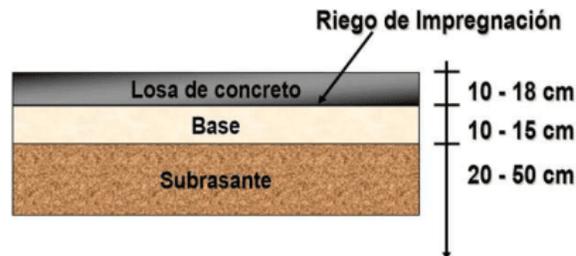
Subrasante

Es la capa que soporta la estructura del pavimento, también puede ser la capa de una carretera o la base de un implante topográfico en entornos naturales, por lo que debe soportar las cargas de tráfico. Las cualidades y composición de la subrasante determinan el espesor de la estructura suprayacente. Durante la construcción, la subrasante debe soportar las cargas de los

vehículos, soportar la compactación de las capas estructurales del pavimento y seguir haciéndolo durante toda su vida útil (Rondón & Reyes, 2015)

Figura 2

Subrasante



Fuente: <https://construneic.com/pavimentos/pavimento-rigido/>

Características de la Sub-rasante

La subrasante debe tener las siguientes cualidades para que pueda continuar la construcción de la estructura del pavimento:

El espesor de la capa debe tener un mínimo de 30 centímetros. Su valor relativo de soporte debe ser como mínimo del 15%, su grado de compactación debe ser como mínimo del 95% y su expansión máxima no puede superar el 5%. (Beltrán & Copado, 2011)

Estabilización de Suelos

Procedimiento diseñado para mejorar las cualidades del material, como la resistencia a la deformación, la reducción de la sensibilidad al agua, el control de la erosión y la gestión de los cambios de volumen. (Rico & Del Castillo, 1978)

Dado que muchos suelos necesitan que se modifiquen sus propiedades, esto puede hacerse mecánicamente, mediante drenaje, mediante calentamiento o por medios químicos. Sin embargo, como los distintos tipos y composiciones de suelo hacen que cada método sólo sea adecuado para algunos suelos, el coste de cada tipo de estabilización varía, por lo que hay que entender que la estabilización no siempre es una herramienta útil. Siempre hay que tener en cuenta las cualidades que hay que mejorar, el trabajo que hay que realizar y la inversión financiera. La estabilidad volumétrica, la resistencia, la permeabilidad, la compresibilidad y la durabilidad son las cualidades del suelo que más se han investigado cuando se estabilizan. (Rico & Del Castillo, 1978)

Estabilidad Volumétrica

La estabilización es una alternativa para evitar variaciones de volumen y es excelente para diversas aplicaciones de soporte de carga, capas permeables y suministro de agua. Está especialmente indicada para suelos expansivos, que son problemáticos debido a la humedad y a los cambios estacionales. El objetivo de la estabilización es crear una masa sólida cuyas partículas constituyentes tengan una unión lo suficientemente fuerte como para soportar la presión de la expansión interna. (Fonseca & Montejo, 2006)

En la actualidad, los métodos para prevenir los cambios volumétricos incluyen la adición ocasional de humedad al suelo, el uso de cargas que equilibren la presión de expansión y la utilización de membranas impermeables.

Resistencia

La compactación es una de las técnicas más utilizadas para aumentar la resistencia del suelo, pero plantea problemas cuando el suelo tiene un alto contenido de materia orgánica. Por

ello, existen técnicas alternativas como la precarga, el drenaje, la estabilización mecánica mediante combinaciones de otros suelos y la estabilización química con cemento, cal o aditivos líquidos. (Rico & Del Castillo, 1978)

Salvo algunas excepciones, la resistencia del suelo suele disminuir a medida que aumenta el contenido de humedad.

Permeabilidad

Métodos como la compactación y la inyección pueden utilizarse para modificar la permeabilidad de las formaciones del suelo. El hidróxido de cal o el yeso pueden utilizarse para aumentar el valor de permeabilidad en materiales arcillosos, mientras que los defloculantes como las polifosfatos pueden disminuir la permeabilidad. (Rico & Del Castillo, 1978)

La compactación con alto contenido de humedad reduce fácilmente la permeabilidad de los suelos compactados y deformados porque se eliminan los grandes huecos, pero la compactación de suelos cohesivos con bajo contenido de humedad puede lograr una alta permeabilidad del suelo porque sus partículas no se descomponen y resisten la compactación. (Fonseca & Montejo, 2006)

Compresibilidad

Las propiedades de los suelos se ven afectadas por su compresibilidad, ya que un cambio en la compresibilidad variaría la permeabilidad, lo que modificaría las fuerzas entre las partículas y la resistencia del suelo al esfuerzo cortante, lo que daría lugar a desplazamientos. (Fonseca & Montejo, 2006)

Hay que tener en cuenta que la compresibilidad de un suelo siempre cambiará durante el proceso de remodelación, pero este efecto puede controlarse con técnicas de compactación.

Durabilidad

Se trata de la resistencia del suelo a problemas como la meteorización, la erosión o el desgaste por el tráfico que están relacionados con el suelo próximo a la superficie de apoyo, aunque estos problemas también pueden afectar a los suelos estabilizados de forma natural. (Rico & Del Castillo, 1978)

La estabilización contribuye a mejorar algunos atributos, al tiempo que modifica con frecuencia los rasgos de otros.

Estabilización Mecánica

Se cree que los primeros esfuerzos para el estudio de los suelos fueron llevados a cabo por pioneros de la mecánica de suelos como Terzaghi, Casagrande y Hogentogler en Estados Unidos en la segunda década del siglo anterior (Rico & Del Castillo, 1978)

La mezcla de suelos también se tiene en cuenta en la estabilización mecánica, que utiliza la compactación como tipo de tratamiento. Al crear la mezcla de suelo, se tiene en cuenta el tamaño de las partículas, que es la necesidad más crucial porque las partículas muy grandes son difíciles de procesar (Rico & Del Castillo, 1978)

Sin interacciones químicas, la estabilidad mecánica mejora las características del suelo.

Estabilización Física

La estabilización física es un tipo de tratamiento que puede aplicarse a las mezclas de suelos para conseguir mejoras y cambios físicos; sin embargo, aunque la mezcla cambie, sigue siendo necesario compactarla para producir una masa duradera. Para aumentar la cohesión y garantizar que sus partículas no se muevan libremente, los suelos granulares requieren la adición

de suelos con propiedades diferentes, mientras que los suelos arcillosos requieren la adición de suelos de fricción para beneficiarse tanto de la fricción interna del suelo como de la cohesión de las arcillas. (Nuñez, 2011)

Estabilización Química

Describe la aplicación de compuestos químicos conocidos con la intención de provocar una reacción con los minerales mezclados de los suelos. (Nuñez, 2011)

Hay numerosos minerales y materiales que pueden utilizarse, pero entre los más populares se encuentran los siguientes:

Como el uso de cal en suelos arcillosos para reducir la plasticidad cuando ésta es igual o superior a 10. Para todo tipo de proyectos de carreteras, ferrocarriles, aeropuertos y edificios, se aconsejan las estabilizaciones con cal, ya que pueden acelerar el proceso de construcción y son baratas. (Beltrán & Copado, 2011)

Se aconseja combinar cemento Portland con grava fina o tierra arenosa para aumentar la resistencia del suelo (Nuñez, 2011)

Los materiales triturados deben mezclarse con productos a base de asfalto para su uso en pavimentación (Nuñez, 2011)

Para suelos arcillosos y limosos, el cloruro sódico y el cloruro cálcico ofrecen impermeabilización y minimizan el polvo del suelo (Nuñez, 2011)

La escoria de fundición, los polímeros y el caucho de neumático son los materiales que hay que utilizar para las capas asfálticas, ya que han mejorado mucho su resistencia, impermeabilizado su estructura y prolongado su vida útil (Nuñez, 2011)

Granulometría

Para comprender y evaluar las siguientes propiedades, es necesario realizar una prueba granulométrica, ya que es la propiedad más típica del suelo relacionada con su tamaño de partícula y su proporción en la fracción del suelo. La porosidad, que influye en la cantidad de aire por unidad de volumen y, por tanto, en la densidad del suelo, la resistencia al corte se refiere a la capacidad de las partículas para interactuar entre sí frente a las fuerzas de corte, y la permeabilidad se refiere a la velocidad a la que el agua viaja a través de un medio poroso. Ambas dependen del tamaño de los poros. (Alonso & Luxán, 1995)

El Contenido de Humedad

El contenido de humedad de una muestra es la diferencia de peso entre el contenido de agua de la muestra en su forma natural y el peso de la muestra después de secarse en un horno a una temperatura de entre 105 y 110 grados Celsius. (Morales, 2015)

Dado que esta característica influye directamente en los cambios de volumen y la estabilidad mecánica, el contenido de humedad se indica en porcentaje, que oscila entre el 0% cuando el suelo está seco y un máximo de aproximadamente el 100%. El comportamiento y la resistencia del suelo dependen de la cantidad de agua que contenga. (Morales, 2015)

Límite Líquido

La prueba de Casagrande se utiliza para establecer el límite líquido, que es la proporción máxima de humedad que puede contener un suelo sin volverse líquido o plástico. (Morales, 2015)

Las dos caras de una pasta de suelo de 10 mm de grosor deben fluir y unirse en una longitud de 12 mm para este dispositivo, que se compone de una copa de bronce y una base de

caucho firme. Dado que el límite de líquido se fija arbitrariamente, este requisito debe cumplirse. Se recomienda realizar al menos tres pruebas para el mismo suelo, ya que puede resultar difícil cumplir el cierre de 12 mm durante la prueba, que consiste en dejar caer la copa sobre la base a una altura de 10 mm con 25 golpes. (Morales, 2015)

Límite Plástico

Un suelo puede pasar de un estado plástico a un estado semisólido y de un estado semisólido a un estado sólido a un nivel de humedad específico, que se expresa como porcentaje del suelo seco. Esto se denomina "límite plástico". Se considera que el contenido de humedad más bajo se encuentra en este límite. (Morales, 2015)

El proceso consiste en hacer rodar una masa de suelo en forma elipsoidal con un diámetro de 3,2 mm sobre una placa de vidrio, medir el contenido de humedad del suelo a medida que se vuelve quebradizo debido a la pérdida de humedad y añadir más agua a la pasta de suelo restante en la cápsula para realizar la prueba del límite líquido si el suelo muestra una plasticidad claramente definida. (Morales, 2015)

La prueba del límite líquido debe realizarse cuando el suelo tenga una plasticidad limitada, y la prueba del límite plástico debe realizarse inmediatamente después utilizando la pasta de suelo restante. Para obtener mejores resultados, se aconseja repetir el proceso tres veces. (Morales, 2015)

Límite de contracción

Es cuando un suelo experimenta una pérdida de humedad, influye un cambio de volumen. Su contenido de humedad se sitúa entre los valores de consistencia del estado semisólido y sólido. (Morales, 2015)

Compactación

La compactación es un procedimiento que mejora el suelo y otros materiales para que puedan soportar cargas específicas y producir deformaciones permanentes aceptables. De este modo se evita que los materiales que componen la infraestructura fallen por los requisitos mencionados. La cantidad de huecos llenos de aire en el suelo se reduce mediante la compactación (Rico & Del Castillo, 1978)

La compactación in situ puede realizarse utilizando diversas herramientas y métodos, como rodillos con ruedas de goma, rodillos lisos, rodillos de zapata y rodillos vibratorios especializados para suelos granulares. (Morales, 2015)

Capacidad de Soporte de los Suelos

Su resistencia a la deformación bajo cargas de tráfico se denomina capacidad de carga. Se sugirieron variables que influyen en la capacidad de carga de un suelo, como el esfuerzo cortante, que depende del contenido de humedad del suelo y de la densidad alcanzada. Un mayor contenido de humedad afecta a la capacidad de carga de los suelos saturados porque tienen una capacidad de carga menor que los suelos no saturados (Kraemer, Pardillo , Rocci, Romana, & Sánchez , 2004)

Para determinar la capacidad de carga de las carreteras se puede utilizar una prueba como el CBR, que simula la aplicación de cargas y sus deformaciones para dar una opinión ficticia de lo que el suelo podría servir para distintos fines de construcción (Kraemer, Pardillo , Rocci, Romana, & Sánchez , 2004)

Ensayo California Bearing Ratio (CBR)

Esta prueba es probablemente la más utilizada en todo el mundo para determinar la capacidad de soporte de diversos tipos de proyectos de carreteras, ya que se desarrolló por primera vez como técnica para evaluar los pavimentos flexibles de las pistas de aterrizaje y despegue y las calles de rodaje de los aeropuertos. (Kraemer, Pardillo, Rocci, Romana, & Sánchez, 2004)

Para ello es necesario introducir un vástago cilíndrico en el suelo a una velocidad constante, tras lo cual el suelo compactado se sumerge en agua para medir su hinchamiento durante la saturación. De este modo se obtiene un índice CBR, que mide la capacidad portante de un suelo como porcentaje de la presión aplicada al suelo por un pistón que está relacionado con la presión de un tipo de muestra a velocidad constante (Kraemer, Pardillo, Rocci, Romana, & Sánchez, 2004)

Tabla 3

Categorías de Sub-rasante

Categorías De Sub-Rasante		
Tipo	Categoría	Cbr
S0	SUB-RASANTE MUY POBRE	CBR < 3%
S1	SUB-RASANTE POBRE	CBR = 3-5%
S2	SUB-RASANTE REGULAR	CBR = 6-10%
S3	SUB-RASANTE BUENA	CBR = 11-19%
S4	SUB-RASANTE MUY BUENA	CBR > 20%

Fuente: Manual de Carreteras, Suelos y Pavimentos. Pg. 27. Lima 2014

Resistencia al corte de los suelos

La resistencia al corte es la capacidad de los suelos para actuar o responder cuando fallan como consecuencia de la aplicación de fuerzas externas (Del Catillo & Rico, 2005)

La teoría más aceptada y practicada es la de Coulomb, sugiriendo una ecuación

$$\tau = C + \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi$$

Ecuación 1 Resistencia al corte de los suelos

Siendo: C = Cohesión

ϕ = Ángulo de Fricción Interna

La cohesión es la fuerza que mantiene unidas las partículas en ausencia de presiones externas. Se trata de una relación química entre el suelo y el agua, ya que cuando las partículas se combinan, retienen algo de agua, lo que hace que se peguen entre sí. (Del Catillo & Rico, 2005)

Ha sido posible compilar los resultados de los numerosos experimentos en la siguiente figura, que ilustra cómo varía el ángulo de fricción interna en función del tamaño de las partículas y de su composición mineralógica.

Figura 3

Ángulo de Fricción Interna de diferentes Tipos de Suelos

Gravas	→	$\phi > 40^\circ$
Arenas Gruesas	→	$35^\circ < \phi < 40^\circ$
Arenas Medianas	→	$30^\circ < \phi < 35^\circ$
Arenas Finas	→	$26^\circ < \phi < 30^\circ$
Limos	→	$20^\circ < \phi < 28^\circ$
Arcillas	→	$\phi < 18^\circ$

Fuente: Fonseca, Alfonso Montejo, Ingeniería de Pavimentos, Bogotá 2006

La ventaja del ensayo de compresión simple es que sólo requiere un equipo básico y fácil de usar. Determina la resistencia al corte del suelo sin drenaje y proporciona una aproximación de la carga o resistencia última del suelo mediante la aplicación de una carga axial (Del Catillo & Rico, 2005)

Sandia

Según (Giaconi, 1989) es una planta herbácea monoica que aún crece silvestre en África. Se cree que su origen está allí.

Es una especie climatérica que se parece a una pepónide (falsa baya), tiene un alto contenido en agua, superior al 90%, y un sabor dulce. Es una especie anual monoica, herbácea, sin tronco, tallos ni guías tiernas, blandas, flexibles y rastreras que pueden alcanzar de 4 a 6 metros de longitud. (Estela , 2021)

En una sandía, las hojas son pecioladas y se dividen en tres a cinco lóbulos, siendo el haz del limbo liso y el envés rugoso y notablemente nervado.

La nervadura primaria se divide en nervaduras secundarias que imitan la palma de la mano antes de ramificarse hacia los segmentos finales de la hoja.

Composición química de la sandía.

La sandia es un fruto que tiene un contenido de agua del 91-93%, bajos niveles de proteínas, lípidos, minerales y vitaminas, y es especialmente deficiente en compuestos fenólicos y vitamina C.

Figura 4

Composición química de la harina de la cáscara de sandía

Biomasa lignocelulosa	Composición química de la materia prima (%)				
	Lignina	Celulosa	Hemicelulosa	Ceniza	Humedad
Harina cascara de sandia	10 ± 0,48	46 ± 0,15	23 ± 0,85	15 ± 0,26	10,30± 0,7

La cáscara de sandía contiene 10±0,48 % de lignina, 46± 0,15% de celulosa y 23± 0,85 % de hemicelulosa, 15± 0,26 de ceniza y 10,30±0,7 de humedad; estos valores dependen de varios

factores, como la ubicación geográfica, las condiciones de crecimiento, la madurez de la materia prima de biomasa, entre otros. Estos valores se encuentran dentro del rango reportado por (Fakayode et al., 2020; Ibrahim et al., 2016), y también están en el rango de valores establecidos reportados para la biomasa lignocelulósica de cáscara de sandía. 10-25% de lignina, 20-35% de hemicelulosa y 35- 50% de celulosa (Isikgor y Becer, 2015).

Justificación

Justificación Social

Se justificará de manera social ya que los residentes cercanos a la intersección de Av. Las Torres y Av. Cante Callao en Lima Norte se beneficiarán directamente de este trabajo de investigación ya que después de realizados los estudios y la culminación del proyecto gozarán de los beneficios de una vía en buen estado que mejorará la transitabilidad, el estilo de vida y el acceso a la venta de los productos de cada transportista, lo que impulsará la economía local de la zona de estudio.

Justificación Teórica

Los suelos arcillosos al no cumplir con los requisitos del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) en materia de suelos y cimientos E.O50, se tuvo que poner en practica todo lo estudiado en relación a la parte teórica de estabilización de suelos SC y así cumplir con lo que establecen las normas del MTC.

Justificación Practica

En el territorio peruano, donde predominan los suelos muy aptos y de gran plasticidad, existen elementos que contribuyen a mejorar el estado de las carreteras. De esta manera se reduce el ritmo de degradación de los caminos y la dificultad de uso de la maquinaria. Los caminos de la Av. Las Torres y Av. Canta Callo tiene un alto índice de plasticidad y expansión, lo cual es loable y apoya la necesidad de mejora. Sin duda, existen paralelismos entre las rutas de tráfico en Perú, y este informe técnico destacará alternativas rápidas y económicas, así como

enseñará a los lectores cómo prevenir el daño del pavimento mediante la estabilización del suelo con ceniza de cáscara de sandía, lo que mejorará las características físicas y mecánicas de las carreteras en estudio (Vilca, 2020)

Justificación Económica

Dado que con frecuencia estos materiales de adición no se utilizan de la mejor manera, este proyecto de investigación será de gran ayuda para el público ya que en vez de desechar estos productos más bien aportaran al beneficio de la comunidad. También pretende mejorar la industria de la construcción y la comunidad local. Por otra parte, el coste de este material es razonable porque es sencillo de obtener (Hurtado, 2020)

1.2 Formulación del Problema

Problemas General

¿Como estabilizar la subrasante para suelos SC adicionando el 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte?

Problemas específicos

¿Cómo determinar el proceso de obtención de las cenizas de cáscara de sandía y sus propiedades químicas?

¿Como determinar los límites de consistencia, óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte?

¿Como determinar las propiedades mecánicas de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte?

¿Cuál es el costo de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte 2023?

Objetivos

Objetivo general

Estabilizar la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.

Objetivos específicos

Determinar el proceso de obtención y las características de las cenizas de cáscara de sandía y sus propiedades químicas.

Determinar los límites de consistencia, óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.

Determinar las propiedades mecánicas de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.

Determinar el costo de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.

Hipótesis

Hipótesis general

Hipótesis Alterna (Ha): La adición de 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía logró estabilizar la subrasante para suelos SC para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.

Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1

Hipótesis Alterna (Ha): Se logró determinar el proceso de obtención de las cenizas de cáscara de sandía y sus propiedades químicas.

Hipótesis específica 2

Hipótesis Alterna (Ha): Se determinaron los límites de consistencia, óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.

Hipótesis específicas 3

Hipótesis Alterna (Ha): Se logró determinar las propiedades mecánicas de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.

Hipótesis específicas 4

Hipótesis Alterna (Ha): Al adicionar el 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía mejoró en el costo de la subrasante para suelos SC para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte 2023

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Tipo de investigación

Carrasco (2005, pág. 43), el tipo de estudio muestra que es **aplicado** y también recibe los nombres de práctico o empírico. Se considera aplicado porque pretende emplear los conocimientos descubiertos a través de la investigación para abordar un problema urgente.

Este trabajo constituye un ejemplo de investigación **aplicada**, ya que los problemas prácticos del lugar de estudio podrían resolverse utilizando los conocimientos descubiertos gracias a la investigación.

Tipo de investigación de acuerdo al enfoque

El presente estudio adoptó un método **cuantitativo** porque, según (Hernandez, Fernandez, & Batista , 2010, pág. 46), se basa en los números para investigar, analizar y verificar la información y los datos; tratando de definir y precisar la asociación o correlación existente, además de la potencia de las variables, la generalización y objetivación de cada resultado obtenido; para ello es necesaria una recopilación metódica u ordenada mediante el examen de toda la información numérica disponible.

Dado que los vínculos y las demostraciones se establecieron mediante las mediciones de las variables utilizando un enfoque secuencial, partiendo de una premisa específica y culminando en algo puntual, la investigación fue cuantitativa. Se demostró mediante ensayos con muestras de suelo natural y la adición de cenizas de cáscara de sandía.

Diseño de investigación.

Dado que la población es tan pequeña y la muestra no se extrae al azar, podemos afirmar que la investigación será **experimental**. Además, se realizaron experimentos de laboratorio para averiguar cómo se comportaría el suelo en una interacción con cenizas de cáscara de sandía.

Cómo ya se ha mencionado, las muestras de suelo se asignaron aleatoriamente a grupos de control o experimentales para evitar sesgos estadísticos. A continuación, las muestras de suelo se sometieron a pruebas simultáneas (pruebas de laboratorio), en las que un grupo recibió el tratamiento experimental y el otro no (sin adición de ceniza de cáscara de sandía). Se realizó una prueba de seguimiento en laboratorio

Tabla 4

Diseño de investigación experimental

GRUPO	ASIGNACIÓN	PRE PRUEBA	TRATAMIENTO	POST PRUEBA
Grupo experimental	Probeta de suelos con adición de cenizas de cáscara de sandía	Ensayos de laboratorio: <ul style="list-style-type: none"> • Contenido de humedad. • Granulometría 	Adición de ceniza de cáscara de sandía.	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de Compresión simple no confinada. • Ensayo Proctor Modificado • Ensayo CBR
Grupo de control	Probeta de suelo estabilizado sin ceniza de cáscara de sandía	<ul style="list-style-type: none"> • Límite líquido • Limite plástico • Gravedad específica 		<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de Compresión simple no confinada • Ensayo Proctor Modificado. • Ensayo CBR

Fuente: Elaboración propia

Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población

Arias (2012, p.81), define a la población como un conjunto limitado o ilimitado de elementos con rasgos compartidos, a los que se aplicarán las conclusiones del estudio.

Debido a esto, la población de este estudio comienza en la intersección de la avenida Las Torres y la avenida Canta Callao 0 + 000 km hasta 3 +470 km (en la avenida las Torres)

Muestra

La muestra es descrita como según Hernández, Fernández y Baptista, (2014) como un “subconjunto de la población (conjunto definido con ciertas características), y que se debe de delimitar con exactitud”.

Dado que se trata de un diseño experimental y que la población es diminuta, la muestra se extraería de un radio de 3 km alrededor de la intersección de las avenidas Las Torres y Canta, en el Callao.

Muestreo

El muestreo es el proceso de elección o adquisición de muestras con un objetivo específico o de acuerdo con normas predeterminadas, dado que el método de muestreo no probabilístico a aplicar es el método a conveniencia, en la elección de los datos no influye el azar, sino las personas que eligen las muestras que se van a evaluar en función de los parámetros de la investigación.

El cruce de la avenida Las Torres con avenida Canta Callao es una carretera con un $IMDA \leq 200$ veh/día de una calzada y según la MTC la carretera de bajo volumen de tránsito se

realiza 1 calicata por kilómetro a una profundidad mínima de 1.50 metros respecto a nivel subrasante, el cual está distribuido en la siguiente tabla.

Según el MTC, la vía de bajo volumen de tránsito está construida con 1 calicata por kilómetro a una profundidad mínima de 1.50 metros respecto al nivel de subrasante y tiene un $IMDA \leq 200$ veh/día en la intersección de la Av. Las Torres y la Av. Canta Callao. Esta información se distribuye en la siguiente tabla.

Tabla 5

Muestra de calicatas

Nro. de Calicatas	Suelo Natural	Suelo natural + 6% de cenizas de cascara de sandia	Suelo natural + 13% de cenizas de cascara de sandia	Suelo natural + 20% de cenizas de cascara de sandia	Suelo natural + 27% de cenizas de cascara de sandia	Total
C-1	1	1	1	1	1	5
C-2	1	1	1	1	1	5
C-3	1	1	1	1	1	5
Total, muestras	3	3	3	3	3	15

Fuente: Elaboración Propia

Unidad de estudio

Teniendo en cuenta el tipo de carretera especificado en el RD 037-2008-MTC/14 y el Manual de Ensayos de Materiales del MTC, se requieren calicatas de 1,00 x 1,00 x 1,50 m.

Técnicas e instrumentos y validez de recolección de datos

Técnicas:

- Investigaciones
- Pruebas
- Análisis de documental y contenido
- Observación en persona

Instrumentos:

- Probetas de pruebas
- Manual de observaciones
- Fichas para el laboratorio

Validez

Para Carrasco (2015), la utilidad de la información enumera “la calificación de los instrumentos utilizados en el estudio en términos de precisión, dominio, contenido y orden (variables, indicadores) y todas las relaciones medibles.(Chinguel , 2020)

En consecuencia, la validez se refiere a la probable necesidad de instrumentos de medición cuando se van a revisar pruebas; por consiguiente, la validez de los datos aumenta con la cantidad de pruebas. El formato para evaluar la validez de contenido es

- Ensayos
- Certificación de laboratorio.
- Formatos de recolección de datos.

Procedimiento

Se procedió a la obtención de muestras del suelo SC para la estabilización de la subrasante para para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte, para luego poder determinar sus características en un laboratorio certificado y calificado.

Luego de trasladar el material del suelo al laboratorio se empezó con los ensayos respectivos:

- Se determinó el análisis granulométrico del suelo según la norma **ASTM D422**

- Se determinó el contenido de humedad del suelo según la norma **ASTM C566**
- Se realizaron las 5 muestras de Proctor del material en estado natural y 5 muestras de Proctor combinado con ceniza de cascara de sandia al 6%, 13%, 20%, 27%
- Luego se obtuvo la curva de compactación mediante el contenido de humedad y la densidad seca de cada muestra de Proctor.
- Se determinó el contenido óptimo de humedad mediante la curva de compactación y se procedió a realizar las muestras de CBR.
- Se realizaron las muestras de CBR del material arcilloso en estado natural con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo de Proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 10, 25 y 56 golpes por cada muestra.
- Se tomaron las muestras de CBR del material combinado ceniza de cascara de sandia al 6%, 13%, 20%, 27% del peso total de la muestra con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo de Proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 10, 25 y 56 golpes por cada muestra.
- Una vez realizado cada muestra de CBR se procede a sumergirlos en agua por un periodo de 96 horas (04 días) tomando lectura de la deformación de hinchamiento que esta sufre cada 24 horas (1 día). Al cuarto día retiramos la muestra y la ensayamos para hallar la carga de penetración de la muestra y tomamos lectura de las deformaciones. Este proceso se repite para cada muestra de CBR que se tenga que realizar.

Las pruebas correspondientes se iniciaron después de llevar la muestra de suelo al laboratorio:

Análisis granulométrico por lavado ASTM D422

- ✓ Se utilizaron entre 1.000 y 1.500 g de suelo seca que había pasado previamente por el tamiz N°4
- ✓ Se limpió a fondo con agua utilizando el tamiz n° 200, teniendo cuidado de que no se perdiera ninguna partícula atrapada en el tamiz.
- ✓ Después, este material se introdujo en un depósito y se secó durante un día a 110 grados centígrados en el horno.
- ✓ Se pesó la muestra retenida en cada tamiz utilizado en la prueba.

Los cálculos se realizaron utilizando las siguientes fórmulas:

- Determinar los porcentajes de los pesos retenidos en cada tamiz (% P.R.) mediante la siguiente expresión:

Ecuación 2 Porcentajes de pesos retenidos en tamiz

$$\% P. R. = \frac{P.R.P}{W_{MS}} * 100$$

- Se deben determinar los porcentajes retenidos acumulados (P.R.A.) en cada tamiz, para lo cual se aumentará gradualmente el P.R.P., es decir:

Ecuación 3 Porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz

$$\% R.A. 1 = \% R. P. 1$$

$$\% R.A. 2 = \% R. P. 1 + \% R. P. 2$$

$$\% R. A. 3 = \% R. P. 1 + \% R. P. 2 + \% R. P. 3, \text{ etc.}$$

- Calcular los porcentajes totales de material que pasa por cada tamiz:

Ecuación 4 Porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz

$$\% \text{ Que Pasa} = 100\% - \%R.A.$$

En resumen, se utilizaron todos los datos recogidos para trazar la curva granulométrica en escala semilogarítmica. La abertura del tamiz se midió en milímetros en el eje de abscisas, y los porcentajes acumulados de material que pasa por el tamiz utilizado se anotaron en el eje de ordenadas.

Análisis granulométrico por método del hidrómetro a las partículas finas ASTM D422

- ✓ El primer paso consistió en el cuarteo del material y pasarlo por un tamiz N°200 para CL hasta conseguir 50 g.
- ✓ A continuación, se volvió a pesar tras secarlo en el horno durante un día.
- ✓ Se elaboró la solución de 40gr/1L de hexametáfosfato de sodio, para posteriormente ser mezclado con la muestra y reposarlo durante toda la noche
- ✓ Para calcular el peso exacto se utilizó un hidrómetro que lee entre -5g/L - 60 g/L.
- ✓ Se colocó la muestra en un vaso de dispersión se lavó con agua destilada.
- ✓ Seguidamente, se añadió agua destilada hasta aproximadamente tercera parte del vaso.
- ✓ En función de la plasticidad máxima del suelo, se colocó el recipiente de dispersión en el dispositivo de agitación.
- ✓ Se llevó la suspensión al cilindro de sedimentación de 1000 ml. y se calentó hasta alcanzar la temperatura de ensayo.
- ✓ Un minuto antes de comenzar la prueba, se extrajo el cilindro de sedimentación, se colocó el tapón a mano y se agitó enérgicamente 60 veces.
- ✓ Posteriormente, se introdujo el cilindro en la máquina.

✓ A los 1,2, 5, 15, 15, 30, 30, 60, 120, 250 y 1440 minutos, se recogieron las lecturas (R). A continuación, se sacó el hidrómetro de la suspensión y se introdujo en un cilindro graduado con agua limpia. Después de cada lectura, se tomó la temperatura.

Para obtener los resultados, se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

- Calcular las lecturas de hidrómetro corregidas por menisco (R) sumándole a cada lectura de hidrómetro no corregida (R'), la corrección por menisco Cm , es decir:

Ecuación 5 Lecturas de hidrómetro corregidas por menisco

$$R = R' + Cm$$

Tomando anotación de los valores de R obtenidos.

- Para calcular el diámetro de las partículas (D), se midió el diámetro de las partículas del suelo en suspensión en el momento en que se tomó cada lectura del hidrómetro, se calculó de la siguiente manera:

Ecuación 6 Cálculo del diámetro de las partículas (D)

$$D (mm) = k\sqrt{(L/t)}$$

Donde;

L = profundidad efectiva en cm

t = Tiempo transcurrido en min.

Ecuación 7 K

$$k = \sqrt{\frac{30 * \mu / g}{\tau_s - \tau_w}}$$

Donde;

g = Aceleración gravitacional = 980.7 cm/s²

μ = Coeficiente de viscosidad del agua en Poises

τ_s = Peso unitario de los sólidos del suelo en gr/cm³

τ_w = Peso unitario del agua destilada, a la temperatura T, en g/cm³

El porcentaje de las partículas de dimensiones más finas que coinciden con una lectura específica del hidrómetro se determinó mediante la fórmula que se muestra a continuación:

Ecuación 8 Porcentaje más fino

$$\text{Porcentaje más fino} = \frac{G_s}{G_s - 1} * \frac{100}{W_o} * (R - Cd \pm Ct)$$

Donde;

G_s = Peso específico de los sólidos (modo operativo MTC E 205)

W_o = Peso de la muestra de suelo que se secó al horno y se empleó para el análisis del hidrómetro.

$$(R - Cd \pm Ct)$$

Lectura del hidrómetro ajustada para el menisco, menos los ajustes para el defloculante y el punto cero, más el ajuste de temperatura (añadido algebraicamente).

Contenido de humedad – ASTM C566

- ✓ Se pesó un recipiente metálico seco y sin impurezas.

- ✓ La muestra húmeda se colocó en el recipiente entre 50 y 100 gramos

aproximadamente, y se registró el nuevo peso.

- ✓ A continuación, la muestra y el recipiente se introdujeron en un horno de secado a una temperatura de 110°C durante un día.

- ✓ Finalmente, se dejó enfriar el recipiente hasta que fuera manejable y se anotó su peso.

Para realizar los cálculos se utilizó la siguiente fórmula.

Ecuación 9 Calculo contenido de humedad

$$W (\%) = \frac{(W1 - W2)}{(W2 - W3)} * 100$$

Donde:

- Peso del recipiente + suelo húmedo = $W1$
- Peso del recipiente + suelo seco = $W2$
- Peso del recipiente = $W3$

Que, simplificando, nos da:

$$W\% = \frac{W_w}{W_s}$$

Donde:

- Peso del agua = W_w
- Peso del suelo = W_s
- Humedad en porcentaje = $W\%$

Figura 5

Contenido de Humedad



Fuente: Elaboración propia

Límite líquido y límite plástico

- Límite líquido:

- ✓ Cuarteando el material a través de la malla N.º 40, se recuperaron aproximadamente 250 g.
- ✓ Luego se pesó y se mezcló con un poco de agua colocando una porción de la muestra en la copa de Casagrande haciendo uso de una espátula, hasta una profundidad aproximadamente de 10 mm.
- ✓ A continuación, la muestra se pesó y se introdujo con una cuchara en la taza un poco de agua en la copa Casagrande hasta una profundidad de unos 10 mm utilizando una espátula.
- ✓ Se separó la muestra usando un acanalador, provocando una ranura en el suelo sobre el borde de la copa
- ✓ Moviendo el manubrio se levantó y soltó la copa hasta ambas mitades de suelo estén en contacto y en la base de la ranura una distancia de 13mm.
- ✓ Se anotaron los N golpes necesarios para cerrar la ranura.

Se recogió una muestra de suelo del ancho de una espátula, se colocó en un recipiente con un peso conocido y se horneó durante un día.

Los cálculos se realizaron utilizando las fórmulas siguientes:

Ecuación 2 Contenido de humedad

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de muestra seca}} * 100$$

Ecuación 3 Limite líquido a 25 golpes

$$\text{Limite líquido a 25 golpes} = Wn \left(\frac{N^{0.121}}{25} \right)$$

Límite plástico e índice de plasticidad

- ✓ Se extrajo la muestra que atravesó la malla N° 40 y se combinaron entre 20 y 50 g de la misma con agua destilada para crear una pasta manejable (la sustancia utilizada en la prueba también puede proceder de la mezcla creada para alcanzar el límite líquido).
- ✓ Para la prueba, se obtuvo una muestra de la combinación de unos 3 gr.
- ✓ Con la ayuda de los dedos y una superficie casi lisa (de cristal, para evitar la pérdida de humedad), se creó una esfera.
- ✓ El bastoncito producido se colocó en un tanque y se midió su peso una vez que empezaron a aparecer grietas en ella.
- ✓ A continuación, el artículo se introdujo en el horno durante un día a una temperatura de 100° C para que se secase, tras lo cual se determinó el nuevo peso.

Los cálculos se realizaron utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 4 Contenido de humedad

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de muestra seca}} * 100$$

Según la siguiente formula, el índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico:

Ecuación 5 índice de plasticidad

$$IP = L. L - L. P$$

Ensayo de gravedad específica de los sólidos – ASTM D854

- ✓ Se decidió utilizar unos 80 g de material que pasara el tamiz n° 4 porque nuestro material evaluado estaba clasificado como CL.
- ✓ Para eliminar las burbujas de aire, se vertió agua destilada en la fiola hasta alcanzar el nivel adecuado
- ✓ Después de introducir la muestra pesada, la fiola se llenó con agua hasta alcanzar entre el 90% y el 95% de su capacidad.
- ✓ Se agito las fiola hasta eliminar todas las burbujas.

Clasificación de Suelos AASHTO – ASTM D3282

El sistema de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) se utiliza para clasificar los materiales de las carreteras.

- ✓ Según la proporción de suelo que pasa por el tamiz n.º 200, el primer paso consiste en determinar si el suelo es granular, limoso o arcilloso.
- ✓ Posteriormente según la situación, se evalúan los tipos de suelo (granular o fino) en el siguiente orden: porcentajes que pasan el tamiz n.º 10, el tamiz n.º 40, el tamiz n.º 200, el límite plástico y el límite líquido.

✓ Para completar la clasificación del suelo con esta metodología, se determina el índice de grupo mediante la siguiente fórmula.

Ecuación 6 índice de grupo

$$IG = (F - 35) (0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F - 15) (IP - 10)$$

Donde:

- F = Material que pasa la malla N° 200
- LL = Límite líquido
- IP = Índice plástico

Caracterización de ceniza de sandia

✓ La ceniza de sandía se tamizó utilizando el tamiz n° 200, que tiene una abertura de 0,075 mm, para obtener una granulometría homogénea del material que se iba a mezclar.

✓ Utilizando el difractómetro Brunker D8 ADVANCE ECO, se examinó para obtener datos de difracción de rayos X (DRX), que permitieron identificar los minerales presentes.

Preparación de las muestras

Ensayo Proctor Modificado – ASTM D1557

✓ Se calcularon los porcentajes (%) en peso de la sustancia estabilizadora, en este caso ceniza de cascara de sandía, que serían necesarios. Como resultado, un 6% de ceniza de corteza de sandía equivale a 180 g para una mezcla de 3000 g de suelo, un 13% y un 20% equivalen a 390 g y 600 g, y un 27% equivale a 810 g.

- ✓ A continuación, la muestra de suelo se colocó en una bandeja y se tamizó a través de la malla n.º 40, tanto en su estado original como con la adición de diversas cantidades de ceniza para crear una mezcla homogénea con diversas cantidades de agua.
- ✓ El molde de prueba, que se había limpiado y engrasado para evitar que el material se adhiriera a sus paredes, se preparó antes de homogeneizar la mezcla. Se añadieron cinco capas de la mezcla, y cada capa se compactó con 25 golpes del pisón. La mezcla se dispersó uniformemente por toda la región del molde.
- ✓ El cuello se extrajo del molde después de que éste se hubiera llenado con el material en los cinco niveles, se enjuagó con un cuchillo o navaja y, a continuación, se desmoldó. Luego, se registró el peso de la probeta y del molde en la hoja de datos.
- ✓ Para generar una curva de compactación con cinco puntos e identificar el contenido de humedad ideal, este proceso debe repetirse cuatro veces más.

Figura 6

Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia

Ensayo C.B.R. – D1883

- ✓ Se calcularon los porcentajes (%) en peso de la sustancia estabilizadora en este caso, ceniza de corteza de sandía, que serían necesarios. Así, el 6% de ceniza equivale a 480 g para una mezcla de 8000 g de tierra, mientras que el 10%, el 15% y el 27% equivalen a 1040 g, 1600 g y 2160 g, respectivamente.
- ✓ La tierra se añadió a una bandeja, que luego se homogeneizó con ceniza de cáscara de sandía añadiendo la cantidad justa de agua para lograr el nivel adecuado de compactación.
- ✓ En cada uno de los tres moldes CBR, la muestra se compactó en 5 capas, recibiendo la primera 12 golpes por capa, la segunda 25 golpes por capa y la tercera 56 golpes por capa.
- ✓ Una vez compactado el material en el interior del molde, los tres moldes se sumergieron en agua durante cuatro días (96 horas), con lecturas de expansión tomadas cada 24 horas.
- ✓ Al cabo de 4 días, se sacaron los moldes del pozo de agua para someterlos a una prueba de carga-penetración, que determinó la resistencia de cada molde a la penetración.
- ✓ Para realizar la prueba de carga, se retiraron el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión y se dejaron escurrir durante 15 minutos.

Figura 7

CBR



Fuente: Elaboración propia

Aspectos éticos

Este estudio se llevó a cabo meticulosamente de acuerdo con las normas, directrices, principios y listas de comprobación implicados por razones éticas. Dado que se respetó la autoría de los diversos autores y las referencias aquí incluidas, la información se recopiló de forma auténtica; en consecuencia, no existe plagio de ningún tipo, y también está sujeta a las normas de legalidad.

Por otra parte, se constata que los autores de todos estos estudios realizaron su trabajo de forma responsable, tratando de utilizar los conocimientos de que disponían para abordar los temas en cuestión, informar sobre las aportaciones sociales, culturales, académicas y profesionales, y prepararse para la posibilidad de utilizarlos en futuros proyectos.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

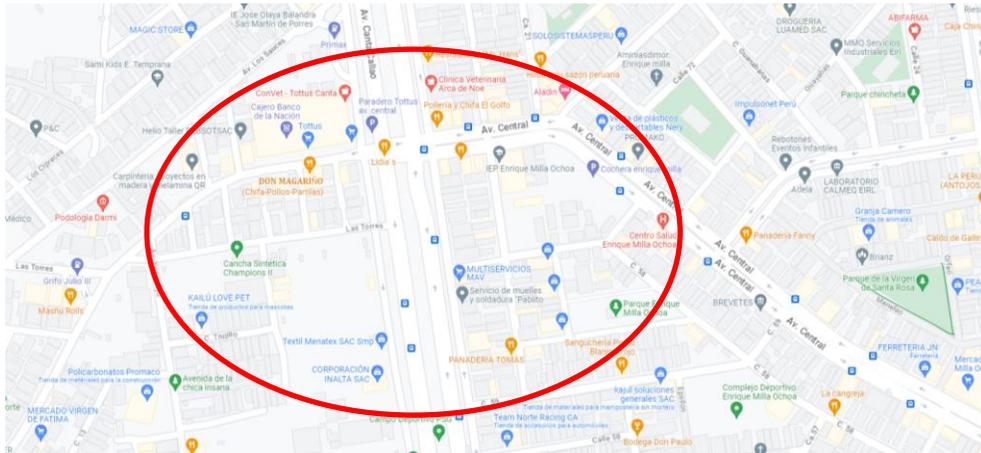
Para el **primer objetivo**, nos pide determinar el proceso de obtención y las características de las cenizas de cáscara de sandía y sus propiedades químicas.

El procedimiento estará distribuido por los siguientes puntos

- Se mapeará los lugares donde consuman sandilla alrededor del cruce avenida Las Torres con avenida Canta – Callao.

Figura 8

Avenida Las Torres con avenida Canta - Callao



Fuente: Google Maps

- Se transportó lo recolectado utilizando EPP y bolsas o costalillos de compra.
- Se limpió las cáscaras de sandía y se separó lo utilizable.
- Se llevo a laboratorio para ser secado en un horno y posterior a ello ser calcinado por un periodo de 24 a 36 hrs a una temperatura mayor a 500 grados Celsius.
- Ya una vez tenido la se llevó a composición química de óxidos y se utilizó el método fluorescencia de rayos x a una temperatura de calcinación de 525° centígrados

Tabla 6

Ensayo Químico

Código	Ensayos	Unidad	Resultado
	Determinación de óxido de calcio (CaO)	%	28.22
	Determinación de dióxido de silicio (SiO ₂)	%	51.33
	Determinación de trióxido de azufre (SO ₃)	%	26.50
	Determinación de óxido de magnesio (MgO)	%	9.88
	Determinación de óxido de manganeso (MnO)	%	21.05
	Determinación de trióxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	%	6.21
GCL - 053	Determinación de pentóxido de fósforo (P ₂ O ₃)	%	6.12
	Determinación de trióxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	%	1.85
	Determinación de óxido de bario (BaO)	%	1.33
	Determinación de óxido de zinc (ZnO)	%	0.95
	Determinación de óxido de cobre (CuO)	%	0.21
	Determinación de trióxido de cromo (CrO ₃)	%	0.48
	Otros	%	7.58

Fuente: Elaboración propia

Para el **segundo objetivo**, nos pide determinar los límites de consistencia, óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte 2023.

Hipótesis específica 2

Hipótesis Nula (Ho): No se determinaron los límites de consistencia, óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.

Hipótesis Alterna (Ha): Se determinaron los límites de consistencia, óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.

Estadístico de Prueba

Dado que las variables respuestas LC, OCH y DSM son cuantitativas y existe una variable independiente llamado factor con tres niveles de tipo categórica ordinal que representa el tipo de diseño (niveles de dosis) y lo que se quiere probar es sí existe un efecto significativo del factor sobre la variable respuesta, entonces estamos frente a un diseño de análisis de varianza de un factor ANOVA, por consiguiente para probar las hipótesis se utilizará el análisis de varianza ANOVA de un factor y la prueba de rango post hoc de Tukey o Duncan para comparar cuál de los diseños es la que mejor efecto tiene en comparación con el diseño natural.

Requisitos para el ANOVA

Probar los supuestos de Normalidad mediante la Prueba de Chapiro Wilk y de Homocedasticidad u homogeneidad (igualdad de varianzas) mediante la Prueba de Levene.

Los resultados de los supuestos y de las pruebas de hipótesis se realizaron en el programa estadístico SPSS v.25.

En caso no se cumpla el supuesto de normalidad, se aplicará la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

En caso no se pruebe la igualdad de varianzas se aplicaba la prueba T3 de Dunnett en vez de la prueba de rango post hoc de Tukey o de Duncan.

Consideraciones de las pruebas:

Regla de Decisión

Para todas las pruebas se asumirá un valor de significancia de 0.05 (confianza al 95%) y se aceptará la hipótesis nula si el valor de significancia de la prueba es mayor al valor de significancia asumido.

Si: sig p de la prueba $> 0.05 \rightarrow$ aceptamos H_0

Caso contrario se aceptará la hipótesis alterna H_a

Análisis inferencial para los Límites de Consistencia (Límite Líquido y Límite Plástico):

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos en el laboratorio para los límites de consistencia para la calicata 1, 2 y 3.

Tabla 7

Límites de Consistencia para la calicata 1

Muestra	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad
Suelo Natural 1	20.95	8.34	12.61
Suelo Natural 2	21.09	8.53	12.82
Suelo Natural 3	20.81	8.15	12.40
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 1	21.70	9.80	11.80
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 2	21.84	9.99	12.01
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 3	21.56	9.61	11.59
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 1	22.23	12.13	10.10
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 2	22.37	12.32	10.31
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 3	22.09	11.94	9.89
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 1	22.18	12.94	9.24

Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 2	22.32	13.13	9.45
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 3	22.04	12.75	9.03
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 1	19.09	10.55	8.54
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 2	19.23	10.74	8.75
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 3	18.95	10.36	8.33

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

Límites de Consistencia para la calicata 2

Muestra	Limite Líquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad
Suelo Natural 1	23.44	9.89	13.42
Suelo Natural 2	23.30	10.08	13.21
Suelo Natural 3	23.16	10.27	13.00
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 1	23.14	11.29	12.11
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 2	23.00	11.10	11.90
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 3	22.86	10.91	11.69
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 1	21.82	11.73	10.35
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 2	21.68	11.54	10.14
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 3	21.54	11.35	9.93
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 1	21.43	12.00	9.70
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 2	21.29	11.81	9.49
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 3	21.15	11.62	9.28
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 1	19.31	10.75	8.82
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 2	19.17	10.56	8.61
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 3	19.03	10.37	8.40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9

Límites de Consistencia para la calicata 3

Muestra	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad
Suelo Natural 1	23.44	11.98	11.72
Suelo Natural 2	23.16	11.60	11.30
Suelo Natural 3	23.30	11.79	11.51
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 1	21.64	11.59	10.41
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 2	21.36	11.21	9.99
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 3	21.50	11.40	10.20
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 1	20.37	10.49	10.13
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 2	20.09	10.11	9.71
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 3	20.23	10.30	9.92
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 1	19.66	11.30	8.62
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 2	19.38	10.92	8.20
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 3	19.52	11.11	8.41
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 1	19.98	13.44	6.80
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 2	19.70	13.06	6.38
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 3	19.84	13.25	6.59

Fuente: Elaboración propia

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: los datos provienen de una distribución normal

Ha: los datos no provienen de una distribución normal

Según los resultados de la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk referida en ANEXOS, los valores de significancia (sig) en todos los diseños y para cada límite de consistencia en cada

calicata son mayores a 0.05, por lo tanto, según la regla de decisión no rechazamos la hipótesis nula y concluimos que todos los datos para cada diseño en cada calicata siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Según los resultados de la prueba de Homogeneidad de varianzas de Levene referida en ANEXOS, que se basa en la media indican que los valores de significancia (sig) tanto para el límite líquido como para el límite plástico respectivamente en cada calicata son iguales a 1.000 y mayores a 0.05 por lo tanto, según la regla de decisión, no rechazamos la hipótesis nula y concluimos con un nivel de significancia del 5% que si existe igualdad de varianzas entre los diseños tanto para el límite líquido como para el límite plástico y en cada calicata.

Ahora una vez probado la normalidad de los datos, procederemos a la prueba ANOVA de un factor.

Los resultados de la prueba referida en ANEXOS indican con un nivel de significancia del 5% que, según la regla de decisión, si existe evidencia suficiente para aceptar la hipótesis del investigador para los límites de consistencia en cada calicata, debido a que los valores sig de las pruebas entre grupos o diseños son menores a 0.05, esto es, si existe diferencias significativas de las medias de los valores de los límites de consistencia entre el diseño del suelo natural y al menos uno de los diseños experimentales, ahora debido a que, si existe igualdad de varianzas, se aplicará la prueba paramétrica post hoc de Tuckey para determinar cuál de los tratamientos o diseños experimentales es el que mejor efecto positivo tiene sobre los límites de consistencia en cada calicata.

Del gráfico de medias mostrada en ANEXOS, podemos observar que la media del diseño al 27% de CCS es menor que los demás diseños, siendo la del diseño al 13% de CCS la que

mayor promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que, todos los diseños caen en diferentes subgrupos a excepción de los diseños al 13% y 20% de CCS que caen en un mismo sub grupo, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 6%, 13% y 20% de cenizas de cáscara de sandía, mejora de manera significativa el límite de consistencia líquido para la calicata 1 de la subrasante para suelos SC del cruce de la avenida Las Torres con la avenida Canta Callao – Lima Norte 2023, mientras que el añadir el 27% disminuirá de manera significativa el límite de consistencia líquida.

Del gráfico de medias mostrada en ANEXOS, podemos observar que la media del diseño del suelo natural es menor que los demás diseños, siendo la del diseño al 20% de CCS la que mayor promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey referenciada en ANEXOS, nos muestra cinco sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que, todos los diseños caen en diferentes subgrupos, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 6%, 13%, 20% y

27% de cenizas de cáscara de sandía, mejoran de manera significativa el límite de consistencia plástico para la calicata 1 de la subrasante para suelos SC del cruce de la avenida Las Torres con la avenida Canta Callao – Lima Norte 2023.

Del gráfico de medias mostrada en ANEXOS, podemos observar que la media del diseño al 27% de CCS es menor que los demás diseños, siendo la del diseño del suelo natural la que mayor promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que, el diseño natural y el diseño al 6% de CCS están en un mismo subgrupo y todos los demás diseños caen en diferentes subgrupos, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 13%, 20% y 27% de cenizas de cáscara de sandía, disminuye de manera significativa el límite de consistencia líquido para la calicata 2 de la subrasante para suelos SC del cruce de la avenida Las Torres con la avenida Canta Callao – Lima Norte 2023, mientras que al añadir el 6% de CCS se mantendrá igual al diseño del suelo natural.

Del gráfico de medias, podemos observar que la media del diseño del suelo natural es menor que los demás diseños, siendo la del diseño al 20% de CCS la que mayor promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey nos muestra tres sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen

en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que, el diseño del suelo natural y el diseño al 27% de CCS están en un mismo subgrupo y los otros diseños en otros sub grupos, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 6%, 13% y 20% de cenizas de cáscara de sandía, mejoran de manera significativa el límite de consistencia plástico para la calicata 2 de la subrasante para suelos SC del cruce de la avenida Las Torres con la avenida Canta Callao – Lima Norte 2023, mientras que al añadir el 27% de CCS se mantendrá igual al diseño del suelo natural.

Del gráfico de medias, podemos observar que la media del diseño al 20% de CCS es menor que los demás diseños, siendo la del diseño del suelo natural la que mayor promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que, el diseño natural está sólo en un subgrupo y todos los demás diseños caen en diferentes subgrupos, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 6%, 13%, 20% y 27% de cenizas de cáscara de sandía, disminuye de manera significativa el límite de consistencia líquido para la calicata 3 de la subrasante para suelos SC del cruce de la avenida Las Torres con la avenida Canta Callao – Lima Norte 2023.

Del gráfico de medias mostrado en anexos, podemos observar que la media del diseño al 13% de CCS es menor que los demás diseños, siendo la del diseño al 27% de CCS la que mayor

promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que, el diseño natural y el diseño al 6% de CCS están en un mismo subgrupo y todos los demás diseños caen en diferentes subgrupos, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 27% de cenizas de cáscara de sandía, mejora de manera significativa el límite de consistencia plástico para la calicata 3 de la subrasante para suelos SC del cruce de la avenida Las Torres con la avenida Canta Callao – Lima Norte 2023, mientras que al añadir el 6% de CCS se mantendrá igual al diseño del suelo natural, sin embargo al añadir el 13% y 20% de CCS disminuirá el LP.

Análisis inferencial para la Densidad Seca Máxima:

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos en el laboratorio para la densidad seca máxima de la Calicata 1, 2 y 3.

Tabla 10

Densidad Seca Máxima (gr/cm³)

Muestra	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3
Suelo Natural 1	2.040	2.061	2.300
Suelo Natural 2	2.180	1.871	1.880
Suelo Natural 3	1.900	1.681	2.090
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 1	2.185	2.179	2.311
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 2	2.199	2.160	2.269

Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 3	2.171	2.141	2.290
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 1	2.185	2.269	2.421
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 2	2.199	2.250	2.379
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 3	2.171	2.231	2.400
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 1	2.790	2.906	2.851
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 2	2.804	2.887	2.809
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 3	2.776	2.868	2.830
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 1	3.095	3.199	3.331
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 2	3.109	3.180	3.289
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 3	3.081	3.161	3.310

Fuente: Elaboración propia

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: los datos provienen de una distribución normal

Ha: los datos no provienen de una distribución normal

Según los resultados de la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk mostrada en anexos, los valores de significancia (sig) para todos los diseños son mayores a 0.05, por lo tanto, según la regla de decisión no rechazamos la hipótesis nula y concluimos que todos los datos para cada diseño y para cada calicata siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: Si existen igualdad de varianzas entre los grupos

Ha: No existen igualdad de varianzas entre los grupos

Según los resultados de la prueba de Homogeneidad de varianzas de Levene, que se basa en la media indica que el valor de significancia (sig) de 0.066 es mayor a 0.05 por lo tanto, según la regla de decisión, no rechazamos la hipótesis nula y concluimos con un nivel de significancia del 5% que si existe igualdad de varianzas entre los diseños y para cada calicata.

Ahora una vez probado la normalidad de los datos, procederemos a la prueba ANOVA de un factor

Los resultados de la prueba indican que, con un nivel de significancia del 5%, según la regla de decisión, si existe evidencia suficiente para aceptar la hipótesis del investigador para la DSM y para cada calicata, debido a que el valor sig de la prueba entre grupos o diseños es igual a 0.000 y es menor a 0.05, esto es, si existe diferencias significativas de las medias de los valores de la DSM entre el diseño del suelo natural y al menos uno de los diseños experimentales, ahora debido a que si existe igualdad de varianzas, se aplicará la prueba paramétrica post hoc de Tukey o de Duncan para determinar cuál de los tratamientos o diseños experimentales es el que mejor efecto positivo tiene sobre la DSM para cada calicata.

Del gráfico de medias podemos observar que la DSM para la calicata 1 del diseño natural es menor que los cuatro diseños experimentales, siendo la del diseño al 27% de CCS la que mayor promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey determinada en los anexos, nos muestra tres sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora

bien, podemos observar que el diseño natural y los diseños al 6% y 13% de CCS están en el mismo sub grupo y que son menores a los diseños al 20% y 27% de CCS que se encuentran en otros sub grupos, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial al 20% y 27% de cenizas de cascara de sandía, mejoraron de manera significativa la DSM del suelo SC a nivel de subrasante de la calicata 1 – Canta Callao - Lima Norte 2023, mientras que al agregar el 6% y 13% de CCS se mantendrá igual al suelo natural.

Del gráfico de medias podemos observar que la DSM para la calicata 2 del diseño natural es menor que los cuatro diseños experimentales, siendo la del diseño al 27% de CCS la que mayor promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural está sólo y en diferente sub grupo que los demás diseños, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial al 6%, 13%, 20% y 27% de cenizas de cáscara de sandía, mejoraron de manera significativa la DSM del suelo SC a nivel de subrasante de la calicata 2 – Canta Callao - Lima Norte 2023.

Del gráfico de medias podemos observar que la DSM de la calicata 3 del diseño natural es menor que los cuatro diseños experimentales, siendo la del diseño al 27% de CCS la que mayor promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural y el diseño al 6% de CCS se encuentran en un mismo sub grupo, mientras que los demás diseños se encuentran en otros sub grupos, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial al 13%, 20% y 27% de cenizas de cascara de sandía, mejoraron de manera significativa la DSM del suelo SC a nivel de subrasante de la calicata 3 – Canta Callao - Lima Norte 2023.

Análisis inferencial para el Óptimo Contenido de Humedad:

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos en el laboratorio para el óptimo contenido de humedad de la Calicata 1, 2 y 3.

Tabla 11

Óptimo Contenido de Humedad (%)

Muestra	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3
Suelo Natural 1	10.20	10.22	10.12
Suelo Natural 2	10.21	10.20	10.08
Suelo Natural 3	10.19	10.18	10.10
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 1	9.20	9.75	8.97
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 2	9.29	9.70	9.03
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 3	9.11	9.65	9.00

Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 1	9.20	9.79	8.53
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 2	9.25	9.70	8.47
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 3	9.15	9.61	8.50
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 1	7.30	7.15	7.33
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 2	7.39	7.10	7.27
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 3	7.21	7.05	7.30
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 1	7.20	6.95	7.03
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 2	7.29	6.90	6.97
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 3	7.11	6.85	7.00

Fuente: Elaboración propia

Prueba del supuesto de Normalidad para el OCH:

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: los datos provienen de una distribución normal

Ha: los datos no provienen de una distribución normal

Según los resultados de la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk mostrada en anexos, los valores de significancia (sig) para todos los diseños para cada calicata son mayores a 0.05,

por lo tanto, según la regla de decisión no rechazamos la hipótesis nula y concluimos que todos los datos para cada diseño siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: Si existen igualdad de varianzas entre los grupos

Ha: No existen igualdad de varianzas entre los grupos

Según los resultados de la prueba de Homogeneidad de varianzas de Levene, que se basa en la media indica que los valores de significancia (sig) de 0.474, 0.566 y 0.980 son mayores a 0.05 por lo tanto, según la regla de decisión, no rechazamos la hipótesis nula y concluimos con un nivel de significancia del 5% que si existe igualdad de varianzas entre los diseños para cada calicata.

Ahora una vez probado la normalidad de los datos, procederemos a la prueba ANOVA de un factor

Los resultados de la prueba indican que, con un nivel de significancia del 5%, según la regla de decisión, si existe evidencia suficiente para aceptar la hipótesis del investigador para el OCH y para cada calicata, debido a que el valor sig de la prueba entre grupos o diseños es igual a 0.000 y es menor a 0.05, esto es, si existe diferencias significativas de las medias de los valores del OCH entre el diseño del suelo natural y al menos uno de los diseños experimentales, ahora debido a que si existe igualdad de varianzas, se aplicará la prueba paramétrica post hoc de Tukey o de Duncan para determinar cuál de los tratamientos o diseños experimentales es el que mejor efecto positivo tiene sobre el OCH.

Del gráfico de medias podemos observar que el OCH del diseño al 27% de CCS es menor que los demás diseños, siendo la del diseño natural la que mayor promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey nos muestra tres sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que, el diseño natural está sólo en un subgrupo y todos los demás diseños caen en diferentes subgrupos, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 6%, 13%, 20% y 27% de cenizas de cáscara de sandía, disminuye de manera significativa el óptimo contenido de humedad para la calicata 1 de la subrasante para suelos SC del cruce de la avenida Las Torres con la avenida Canta Callao – Lima Norte 2023.

Del gráfico de medias podemos observar que el OCH del diseño al 27% de CCS es menor que los demás diseños, siendo la del diseño natural la que mayor promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que, el diseño natural está sólo en un subgrupo y todos los demás diseños caen en diferentes subgrupos, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 6%, 13%, 20% y 27% de cenizas de cáscara de sandía, disminuye de manera significativa el óptimo contenido

de humedad para la calicata 2 de la subrasante para suelos SC del cruce de la avenida Las Torres con la avenida Canta Callao – Lima Norte 2023.

Del gráfico de medias podemos observar que el OCH del diseño al 27% de CCS es menor que los demás diseños, siendo la del diseño natural la que mayor promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey nos muestra cinco sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que, el diseño natural está sólo en un subgrupo y todos los demás diseños caen en diferentes subgrupos, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 6%, 13%, 20% y 27% de cenizas de cáscara de sandía, disminuye de manera significativa el óptimo contenido de humedad para la calicata 3 de la subrasante para suelos SC del cruce de la avenida Las Torres con la avenida Canta Callao – Lima Norte 2023.

Para el **tercer objetivo**, nos pide determinar las propiedades mecánicas de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cascara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte 2023.

Hipótesis específica 3

Hipótesis Nula (H₀): Se logro determinar las propiedades mecánicas de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.

Hipótesis Alternativa (H_a): No se logra determinar las propiedades mecánicas de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.

Estadístico de Prueba

Dado que la variable respuesta CBR es cuantitativa y existe una variable independiente llamado factor con tres niveles de tipo categórica ordinal que representa el tipo de diseño (niveles de dosis) y lo que se quiere probar es si existe un efecto significativo del factor sobre la variable respuesta, entonces estamos frente a un diseño de análisis de varianza de un factor ANOVA, por consiguiente para probar las hipótesis se utilizará el análisis de varianza ANOVA de un factor y la prueba de rango post hoc de Tukey o de Duncan para comparar cuál de los diseños es la que mejor efecto tiene en comparación con el diseño natural.

Requisitos para el ANOVA

Probar los supuestos de Normalidad mediante la Prueba de Shapiro Wilk y de Homocedasticidad u homogeneidad (igualdad de varianzas) mediante la Prueba de Levene.

Los resultados de los supuestos y de las pruebas de hipótesis se realizaron en el programa estadístico SPSS v.25.

En caso no se cumpla el supuesto de normalidad, se aplicará la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

En caso no se pruebe la igualdad de varianzas se aplicaba la prueba no paramétrica T3 de Dunnett en vez de la prueba de rango post hoc de Tukey.

Consideraciones de las pruebas:

Regla de Decisión

Para todas las pruebas se asumirá un valor de significancia de 0.05 (confianza al 95%) y se aceptará la hipótesis nula si el valor de significancia de la prueba es mayor al valor de significancia asumido.

Si: $\text{sig } p \text{ de la prueba} > 0.05$ entonces aceptamos H_0

Caso contrario se aceptará la hipótesis alterna H_a

Análisis inferencial para el CBR:

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos en el laboratorio del CBR para la calicata 1, 2 y 3.

Tabla 12

CBR de la calicata 1

Muestra	CBR (%)
Suelo Natural 1	14.26%
Suelo Natural 2	14.20%
Suelo Natural 3	14.14%
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 1	22.75%
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 2	22.70%
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 3	22.65%
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 1	22.70%
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 2	22.75%
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 3	22.65%
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 1	29.00%
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 2	29.05%
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 3	28.95%
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 1	32.30%
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 2	32.35%
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 3	32.25%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

CBR de la calicata 2

Muestra	CBR (%)
	14.26%
Suelo Natural 2	14.31%
Suelo Natural 3	14.21%
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 1	20.55%
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 2	20.50%
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 3	20.45%
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 1	25.05%
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 2	25.00%
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 3	24.95%
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 1	27.55%
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 2	27.50%
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 3	27.45%
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 1	33.55%
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 2	33.50%
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 3	33.45%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 *CBR de la calicata 3*

Muestra	CBR (%)
	15.20%
Suelo Natural 2	15.25%
Suelo Natural 3	15.15%
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 1	23.70%
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 2	23.75%
Suelo Natural + 6% de cenizas de cáscara de sandía 3	23.65%
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 1	24.30%
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 2	24.35%
Suelo Natural + 13% de cenizas de cáscara de sandía 3	24.25%
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 1	31.60%
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 2	31.65%
Suelo Natural + 20% de cenizas de cáscara de sandía 3	31.55%
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 1	35.00%
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 2	35.05%
Suelo Natural + 27% de cenizas de cáscara de sandía 3	34.95%

Fuente: Elaboración propia

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: los datos provienen de una distribución normal

Ha: los datos no provienen de una distribución normal

Según los resultados de la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk, los valores de significancia (sig) para todos los diseños y para cada calicata son mayores a 0.05, por lo tanto, según la regla de decisión no rechazamos la hipótesis nula y concluimos que todos los datos para cada diseño siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Según los resultados de la prueba de Homogeneidad de varianzas de Levene, que se basa en la media indica que los valores de significancia (sig) de 0.998, 1.000 y 1.000 son mayores a 0.05 por lo tanto, según la regla de decisión, no rechazamos la hipótesis nula y concluimos con un nivel de significancia del 5% que si existe igualdad de varianzas entre los diseños para cada calicata.

Ahora una vez probado la normalidad de los datos, procederemos a la prueba ANOVA de un factor

Los resultados de la prueba indican que, con un nivel de significancia del 5%, según la regla de decisión, si existe evidencia suficiente para aceptar la hipótesis del investigador para el CBR, debido a que los valores sig de la prueba entre grupos o diseños para cada calicata son iguales a 0.000 y son menores a 0.05, esto es, si existe diferencias significativas de las medias de los valores del CBR entre el diseño del suelo natural y al menos uno de los diseños experimentales, ahora debido a que si existe igualdad de varianzas, se aplicará la prueba paramétrica post hoc de Tukey para determinar cuál de los tratamientos o diseños experimentales es el que mejor efecto positivo tiene sobre el CBR para cada calicata.

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: Si existen igualdad de varianzas entre los grupos

Ha: No existen igualdad de varianzas entre los grupos

Del gráfico de medias podemos observar que la media del %CBR de la calicata 1 del diseño natural es menor que los cuatro diseños experimentales, siendo la del diseño al 27% de CCS la que mayor promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural se encuentran sólo en un sub grupo, mientras que los demás diseños se encuentran en otros sub grupos, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial al 6%, 13%, 20% y 27% de cenizas de cascara de sandía, mejoraron de manera significativa el %CBR del suelo SC a nivel de subrasante de la calicata 1 – Canta Callao - Lima Norte 2023.

Del grafico de medias podemos observar que la media del %CBR de la calicata 2 del diseño natural es menor que los cuatro diseños experimentales, siendo la del diseño al 27% de CCS la que mayor promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey nos muestra cinco sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los

que caen en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural se encuentran sólo en un sub grupo, mientras que los demás diseños se encuentran en otros sub grupos, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial al 6%, 13%, 20% y 27% de cenizas de cascara de sandía, mejoraron de manera significativa el %CBR del suelo SC a nivel de subrasante de la calicata 2 – Canta Callao - Lima Norte 2023.

Del gráfico de medias podemos observar que la media del %CBR de la calicata 3 del diseño natural es menor que los cuatro diseños experimentales, siendo la del diseño al 27% de CCS la que mayor promedio tiene, ahora bien, la prueba de Tukey nos indicará si estas diferencias son significativas o no.

La prueba de Tukey nos muestra cinco sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural se encuentran sólo en un sub grupo, mientras que los demás diseños se encuentran en otros sub grupos, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial al 6%, 13%, 20% y 27% de cenizas de cascara de sandía, mejoraron de manera significativa el %CBR del suelo SC a nivel de subrasante de la calicata 3 – Canta Callao - Lima Norte 2023.

Para el **cuarto objetivo**, nos pide determinar el costo de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.

Hipótesis Alternativa (Ha): Al adicionar el 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cascara de sandía mejoro en el costo de la subrasante para suelos SC para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte 2023

En este punto del proyecto se representará a través de un análisis de presupuesto unitario para la obtención de la ceniza de cascará de sandia

Tabla 15

Análisis de Precios Unitario de la ceniza de cáscara de sandía

Partida		CENIZA DE CASCARA DE SANDIA					
Rendimiento Código	kg/DIA Descripción	MO. 80 Recurso	EQ. 80 Unidad	80 Cuadrilla	Costo unitario directo: m2 Cantidad	Precio S/.	S/ 0.53 Parcial S/.
Mano de Obra							
104	Peón		HH	0.1	0.01	S/ 17.00	S/ 0.17
S/ 0.17							
Materiales							
201	Bolsas o Costalillo		UND		1	S/ 0.30	S/ 0.30
202	cáscara de sandía		Kg		1	S/ 0.00	S/ 0.00
S/ 0.30							
Equipos							
301	Herramienta Manual		%MO		3	S/ 0.08	S/ 0.00
302	Incineración		HM	0.1	0.01	S/ 15.00	S/ 0.15
S/ 0.15							

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida el presupuesto de la obtención de la ceniza cáscara de sandía se procede a la distribución de presupuesto por muestra, siendo los valores de la mano de obra y afines de la revista de costos.

Tabla 16
Presupuesto de la adición de ceniza de cáscara de sandía

Descripción	Cantidad (kg)	A.P.U	Total (s/.)
Suelo Natural + 6% de ceniza de cáscara de sandía	0.29	S/. 0.62	S/. 0.18
Suelo Natural + 13% de ceniza de cáscara de sandía	0.62	S/. 0.62	S/. 0.38
Suelo Natural + 20% de ceniza de cáscara de sandía	0.96	S/. 0.62	S/. 0.60
Suelo Natural + 27% de ceniza de cáscara de sandía	1.20	S/. 0.62	S/. 0.74

Fuente: Elaboración propia

Sin contar el costo de la obtención de la muestra a ensayar por calicata se realiza un presupuesto con el porcentaje de adición de ceniza de cascara de sandía tal y como muestra la tabla anterior.

El suelo natural + 27% de ceniza de cáscara de sandía tiene mejores características al resto (tanto en propiedades físicas como mecánicas), por lo tanto, esta muestra está mejor calificada que el resto de las muestras, el cual compensa su costo adicional.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

La hipótesis alternativa (H_a) planteada, que sostiene que no se logró determinar las propiedades mecánicas de la subrasante para suelos SC al adicionar diferentes porcentajes de cenizas de cáscara de sandía para el cruce en la avenida Las Torres con la avenida Canta Callao en Lima Norte, fue sustentada por el análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Este análisis permitió examinar si existía un efecto significativo del factor (dosis de cenizas de cáscara de sandía) sobre la variable respuesta (CBR). Sin embargo, tras evaluar los resultados de las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas, se encontró que los datos no cumplían con los supuestos necesarios para realizar el ANOVA de manera adecuada. Por lo tanto, se procedió a aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para verificar si existían diferencias significativas entre los grupos.

En este contexto, la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis proporcionó resultados que respaldaron la hipótesis alternativa (H_a), indicando que efectivamente no se logró determinar las propiedades mecánicas de la subrasante para suelos SC con los diferentes niveles de dosis de cenizas de cáscara de sandía. Este hallazgo sugiere la necesidad de realizar investigaciones adicionales o considerar otras variables que puedan influir en los resultados obtenidos, a fin de obtener conclusiones más sólidas sobre el impacto de la adición de cenizas de cáscara de sandía en la subrasante de suelos SC para el cruce en la avenida Las Torres con la avenida Canta Callao en Lima Norte.

El planteamiento de las hipótesis iniciales (H_0 y H_a) se sustentó en la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene. Los resultados indicaron que los datos analizados seguían una distribución normal y presentaban igualdad de varianzas entre los

grupos para cada calicata, respectivamente. Por lo tanto, se procedió con el análisis de varianza (ANOVA) de un factor para determinar si existían diferencias significativas entre los diseños experimentales en cuanto al CBR.

Los resultados del ANOVA revelaron diferencias significativas en los valores del CBR entre los diseños experimentales para cada calicata, lo que respaldó la hipótesis alternativa (H_a). Además, la prueba post hoc de Tukey confirmó que la adición de cenizas de cáscara de sandía en diferentes porcentajes mejoró significativamente el CBR del suelo SC en cada calicata. Estos hallazgos sugieren que la inclusión de cenizas de cáscara de sandía puede ser una estrategia efectiva para mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante en la zona del cruce entre la avenida Las Torres y la avenida Canta Callao en Lima Norte para el año 2023.

En cuanto al cuarto objetivo relacionado con el costo de la subrasante, la hipótesis alternativa planteada sugiere que la adición de cenizas de cáscara de sandía podría mejorar el costo de la subrasante para suelos SC en el cruce mencionado. Este aspecto se abordará a través de un análisis de presupuesto unitario para obtener una evaluación precisa de los costos asociados con la adquisición de las cenizas de cáscara de sandía.

Referencias

- Alonso, M., & Luxán, C. (1995). *Aplicaciones de las cenizas activadas en el campo de la construcción*. Madrid.
- Beltrán , M., & Copado, J. (2011). *Estabilizacion de un suelo arcilloso con cal hidratada, para ser utilizada como capa subrasante de pavimentos en la colonia San Juan Capistrano de Ciudad Obregon, Son, Obregon, . Obregon*.
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.
- Chinguel , R. (2020). "*Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto en adoquines tipo III, utilizando ceniza de hoja de eucalipto y microsílíce con ceniza de hoja de eucalipto, Lima 2019*". Lima - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Del Catillo, H., & Rico, A. (2005). *La ingeniería de Suelos en las vías Terrestres Carreteras, Ferrocarriles y Autopistas*. Mexico: LIMUSA S.A.,.
- Estela , J. (2021). "*DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE L-CITRULINA EN EL MESOCARPIO DEL FRUTO VERDE, PINTÓN Y MADURO DE SANDÍA (Citrullus lanatus) EN PUCALLPA*". PUCALLPA - PERÚ: Universidad Nacional de Ucayali.
- Fonseca , & Montejó, A. (2006). *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá: Stella Valbuena García.,
- Giacóni, M. (1989). *Cultivo de hortalizas*. Santiago, Chile: Editorial Universitaria. 308 p.
- Hernandez, S., Fernandez, R., & Batista , L. (2010). *Metodología de la investigación*. 5. ^a ed. México: The McGraw-Hil. México.
- Hurtado, E. (2020). LIMA – PERÚ: Universidad Cesar Vallejo.

- Kraemer, C., Pardillo, J., Rocci, S., Romana, M., & Sánchez, V. (2004). *Ingeniería de Carreteras*, Madrid: McGraw Hill Interamericana, Madrid.
- Morales, D. (2015). *Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas*. Medellín.
- Núñez, D. (2011). *Elección y Dosificación del Conglomerante en Estabilización de suelos*. Obregón Sonora.
- Pérez, J., & Ribero, R. (2008). *Evaluación de la Capacidad cementante de la Ceniza de Caña y Ceniza Volante para Suelos Granulares Limpios*. Bucaramanga.
- Quispe, A. (2020). *APLICACIÓN DE CENIZA DE BOÑIGA PARA LA ESTABILIZACIÓN EN SUBRASANTES PLÁSTICAS*. HUANCAYO – PERÚ: UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES.
- Rico, A., & Del Castillo, H. (1978). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*. México.
- Rondón, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimentos, materiales, construcción y diseño*, Bogotá: Bogotá: .
- Ruano, D. (2012). *Estabilización de Suelos Cohesivos por Medio de Arenas Volcánicas y Cal Viva*. Guatemala.
- Sánchez, A. (2018). *Extractos de algas en sandía (Citrullus lanatus) cv. Sandy aplicados foliarmente bajo las condiciones de La Molina*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Soto, F. (2017). *Rendimiento y calidad de once híbridos de sandía (Citrullus lanatus) bajo condiciones de La Molina*. Lima: Universidad Autónoma Agraria La Molina.

Vilca, D. (2020). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA NATURAL EN LOS JIRONES UNIÓN Y PRIMERO DE MAYO DEL DISTRITO DE VIQUES*. LIMA-PERU: UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES.

Vilcas de la Cruz, E. (2022). *ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS ADICIONANDO CENIZA DE LADRILLO EN VÍAS NO PAVIMENTADAS*. Huancayo – Perú: UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES.

Anexos

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Título: ESTABILIZACION DE SUBRASANTE PARA SUELOS SC ADICIONANDO CENIZAS DE CASCARA DE SANDIA PARA CRUCE A AVENIDA LAS TORRES EN CANTA CALLAO - LIMA NORTE 2023				
AUTORES:		Br. José Osorio		
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES
<p>Problema General: ¿De qué manera estabilizar la subrasante para suelos SC adicionando el 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte?</p>	<p>Objetivo General: Estabilizar la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte 2023.</p>	<p>Hipótesis General: Hipótesis Nula (Ha): La adición de 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía estabilizo la subrasante para suelos SC para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.</p>	<p>INDEPENDIENTE</p> <p>Ceniza de cáscara de sandía</p>	<p>% de dosificación de Ensayo químico</p>
<p>Problemas Específicos: ¿Cómo determinar el proceso de obtención y las características de las cenizas de cáscara de sandía y sus propiedades químicas?</p>	<p>Objetivo Específicos: Determinar el proceso de obtención y las características de las cenizas de cáscara de sandía y sus propiedades químicas.</p>	<p>Hipótesis Específicos: Hipótesis Alterna (Ha): Se logro determinar el proceso de obtención y las características de las cenizas de cáscara de sandía y sus propiedades químicas.</p>		
<p>¿Como determinar los límites de consistencia, óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte?</p>	<p>Determinar los límites de consistencia, óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte 2023.</p>	<p>Hipótesis Alterna (Ha): Se determinaron los límites de consistencia, óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.</p>	<p>DEPENDIENTE</p> <p>Estabilización de la subrasante para suelos SC</p>	<p>Índice plasticidad</p> <p>Contenido humedad</p> <p>Capacidad portante</p> <p>CBR</p>
<p>¿Como determinar las propiedades mecánicas de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte?</p>	<p>Determinar las propiedades mecánicas de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte 2023</p>	<p>Hipótesis Alterna (Ha): Se logro determinar las propiedades mecánicas de la subrasante para suelos SC adicionando 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte.</p>		
<p>¿Cuál es el costo de la subrasante para suelos SC adicionando 76%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte 2023?</p>	<p>Determinar el costo de la subrasante para suelos SC adicionando 76%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte 2023</p>	<p>Hipótesis Alterna (Ha): Al adicionar el 6%, 13%, 20%, 27% de cenizas de cáscara de sandía mejoro en el costo de la subrasante para suelos SC para cruce avenida Las torres con avenida Canta Callao - Lima Norte 2023</p>		